

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR

ESCUELA DE BIOLOGÍA APLICADA

**TESINA DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE BIÓLOGO
MARINO**

TEMA:

**“EFECTOS DEL DERRAME DE PETRÓLEO SOBRE LA DINÁMICA
ECOLÓGICA DE LAS COMUNIDADES ZOOPLANCTÓNICAS DE LA
LAGUNA DE PAPALLACTA”**

AUTOR:

MARIO GIOVANNY CUEVA SÁNCHEZ

DIRECTOR DE TESINA:

DR. ESTEBAN TERNEUS

QUITO, ECUADOR

JULIO DE 2013

CERTIFICACIÓN

Yo, Mario Giovanni Cueva Sánchez, con cédula de identidad N 172302647-0, declaro que soy el autor exclusivo de la presente investigación y que ésta es original, auténtica y personal. Todos los efectos académicos y legales que se desprenden de la presente investigación, serán de mi exclusiva responsabilidad. Además, cedo los derechos a la Universidad Internacional del Ecuador para que sea publicado y divulgado en internet.



Mario Giovanni Cueva Sánchez

Yo, Héctor Esteban Terneus Jácome, declaro que personalmente conozco, al señor, Mario Giovanni Cueva Sánchez, quién es el autor exclusivo de la presente investigación y que ésta es original, auténtica y personal.

Dr. Esteban Terneus Jácome

AGRADECIMIENTO

Les agradezco a mis padres Edward Cueva y Patricia Sánchez por el apoyo y el amor incondicional que he tenido durante mis años de aprendizaje, han sido mí guía que han dado como fruto la culminación de mis estudios universitarios. A mis hermanos Jorge y Eduardo que me han aconsejado y siempre han estado cuando más se los ha necesitado.

Le agradezco al Dr. Esteban Terneus por la ser mí mentor durante mis años en la universidad y en mi trabajo de titulación, por aquellos momentos que me supo corregir como alumno pero también como su amigo.

Les agradezco a los Profesores M.Sc. Patricio Yáñez y M.Sc. Cecilia Puertas por el tiempo dedicado para las correcciones de mí trabajo de titulación.

Le agradezco a mis compañeros de Universidad: Marcos Molina, José Luis Vásquez, Emilio Pillajo y Pedro Gallardo, por ser las personas quienes me dieron su amistad y apoyo durante los años de estudiante.

Les agradezco a Guillermo Suarez y al Ing. Alex Suarez quienes me apoyaron y aconsejaron en momentos difíciles, y finalmente a todos los amigos de la Universidad Internacional del Ecuador y del barrio Miraflores.

DEDICATORIA

Para mis padres que los admiro, los quiero y siempre me han enseñado principios y valores, a luchar por la consecución de objetivos y metas, por su interminable apoyo en todos los momentos de mi vida y por su eterna paciencia para aconsejarme y procurar que lleve una vida honesta.

Índice General

Resumen	1
----------------------	----------

Abstract	2
-----------------------	----------

CAPITULO I

INTRODUCCION.....	3
--------------------------	----------

1.1.-Antecedentes	6
-------------------------	---

1.2.- Planteamiento del problema	8
--	---

1.3.- Justificación.....	8
--------------------------	---

1.4.- Objetivos	10
-----------------------	----

1.4.1.- Objetivo General.....	10
-------------------------------	----

1.4.2.- Objetivos Específicos	10
-------------------------------------	----

CAPITULO II

MARCO TEORICO	11
----------------------------	-----------

2.1.- Limnología – Historia	11
-----------------------------------	----

2.1.1.- Escuela Europea.....	11
------------------------------	----

2.1.2.- Escuela Americana	12
---------------------------------	----

2.2.- Ecosistemas Acuáticos	13
-----------------------------------	----

2.2.1.- Generalidades.....	13
----------------------------	----

2.2.2.- Aguas Continentales	19
-----------------------------------	----

2.2.3.- Ecosistemas lóticos (ríos y riachuelos)	24
---	----

2.2.4.- Ecosistemas lénticos (lagunas y lagos)	25
2.3.- Fauna de la zona de Papallacta.....	27
2.3.1. Invertebrados.....	27
2.3.2. Anfibios y Reptiles.....	28
2.3.3. Aves	28
2.3.4. Mamíferos	28
2.3.5.- Peces de cuerpos de agua alto andino	29
2.4.- Dinámica de Lagunas Tropicales	29
2.4.1.- Lagunas Tropicales Cálidas	29
2.4.2.- Laguna Tropical Fría	30
2.5.- Zooplancton en Sistemas Acuáticos.....	32
2.5.1.- Principales Grupos Dulceacuícolas de Zooplancton.....	34
2.6.- Contaminación de lagos y lagunas por metales pesados.....	46
2.6.1.- Metal Pesado.....	46
2.6.2.- Contaminación con metales pesados	47

CAPITULO III

MATERIALES Y METODOS	51
3.1.- Área de Estudio	51
3.1.1.- Geología.....	53
3.1.2.- Batimetría	53

3.2.- Establecimiento de los puntos de muestreo.....	55
3.3.- Recolección de Muestras.....	57
3.4.- Procesamiento de las muestras	62
3.5.- Identificación de especímenes.....	68
• Taxonomía de Cladóceras	68
• Taxonomía de Copépoda	69
• Taxonomía Rotífera	69
3.6.- Análisis Estadístico	69
3.6.1.- Naturaleza de los datos.....	69
3.6.1.1.- Organización de los datos	70
3.6.2 Análisis de similitud	72
3.6.2.1.- Variables Abióticas.....	72
3.6.2.2.- Elementos Bióticos	73
3.6.3.- Análisis de correlación simple	73
3.6.4.- Análisis Canónico de Correspondencias	74

CAPITULO IV

RESULTADOS.....	75
4.1 Especies de Zooplankton encontradas en la laguna de Papallacta...	75
4.2. Historia Natural de los especímenes laguna de Papallacta.....	76
4.2.2 Subclase Copépoda	77

4.2.2 Suborden Cladóceras	80
4.2.3 Rotífera.....	84
4.3 Análisis Estadístico.....	87
4.3.1 Análisis de Similitud.....	87
4.3.2 Prueba de Correlación Simple.....	97
4.3.3 Análisis Canónico de Correspondencias con abundancia.	101

CAPITULO V

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	108
Recomendaciones	119
Bibliografía	120
Glosario	132
Anexos	136

Índice Figuras.

Figura 1. Laguna de La Mica	14
Figura 2. Oso de anteojos.....	15
Figura 3. Crustáceos de la Laguna de Papallacta.	16
Figura 4. Laguna de Papallacta.	16
Figura 5. Laguna de Papallacta cuatro días después del derrame del 2003.	18
Figura 6. Rio Tambo, Papallacta.....	20
Figura 7. Laguna de Papallacta.	20
Figura 8. Agua elemento de la vida.	22
Figura 9. Estratificación térmica Zonas Calientes.	23
Figura 10. Ecosistemas Lóticos.	25
Figura 11. Zonificación de lagos.....	27
Figura 12. Mezcla del agua en lagunas tropicales cálidas.	30
Figura 13. Las dos zonas en una Laguna Tropical Fría.	32
Figura 14. Cladóceros.....	34
Figura 15. Los huevos maduran en la cámara incubatriz.....	37
Figura 16. Cámara de cría.	38
Figura 17. Huevo de cladóceros.	39
Figura 18. Copépodo.....	39
Figura 19. Cyclopoido.....	40
Figura 20. Copépodo de la Laguna de Papallacta.	41
Figura 21. Hembra, huevos en la parte caudal.	43
Figura 22. Rotífero.....	43
Figura 23. Rotífero no tiene segmentación.	44
Figura 24. Área de influencia del derrame en la localidad de Papallacta.	51

Figura 25. Esquema de Batimetría realizada en el proyecto.	54
Figura 26. Gpsmap 62s de precisión.	54
Figura 27. Localización de puntos..	56
Figura 28. Ubicación del punto de muestreo.	56
Figura 29. Equipos usados en la toma de datos físico químicos <i>in situ</i>	58
Figura 30. Uso del termómetro digital en muestras de agua.	59
Figura 31. Uso de Fishin Buddy para medición de profundidad.	59
Figura 32. Uso del Disco Secchi para determinar la estratificación.	60
Figura 33. Botella Van Dorn vertical..	60
Figura 34. Red de filtración de 53 micras	61
Figura 35. Muestra recolectada preservada con formalina al 4%.	61
Figura 36. Recolección de las muestras de agua.	62
Figura 37. Muestras vertidas en los embudos de decantación..	63
Figura 38. La muestra recolectada por la probeta.	63
Figura 39. Tubos de ensayo con el sedimento.	64
Figura 40. Recolección con pipeta de vidrio y análisis de la placa.	65
Figura 41. <i>Eucyclops breviramatus</i>	77
Figura 42. <i>Leptodiaptomus minutus</i>	78
Figura 43. <i>Diacyclops thomasi</i>	78
Figura 44. Estadios de copépodos (Copepodito).	79
Figura 45. Estadio de copépodos (Nauplio).	79
Figura 46. Huevos de resistencia.	80
Figura 47. <i>Daphnia pulex</i>	81
Figura 48. <i>Daphnia ambigua</i>	81
Figura 49. Cladóceras: Morfotipo 1.	82

Figura 50. Estadios de larvas de cladóceras.	83
Figura 51. Huevos de resistencia.	84
Figura 52. <i>Keratella</i> sp.....	85
Figura 53. <i>Adineta</i> sp.	85
Figura 54. Morfotipo 1: Bdelloidea	86
Figura 55. Morfotipo 2: Bdelloidea.	86
Figura 56. <i>Pompholyx</i> sp.....	87
Figura 57. Dendrograma de datos abióticos época seca.	89
Figura 58. Dendrograma de datos abióticos época transición.....	91
Figura 59. Dendrograma de datos abióticos época lluviosa.....	93
Figura 60. Dendrograma de datos bióticos época seca.	94
Figura 61. Dendrograma de datos bióticos época de transición.....	95
Figura 62. Dendrograma de datos bióticos época de lluvias.....	97
Figura 63. Conductividad y sólidos suspendidos Época Seca	98
Figura 64. Conductividad y sólidos suspendidos Época Transición.....	99
Figura 65. Conductividad y sólidos suspendidos Época Lluvias.	99
Figura 66. Sólidos suspendidos y profundidad en la época de lluvias.....	100
Figura 67. Sólidos suspendidos y turbidez en la época de lluvias.	101
Figura 68. Análisis de Correspondencia Canónica época seca.....	103
Figura 69. Análisis de Correspondencia Canónica época de transición.	105
Figura 70. Análisis de Correspondencia Canónica época lluviosa.	107

Índice de Tablas.

Tabla 1. Sistema de Clasificación de Cowardin (1979).....	21
Tabla 2. Coordenadas de Puntos de Muestreo en la Laguna de Papallacta	55
Tabla 3. Parámetros abióticos tomados en la laguna de Papallacta	71
Tabla 4. Horas de colecta, de los individuos más representativos.	74
Tabla 5. Zooplancton encontrado en la Laguna de Papallacta.	75
Tabla 6. Clasificación taxonómica de grupos dulce acuícola.	77

Resumen

En abril del 2003 se produjo una ruptura en el oleoducto trans-ecuatoriano (SOTE), que provocó la contaminación en la zona de Papallacta y dónde posteriormente se realizaron trabajos de bioremediación. Desde noviembre de 2010 hasta abril de 2011 se realizó un estudio para verificar que las zonas afectadas dispongan en la actualidad de una buena salud ecológica y determinar cuáles fueron los cambios ecológicos que sufrió el zooplancton debido a este suceso. Se recogieron 19 muestras de zooplancton en la laguna de Papallacta, durante las estaciones seca, de transición y de lluvias, , se procedió a revisar las muestras en laboratorio, contó el zooplancton y se realizó una investigación bibliográfica sobre las dinámicas de estos organismos en cuerpos de agua dulce y sobre sus historias naturales. Los géneros encontrados pertenecen a tres grupos presentes en agua dulce: Copépoda, Cladóceras y Rotífera; aunque la riqueza de especies se mantuvo similar entre campañas, las abundancias presentaron grandes diferencias. Las correlaciones entre géneros y las variables abióticas de cada sitio presentaron diferencias debido a la estacionalidad que presentan características distintas y con valores que cambian significativamente. La historia natural y las dinámicas ecológicas que tienen estos organismos sugieren un estado mesotrófico de la laguna y que la misma se encuentra en proceso de recuperación lenta.

Palabras Clave: Zooplancton, Papallacta, derrame de petróleo, contaminación, calidad del agua, copépoda, cladóceras, rotífera.

Abstract

The breach of the trans-ecuadorian pipeline on April 2003 caused the contamination of Papallacta area; later on bioremediation works were carried out. From November 2010 to April 2011 a study was conducted to verify that the affected areas currently possess a good ecological condition and to determine which were the ecological changes the zooplanktonic communities suffered due to this event. Nineteen zooplankton samples were collected in Papallacta lake during the dry, transition and rainy seasons. The samples were analyzed in the lab, where the zooplanktonic organisms were counted. In addition, a bibliographic review on the dynamics and natural history of the zooplankton in fresh water was performed. The genus founded in this study belong to three fresh water groups: Copepoda, Cladocera and Rotifera. Even though the species richness was similar among the campaigns, the abundances presented big differences. The correlations between genus and the abiotic variables on each site presented differences due to seasonality that exhibit distinct characteristics and values that change significantly. The natural history and ecological dynamics of the zooplankton suggest a mesotrophic state of Papallacta lake and that it is in a process of slow recovery.

Keywords: Zooplankton, Papallacta, oil spill, pollution, water quality, Copepoda, Cladocera, Rotifera.

CAPITULO I

INTRODUCCION

En los estudios de los ecosistemas acuáticos se considera habitualmente la descripción y caracterización de cada uno de sus componentes, para esto se debe generar una línea base general de la biota del sistema lacustre (Escalante-Estrada *et al.*, 2006), ya que así se puede obtener información para determinar los factores tanto físicos como químicos que pueden afectar las dinámicas poblacionales de zooplancton en la laguna de Papallacta. Los sistemas acuáticos lénticos se pueden dividir en diferentes tipos de acuerdo con su carga de nutrientes y capacidad productiva. Las actividades humanas contribuyen a incrementar la carga de nutrientes de los sistemas acuáticos provocando la conocida eutrofización (Hernández *et al.*, 2006), y sin duda un evento catastrófico como la contaminación de la fuente hídrica con hidrocarburos que sería aún más perjudicial.

Uno de los componentes principales de las comunidades biológicas de los sistemas acuáticos es el zooplancton. Representa el eslabón entre el fitoplancton y los consumidores secundarios (peces y algunas aves). El conocimiento de su estructura permite caracterizar los sistemas acuáticos y conocer algunas de las interacciones dominantes en ellos. Algunos de los aspectos de mayor interés para los científicos es la ecología de los organismos que componen el zooplancton. Las comunidades planctónicas de sistemas acuáticos están constituidas por organismos con períodos de vida cortos y muchos de ellos son fácilmente manipulables. El zooplancton de agua

dulce está compuesto por animales con altas tasas de crecimiento, un rasgo que les permite responder rápidamente a ambientes cambiantes (Conde-Porcuna, 2004), es decir que si bien los tiempos de vida son cortos, las altas tasas de crecimiento o de reproducción del zooplancton, permiten responder rápidamente a un estrés agudo (Whitman *et al.*, 2002). Otra de las razones es que las especies de zooplancton tienden a tener amplia distribución geográfica (Whitman *et al.*, 2002), por lo cual podemos decir que otra de sus características principales es su capacidad para producir abundantes huevos resistentes que mantienen su viabilidad durante décadas o siglos (Hairston, 1996). Las formas de resistencia en el sedimento de los lagos representan un banco de huevos, análogo al banco de semillas de muchas plantas terrestres (Marcus *et al.*, 1994).

La composición específica del zooplancton puede ser un excelente criterio para caracterizar el estado trófico de los sistemas acuáticos y para deducir la estructura de las comunidades en una fuente hídrica. Las diferencias en el estado trófico se manifiestan claramente en la estructura de la comunidad zooplanctónica y en las relaciones zooplancton-fitoplancton (Conde-Porcuna, 2004).

En el zooplancton dulceacuícola se reconocen cuatro grupos principales: Protozoos, Copépodos, Cladóceros y Rotíferos (Los protozoos a pesar que se incluyen en el zooplancton constituyen uno de los grupos que se estudia de manera independiente) (Conde-Porcuna, 2004). La posición intermedia del zooplancton en la cadena trófica lacustre hace que sea sensible a lo que suceda tanto en el nivel

superior como en el nivel inferior, así mismo en su propio nivel pueden tener diferentes funciones: predadores, herbívoros u omnívoros (Conde-Porcuna, 2004).

Los cladóceros claramente demuestran el resultado de la oligomerización, es decir entre sí pueden ser iguales y a su vez totalmente diferentes, además ciertas partes de su cuerpo son especializadas para adaptarse al ambiente que les rodea. Los Cladóceros representan el 80% de los herbívoros que se encuentran en un ambiente acuático (Korovchinsky 1992).

Los rotíferos representan un grupo de 2000 especies aproximadamente, la mayoría de ellas conocidas exclusivamente por la presencia de las hembras, que son el estadio dominante durante la mayor parte del ciclo de vida de estos organismos. La mayoría de rotíferos son consumidores primarios; sin embargo, existen algunas formas carnívoras (Gutiérrez, 2006).

Con respecto a los copépodos, presentan más de 2000 especies, estos organismos muestran una serie de adaptaciones, dependiendo de sus hábitos y forma de vida; sin embargo, su cuerpo presenta una constancia estructural (son muy similares unos a otros). Los copépodos pueden estar representados por especies herbívoras, omnívoras (la mayoría) y carnívoras (Gutiérrez, 2006).

El zooplancton entonces constituye uno de los principales bioindicadores de la laguna de Papallacta y su estudio contribuye a determinar el estado de salud trófica de este ecosistema acuático, pues la dinámica poblacional de las comunidades zooplanctónicas responde rápidamente a los cambios que se producen en su entorno.

El principal enfoque del presente trabajo es el estudio de los factores bióticos y abióticos que regulan la dinámica y estructura de las comunidades naturales en la laguna de Papallacta.

1.1.-Antecedentes

Los estudios de limnología en el Ecuador datan de 1976, siendo la laguna de Papallacta uno de los lugares donde se realizó un estudio (Steinitz-Kannan, 1979), luego, en 1983, el mismo autor hace un trabajo sobre la química y biología del lago San Pablo. Más tarde, en 1998 en este mismo lago se realiza un estudio mucho más profundizado sobre la dinámica de la biota frente a las variaciones abióticas ambientales (Casallas y Gunkel, 2001). En estos estudios se realizó un reconocimiento general de especies, así como del comportamiento de las dinámicas poblacionales ante variables ambientales, estacionalidad y altitud. Estos trabajos constituyen una línea base histórica para el Ecuador, a utilizar en auditorías ambientales y monitoreos biológicos en el país.

En la madrugada del 8 de abril del 2003 se produjo la ruptura de la tubería del Sistema de Oleoducto Trans-Ecuatoriano (SOTE) en el km 197.00 + 181.00 m (N9959600 y E812830), sobre el río Sucus N° 2 sector Jamanco, aproximadamente a 4 km de la Laguna de Papallacta, área de influencia del Parque Nacional Cayambe-Coca, en una zona de laderas y pendientes pronunciadas. Un volumen de 25000 barriles de petróleo contaminó los ríos Sucus y Tambo y la laguna de Papallacta (Estupiñán, 2006). Este desastre afectó a los componentes de flora, fauna, paisaje del sector y de manera especial a los recursos hídricos y como consecuencia terminaron afectadas las comunidades Tambo, Jamanco, y en menor proporción, la de Papallacta. Este derrame obligó a la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, EMAAP-Q, a cerrar de manera inmediata el abastecimiento de agua de la laguna de Papallacta y en su reemplazo utilizar las aguas de la Presa Salve Facha, que por gravedad alimentan al sistema Papallacta (Weemaels, 2003) para abastecer el consumo de la ciudad de Quito.

En el 2005 se realizó un estudio de las abundancias y la diversidad de cladóceros y copépodos en lagunas de altura en el páramo (Torres y Rylander, 2006), que muestra una relación sorprendente de los factores biológicos y los factores abióticos. Han pasado ocho años desde lo ocurrido en Papallacta y no existe la seguridad de que los ecosistemas acuáticos se encuentren en buen estado de salud ecológica y por lo tanto que el agua no sea apta para el consumo humano o animal. El informe final realizado por Terneus *et al.*, (2011), sugiere que se deben hacer monitoreos por los menos cuatro veces al año con la finalidad de contar con

parámetros sólidos que permitan entender la dinámica de estos ecosistemas tan complejos en su funcionamiento.

1.2.- Planteamiento del problema

Los recursos hídricos siempre han sido una prioridad para Quito debido a la gran demanda por el crecimiento demográfico de la ciudad. Las consecuencias del derrame petrolero de 2003 incluyeron la alteración significativa de una fuente de agua “saludable” para el abastecimiento de agua para Quito, la pérdida de la calidad ambiental, afectación de la economía local y recurso paisajístico por el deterioro del ecosistema (Estupiñán, 2006).

Los diferentes hidrocarburos en el petróleo causaron una pérdida biológica cuantiosa en el área de quebradas ríos y la laguna de Papallacta, debido a esto, los organismos planctónicos fueron afectados directamente por el contaminante, siendo el fitoplancton el más perjudicado (Conde-Porcuna, 2004). Los químicos que contiene el petróleo pueden ser absorbidos por el zooplancton, que por estar en la mitad de la cadena trófica, pueden transmitir el contaminante hasta organismos superiores incluyendo al ser humano.

1.3.- Justificación

Los ecosistemas acuáticos no son simplemente cuerpos aislados que funcionan independientemente, sino que están interrelacionados entre sí y con el

ambiente terrestre. También están conectados y proporcionan vías importantes de migración para los organismos. Hay un importante cambio, un reconocimiento que crece día a día, de que los ecosistemas de agua dulce funcionalmente intactos y biológicamente complejos proveen mucha materia prima de valor económico y muchos servicios a la sociedad (Baron *et al.*, 2003). Los beneficios que brindan los ecosistemas son costosos y a menudo irremplazables, cuando los sistemas dulceacuícolas son afectados con desastres como el de Papallacta en el 2003, podría generar consecuencias de incalculable valor, constituyendo una gran pérdida para la sociedad y el ambiente.

La contaminación acuática, puede incluir la incorporación de elementos o compuestos extraños a los cuerpos de agua, los cuales pueden constituir un riesgo a la calidad de vida de la población, deterioro o alteración de su equilibrio natural (Langston, 1990). En otras partes del mundo, varias investigaciones se han realizado en esta dirección. Las razones para ello son que el zooplancton tiene una amplia geodistribución, es relativamente fácil de identificar, sobre todo cuando la sensibilidad de la comunidad y el tiempo de la generación de zooplancton puede ser lo suficientemente corto para responder rápidamente al estrés agudo, pero suficiente como para integrar los efectos de los problemas crónicos (Imoobe y Adeyinka, 2009). La importancia de este estudio se fundamenta en determinar el estado de salud ecológico de un cuerpo de agua a través del análisis de la estructura y composición de las comunidades zooplanctónicas de la laguna de Papallacta, la relación que tiene entre sí, y las fluctuaciones físico-químicas de agua.

1.4.- Objetivos

1.4.1.- Objetivo General

Determinar a través de bioindicadores el estado de salud ecológica que tiene la laguna de Papallacta y demostrar si el sistema lacustre está en las condiciones deseadas para su uso tanto agropecuario como para consumo animal y humano.

1.4.2.- Objetivos Específicos

- Determinar si las comunidades zooplanctónicas de la laguna de Papallacta fueron modificadas por la contaminación de la fuente hídrica, ocasionada por hidrocarburos.
- Analizar el efecto de los hidrocarburos en la distribución zooplanctónica.
- Sectorizar los lugares donde la concentración de zooplancton indique más impacto, usando la relación que tiene con los parámetros físico-químicos de agua.
- Determinar si la presencia de metales pesados y variaciones climáticas tienen relación con las abundancias y riquezas de los grupos zooplanctónicos.

CAPITULO II MARCO TEORICO

2.1.- Limnología – Historia

La limnología es la rama de la ecología que estudia los ecosistemas acuáticos continentales (lagos, lagunas, ríos, charcas, marismas y estuarios), las interacciones entre los organismos acuáticos y su ambiente, que determinan su distribución y abundancia en dichos ecosistemas (Whitman *et al.*, 2002).

La limnología no fue considerada como ciencia hasta la publicación de Charles Darwin *El origen de las especies* a mediados del siglo XIX. En la limnología moderna pueden reconocerse dos escuelas (Chang, 2006).

2.1.1.- Escuela Europea

- Su primera figura importante fue el austríaco Francois Forel (1841-1912), considerado el padre de la limnología moderna, sus estudios son específicos del lago Lemán (Suiza). Toma como consideración que esta ciencia involucra diferentes disciplinas. En 1892 publica su primer estudio sobre la geología del lago Lemán (características físico-químicas), y en 1904 sobre los organismos que habitan en el lago (Chang, 2006).

- Einar Maumann (1891-1974) estudió los lagos oligotróficos de Suecia que son lagos muy profundos, pobres en nutrientes, aguas frías, muy bajo desarrollo del fitoplancton y aguas muy transparentes (Chang, 2006).
- August Thienemann (1882-1960), alemán, estudió los lagos mesotróficos y eutróficos de Europa Central. Menos profundos y más cálidos, con más nutrientes. Esa diferencia entre lagos oligotróficos del norte y lagos mesotróficos del sur lleva a la limnología regional. Actualmente ya no tiene sentido, debido a las alteraciones de los ecosistemas naturales que reciben gran cantidad de nutrientes y se transforman en eutróficos independientemente de su origen, siendo un problema muy grave que afecta a todo el mundo (Chang, 2006).
- En 1922 se funda la Sociedad Internacional de Limnología. A partir de esta fecha se celebran congresos anuales (Chang, 2006).
- En el año 1950 Ramón Margalef (España) (especialista en ecología, limnología y oceanografía) estudia ecología acuática en general. Con Margalef surgen muchos discípulos, estudiantes de la Universidad de Barcelona (Chang, 2006).

2.1.2.- Escuela Americana

- El naturalista Stephen Forbes (1844-1930) se encantó por los lagos, maravillado por la relación funcional que representaban. Publicó el libro el “Lago como un Microcosmos”, donde describe al lago como una unidad

sistémica en equilibrio dinámico condicionado por los intereses de cada organismo de ocupar un lugar en el lago (Chang, 2006).

- Chance Juday estudió los lagos de Wisconsin y el lago Mendota. Una de las conclusiones alcanzadas es que existe un equilibrio dinámico basado en que la entrada de energía y materiales se equilibra con el gasto y la salida (Chang, 2006).
- George Evelyn Hutchinson fue el responsable de la formación de grandes limnólogos y ecólogos estadounidenses, publica un Tratado de Limnología en cuatro volúmenes centrados sobre todo en los lagos (geología, físico-química y biología) (Chang, 2006).
- Raymond Lindeman se centró en el estudio del lago Cedar Bog (Washington, Estados Unidos) y defendió la teoría de Forbes del equilibrio dinámico (Chang, 2006).

2.2.- Ecosistemas Acuáticos

2.2.1.- Generalidades

Por el simple hecho de que el ser humano no es un organismo acuático, se ha perdido la capacidad de asimilar la estrecha dependencia que se mantiene con los recursos hídricos. Quizá por este hecho evolutivo, con frecuencia olvidamos nuestra estrecha dependencia de los ecosistemas de agua dulce, además también olvidamos que estas fuentes tienden a soportar una presión de carga, cada vez más fuerte por la contaminación que puede repercutir en la salud del ecosistema, llevándolo

directamente a la pérdida total y a su desaparición (Sarmiento *et al.*, 2000). Es muy común que la sociedad concentre toda su atención en la riqueza y variedad de las formas de vida propias de ecosistemas terrestres y en la importancia de su conservación, por lo cual la gente pierde interés en los ecosistemas acuáticos, dándoles un perfil bajo. Desde hace algunos años, se ha visto la necesidad de que las fuentes hídricas se preserven, se mantengan, se cuiden y se atesoren, ya que sin ellas la vida se extinguiría (Velázquez y Martínez, 2002).

La humanidad se ha dado cuenta de lo delicado de la situación actual, los gobiernos cada vez están más preocupados por abastecer de agua potable a sus ciudades, procurando que sea limpia y saludable para su consumo. Pero ha sido en vano; la población se ha dado cuenta que se depende del agua pero a su vez la contamina más de lo que realmente necesita. Este es el caso de Quito, Capital de Ecuador donde uno de los abastecedores de agua pura y limpia es la laguna de La Mica (Figura 1) (Roldán *et al.*, 1981).



Figura 1. Laguna de La Mica. Fotografía de Destino Ecuador

Fuente: <http://destinoecuador.ec/lagunamica.php>

Para la mayoría de las personas, las experiencias que han tenido con la naturaleza de medios acuáticos son poco frecuentes. Incluso durante el recorrido al borde de arroyos y lagunas es probable que la importancia de éstos sea subestimada y la mayoría de las formas de vida acuáticas ignoradas (Roldán *et al.*, 1981). Es muy frecuente que la sociedad se quede admirada de poderosos espectáculos de la naturaleza acuática, pero esta admiración es momentánea y no se llega a un análisis de cómo suceden los procesos ecológicos, se quedan maravillados de lo que pueden ver pero despierta poco interés lo que no pueden ver (Figura 2) (Velázquez y Martínez, 2002).



Figura 2. Asombrados por la majestuosidad de un Oso de anteojos.

Fuente: <http://selvanet20.blogspot.com/2010/10/oso-de-anteojos-tremarctos-ornatus>.

Así, numerosas plantas sumergidas, emergentes y flotantes y animales acuáticos como peces, crustáceos, anfibios y muchísimos invertebrados, pueden pasar inadvertidos debido a sus hábitos poco notorios (Figura 3).

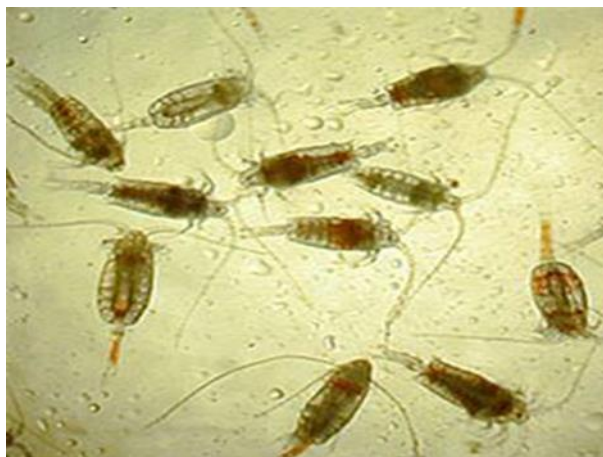


Figura 3. Grupo de Crustáceos de la laguna de Papallacta.

Fuente: M. Cueva 2010

El aspecto de algunos organismos puede resultar poco atractivo para el común de las personas, provocando el desinterés sobre éstas, y de esta manera no se da importancia a organismos que a pesar de no ser atractivos, son importantes porque están relacionados directamente con la salud de los ecosistemas (Figura 4) (Whitman *et al.*, 2002).



Figura 4. Diferencia entre ver y palpar. Laguna de Papallacta.

Fuente: Esteban Terneus, Transición 2011

A pesar del uso cotidiano del agua y de la gran cantidad de publicidad y concientización sobre el uso razonado, como sociedad no conocemos los procesos hidrológicos que se relacionan con el aporte del agua: las fuentes de origen, intermitencia, abundancia o escasez, y sus cualidades químicas y biológicas (Whitman *et al.*, 2002). Usualmente se ignora que las variaciones de las temperaturas en un cuerpo de agua tienen efectos en el meso clima y los microclimas locales. No se relaciona los rasgos físicos de las corrientes con sus características propias y con la dinámica de los suelos asociados directamente con el cauce de un río. Asimismo, los signos y síntomas de deterioro de los ambientes acuáticos y sus posibilidades reales de conservación o restauración, son temas más o menos confusos en el día a día cotidiano de la sociedad (Roldán *et al.*, 1981; Pinilla y Pinilla, 1998).

El conocimiento acerca de ecosistemas como arroyos, ríos, charcas, pantanos, lagos y lagunas entre otros, debe integrarse de manera global a la sociedad para facilitar la confluencia de esfuerzos y la movilización social para la conservación y restauración de estos ecosistemas. La sociedad se ha dado cuenta que los actuales sistemas económicos globalizados están basados esencialmente en el abuso de los recursos naturales para abastecer un consumo inmoderado y muchas veces injustificable, retrasando la atención efectiva del deterioro de los ecosistemas, incluyendo los acuáticos. De cierta manera las sociedades reaccionan con cierta facilidad antes los cambios cuando estos alteran su porvenir; es decir, reaccionan ante la conveniencia, la comodidad, la seguridad y la certeza de tener por ejemplo disponibilidad inmediata del agua y de los numerosos recursos que fluctúan alrededor de ella (Velázquez y Martínez, 2002). La sociedad reacciona de manera

notoria cuando perciben la disminución de bienes y servicios naturales como el agua. Este es un claro ejemplo de lo que podría pasar en el Distrito Metropolitano de la Ciudad de Quito, debido a la contaminación de la laguna de Papallacta (Figura 5), en el año 2003, esto no tuvo un impacto muy fuerte en la sociedad porque existía una fuente de agua alternativa, pero luego de 10 años, directivos de la Empresa Metropolitana de Agua Potable y Alcantarillado están preocupados por el abastecimiento futuro de agua potable para la sociedad quiteña. Ante esto no hay duda que la sociedad reaccionará (Weemaels, 2003).



Figura 5. Laguna de Papallacta cuatro días después del derrame del 2003.

Fuente: <http://www6.rel-uita.org/agricultura/ambiente/fotos/papallacta.jpg>

Con todo lo dicho, es claro que un conocimiento más totalizado acerca de la composición de las especies, de la estructura y de la función de los ecosistemas acuáticos, es una herramienta primordial en el trabajo de conservación y restauración del entorno natural del cual se depende, a esto se debe añadir ciencias básicas y disciplinas, como la economía, la educación y una actitud responsable en la política. Se tendrá que recorrer mucho camino para lograr revertir los daños causados y tomar conciencia en la degradación ambiental que está alcanzado niveles alarmantes

(Whitman *et al.*, 2002). El conocimiento más profundo acerca de los ecosistemas acuáticos ayuda en la conservación y restauración de los mismos, además sirve como herramienta para que los gobiernos, municipios, entre otros, los protejan y sobre guarden su calidad y cantidad para las futuras generaciones (Velázquez y Martínez, 2002).

2.2.2.- Aguas Continentales

Las aguas continentales pueden tener sus masas en dos condiciones generalmente bien definidas con respecto a su desplazamiento: con visible movimiento horizontal y rápido recambio de líquido, o con movimientos lentos, principalmente con un recambio lento (Velázquez y Martínez, 2002). Los cuerpos de agua que se mueven en una dirección más o menos definida, y en los que el líquido se recambia por el flujo ágil, se denominan lóticos (Figura 6). En comparación, los cuerpos de agua cuyo contenido de líquido solo se mueve básicamente dentro de la depresión del terreno donde se hallan, y lo hace principalmente con movimientos graduales y con un recambio de aguas más o menos limitado, se llaman lénticos (Figura 7).



Figura 6. Cuerpo de agua lótico: Río Tambo, Papallacta.

Fuente: Esteban Terneus. Transición. 2011



Figura 7. Cuerpo de agua léntico: Laguna de Papallacta.

Fuente: http://www.turismoenfotos.com/archivos/temp/3229/400_1243349606_laguna-de-papallacta-ecuador.jpg

Evidentemente, en la naturaleza pueden encontrarse situaciones intermedias entre ambas condiciones, pero la distinción ayuda a comprender mejor la dinámica de los ecosistemas acuáticos epicontinentales. En general, pueden reconocerse distintos tipos de ecosistemas, tanto lóticos como lénticos, lo cual ha motivado el desarrollo de distintos sistemas de clasificación; entre los más difundidos se halla el

creado por Cowardin *et al.* (1979) para los hábitats acuáticos en una parte de Norteamérica, mismo que ha sido la base de muchas variantes (Tabla 1) (Roldán *et al.*, 1981; Pinilla y Pinilla, 1998).

Tabla 1. Sistema de Clasificación de Cowardin (1979) para Los humedales y hábitats de aguas profundas

<i>Sistema</i>	<i>Subsistema</i>	<i>Clases</i>
Riverino	Marea	Fondo Rocoso
		Fondo no Consolidado
		Cama Acuática
		Orilla Rocosa
		Orilla no Consolidada
	Bajo Perenne	Mundo Emergente
		Fondo Rocoso
		Fondo no Consolidado
		Cama Acuática
		Orilla Rocosa
Lacustrino	Perenne Superior	Orilla no Consolidada
		Mundo Emergente
		Fondo Rocoso
		Fondo no Consolidado
		Cama Acuática
	Intermitente	Orilla Rocosa
		Orilla no Consolidada
		Cauce
	Limnetica	Fondo Rocoso
		Fondo no Consolidado
Lacustrino	Litoral	Cama Acuática
		Fondo Rocoso
		Fondo no Consolidado
		Cama Acuática
		Orilla Rocosa
		Orilla no Consolidada
		Mundo Emergente

Fuente: Cowardin *et al.* (1979).

Por la mera tendencia del agua a ocupar las depresiones del terreno, los ecosistemas acuáticos suelen considerarse mejor delimitados de manera natural que los terrestres. Pero al mismo tiempo, el propio volumen de la masa acuática y su movilidad tanto débil como fuerte, imponen limitaciones importantes a factores críticos para la existencia continua de las distintas formas de vida acuática que, si

cambian sensiblemente, pueden alterar de modo permanente el ecosistema (Velázquez y Martínez, 2002).

Entre los factores que confieren al agua sus cualidades están: su densidad y las variaciones de la temperatura, debido a su alto calor específico que es la causa de su lento incremento de temperatura y al mismo tiempo, de su tendencia a enfriarse lentamente. Además el agua muestra una sorprendente capacidad para disolver una gran cantidad de elementos y compuestos químicos, una propiedad de ser solvente casi universal debido a su carácter de molécula bipolar H_2O , con carga positiva hacia el hidrógeno y carga negativa hacia el oxígeno (Figura 8) (Tricart, 1985).

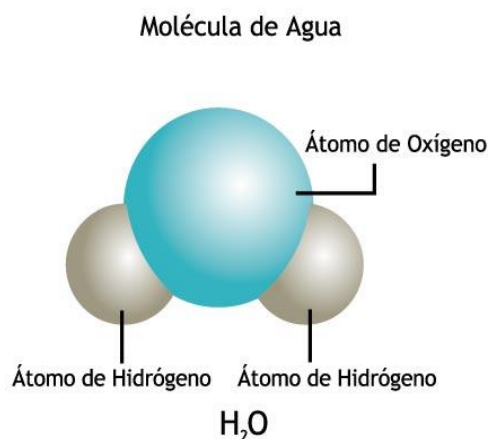


Figura 8. Agua elemento de la vida.

Fuente: Tricart. 1985.

Todo lo anterior es lo que hace del agua un componente y un medio fundamental en el fenómeno de la vida, tanto en el mar como en ríos y lagos. A escalas local, regional, subcontinental y continental, existen muchas posibilidades de estructuración y funcionamiento de los ecosistemas acuáticos. El tamaño, el movimiento, la evaporación, la oxigenación, la presencia de distintas combinaciones

de solutos, el tipo de sedimentos presentes y su tasa de depósito, la temperatura del líquido, son factores que proporcionan en menor o mayor medida, las características de cada entorno acuático (Tricart, 1985).

Un ejemplo simplificado al extremo puede ser la organización que muestra un lago, en función de su profundidad y de si localmente los patrones de circulación de agua diarios o estacionales son simples o complejos, como ocurre en áreas templadas, donde las variaciones estacionales de temperatura generan capas térmicas más o menos definidas (epilimnion, metalimnion e hipolimnion), de la superficie al fondo (Figura 9).

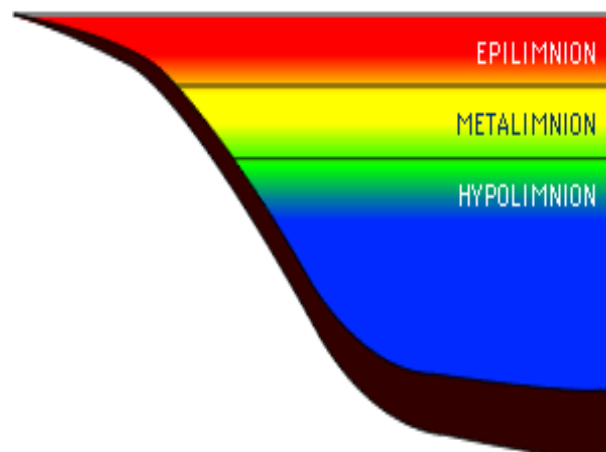


Figura 9. Estratificación térmica de Lagunas y Lagos en Zonas Calientes.

Fuente: The thermocline: a summer phenomenon in Michigan in land lakes:
http://msue.anr.msu.edu/news/the_thermocline_a_summer_phenomenon_in_michigan_inland_lakes

La interacción entre esos factores abióticos determina un cierto arreglo de variables que a su vez condicionan interacciones más complejas; algunas especies son transportadas por el viento, unas son microscópicas y otras macroscópicas; algunas vegetales, otras animales y otras más fúngicas; unas autóctonas y hasta micro

endémicas, otras incluso aloctonas (es decir exóticas, especies ajenas al sitio, a la región o al país, introducidas ya sea accidental o deliberadamente), y otras de distribución muy amplia a escala regional o mundial (Pinilla y Pinilla, 1998; Patiño, 1998). La coexistencia de gran variedad de factores bióticos y abióticos forma ecosistemas acuáticos peculiares en distintas partes del Planeta. Por supuesto, cada combinación local es única y seguramente irrepetible. Además, cada ecosistema acuático puede existir en un estrecho margen de circunstancias, por ejemplo, si históricamente se ha mantenido con variaciones y ritmos de cambio suaves, esto podría hacerlo altamente vulnerable a cambios de mayor magnitud, especialmente si éstos se produjeran de manera abrupta en el tiempo (tiempos cortos como los de una vida humana). Con estos conceptos generales, puede pasarse a una revisión general de los principales ecosistemas acuáticos en áreas continentales (Tricart, 1985).

2.2.3.- Ecosistemas lóticos (ríos y riachuelos)

Incluyen todas las masas de agua que se mueven continuamente en una misma dirección. Existe por relación un movimiento definido y de avance irreversible (sistema lineal) como en ríos, arroyos y riachuelos, estos ecosistemas tienden a tener una relación entre sí y con lugares de erosión, de transporte y de sedimentación de materiales. En el mundo solo cubren alrededor de 1% de la superficie (Patiño, 1998). La mayoría de los ríos se forman por la excavación del terreno debido a la fuerza de la corriente, es decir que una de sus características principales es la alta actividad cinética causada por la dinámica dependiente del terreno, altitud y la pluviosidad. De acuerdo a las fuentes de agua se pueden

clasificar las corrientes en permanentes o intermitentes, estas últimas por lo general desaparecen por consecuencia del clima (Patiño, 1998). En los ríos se reconocen dos zonas principales: la zona de corrientes o rabiones que generalmente tiene poca profundidad, la velocidad de la corriente es alta, lo cual impide que el fondo tenga depósitos de sedimento y otros materiales, por lo general los organismos se adhieren al sustrato rocoso (Pinilla y Pinilla, 1998; Velázquez y Martínez, 2002). La otra es la zona de remansos o charcos, son más profundas donde la velocidad de la corriente es baja, permitiendo depósitos de sedimentos y sus organismos se entierran en ellos (Figura 10).

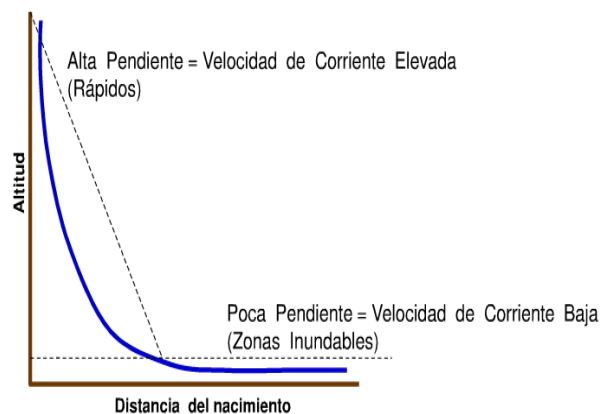


Figura 10. Variaciones de los Ecosistemas Lóticos.

Fuente: Limnology Lecture -- EFB 524: <http://www.esf.edu/efb/schulz/Limnology/Limnology3.html>

2.2.4.- Ecosistemas lénticos (lagunas y lagos)

Comprenden todas las aguas interiores que no presentan una corriente continua; es decir aguas estancadas sin ningún flujo de corriente. A esta categoría pertenecen los lagos, lagunas, ciénegas y embalses (Pinilla y Pinilla, 1998). Los lagos son cuerpos de agua con profundidades considerables, que generalmente se han

formado por movimientos tectónicos o por procesos de deshielo. La forma, tamaño y profundidad de los lagos juegan un papel fundamental en el comportamiento físico, químico y biológico de los mismos. Los fenómenos de estratificación térmica, circulación de nutrientes, productividad están relacionados directamente o indirectamente a la profundidad y tamaño del lago. Las lagunas y ciénagas son cuerpos de agua poco profundos de llanuras o por la acción conjunta entre el mar y los ríos (Pinilla y Pinilla, 1998). Los embalses son construcciones realizadas por el ser humano los cuales cambian las condiciones de un ecosistema lótico a uno léntico, siendo este un cambio ecológicamente radical.

En este tipo de escenarios (lagos, lagunas y embalses) se presenta una zonificación longitudinal donde se encuentra la zona litoral que está conformada por áreas periféricas, es una zona poco profunda, cubierta por vegetación acuática enraizada, es la zona que presenta mayor cantidad de hábitat y mayor productividad, pero también es la que presenta mayores cambios en temperatura y está sometida a la erosión a causa del oleaje (Velázquez y Martínez, 2002).

La zona sublitoral, es la zona continua a la litoral donde las condiciones descritas en la zona litoral comienzan a descender debido a que comienza a profundizarse el lago. La zona pelágica o limnética también conocida como aguas abiertas, en esta región las zonas litoral y profunda tiene poca influencia, aquí se localiza el plancton y muchos más organismos que flotan libremente en el cuerpo de agua (Figura 11).

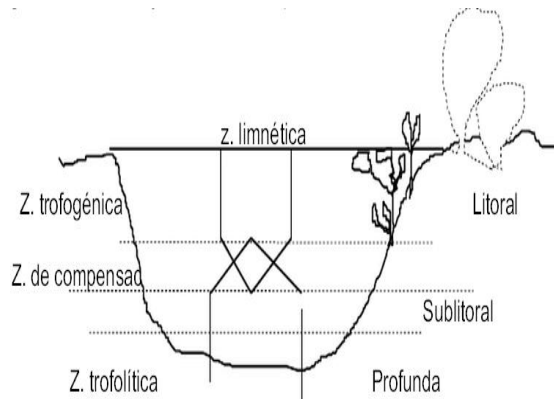


Figura 11. Zonificación longitudinal y Zonificación lumínica de lagos.

Fuente: Organisms and the Environment; tutorvista.com.

Podemos zonificar a nivel penetración de luminosidad de la siguiente manera: Zona trofогénica se le denomina así a la parte superior de la zona limnética, debido a que es la zona donde se realiza la fotosíntesis, es decir donde penetra la luz solar y se produce oxígeno. En este lugar se mantendrá la mayor productividad de cuerpo de agua. La zona trofolítica está ubicada debajo de la zona trofогénica y en ella predominan los fenómenos de respiración y oxidación de la materia orgánica. Entre estas se encuentra la zona de compensación donde la actividad fotosintética comienza a disminuir y la actividad respiratoria comienza a aumentar (Velásquez y Martínez, 2002; Pinilla y Pinilla, 1998).

2.3.- Fauna de la zona de Papallacta

2.3.1. Invertebrados

En Papallacta así como en el resto de páramos se pueden encontrar varios invertebrados, predominando dípteros, coleópteros, lepidópteros y ortópteros, siendo los más comunes en aguas altas los chironominae (Fossati y Rosero, 2007).

2.3.2. Anfibios y Reptiles

Se pueden observar ranas del género *Telmatobius* y de manera más común ranas marsupiales (*Gastrotheca riobambae*). También se puede observar sapos de la especie *Eleutherodactylus whymperi*. Los reptiles se encuentran representados por lagartijas (*Stenocercus guentheri*) (Mena-Vásconez, 2005).

2.3.3. Aves

Las aves más comunes que se observan en la zona de Papallacta son: Caracara (*Phalcoboenus carunculatus*), pato (*Anas flavirostris*), becasina nortea (*Gallinago gallinago*), frigilillo plumoso (*Phrygilus unicolor*), mirlo (*Turdus fuscater*), zumbador (*Gallinago* sp.) y el condor (*Vultur gryphus*) (Ochoa et al., 1999).

2.3.4. Mamíferos

En la zona de Papallacta los mamíferos que se pueden observar son: conejo silvestre (*Sylvilagus brasiliensis*), lobo de páramo (*Pseudalopex culpaeus*), oso de anteojos (*Tremarctos ornatus*), venado de cola blanca (*Odocoileus virginianus*),

danta de montaña (*Tapirus pinchaque*), sachacuy (*Agouti tacksanowski*) y puma (*Puma concolor*) (Ochoa *et al.*, 1999).

2.3.5.- Peces de cuerpos de agua alto andino

Los riachuelos, arroyos, estanques y lagunas de los subpáramos poseen una fauna de peces poco diversa que puede llegar esporádicamente a altitudes parameras. Se han introducido truchas en muchos riachuelos y lagunas de los páramos. Las truchas son de las especies *Salmo trutta* y *S. gairdnerii*. Posiblemente la preñadilla (*Astroblepus longifilis*) llega esporádicamente a altitudes parameras pero los datos no son definitivos al igual que *Grundulus bogotensis* (Barriga y Terneus, 2005).

2.4.- Dinámica de Lagunas Tropicales

En los cuerpos de aguas lénticos de las regiones tropicales la temperatura varía muy poco a lo largo del año, pero sí cambia con la altitud en la que se encuentra el lago, por lo cual se habla de lagos de aguas cálidas y de aguas frías (Mejía, 2007).

2.4.1.- Lagunas Tropicales Cálidas

La dinámica hídrica de las lagunas tropicales oligomícticas radica en la temperatura del agua superficial donde oscila entre 20° - 30° C, manteniéndose casi constante durante todo el año (Mejía, 2007). El gradiente térmico es débil, y se producen por consiguiente cambios poco notorios (Roldán, 1992). La circulación vertical es irregular y rara vez es total. Es decir que las lagunas mantienen una temperatura casi constante en toda la columna de agua y con la ayuda del viento pasan mezclándose la mayor parte de tiempo (Figura 12).

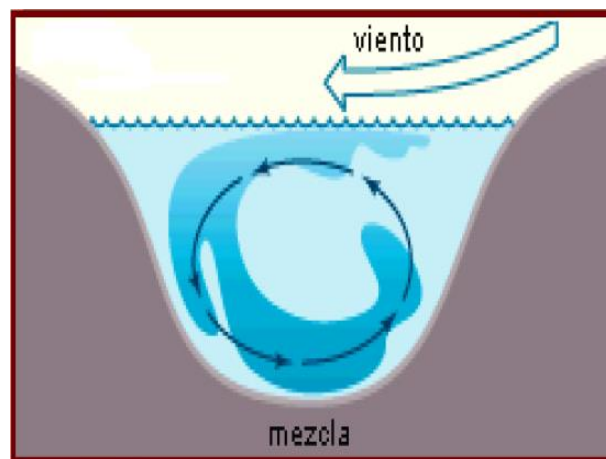


Figura 12. Mezcla del agua que ocurre durante todo el día con la ayuda del viento en lagunas tropicales cálidas.

Fuente: Ecología de las Aguas Dulces: <http://www.jmarcano.com/nociones/fresh3.htm>

2.4.2.- Laguna Tropical Fría

Las dos características más notables de las regiones tropicales frías son: una ligera variación de la temperatura atmosférica que se produce durante todo el año y los cambios estacionales en latitudes medias y altas que no se producen aquí (Casallas y Gunkel, 2001).

Sin embargo, marcadas diferencias se producen dentro de las temperaturas diarias. La altitud sobre el nivel del mar (msnm) también influye en este fenómeno. De hecho, a grandes altitudes en los trópicos, las heladas nocturnas pueden aparecer casi todas las noches durante todo el año, mientras que las temperaturas diurnas pueden ser muy calientes (Casallas y Gunkel, 2001).

Los Lagos Tropicales de alta montaña se encuentran entre 2000 y 4000 metros sobre el nivel del mar, el Lago Titicaca es uno de los más conocidos. Algunas de las características de estos lagos son el aislamiento geográfico, la temperatura del agua más baja de 20 ° C y los bajos valores de saturación de oxígeno (<7 mg /l). Debido a su origen tectónico, glaciar o volcánico, por lo general son menores que los lagos de tierras bajas. Debido a la altitud y las condiciones climáticas, la dinámica de lagos y embalses a gran altura son diferentes a las de los sistemas acuáticos en altitudes más bajas (Casallas y Gunkel, 2001; Roldán, 1992).

Todas estas circunstancias determinan que la circulación y los patrones de mezcla en los lagos tropicales fríos y los embalses, no necesariamente sigan un ritmo anual como en las regiones templadas, pero en su lugar la mezcla de aguas en los sistemas acuáticos tropicales fríos depende de las variaciones de temperatura entre el día y la noche (Casallas y Gunkel, 2001; Roldán, 1992).

Algunas investigaciones han contribuido a la comprensión de los patrones térmicos de lagos de alta montaña en el trópico. Estos sistemas acuáticos se clasifican por lo general como oligomícticos con circulaciones frecuentes y sin formación de estratificación. Por esta razón, han sido llamados polimícticos. La

estratificación térmica de los cuerpos de agua a gran altura, no ocurre en absoluto, es bastante inestable, de corta duración y sin la formación de la termoclina, el uso de los términos del epilimnion, hipolimnion y metalimnion no es completamente correcto desde el punto de vista biológico cuando se aplica a estos lagos. En otras palabras, en algunos lagos tropicales la zona epilímnica no corresponde a la zona trofogénica, como es en los lagos templados. En consecuencia, para los lagos de montaña, es más conveniente definir dos regiones de agua: una zona fótica o trofogénica en las capas superficiales, y una zona afótica o trofolítica en otras más profundas (Figura 13) (Roldán, 1992).

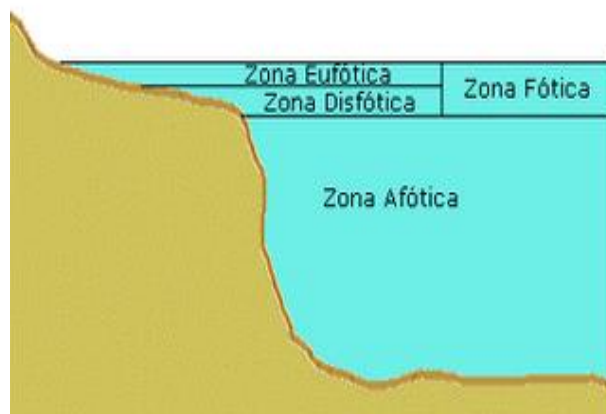


Figura 13. Las dos zonas en una Laguna Tropical Fría.

Fuente: Lagos: <http://www.ucm.es/info/ecologia/Descriptiva/Rios1/Rios1.htm>

2.5.- Zooplancton en Sistemas Acuáticos

Las fluctuaciones temporales en la biomasa del zooplancton no responden a fenómenos aislados, sino que van ligadas a estructuras de naturaleza trófica e hidrodinámica. De la relación de todos estos parámetros se puede comprender mejor la dinámica del ecosistema y aquellos factores que tienen mayor influencia sobre el

equilibrio y estabilidad del área. La mayoría de cuencas con masas de agua dulce son jóvenes (Tricart, 1985). El tiempo de permanencia de las lagunas es variable y lo hace desde pocas semanas o meses en el caso de las pequeñas lagunas estacionales a varios cientos de años las mayores. Aunque unos pocos lagos sean antiguos, la mayoría datan del pleistoceno, y se espera que los ecosistemas de aguas continentales varíen con el tiempo de forma inversamente proporcional a su tamaño y profundidad. La discontinuidad geográfica favorecería la especiación si estuviesen más aislados en el tiempo (Tricart, 1985) (Arriaga *et al.*, 2002).

Los cuerpos de agua lenticos tienen distinta zonación y estratificación, se distingue la zona litoral con vegetación enraizada a lo largo de la orilla, zona limnética de aguas abiertas dominadas por el plancton y una zona profunda dominada por heterótrofos. Estas zonas equivalen a las del mar. En las regiones templadas los lagos están térmicamente estratificados con una parte superior más cálida (epilimnión) que se aísla del hipolimnión (parte más inferior y fría), están separados por la termoclina que impide el intercambio de materiales (Arriaga *et al.*, 2002). En los climas cálidos se produce una vez al año, y la producción primaria depende de varios factores:

Naturaleza química de la cuenca

Tipo de entradas desde tierra o afluentes

Profundidad

Los lagos someros son más fértiles por lo que la producción de peces suele ser inversamente proporcional a la profundidad. Los lagos se clasifican en

oligotróficos con poca comida y eutróficos con mucha comida (Tricart, 1985) (Arriaga *et al.*, 2002).

El fenómeno conocido como eutrofización cultural o artificial se produce por el aporte de fertilizantes inorgánicos que aumentan las tasas de producción primaria, cambian la composición de la comunidad acuática con lo que los peces aptos para la pesca pueden desaparecer, el crecimiento de las algas puede llegar a ser tan elevado que interfiere en las actividades de natación, deportes náuticos y pesca, además de darle al agua un sabor desagradable (Tricart, 1985). Un lago biológicamente pobre es preferible a otro fértil desde el punto de vista del recreo y del consumo.

2.5.1.- Principales Grupos Dulceacuícolas de Zooplancton

2.5.1.1.- Cladóceras



Figura 14. Cladóceros observados en laguna de Papallacta.

Fuente: M. Cueva. 2010.

Biología

El cuerpo de los cladóceros se halla parcial o totalmente cubierto por un caparazón, sin articulación dorsal en todas las familias, por su transparencia permite ver la coloración de la hemoglobina o las gotas de aceite del mixocel, así como la acumulación de carotenos rojos y reservas azules (Ramírez, 1981).

En comparación con las nueve especies marinas, los cladóceros dulce acuícolas ascienden a unas 400 especies, muchas de éstas con variaciones de subespecies y cuya clasificación es muy difícil. Los caracteres específicos más seguros son los exopoditos de la patas (Ramírez, 1981). El número, la longitud y disposición de dichas cerdas constituyen caracteres muy estables. La consideración de otros caracteres ligados a razones circunstanciales como la edad, procedencia geográfica, forma temporal etc. de los especímenes llevó primitivamente a la creación errónea de nuevos tipos. Muchos autores han señalado la existencia de cambios intraespecíficos a través de diferentes áreas geográficas, tales como tamaño, forma, número de huevos, o grado de corpulencia, afinamiento del útero, número de embriones (Brancelj *et al.*, 1996).

Alimentación

La alimentación puede basarse en la filtración indiscriminada de organismos suspendidos o en la captura selectiva de presas. Pueden filtrar partículas inferiores a 10 micrones de diámetro, lo cual asegura una alta eficiencia de filtración, acorde con su alta tasa metabólica (Ramírez, 1981). El grado de trituración que el alimento sufre previamente a su ingreso al estómago hace imposible establecer su composición. Pero autores han visto partes que se han incrustado en el labrum y la boca: resto de dinoflagelados, diatomeas y huevos de copépodos (Bueno *et al.*, 2005).

Reproducción

Los cladóceros poseen reproducción partenogénica y gametogénica. En el primer caso hay una intensa producción de hembras cuyas generaciones se suceden por viviparidad y, generalmente, con intenso ritmo (Ramírez, 1981) (Brancelj *et al.*, 1996). En determinado momento, y siempre mediante partenogénesis, las hembras producen crías de ambos sexos, la fecundación de éstas da por resultado hembras con huevos de resistencia que descienden al fondo de la fuente hídrica, donde permanecen hasta que las condiciones se tornan favorables para la iniciación de una nueva etapa partenogénica (Brancelj *et al.*, 1996).

Asexual

Los huevos maduran en la cámara incubatriz, alimentados por su propia reserva o mediante el aporte de células glandulares que se hallan en las paredes de la bolsa (Figura 15).

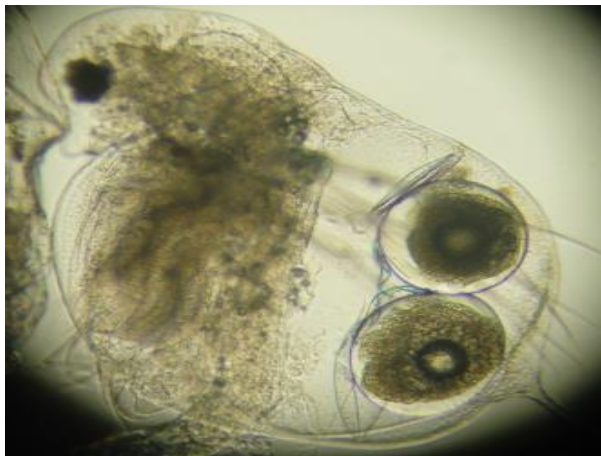


Figura 15. Los huevos maduran en la cámara incubatriz. Individuo colectado en laguna de Papallacta.

Fuente: M. Cueva 2010

Por acumulación y aumento del tamaño de huevos y embriones, la cámara de cría es presionada alterando la forma de la parte abdominal del caparazón (Ramírez, 1981). Al alcanzar cierta etapa de madurez, los embriones presentan evidencia de fertilidad como pigmentación ocular (Figura 16).



Figura 16. Aumento de tamaño del embrión en la cámara de cría, se señala la pigmentación ocular. Individuo Colectado en la laguna de Papallacta.

Fuente: M. Cueva 2010

Sexual

El paso a esta forma va precedido por una etapa depresiva de la hembra, es decir una reducción del número de embriones. Aunque no se sabe que procesos metabólicos actúan, se señala que son condiciones de temperatura y de disponibilidad de alimento entre otros. La ruptura de dicho equilibrio al final de período de lluvias, inducirá a la producción de machos y huevos fecundados que son de mayor tamaño que los partenogénicos, presentan paredes más gruesas y abundantes férulas en el vitelo (Figura 17) (Brancelj *et al.*, 1996).

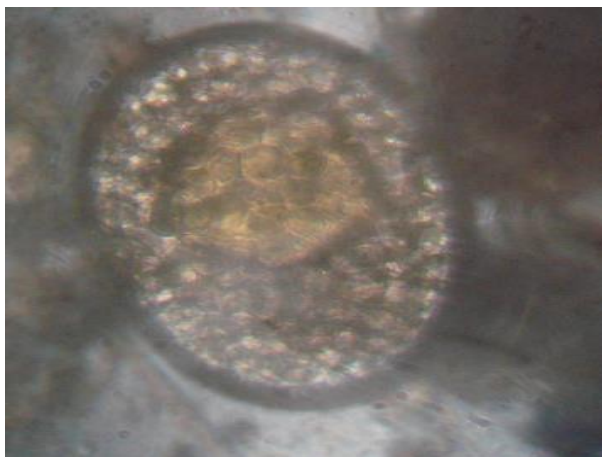


Figura 17. Huevo de cladócero de mayor tamaño, paredes más gruesas. Colectado en laguna de Papallacta.

Fuente: M. Cueva 2010

2.5.1.2.- Copépoda



Figura 18. Copépodo observado en las antenas de Papallacta.

Fuente: M. Cueva. 2011.

Biología

Es el mayor grupo de pequeños crustáceos ya que incluye unas 8500 especies, la mayoría marinas, aunque algunas son dulce acuícolas (Bahamonde y Ruiz, 2003) (Wetzel, 1981). Son generalmente planctónicas, representado un eslabón de gran importancia en las cadenas tróficas ya que son la base de la alimentación de larvas y juveniles de peces, han sido bastante estudiadas como reguladores de las poblaciones de fitoplancton (Bahamonde y Ruiz, 2003).

Son de pequeño tamaño, generalmente entre 1 micra y algo más de 5 mm, aunque algunas especies pueden llegar a medir 2 cm y otras parásitas de 32 cm. (Wetzel, 1981). Su color suele ser transparente aunque abundan las formas rojas, anaranjadas y azuladas siempre dependiendo de la relación que existe entre el sustrato y los factores químicos del agua (Figura 19) (Bahamonde y Ruiz, 2003).



Figura 19. Cyclopoido. Color anaranjado por la hemoglobina. Observado en las antenas Papallacta.

Fuente: M. Cueva. 2011.

Su cuerpo es alargado, casi cilíndrico, más ancho en la parte delantera. La cabeza, cuyo extremo suele ser redondeado, tiene un ojo bien visible y dos antenas primarias largas y perpendiculares al cuerpo (Wetzel, 1981). El tórax está formado por seis segmentos y la cabeza se encuentra fusionada al primero y a veces también al segundo, el primer par de apéndices funcionan como maxilípedo y los restantes se emplean para la locomoción. El abdomen formado por cinco segmentos más estrechos que los torácicos, carecen de apéndices excepto las ramas caudales que forman el telson final (Figura 20) (Bahamonde y Ruiz, 2003).



Figura 20. Copépodo de la laguna de Papallacta se observa la segmentación abdominal.

Fuente: M. Cueva 2011.

Alimentación

La alimentación de los copépodos es muy variada, las especies planctónicas se alimentan de fitoplancton, el cual constituye el principal elemento en su dieta (Conde-Porcuna *et al.*, 2004). No realizan una selección del alimento mediante cribado ya que seleccionan en primer lugar las presas más grandes al ser más fáciles

de manipular usando las antenas y los apéndices de la sección torácica (Conde-Porcuna *et al.*, 2004).

Reproducción

Su reproducción se caracteriza por la presencia de espermatóforos, unas pequeñas bolsas cargadas de esperma producidas en el tracto final del espermiducto, éstas son transferidas a la hembra durante la cópula y se adhieren al receptáculo seminal de la misma mediante una sustancia pegajosa. Los huevos producidos se pueden liberar al agua, pero es frecuente también su incubación en un ovisaco originado por secreciones del oviducto al liberar los huevos, estos ovisacos permanecen unidos al segmento genital de la hembra, ya sea un saco o dos (Figura 21). Cada uno lleva alrededor de 50 huevos que eclosionan como una larva nauplio y tras varias mudas que pueden tardar hasta un año para convertirse en adultos. En épocas desfavorables forman huevos de resistencia se envuelven en una cubierta dura para pasar ese tiempo en estado de latencia (Bahamonde y Ruiz, 2003).

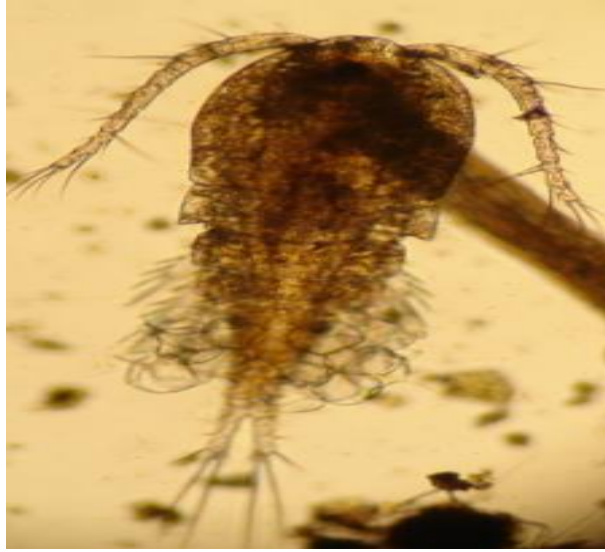


Figura 21. Hembra, huevos en la parte caudal, huevos en ovisacos. Colectado en la laguna de Papallacta.

Fuente: M. Cueva 2011.

2.5.1.3.- Rotíferos



Figura 22. Rotífero observado en la laguna de Papallacta.

Fuente: M. Cueva. 2010.

Biología

El Phylum Rotífera es un grupo de invertebrados microscópicos, pseudocelomados, no segmentados y de simetría bilateral que viven en ambientes acuáticos o semi-acuáticos.

El número actual de especies de rotíferos es de 2030, el grupo de mayor número de especies es Monogononta (1570 especies), seguido por Bdelloidea (461 especies) y finalmente Seisonacea (3 especies) (Figura 22) (Wallace *et al.*, 2006).



Figura 23. Rotífero, se observa que no tiene segmentación. Individuo colectado en la laguna de Papallacta.

Fuente: M. Cueva 2011

Alimentación

Los rotíferos se alimentan básicamente de materia orgánica en suspensión para lo cual se ayudan de la corona de cilios, que forman un remolino para absorber el material orgánico (Escalante *et al.*, 2000).

Reproducción

Los rotíferos se caracterizan por tener las tasas reproductivas más altas entre los metazoarios y son capaces de poblar rápidamente nichos vacantes, llegando a integrar hasta el 30% de la biomasa del plancton. El éxito ecológico de los rotíferos se debe en gran parte, a su adaptación reproductiva. Su reproducción puede ser tanto sexual como por partenogénesis, a este ciclo de vida se le conoce como partenogenética cíclica y depende de las condiciones ambientales y alimenticias (Escalante *et al.*, 2000).

Asexual

En la naturaleza la fase de vida partenogenética es la que predomina.

Sexual

La fase sexual implica la aparición de machos y por un período breve (Romero, 2008), la reproducción sexual ocurre en respuesta a ciertas condiciones ambientales (como temperatura y salinidad), también debido al incremento en la población y a cambios en la cantidad y calidad de alimento (Escalante *et al.*, 2000). Los machos no soportan niveles bajos de oxígeno disuelto, ni aguas con niveles medios o altos de DBO. Su presencia en los sistemas de tratamiento es un indicador de un buen nivel de tratamiento y de un contenido alto de oxígeno disuelto (Escalante *et al.*, 2000).

2.6.- Contaminación de lagos y lagunas por metales pesados

2.6.1.- Metal Pesado

Entre los conceptos básicos que definen la contaminación acuática, se cita la incorporación de elementos o compuesto extraños a los cuerpos de agua, los cuales pueden constituir un riesgo a la calidad de vida de la población, deterioro o alteración de su equilibrio natural. A esto se le debe agregar la carga natural de contaminantes, la cual siempre está presente y es originada por restos de animales, vegetales, minerales y sustancias que se disuelven en el cuerpo de agua.

Entre los contaminantes del derrame de petróleo están los metales pesados que son elementos químicos que poseen un peso atómico comprendido entre 63.55 (Cu) y 200.59 (Hg) y un peso específico de 4 (g/cm³). Se caracterizan por ser potencialmente dañinos para los organismos en concentraciones elevadas debido a que tienen efectos tóxicos en la biota, por lo cual sus efectos se pueden manifestar en una variada gama de consecuencias, que pueden afectar el crecimiento, morfología, comportamiento reproducción y reclutamiento, así como en procesos fisiológicos relacionados a las características de los fluidos y circulación, etc. Entre los animales que son considerados bioacumuladores de metales destacan las especies filtradoras y organismos plantónicos, los que están expuestos a los metales pesados disueltos en el agua o asociados a material particulado, por lo cual según Wang y Yu (2002) el

zooplancton juega un rol importante en todos los ciclos biogeoquímicos de elementos metálicos en ambientes acuáticos y marinos.

Es por esto que el análisis del componente zooplanctónico es elemental para investigar la captación y transferencia de sustancias a lo largo de una cadena trófica, además estos organismos, son considerados como bioindicadores cualitativos del agua, los cuales mediante la absorción directa y alimentación filtradora pueden incorporar y acumular rápidamente metales pesados en su cuerpo.

Dentro de los organismos que conforman el zooplancton de aguas continentales se destaca el grupo cladóceros, estos representan al grupo de micro filtradores más abundantes del zooplancton en los sistemas limnéticos. En este contexto, los cladóceros representan el 80% de los herbívoros que ocupan dichos sistemas acuáticos. Por otra parte las pruebas ecotoxicológicas a *Daphnia pulex* o *Daphnia magna* han demostrado que su principal fuente de alimento es el material particulado que está suspendido en el agua, por lo que se los conoce como bioindicadores en los ecosistemas de agua dulce.

2.6.2.- Contaminación con metales pesados

Se ha hablado sobre los ecosistemas y las interacciones de la biota particularmente hablando sobre zooplancton, ahora se hablará un poco sobre la

contaminación de los cuerpos de agua dulce, problema que se agudiza continuamente (Gagneten, 2008). El agua dulce es vital para la vida humana y el bienestar económico, la sociedad extrae grandes cantidades de agua de los ríos, lagos humedales y acuíferos subterráneos para abastecer los requerimientos de las ciudades, el campo y la industria.

La necesidad de agua dulce ha hecho que se pase por alto mantenerlos en buenas condiciones para uso de las siguientes generaciones (Baron *et al.*, 2003), no prever desastres como lo que ocurrió con la ruptura del Sistema de Oleoducto Trans-Ecuatoriano (SOTE), que provocó la contaminación de la fuente hídrica con hidrocarburos.

Los efectos de los derrames de petróleo en los cuerpos de agua dulce varían de acuerdo al flujo de agua y a las características específicas de los hábitats. La laguna de Papallacta tuvo un impacto catastrófico, más que sus afluentes debido a que son aguas con poco movimiento y la contaminación petrolera tiende a empozarse y permanecer en el ambiente por mucho tiempo (Bravo, 2007).

En el informe presentado en el año 2000 por World Resource Institute (WRI) se ha catalogado bajo la categoría de “mala” la condición en que se presentaba la biodiversidad de los ecosistemas dulce acuícolas al compararlas con el estado que presentaban 20 o 30 años atrás. El WRI estableció el rango de categorías “creciente, variables, decreciente o desconocido” para caracterizar los cuerpos de agua

continental (Gagneten, 2008). En las últimas décadas ha incrementado el conocimiento sobre el nivel de metales pesados en ecosistemas acuáticos siendo estos un gran problema para la salud humana, estos impactos sobre una fuente hídrica pueden ser causados por actividades industriales y por el desarrollo urbano. El contenido de metales pesados en el petróleo es alto (Bravo, 2007), por lo cual se han desarrollado métodos analíticos capaces de detectar niveles muy bajos de metales pesados en aguas naturales que aunque bajos, pueden ser muy negativos tanto para la biota acuática como para la salud humana (Gagneten, 2008), ya que los metales son contaminantes estables y persistentes no pueden ser destruidos. Por lo tanto, tienden a acumularse en los suelos y sedimentos. A bajas concentraciones actúan como micronutrientes pero son tóxicos en alta concentraciones (Gagneten, 2008). A diferencia de los contaminantes orgánicos, los metales pesados no se degradan ni biológicamente ni químicamente en la naturaleza, por lo cual al ser ingeridas por agentes primarios o secundarios tienden a acumularse en sus tejidos, a este suceso se le conoce como bioacumulación, el zooplancton ocupa un papel clave en los ecosistemas acuáticos por alimentarse de microalgas y materia orgánica particulada y por ser a la vez el principal alimento de larvas y juveniles de peces. Por ejemplo, tenemos que una muy alta cantidad de metales pesados que fueron liberados por el petróleo en la laguna de Papallacta fueron absorbidos por la materia orgánica particulada y por las microalgas, por lo cual el zooplancton al consumirlas, los incorporó en la cadena trófica, y de este modo pueden llegar hasta organismos superiores por bioacumulación.

Por otro lado sabemos que la presencia de metales pesados puede causar varios daños a nivel estructural humano, produciendo cáncer o mal formaciones, por lo tanto la posible vinculación de los metales pesados que sufre el agua y su sedimento podría también causar daños estructurales y funcionales a la comunidad zooplanctónica (Gagneten, 2008).

CAPITULO III MATERIALES Y METODOS

3.1.- Área de Estudio

La laguna de Papallacta está ubicada en la provincia de Napo, a unos 70 km al Nororiente de la ciudad de Quito, sobre un valle glaciar entre los paralelos $00^{\circ} 22' 30.7''$ y $00^{\circ} 22' 56.2''$ de latitud sur y entre los meridianos $78^{\circ} 09' 17.4''$ y $78^{\circ} 10' 01.7''$ de longitud occidental, a una altitud promedio de 3354 m sobre el nivel del mar (Figura 23).

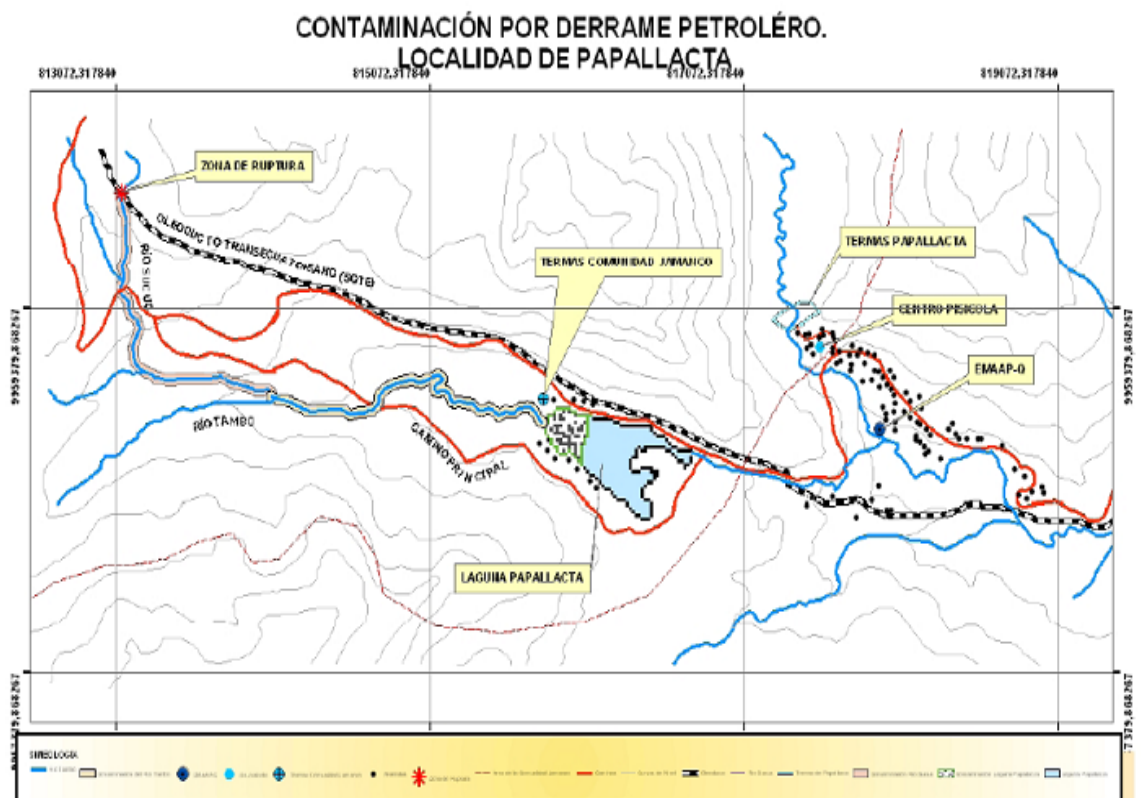


Figura 24. Área de influencia donde ocurrió la contaminación de petróleo en la localidad de Papallacta.

Fuente: Andrade 2005.

Está localizada en el Parque Nacional Cayambe-Coca (Weemaels, 2003). Se cree que se formó debido al represamiento de un flujo de lava joven denominado Antisanilla ocurrido en 1760 (Fernández, 2000). Cubre un área media de 330000 m², con una superficie de espejo de agua de aproximadamente 310000 m² y una superficie en épocas de lluvia de 440000 m². Las precipitaciones en la zona de Papallacta varían de 600 a 1600 mm a lo largo del año (Cumbal *et al.*, 2008). La zona de Papallacta se caracteriza por una alta humedad relativa durante todo el año y el promedio anual es de 93% teniendo un máximo de 94% y un mínimo de 92%. La nubosidad en la zona presenta porcentajes muy altos y en promedio tenemos que el cielo permanece nublado en sus $\frac{3}{4}$ partes durante la mayor parte del año (Mena-Vásquez, 2005).

Las aguas de la laguna gozan de una buena aireación por los fuertes vientos en dirección noroeste. A la laguna de Papallacta llegan vertientes superficiales y el río Tambo, éste nace en las estribaciones de la Cordillera Real y tiene como su principal afluente al río Sucus (Estupiñán, 2006). Durante el recorrido de aproximadamente 12.76 km, el río Tambo recibe varios aportes de aguas termales que influyen enormemente la composición química de río (Cumbal *et al.*, 2008). Por otro lado, debido a su alta gradiente hidráulica, el río Tambo fluye hacia la parte baja con una fuerza destructora considerable, removiendo y redistribuyendo los sedimentos en el curso del río (Cumbal *et al.*, 2008).

3.1.1.- Geología

Morfológicamente, ésta es una zona que va de quebrada a ondulada, aunque existen zonas planas, sobre todo en las partes altas de los páramos. Geológicamente es de formación volcánica, con una capa superficial de ceniza volcánica de 2 m de espesor medio, muy saturada por la alta pluviosidad de la zona (Estupiñán, 2006).

3.1.2.- Batimetría

Se define como “el arte de medir profundidades”. En topografía se entiende por batimetría el levantamiento del relieve de superficies sub-acuáticas, tanto los levantamientos del fondo de mar, como de los fondos de lagos, lagunas y estanques (Peñafiel y Zayas, 1996). Estos trabajos se los conocen también como topografía hidráulica o cartografía náutica. El trabajo del topógrafo o geógrafo consiste en realizar el levantamiento de los fondos, como si se tratase de dibujar un terreno seco (Figura 24).

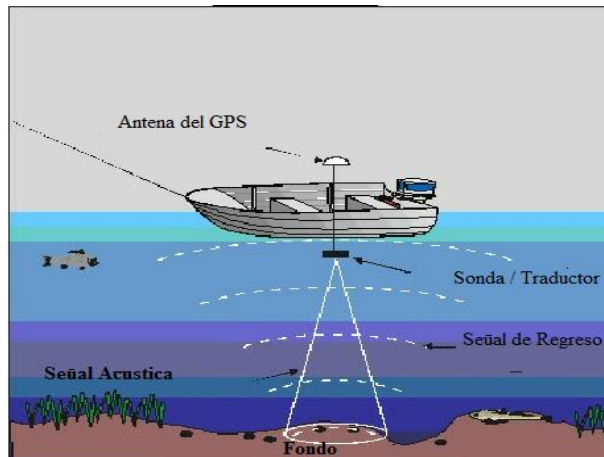


Figura 25. Esquema de Batimetría realizada en el proyecto.

Fuente: <http://samsulbahriodc.blogspot.com/> Ingreso: marzo 13 de 2013

- **Método Batimétrico con GPS Diferencial**

Los equipos de GPS (Figura 25) han hecho posible la aplicación de los datos de satélites en la determinación de la posición de punto en la superficie terrestre o en embarcaciones. Los escasos tiempos de observación que se requiere permiten alcanzar elevadas precisiones, evitando la excesiva influencia del movimiento de la embarcación (Peñafiel y Zayas, 1996).



Figura 26. Gpsmap 62s de precisión para ubicación de puntos en batimetría y colección de muestras.

Fuente: <http://www.taringa.net/posts/apuntes-y-monografias/10505784/Como-pasar-los-puntos-de-GPS-a-mi-pc-notebook-u-otro.html>. Ingreso: marzo 15 de 2013

3.2.- Establecimiento de los puntos de muestreo

Se establecieron 14 puntos de muestreo en la laguna de Papallacta (Tabla 2 y Figura 26) los cuales se escogieron dependiendo del análisis de batimetría. Este análisis dio como resultado posibles lugares donde los diferentes contaminantes del petróleo pudieron ser depositados en el fondo de la laguna de Papallacta. Los muestreos fueron realizados en tres campañas para proporcionar información de tres estaciones climáticas: época seca (noviembre-2010), de transición (febrero-2011) y época lluviosa (agosto-2011). Cada campaña tuvo una duración de tres días.

Tabla 2. Localización y coordenadas de Puntos de Muestreo en la laguna de Papallacta

CODIGO	LOCALIZACION	COORDENADA	COORDENADA	PROFUNDIDAD (m)
		ESTE	NORTE	
L1	Extremo suroeste desembocadura Tambo	81°5501	99°58381	1.00
L2	Cerca a orilla sur	81°5726	99°58283	4.76
L3	Cerca a orilla norte (Piedra de referencia)	81°5690	99°58395	2.35
L4	Cerca orilla norte	81°5898	99°58355	1.77
L5	Centro Laguna cercano a orilla sur	81°5940	99°58117	14.20
L6	Extremo oeste cerca desembocadura Tambo	81°5548	99°58417	0.63
L7	Centro de Laguna (Fosa Profunda)	81°6256	99°58171	27.27
L8	Extremo sureste orilla norte	81°6217	99°57905	25.60
L9	Extremo noreste orilla sur	81°6643	99°58105	6.46
L10	A 50 m del inicio laguna orilla sur	81°5525	99°58324	1.04
L11	A 100 m del inicio laguna orilla sur	81°5600	99°58367	2.17
L12	A 200 m del inicio laguna orilla sur	81°5736	99°58369	2.21
L13	Extremo este laguna sector medio	81°6436	99°57957	13.49
L14	Extremo este laguna sector centro.	81°6648	99°58042	17.20

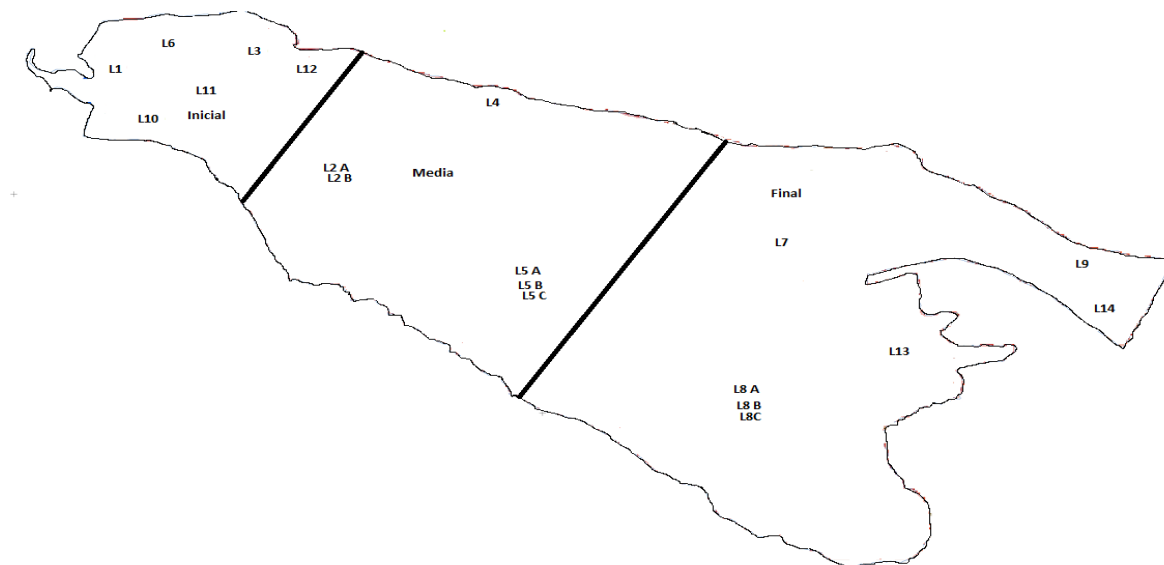


Figura 27. Localización de puntos usando la tabla 2.

Fuente: M. Cueva 2011.

Se ubicaron los puntos de muestreo dependiendo de la cercanía de sitio de embarque, se empezó por los puntos más cercanos y se terminó con los puntos más alejados, para lo cual se usó el GPS diferencial de precisión con un error de 0.5 metros (Figura 27).



Figura 28. Ubicación del punto de muestreo usando el GPS Garmin.

Fuente: E. Terneus 2010

3.3.- Recolección de Muestras

En cada punto se midió parámetros básicos físico-químicos del agua *in situ* los cuales son: oxígeno, pH, temperatura del agua, conductividad, sólidos totales disueltos, profundidad y estratificación lumínica (disco secchi).

Parámetros *In situ*

Profundidad: Unidad de medición que se expresa en metros (m) (Alemán, 2009).

Temperatura: Es un factor abiótico que regula procesos vitales para los organismos vivos, también afecta las propiedades químicas y físicas de otros factores abióticos en un ecosistema. Expresada en grados centígrados (°C) (Alemán, 2009).

Conductividad: La conductividad es la capacidad de una solución para conducir una corriente eléctrica. El agua destilada pura no conduce en principio la corriente, pero si se disuelven sólidos minerales, aumenta su capacidad de conducción. Expresada en microsiemens (μS) (Alemán, 2009).

pH: Es una medida de la acidez o la alcalinidad de agua. Su expresión viene dada por el logaritmo de la inversa de la concentración de ion H expresada en moles por litro (Alemán, 2009).

Oxígeno Concentración: Cantidad de oxígeno disuelto en el agua expresado en partes por millón (ppm) (Alemán, 2009).

Sólidos Suspendidos (*In situ*): Los sólidos suspendidos hacen referencia al material particulado que se mantiene en suspensión en el agua superficial. Expresada en miligramos sobre litro (mg/l) (Alemán, 2009).

Disco Secchi: es un instrumento de medición de la penetración luminosa en el agua, y por ello indirecta de la turbidez, en masas de agua. Expresada en metros (m) (Alemán, 2009).

Los datos fueron tomados con la ayuda de equipos electrónicos multiparámetros. Para el oxígeno: Modelo HI 9913 (negro) y para pH, sólidos suspendidos y conductividad: Modelo HI 9146 (azul), (Figura 28). Para temperatura: Termómetro digital Modelo: HI 98502 (Figura 29) Profundidad: Fishin Buddy: Modelo 120 (Figura 30) para evitar variación y margen de error en las lecturas.



Figura 29. Equipos usados en la toma de datos físico químicos *in situ*.

Fuente: E. Terneus 2010



Figura 30. Uso del termómetro digital en muestras de agua.

Fuente: E. Terneus. 2011



Figura 31. Uso de Fishin Buddy para medición de profundidad.

Fuente: E. Terneus. 2010.

Previamente a al muestreo de zooplancton se realizó una estratificación de profundidad a lo largo de la columna de agua usando un disco Secchi (Figura 32), esta estratificación permite conocer dos zonas: superficial o fótica y profunda o afótica.



Figura 32. Uso del Disco Secchi para determinar la estratificación en la Laguna de Papallacta.

Fuente: E. Terneus. 2010

Se muestreó la zona fótica usando una botella Van Dorn vertical (Figura 33) (Rossell *et al.*, 1982) con capacidad de dos litros, la botella recolectó agua a una profundidad deseada para las muestras biológicas (tres sub muestras producirán una muestra después de un filtrado).



Figura 33. Botella Van Dorn vertical, utilizada para la recolección de zooplancton.

Fuente: E. Terneus 2010

Las muestras de agua fueron filtradas en una malla especial para recolección de zooplancton con un ojo de malla de 53 micras (Figura 34).



Figura 34. Vaciado de botella usando una red de filtración de 53 micras

Fuente: E. Terneus. 2010

El volumen de filtración fue de 125 ml, las muestras biológicas de zooplancton fueron recolectadas en frascos de plástico de 300 cm³, que fueron previamente codificados con el punto de recolección, y se añadió un preservante; la metodología de preservación de muestras zooplanctónicas recomiendan que se la preserve en una solución de formalina al 4%, de esta manera se evita que las muestras se descompongan causando su pérdida (Rossell *et al.*, 1982) (Figura 35).



Figura 35. Muestra recolectada preservada con formalina al 4%.

Fuente: E. Terneus. 2010

Las muestras de agua fueron recolectadas en los mismos puntos para el análisis de metales pesados e hidrocarburos. Estas muestras fueron enviadas a Havoc laboratorio certificado (Figura 36).



Figura 36. Recolección de las muestras de agua para análisis de metales pesados e hidrocarburos.

Fuente: E. Terneus. 2010

Las muestras, tanto biológicas como de agua, fueron enviadas en recipientes especiales de transporte con hielo para evitar el deterioro.

3.4.- Procesamiento de las muestras

3.4.1. Muestras Biológicas

Las muestras biológicas de zooplancton fueron enviadas al laboratorio de la Universidad Internacional del Ecuador (UIDE), dichas muestras fueron vertidas en los embudos de decantación, dejando sedimentar los organismos por un periodo de entre 24 a 48 horas, lo que dependió de la velocidad de sedimentación de la muestra (Figura 37).



Figura 37. Muestras vertidas en los embudos de decantación, sedimentación conseguida 24 horas después.

Fuente: M. Molina. 2010

El sedimento fue separado y con una probeta se midió la unidad volumétrica de sedimentación, volumen que se extrapola la muestra recolectada por la botella Van Dorn es decir, se calculó la cantidad de organismos presentes en seis litros de agua (Figuras 38 y 39).



Figura 38. La muestra recolectada por la probeta fue vertida en tubos de ensayo previamente codificados con el punto de muestreo.

Fuente: M. Cueva. 2010

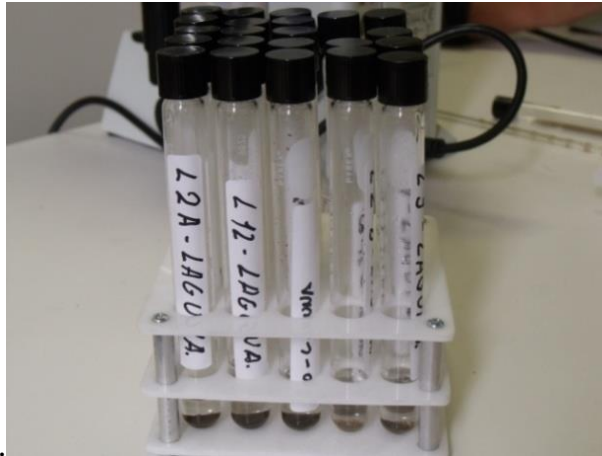


Figura 39. Tubos de ensayo vertidos con el sedimento recolectado de las botellas de decantación

Fuente: M. Molina. 2010

Usando una pipeta de vidrio de 10 ml se procedió a recolectar del tubo de ensayo, una cantidad de 0.2 ml que fueron analizados en una placa Porta Objetos (Figura 40). Luego con la ayuda de un microscopio Olympus CX22, se revisó el contenido de los 0.2 ml con la lente de 20x y cuando fue necesario con la lente 40x. La fase de laboratorio tuvo una duración de tres semanas por época: época seca del 09-noviembre-2010 al 23-noviembre-2010, época de transición del 06-febrero-2011 al 20-febrero-2011 y época de lluvias del 01-agosto-2011 al 15-agosto-2011.



Figura 40. Recolección con pipeta de vidrio y análisis de la placa.

Fuente: E. Terneus. 2010

3.4.2. Muestras de Agua

En las muestras enviadas al laboratorio de Havoc se analizaron las siguientes variables:

Bario: Símbolo químico Ba. Usado para la refinación de petróleo, se disuelve fácilmente en agua y puede ser encontrado en lagos, ríos y arroyos. El bario puede causar en animales y seres humanos dificultad para respirar, debilidad en los músculos, inflamación de cerebro y el hígado, daño en riñones y el corazón. Expresada en miligramos sobre litro (mg/l) (Nordberg, 2001).

Cromo: Símbolo químico Cr. Presente en el petróleo, como Cr (VI) que es tóxico para el ser humano, puede causar enfermedades, defectos de nacimiento, infertilidad y formación de tumores. Expresada en miligramos sobre litro (mg/l) (Nordberg, 2001).

DBO: Demanda biológica de oxígeno es una prueba empírica en la que se utiliza procedimientos estandarizados de laboratorio para determinar los requerimientos relativos de oxígeno de las aguas. Expresada en miligramos sobre litro (mg/l) (Schönborn, 2004).

DQO: La demanda química de oxígeno del agua puede considerarse como una medida aproximada de la demanda de oxígeno consumido. Expresada en miligramos sobre litro (mg/l) (Schönborn, 2004).

Fenoles: Compuestos que presentan uno o más grupos (OH) unidos a un anillo aromático. Son poco solubles en el agua. Pueden causar enfermedades a corto o largo plazo. Expresada en miligramos sobre litro (mg/l) (Alemán, 2009).

Nitrógeno Global: La cantidad de nitratos solubles en el agua. Expresada en miligramos sobre litro (mg/l) (Schönborn, 2004).

Plomo: Símbolo químico Pb. Es un metal pesado que no se disuelve en el agua. Presente en la actividad petrolera. Es un elemento químico particularmente peligroso y se puede bioacumular en organismos e insertarse en la cadena alimenticia. Puede causar enfermedades como cáncer. Expresada en miligramos sobre litro (mg/l) (Nordberg, 2001).

Sólidos Suspendidos (Laboratorio): Los sólidos suspendidos hacen referencia al material particulado que se mantiene en suspensión en el agua superficial. Expresada en miligramos sobre litro (mg/l) (Alemán, 2009).

TPH: Hidrocarburos totales de petróleo, se usa para describir a un grupo de varias sustancias químicas derivadas originalmente del petróleo crudo. Expresada en miligramos sobre litro (mg/l) (Alemán, 2009).

Turbidez: La turbidez es la dificultad del agua, para dejar pasar la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos, que se presentan principalmente en aguas superficiales. Expresada en miligramos sobre litro (mg/l) (Schönborn, 2004).

Vanadio: Símbolo químico V. Presente en la extracción de petróleo, no se disuelve muy bien en agua, puede causar irritación de pulmones, garganta, ojos y cavidades nasales, efectos negativos en hígado y riñones. Expresada en miligramos sobre litro (mg/l) (Nordberg, 2001).

3.5.- Identificación de especímenes

Al momento de observar la placa se procedió a tomar fotos de los organismos necesarias para su identificación y de las partes sobresalientes de los mismos usando una cámara Sony DSC-W350. Además se contó el número de especímenes que se encontró en cada placa. De esta forma se pudo determinar la riqueza de especies y las abundancias de individuos y compararlos entre épocas de muestreo. Este proceso se repitió hasta que las muestras de las placas se estabilizaron, es decir que ya no se presentaron más especies de zooplancton. El número de repeticiones se determinó en el laboratorio utilizando una curva de acumulación.

Se procedió a la identificación de las especies con la ayuda de claves de identificación y galerías fotográficas limnológicas, de Estados Unidos, Noruega e Irlanda y se usó bibliografía de países andinos o con estudios limnológicos de agua dulce la cual tuvo una duración de dos semanas por época. Así tenemos época seca (23-noviembre-2010 al 01-diciembre-2010), época de transición (20-febrero-2011 al 27-febrero-2011) y época lluviosa (15-agosto-2011 al 22-agosto-2011).

- **Taxonomía de Cladóceras**

Fundamentada en base de datos de los Grandes Lagos de Estados Unidos, base de datos de Groenlandia y la de Nueva Zelanda, siguiendo las claves dicotómicas de:

An Image-Based Key To The Zooplankton Of The Northeast (USA):
<http://www.cfb.unh.edu/CFBKey/html/index.html>

- **Taxonomía de Copépoda**

Se basó en Free-living and Parasitic Copepods (Including Branchiurans) of the Laurentian Great Lakes: Keys and Details on Individual Species
<http://www.glsc.usgs.gov/greatlakescopepods/>

- **Taxonomía Rotífera**

Se usó la taxonomía de los Grandes Lagos de Estados Unidos al igual que sus bases de datos en: The Academy of Natural Sciences Rotifer Collection Search
<http://rotifer.acnatsci.org/rotifer.php>

3.6.- Análisis Estadístico

3.6.1.- Naturaleza de los datos

La forma de analizar los datos depende de cómo se obtuvieron y de su naturaleza, en el caso de la presente investigación, ésta generó datos de tres tipos:

composición de especies, factores ambientales y factores estructurales. Los datos de composición corresponden a los nombres de las especies, es decir la información taxonómica; los de factores ambientales corresponden a datos de información de variables como temperatura, sólidos disueltos, profundidad, etc. (BIODAMAZ, 2004). Los estructurales comprenden toda la información de población tanto de presencia, ausencia y abundancia.

3.6.1.1.- Organización de los datos

Las bases de datos fueron generadas de dos maneras diferentes, mostrando las variables abióticas (Anexo 1, 2, 3) y los elementos bióticos (Anexo 4, 5, 6) dependiendo de los sitios de muestreo (BIODAMAZ, 2004).

3.6.1.2.- Variables abióticas

Las variables abióticas obtenidas *in situ* y en el laboratorio se detallan en la Tabla No. 3 y consideran la diferenciación entre los parámetros de laboratorio y los parámetros *in situ*.

Tabla 3. Parámetros abióticos tomados en la laguna de Papallacta

Parámetros	Unidad
Profundidad	m
Temperatura	Celsius
Conductividad	µS
pH	14 niveles
Oxígeno Disuelto	ppm
Sólidos	mg/l
Bario	mg/l
Cromo	mg/l
DBO	mg/l
DQO	mg/l
Fenoles	mg/l
Nitrógeno global	mg/l
Plomo	mg/l
Sólidos Suspendidos	mg/l
TPH	mg/l
Turbidez	mg/l
Vanadio	mg/l
Profundidad Secchi	m

Nota: pH: Potencial de Hidrógeno, DBO: Demanda Biológica de Oxígeno, DQO: Demanda Química de Oxígeno, TPH: Hidrocarburos Totales del Petróleo.

3.6.1.3 Elementos bióticos

Extrapolación de datos: la extrapolación de datos se sugiere para zooplancton cuando no se tiene cámaras de conteo (Rossell *et al.*, 1982), se aplica la siguiente fórmula:

$$\text{Número de individuos de zooplancton por cada 6 litros} = \frac{Dv}{Sv} * Tn$$

Donde

D_v = El volumen total de la muestra.

S_v = El volumen total de la submuestra.

T_n = El número total de la muestra por especie.

3.6.2 Análisis de similitud

Este análisis expresa el grado de semejanza que tienen los sitios en términos de variables abióticas y elementos bióticos (BIODAMAZ, 2004; Sokal y Rohlf, 1986). Para lo cual se usó: Distancia Euclidiana (variables abióticas) e Índice de Steinhaus (elementos bióticos).

3.6.2.1.- Variables Abióticas

Distancia Euclidiana

La distancia euclidiana es muy utilizada cuando se quiere conocer la similitud que existe entre puntos de muestreo con base en valores de factores ambientales. El mínimo de la distancia euclidiana es 0 y naturalmente no tiene un valor máximo (Sokal y Rohlf, 1986).

3.6.2.2.- Elementos Bióticos

Índice de Steinhaus para biodiversidad

Es un índice que relaciona la abundancia de las especies compartidas por los sitios. Este índice va desde 0 cuando no hay observación de especies y naturalmente no tiene valor máximo, es muy usado para ver la similitud de sitios dependiendo de la abundancia de las especies que exista (BIODAMAZ, 2004).

3.6.3.- Análisis de correlación simple

La correlación, en términos generales, es la medida del grado de relación entre dos o más variables. La correlación simple involucra solo una variable independiente. Para este análisis se uso el coeficiente de correlación de Pearson, que mide la relación de los puntajes totales de la primera aplicación con los de la segunda (Lahoz-Beltrán *et al.*, 1995). Una correlación de por lo menos 0.7 indica una relación confiable (Anexo 7, 8 ,9). Además se puede ver la relación que existe entre variables en los diagramas de dispersión (Lahoz-Beltrán *et al.*, 1995).

3.6.4.- Análisis Canónico de Correspondencias

El ACC o análisis canónico de correspondencias permite visualizar de mejor manera la relación directa de las variables más influyentes sobre la biota, en términos de abundancia y además sus fluctuaciones en los sitios (Greenacre, 2008). Para este tipo de análisis se procedió a ver las variables que más se relacionaban entre sí. Las especies fueron estudiadas dependiendo de las horas de recolección como se indica en la Tabla 4.

Tabla 4. Horas de colecta, de los individuos más representativos. Naranja y N° 1: 9h00-11h59 (Mañana). Morado y N° 2: 12h00-14h59 (Tarde) Azul y N° 3: 15h00-17h59 (Anochecer)

Individuo	Codigo	Hora de colecta	Codigo	Hora de colecta	Codigo	Hora de colecta
<i>Eucyclops breviramatus</i>	Eucbr1	9h00-11h59	Eucbr2	12h00-14h55	Eucbr3	15h00-17h59
<i>Diacyclops thomasi</i>	Diath1		Diath2		Diath3	
Nauplio	Naup1		Naup2		Naup3	
<i>Daphnia pulex</i>	Dappul1		Dappul2		Dappul3	
<i>Daphnia ambigua</i>	Dapamb1		Dapamb2		Dapamb3	
Larva <i>Daphnia</i>	LarDap1		LarDap2		LarDap3	
<i>Keratella</i> sp.	Kerasp1		Kerasp2		Kerasp3	
<i>Pompholyx</i> sp	Pomsp1		Pomsp2		Pomsp3	

CAPITULO IV RESULTADOS

4.1 Especies de Zooplancton encontradas en la laguna de Papallacta

Se encontraron 12 especies de zooplancton en la laguna de Papallacta y un número representativo de nauplios, huevos y juveniles de copépodos y cladóceros (Tabla 5).

Tabla 5. Zooplancton encontrado en la Laguna de Papallacta.

Nº	Individuos observados laguna de Papallacta	Riqueza Épocas			Abundancia de especies 125 ml Épocas		
		Seca	Transición	Lluvias	Seca	Transición	Lluvias
Copepoda							
1	<i>Eucyclops breviramatus</i>	x	x	x	341	358	94
2	<i>Leptodiaptomus minutus</i>	x	x	x	3	28	35
3	<i>Diacyclops thomasi</i>	x	x	x	7	48	18
4	Copepodo Juvenil	x	x	x	8	8	78
5	Nauplio	x	x	x	174	103	194
6	Copepodo con huevos	x	-	x	3	0	4
Cladocera							
7	Larva <i>Daphnia</i>	x	-	x	361	0	23
8	<i>Daphnia pulex</i>	x	x	x	59	222	5
9	<i>Daphnia ambigua</i>	x	x	x	22	572	58
10	Morfotipo 1	x	x	-	47	3	0
11	Huevos <i>Daphnia</i>	x	x	x	43	24	9
Rotifera							
12	<i>Keratella</i> sp.	x	x	-	39	106	0
13	<i>Adineta</i> sp.	x	x	x	21	13	3
14	Morfotipo 1	x	-	x	48	0	5
15	Morfotipo 2	-	x	x	0	32	5
16	<i>Pompholyx</i> sp.	x	x	x	2	72	228
Riqueza total =*							
Abundancia total **		15*	13*	14*	1178**	1589**	729**
Nota: Presencia: x Ausencia: -							

Las abundancias del zooplancton de la laguna de Papallacta, tuvieron fluctuaciones dependiendo de la estacionalidad, de esta manera en época seca se obtuvo una abundancia de 9424 individuos/litro. En transición una abundancia mayor con 12712 individuos/litro donde la dinámica hídrica afectaría directamente y en

época de lluvias una abundancia menor de 6072 individuos/litro, donde el recurso alimento disminuiría y por lo tanto también el zooplancton.

Los copépodos fueron los más representativos en términos de abundancia en las tres campañas realizadas, donde *Eucyclops* y *Diacyclops* se caracterizan por ser indicadores biológicos (Salas *et al.*, 2005; Uribarren, 2013).

Los cladóceros, mantuvieron las abundancias mayores en época seca y transición, pero en época lluviosa hubo un descenso. Lo cual nos indica la sensibilidad del grupo a cambios radicales en la química de agua (Martínez *et al.*, 2010).

Los rotíferos mantuvieron las abundancias similares durante las tres épocas, en donde *Pompholyx* y *Keratella* fueron los más abundantes y se caracterizan por ser indicadores de eutrofización (Conde-Porcuna, 2004).

4.2. Historia Natural de los especímenes encontrados en la laguna de Papallacta

Los grupos dulce acuícolas de zooplancton se los ha clasificado como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Clasificación taxonómica de grupos dulce acuícola.

Clasificación Científica	Copépodos	Cladóceros	Rotíferos
Reino	<i>Animalia</i>	<i>Animalia</i>	<i>Animalia</i>
Filo	<i>Arthropoda</i>	<i>Arthropoda</i>	<i>Rotifera</i>
Subfilo	<i>Crustacea</i>	<i>Crustacea</i>	-
Clase	<i>Maxillopoda</i>	<i>Branchiopoda</i>	-
Subclase	<i>Copepoda</i>	<i>Phyllopoda</i>	-
Orden	-	<i>Diplostraca</i>	-
Suborden	-	<i>Cladocera</i>	-

4.2.2 Subclase Copépoda

Eucyclops breviramatus

El género *Eucyclops* posee la mayor diversidad, contiene especies ampliamente distribuidas en el mundo. Se conoce poco sobre su ecología (Silva, 2008).



Figura 41. *Eucyclops breviramatus*.

Fuente: M. Cueva, 2010.

Leptodiaptomus minutus

Prefieren aguas frías, presentes desde América del Norte hasta América de Sur, en esta última únicamente por la zona andina (Gutiérrez y Gagneten, 2011).



Figura 42. *Leptodiaptomus minutus*.

Fuente: M. Cueva. 2010.

Diacyclops thomasi

Se especula que su distribución es común en América del Norte y América del Sur por el retroceso de los glaciares. Su dieta es herbívora hasta llegar a estado adulto donde cambia sus hábitos a omnívoro (Marten y Reid, 2007).



Figura 43. *Diacyclops thomasi*.

Fuente: M. Cueva. 2010.

Nauplio y Copépodo Juvenil

Los copépodos tienen un ciclo de vida complejo. Antes de llegar a ser adultos, los copépodos pueden presentar hasta seis etapas de nauplios (fase larval) y cinco etapas de copépodo juvenil (copepoditos). Después de la eclosión los nauplios nadan libremente hasta convertirse en copepoditos (Marten y Reid, 2007).



Figura 44. Estadios de copépodos (Copepodito).

Fuente: M. Cueva. 2010.



Figura 45. Estadio de copépodos (Nauplio).

Fuente: M. Cueva. 2010.

Copépodos con huevos

La hembra durante la cópula produce una sustancia pegajosa que da formación a los ovisacos, éstos permanecen unidos al segmento genital de la hembra. Cada uno lleva alrededor de 50 huevos que eclosionan en nauplios o forman huevos de resistencia para pasar un tiempo en estado latente (Marten y Reid, 2007).



Figura 46. Huevos de resistencia, eclosionan si las condiciones ambientales son óptimas se señalan los huevos.

Fuente: M. Cueva. 2011

4.2.2 Suborden Cladócera

Daphnia pulex

Su distribución es cosmopolita, vive en todo tipo de aguas, tanto en lagos como en charcas y estanques. Se señala que es una especie susceptible a cambios radicales en la química de agua (Armengol, 1978).

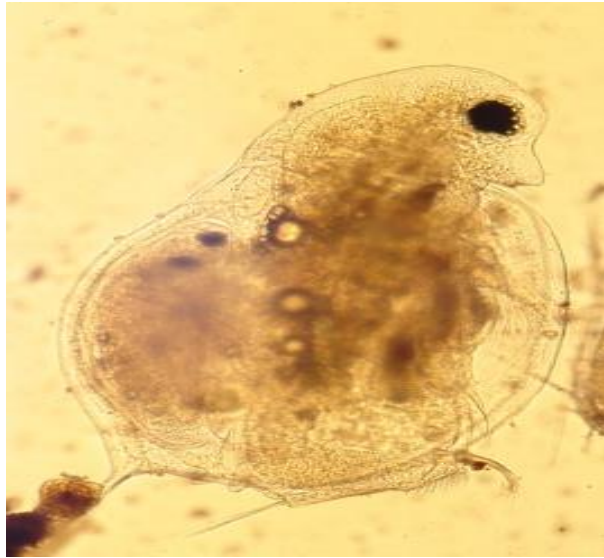


Figura 47. *Daphnia pulex*

Fuente: M. Cueva. 2011.

Daphnia ambigua

Su distribución es cosmopolita, se distribuye ampliamente por Europa, Asia y América. Vive en lagos, estanques y arroyos lentos. Especie susceptible al cambio radical de la química de agua (East *et al.*, 1999).



Figura 48. *Daphnia ambigua*.

Fuente: M. Cueva. 2011.

Morfotipo 1

Este individuo fue observado durante las épocas seca y transición, no se llegó a determinar con certeza si este individuo es *Bosmina* sp. (East *et al.*, 1999).

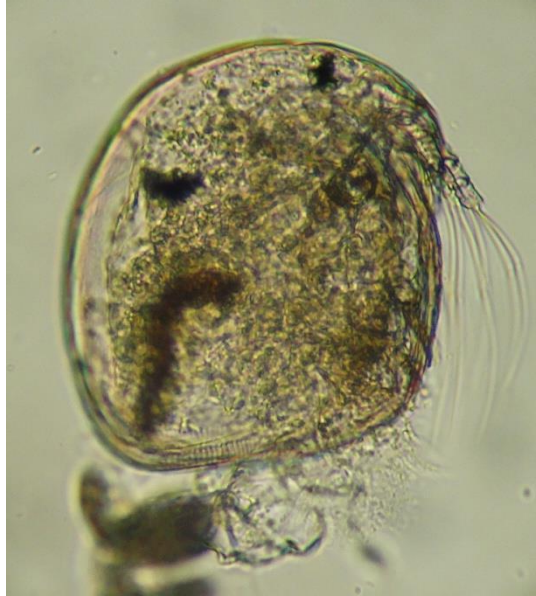


Figura 49. Cladóceras: Morfotipo 1

Fuente: M. Cueva. 2010

Larva *Daphnia*

Este individuo fue observado durante las épocas de seca y lluvias, no se llegó a determinarse con exactitud si se trata de una larva de *Daphnia ambigua* (East *et al.*, 1999).



Figura 50. Larvas encontradas en las muestra, estadios de larvas de cladócera.

Fuente: M. Cueva. 2010

Huevos Daphnia

En condiciones favorables, los cladóceros se reproducen partenogenéticamente (no hay machos), pero cuando las condiciones del medio son desfavorables, las hembras partenogenéticas originan una generación de hembras y machos sexuales, que producen gametos haploides (n), que se reproducen sexualmente dando lugar a huevos de resistencia ($2n$) (East *et al.*, 1999).

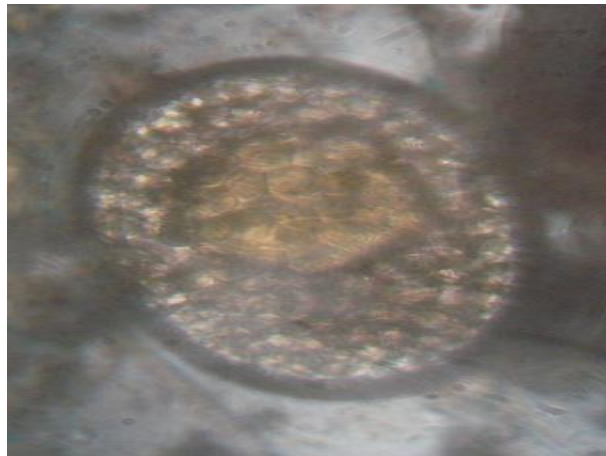


Figura 51. Huevos de resistencia, eclosionan siempre y cuando las condiciones sean las adecuadas.

Fuente: M. Cueva. 2011

4.2.3 Rotífera

***Keratella* sp.**

Cosmopolita y ampliamente distribuidos, este género suele habitar en la columna de agua de sistemas lénticos aunque también aparece en zonas de remansadas de ríos. Tolerancia a cierto grado de mineralización y se desarrolla en niveles tróficos de moderados a altos (Díaz, 2008).



Figura 52. *Keratella* sp.

Fuente: M. Cueva. 2010

***Adineta* sp.**

Representada por especies dulce acuícolas y especies que habitan musgos, sus datos de distribución son escasos (Donner, 1965).



Figura 53. *Adineta* sp.

Fuente: M. Cueva. 2010.

Morfotipos 1 y 2

Estos individuos fueron observados en la desembocadura del río Tambo, al Oeste de la laguna de Papallacta, se presume que pertenecen a la familia Bdelloidea.



Figura 54. Morfotipo 1: Bdelloidea

Fuente: M. Cueva. 2010.



Figura 55. Morfotipo 2: Bdelloidea.

Fuente: M. Cueva. 2010

***Pompholyx* sp.**

Es cosmopolita y ampliamente distribuida, este género se encuentra tanto en cuerpos de agua profundos como someros en los que habita en la columna de agua. Es tolerante a altos niveles de eutrofia (Díaz, 2008).



Figura 56. *Pompholyx* sp.

Fuente: M. Cueva, 2011.

4.3 Análisis Estadístico

4.3.1 Análisis de Similitud

Este análisis se realizó con el fin de conocer las dinámicas biológicas con relación a las variables abióticas que existen en la laguna de Papallacta. Para el efecto se confrontaron las variables abióticas con respecto a los sitios de muestreo, usando por un lado unidades de distancia euclidiana entre sitios de muestreo y por otro los elementos bióticos con respecto a los mismos sitios usando el índice de Steinhaus para abundancia de especies con respecto a los sitios.

Este análisis se realizó para las tres estaciones climatológicas que existen en la zona: seca, transición y lluviosa, con el fin de conocer el comportamiento de la dinámica hídrica y biológica a las fluctuaciones climatológicas existentes.

4.3.1.1 Variables Abióticas

Época Seca

Como se aprecia en la Figura 57, el grupo verde posee 14 sitios muy similares en sus datos abióticos (L14, L5C, L5A, L8C, L8B, L9, L4, L3, L2A, L5B, L2B, L10, L8A y L7). Estos sitios poseen conductividades bajas y consecuentemente la cantidad de sólidos suspendidos *in situ* también es baja, además el pH tiende a tener valores sobre 9 que indica que son alcalinos; igualmente los valores de DQO son altos en todos los sitios de muestreo (Anexo 1).

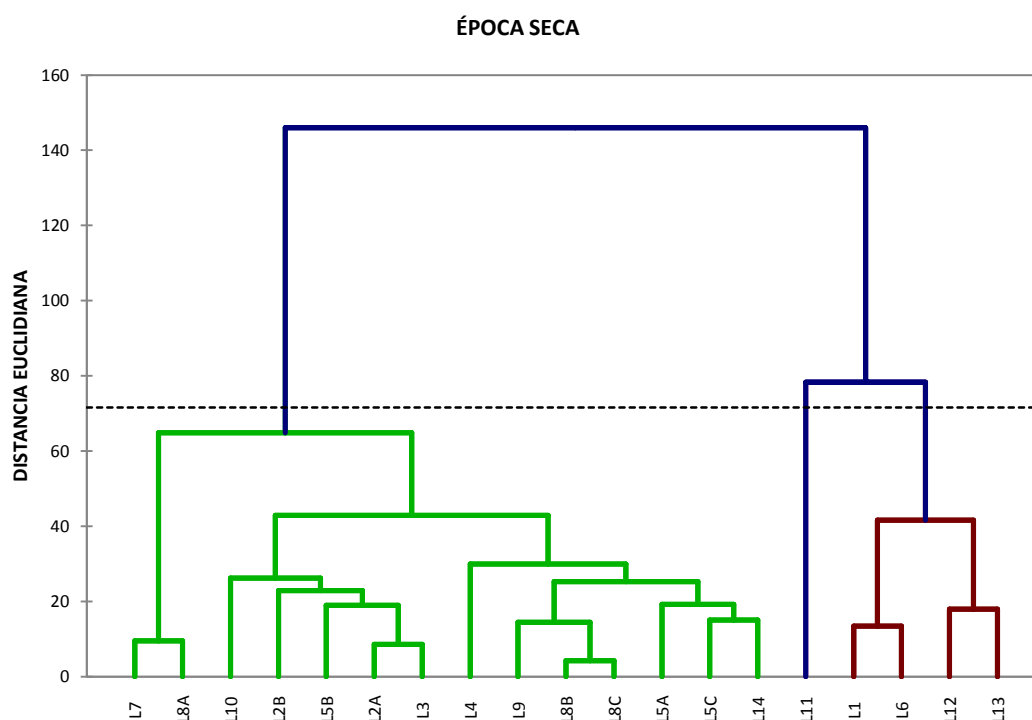


Figura 57. Dendrograma de los sitios de muestreo en función de datos abióticos durante la época seca.

El grupo café tiene cuatro sitios similares (L13, L12, L6 y L1). En este conglomerado su igualdad se debe a los valores altos de turbidez, la temperatura se mantiene estable entre 14.3 - 14.6 ° C, la conductividad se eleva sobre los 800 μ S y consecuentemente los sólidos suspendidos *in situ* también se elevan (Anexo 1).

El clúster en azul está representado únicamente por L11, en el que los parámetros de conductividad y sólidos suspendido *in situ* (Anexo 1) son los más altos, debido principalmente a que corresponde a la zona de desembocadura del río Tambo en la laguna. En esta época se pudo apreciar que dos puntos tenían una

concentración de TPH de 0.5 mg/l, los cuales se reducen en épocas de transición y lluvias.

Época Transición

Como se aprecia en la Figura 58, el grupo verde posee 12 sitios (L13, L5A, L14, L8B, L7, L8C, L8A, L5C, L5B, L9, L10, L4). Este grupo es similar principalmente por los valores bajos de conductividad y sólidos suspendidos *in situ*, también se aprecian los valores bajos de sólidos suspendidos (laboratorio) y de turbidez, consecuentemente la transparencia determinada por el disco secchi es mayor (Anexo 2). El grupo café posee seis sitios con gran semejanza (L1, L11, L2A, L3, L2B, L12) los cuales se asemejan debido a que los valores de conductividad y sólidos suspendidos *in situ* son medios, al igual que los sólidos suspendidos (laboratorio) y la turbidez, debido a esto, la penetración de luz es menor que en la época seca (Anexo 2).

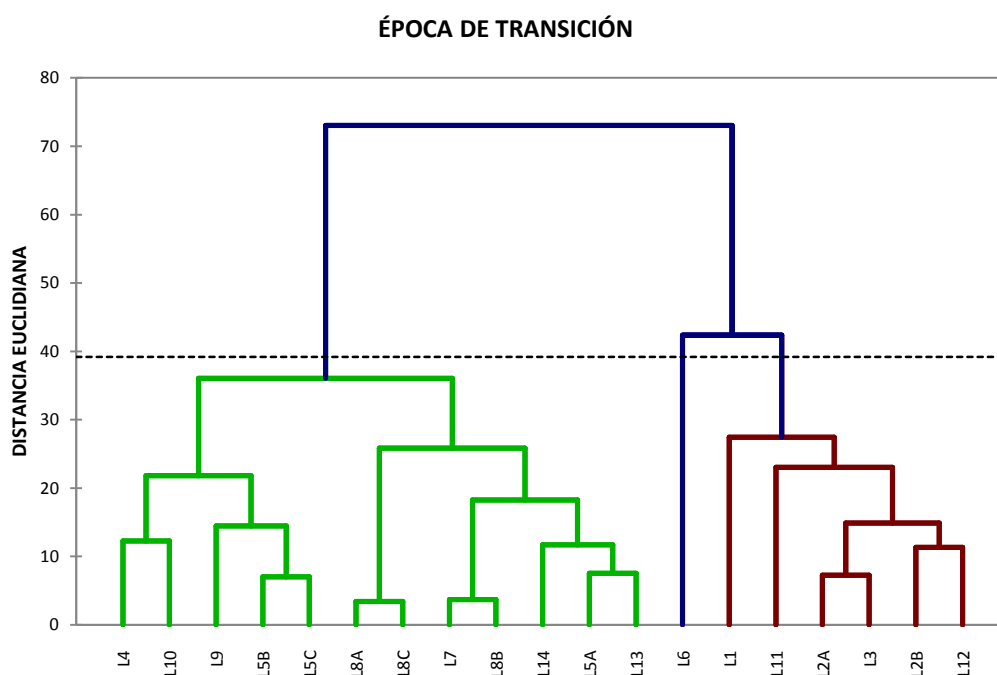


Figura 58. Dendrograma de los sitios de muestreo en función de datos abióticos durante la época transición.

El clúster azul está representado por el sitio L6, con variaciones de parámetros abióticos de conductividad y sólidos suspendidos más elevadas tanto *in situ* como en laboratorio y el DQO tiene el valor más bajo. En esta época los TPH comienzan a dispersarse más en el agua, generando valores mayores que en la época seca (Anexo 2).

Época de Lluvias

Como se aprecia en la Figura 59, el grupo celeste posee siete sitios con una gran semejanza (L2B, L2A, L9, L3, L11, L6 y L10). Este conglomerado está

dispuesto de esta manera debido a que poseen los valores más bajos de conductividad y de sólidos suspendidos *in situ* (Anexo 3). El grupo violeta posee ocho sitios con semejanzas (L5C, L5B, L14, L12, L4, L13, L7, L5A). Este grupo está consolidado de esta manera debido a que poseen valores de conductividad y de sólidos suspendidos *in situ* que han aumentado (Anexo 3).

El grupo verde incluye tres sitios de mayor semejanza (L8B, L8A, L8C). Este conglomerado está dispuesto de esta manera principalmente porque tiene mayores valores de conductividad y de sólidos suspendidos *in situ*, además se puede apreciar que la profundidad, la saturación de oxígeno, pH y la temperatura son iguales debido principalmente a que son repeticiones a diferente profundidad del mismo punto de muestreo (Anexo 3).

El clúster azul solo cuenta con el sitio L1 en el que los parámetros abióticos de conductividad, sólidos suspendidos (*in-situ*) y temperatura son los más bajos y DBO es el más elevado (Anexo 3), posiblemente debido a que este sitio se encuentra en la desembocadura del río Tambo en la laguna.

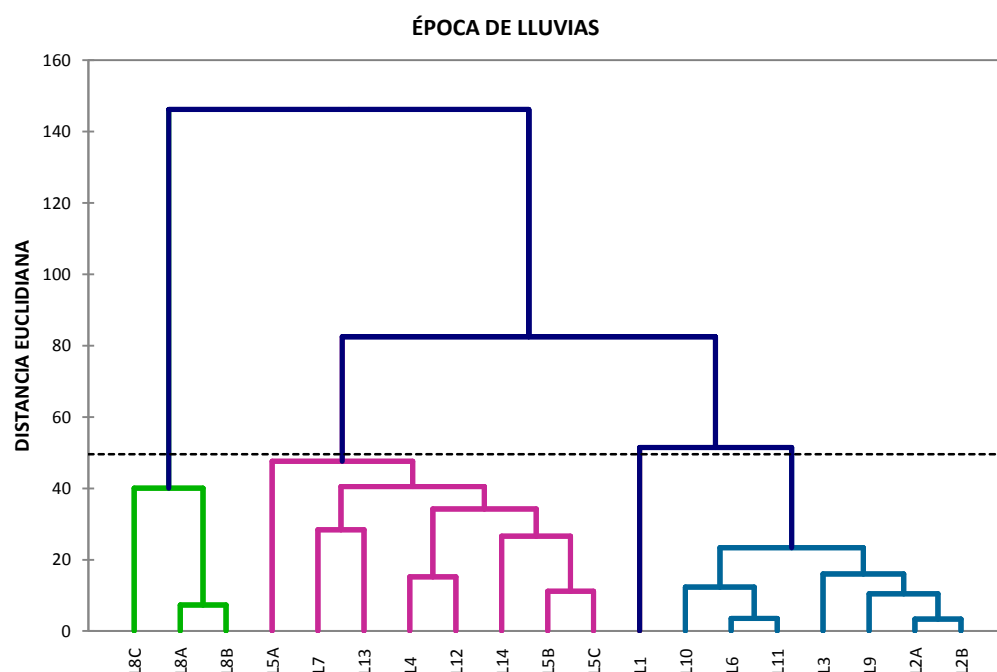


Figura 59. Dendrograma de los sitios de muestreo en función de datos abióticos durante la época lluviosa.

En general en esta época la transparencia del agua es tan baja debido a la alta nubosidad que existe, además se puede apreciar que los fenoles tienden a dispersarse aún más que en las épocas anteriormente descritas.

4.3.1.2 Elementos Bióticos: Abundancia de Especies

Época Seca

Como se aprecia en la Figura 60, el grupo verde posee cinco sitios semejantes (L10, L5b, L2a, L2b y L12) los cuales tienen la mayor abundancia de *Eucyclops breviramatus*, huevos de copépodos y huevos de *Daphnia*, además hay presencia de

Leptodiaptomus minutus y copépodos juveniles (Anexo 4). El grupo café posee 13 sitios semejantes (L8a, L1, L7, L9, L11, L5c, L5a, L13, L8b, L4, L3, L8c y L14). Este conglomerado está dispuesto de esta manera por tener la mayor cantidad de especies, estadios (larvas) y abundancia que los otros dos grupos, en la que se destaca las abundancias de nauplios (larvas de copépodos) y larvas de *Daphnia*, *Keratella* sp., *Diacyclops thomasi* y *Daphnia ambigua* (Anexo 4).

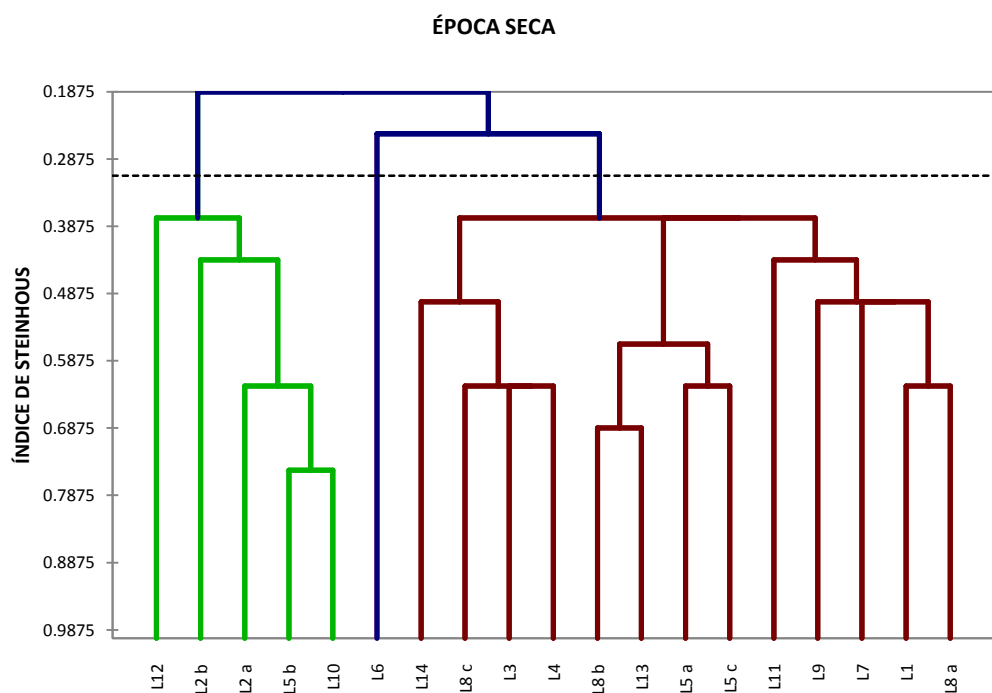


Figura 60. Dendrograma de los sitios de muestreo en función de datos bióticos durante la época seca.

El clúster azul presenta un solo sitio L6 ya que las abundancias del morfotipo 1 de rotíferos *Adineta* sp. son altas en este sitio de muestreo, además de las abundancias bajas de otras especies o estadios larvarios (Anexo 4).

Época de Transición

Como se aprecia en la Figura 61 el grupo verde presenta siete sitios (L13, L2b, L11, L3, L1, L9 y L6). Este grupo se encuentra agrupado de esta manera debido a elevadas abundancias de nauplios (larvas de copépodos) y huevos de *Daphnia*, las abundancias del resto de organismo son moderadas. También se debe a las ausencias de *Leptodiptomus minutus*, *Diacyclops thomasi* y morfotipo 1 de rotíferos perteneciente a la familia Bdelloidea (Anexo 5).

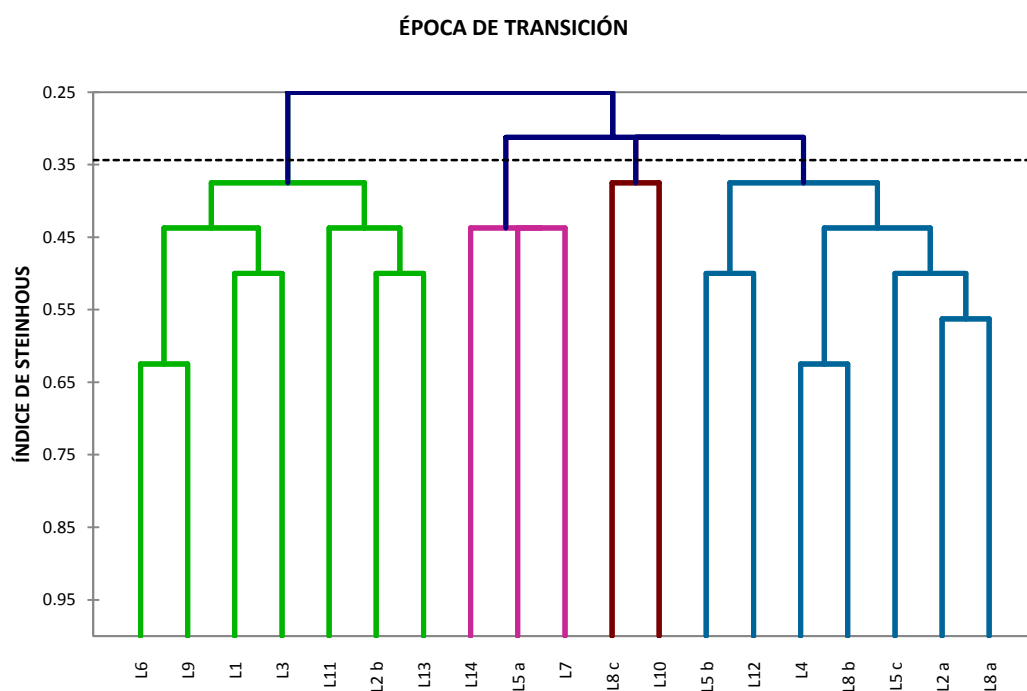


Figura 61. Dendrograma de los sitios de muestreo en función de datos bióticos durante la época de transición.

El grupo celeste presenta siete sitios semejantes (L8a, L2a, L5c, L8b, L4, L12 y L5b). Debido a que posee elevadas abundancias de *Eucyclops breviramatus*,

Leptodiptomus minutus, *Daphnia pulex*, *Daphnia ambigua*, *Keratella* sp., *Pompholyx* sp. y morfotipo 2 de rotíferos perteneciente a la familia Bdelloidea, además todos los sitios de muestreo presentan ausencia de copépodos juveniles, morfotipo 1 de cladóceros y morfotipo 2 de rotíferos perteneciente a la familia Bdelloidea (Anexo 5).

El grupo violeta (L14-L5a-L7) se distribuyen de esta manera debido a que las abundancias de todos los organismos son menores a los dos conglomerados descritos anteriormente, y por consiguiente su separación de estos grupos. De esta misma manera sucede con la agrupación en color café (L8c-L10) que posee las menores abundancias de especies (Anexo 5).

Época de Lluvias

En la Figura 62 se puede apreciar que el grupo violeta posee 11 sitios semejantes (L11, L3, L6, L5c, L8c, L1, L8b, L4, L9, L5a y L7). Este conglomerado se presenta de esta manera debido a las elevadas abundancias de zooplancton, siendo los más representativos *Eucyclops breviramatus*, nauplios, copépodos juveniles, *Daphnia ambigua* y *Pompholyx* sp., además existe la ausencia de morfotipo 1 de cladóceros, *Keratella* sp. y morfotipo 2 de rotíferos pertenecientes a la familia Bdelloidea (Anexo 6).

El grupo verde presenta cuatro sitios semejantes (L8a, L2b, L14 y L10) ya que tiene abundancias menores que el grupo anterior y ausencia de especies y estadios larvarios (Anexo 6).

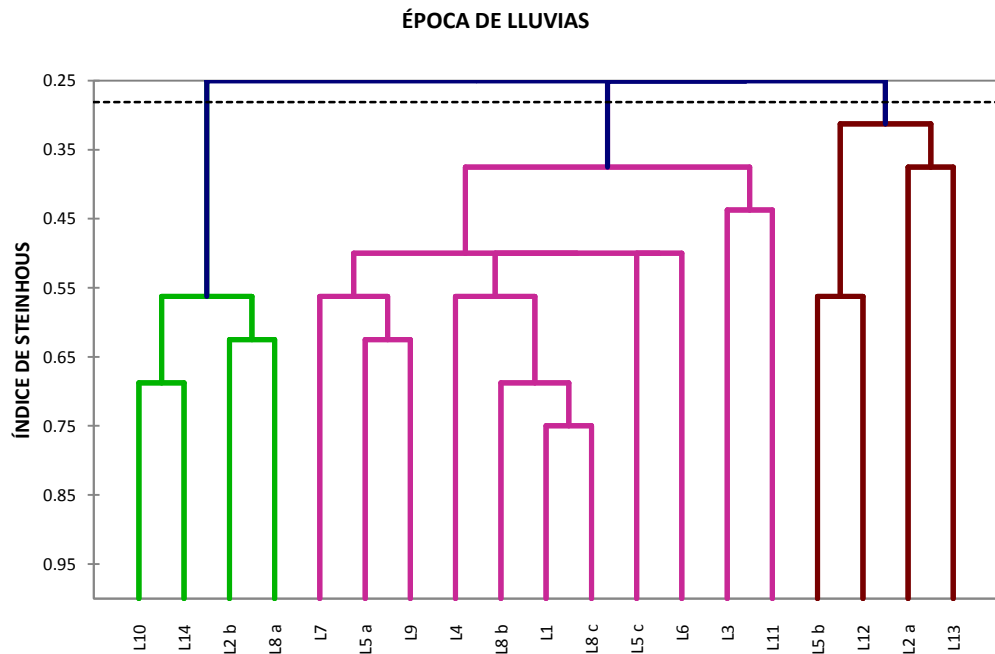


Figura 62. Dendrograma de los sitios de muestreo en función de datos bióticos durante la época de lluvias.

El grupo café posee cuatro sitios semejantes (L13, L2a, L12 y L5b), en ellos las abundancias de las especies y estadios larvarios son bajas (Anexo 6).

4.3.2 Prueba de Correlación Simple

La prueba de correlación simple se realizó con el objetivo de observar la relación de ciertas variables abióticas entre sí. Este análisis estadístico dio como

resultado una discriminación para las variables con valores de r menores a 0.8 (Anexos 7, 8, 9). De esta manera se obtuvo las variables con mayor relación entre sí y que serán consideradas como parte del análisis canónico de correspondencias.

Esta prueba de correlación se realizó con las variables abióticas de las tres estaciones climáticas existentes: seca, transición y lluvias, obteniéndose los siguientes resultados:

Conductividad y Sólidos suspendidos (*in situ*)

Las Figuras 63, 64 y 65 muestran como estas dos variables tienen una gran relación entre sí en las tres épocas.

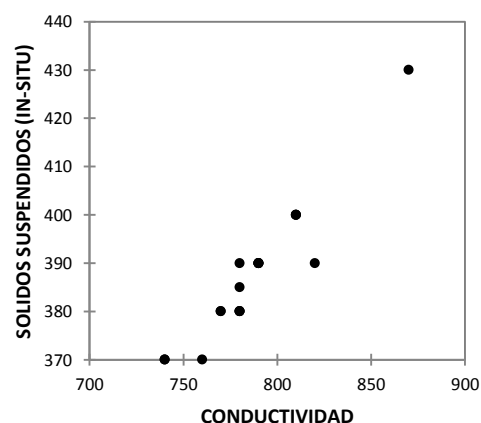


Figura 63. Conductividad y sólidos suspendidos ($r=0.95$). Época Seca

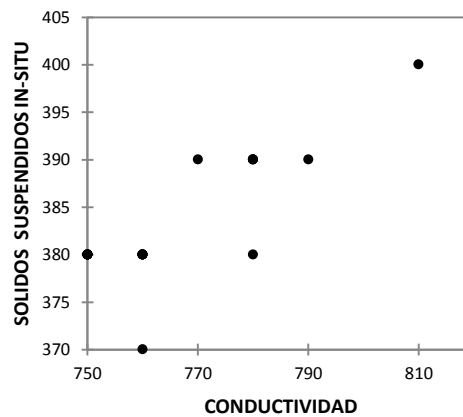


Figura 64. Conductividad y sólidos suspendidos ($r=0.81$). Época Transición

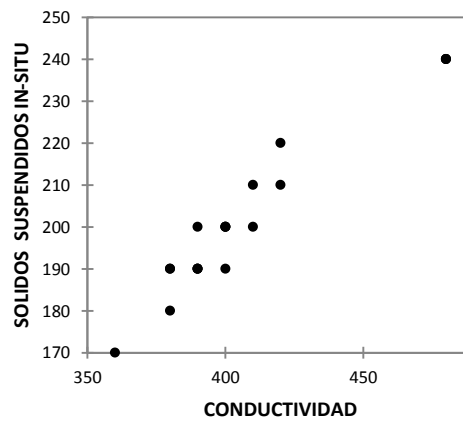


Figura 65. Conductividad y sólidos suspendidos ($r=0.96$). Época Lluvias.

Sólidos suspendidos (*in situ* y en laboratorio) en relación a la profundidad y turbidez

La Figura 66 permite observar que la representación espacial de las variables abióticas de profundidad y de sólidos suspendidos (*in situ*) tiene una gran relación entre sí exclusivamente en la época de lluvias. En las épocas seca y de transición su relación es por debajo de $r=0.5$.

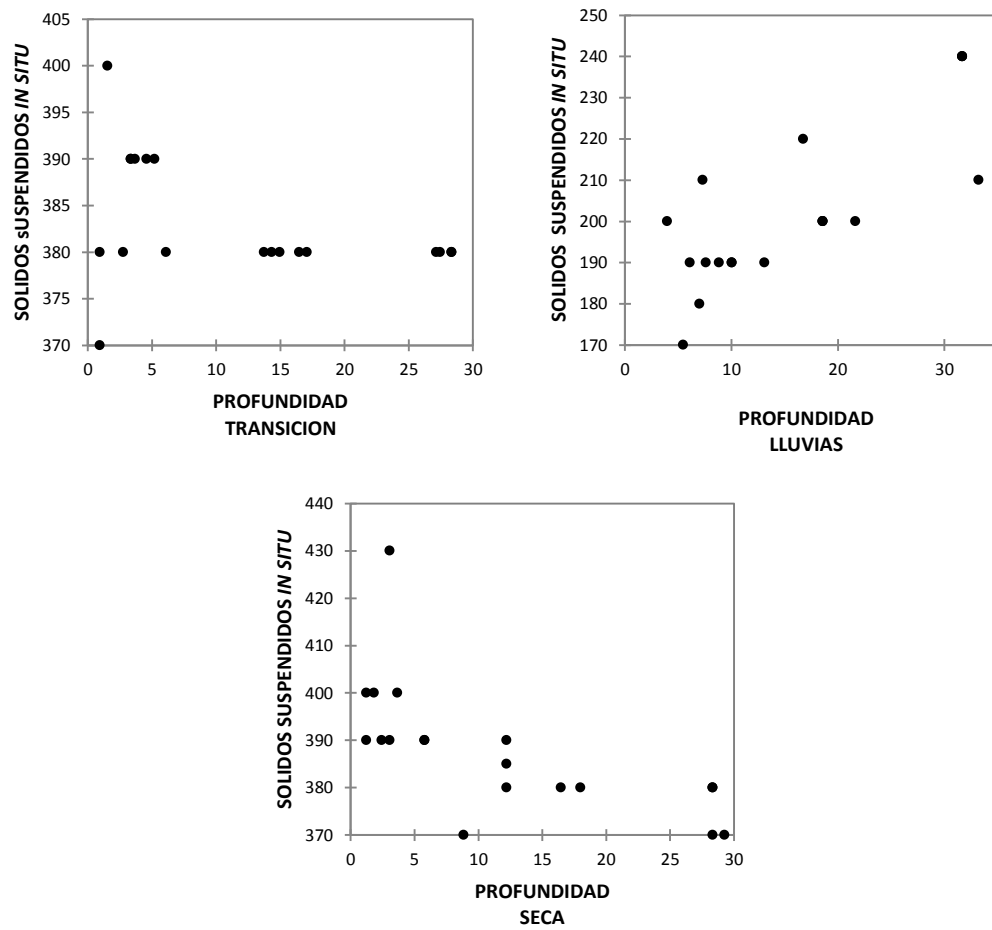


Figura 66. Relación entre sólidos suspendidos y profundidad en la época de lluvias ($r=0.804$), época seca ($r=-0.656$) y época de transición ($r=-0.385$).

La Figura 67 en cambio, permite observar la relación entre la turbidez y los sólidos suspendidos en laboratorio, exclusivamente en la época de Lluvias.

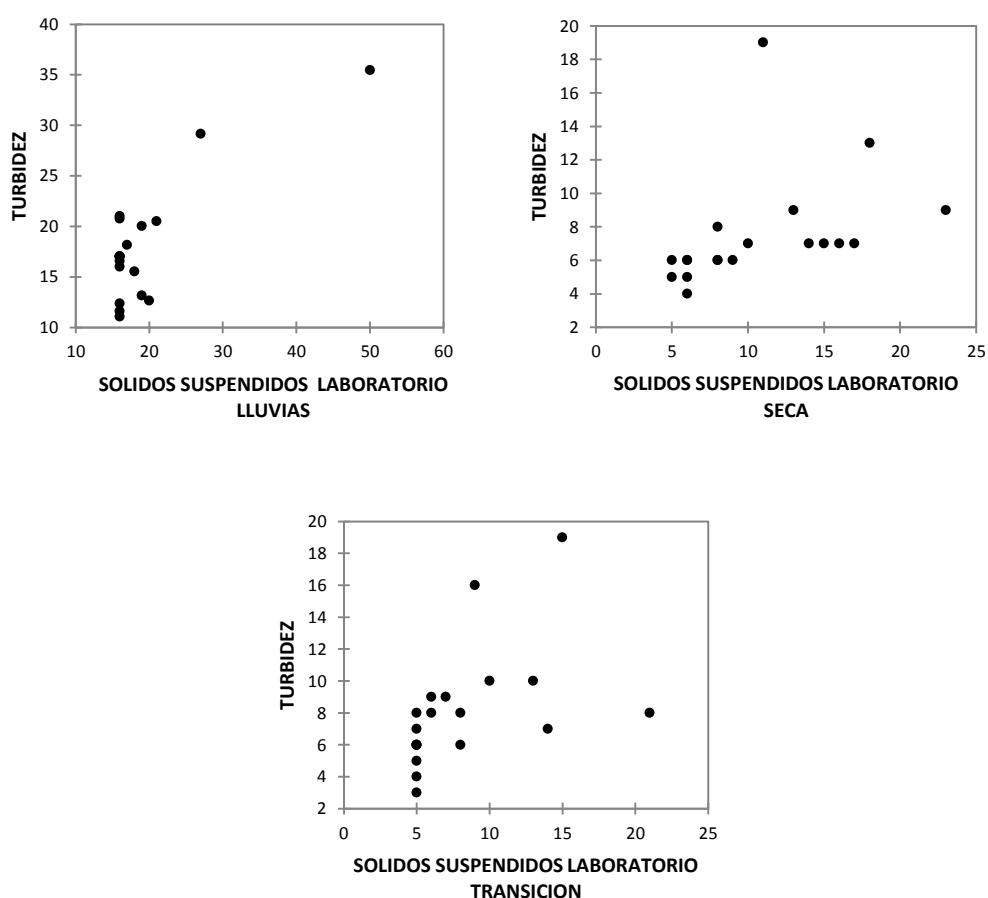


Figura 67. Relación entre sólidos suspendidos y turbidez en la época de lluvias ($r=0.812$), época seca ($r=0.412$) y época de transición ($r=0.473$).

4.3.3 Análisis Canónico de Correspondencias con abundancia.

Época Seca

La Figura 68 muestra la relación de variables abióticas, la abundancia de fitoplancton y los sitios en la época seca. En esta época la variable con mayor influencia sobre la biota zooplanctónica es la profundidad (PROF), en donde al aumentar la profundidad, los individuos colectados en la mañana: *Keratella* sp. (Kerasp1), *Daphnia ambigua* (Dapamb1), *Eucyclops breviramatus* (Eucbr1), Nauplio (Naup1), *Daphnia pulex* (Dappul1), *Diacyclops thomasi* (Diath1), Larva *Daphnia* (LarDap1), y los individuos colectados en horas de la tarde: *Daphnia*

ambigua (Dapamb2), Larva *Daphnia* (LarDap2) y *Keratella* sp. (Kerasp2) y el individuo colectado en horas próximas al anochecer *Pompholyx* sp. (Pomsp3), aumentan sus abundancias, en los sitios de muestreo L7, L8-a, L8.b, L8-c, L5-a y L9. Las variables de Sólidos Suspendidos *In situ* (SOLIN) y conductividad (COD) a pesar que tienen una gran correlación en esta época del año entre ellas, pero estas no influyen en el aumento de las abundancias de la biota zooplanctónica.

Las abundancia de los individuos colectados en horas próximas al anochecer: *Daphnia ambigua* (Dapamb3), Nauplio (Naup3), Larva *Daphnia* (LarDap3), *Keratella* sp. (Kerasp3) y *Diacyclops thomasi* (Diath3), conjuntamente con la especie colectada en la mañana *Pompholyx* sp. (Pomsp1) y *Diacyclops thomasi* (Diath2), no poseen una débil relación con las variables abióticas en los sitios de muestreo L10, L2-a, L5-c, L14 y L4.

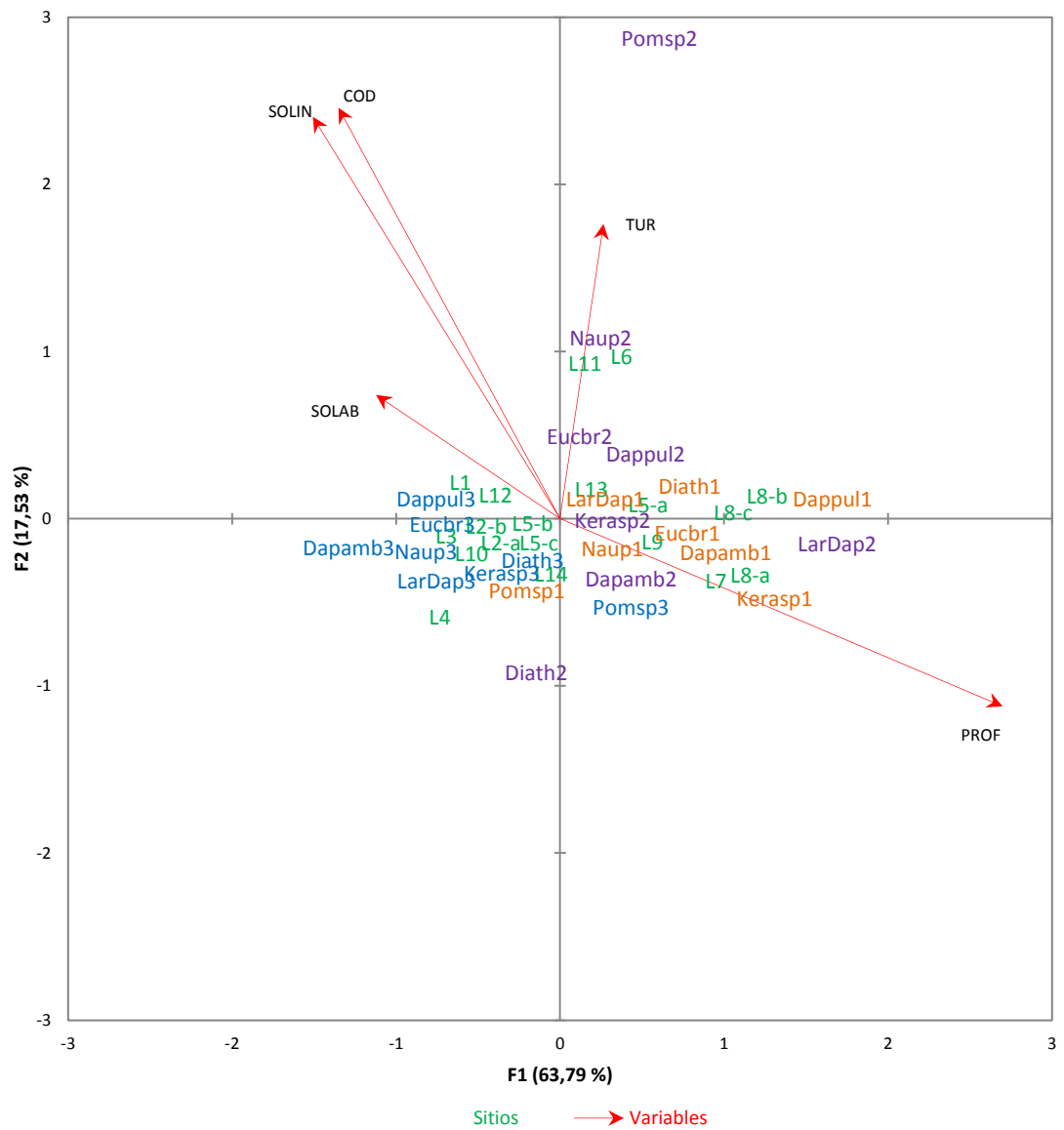


Figura 68. Plano de ordenamiento basado en un Análisis de Correspondencia Canónica entre la biota de zooplancton, sitios y variables abióticas durante la época seca. Las distintas tonalidades en la nomenclatura de los individuos representa las horas de colecta (Naranja y N° 1: 9h00-11h59 Morado y N° 2: 12h00-14h59 Azul y N° 3: 15h00-17h59)

Época de Transición

La Figura 69 muestra la confrontación de variables abióticas, la abundancia y los sitios en la época de transición. En esta época, la variable Sólidos Suspendidos *In situ* (SOLIN), no tiene una relación con la distribución de la biota zoo planctónica. No obstante la variable de Sólidos Suspendidos Laboratorio (SOLAB), se relaciona con los individuos colectados en horas de tarde: Nauplio (Naup2), *Eucyclops breviramatus* (Eucbr2), *Pompholyx* sp. (Pomsp2), *Keratella* sp. (Kerasp2), *Daphnia ambigua* (Dapamb2) y *Daphnia pulex* (Dappul2), y un individuo colectado en horas próximas al anochecer *Diacyclops thomasi* (Diath3), en los sitios de muestreo L11, L10, L3 y L4, en estos al aumentar los valores de SOLAB también aumenta la biota zooplanctónica. De esta misma manera ocurre con la profundidad (PROF) que tiene incidencia sobre las especies colectadas en horas de la mañana: *Eucyclops breviramatus* (Eucbr1), *Daphnia ambigua* (Dapamb1), *Diacyclops thomasi* (Diath1) y un individuo colectado en horas de la tarde *Diacyclops thomasi* (Diath2).

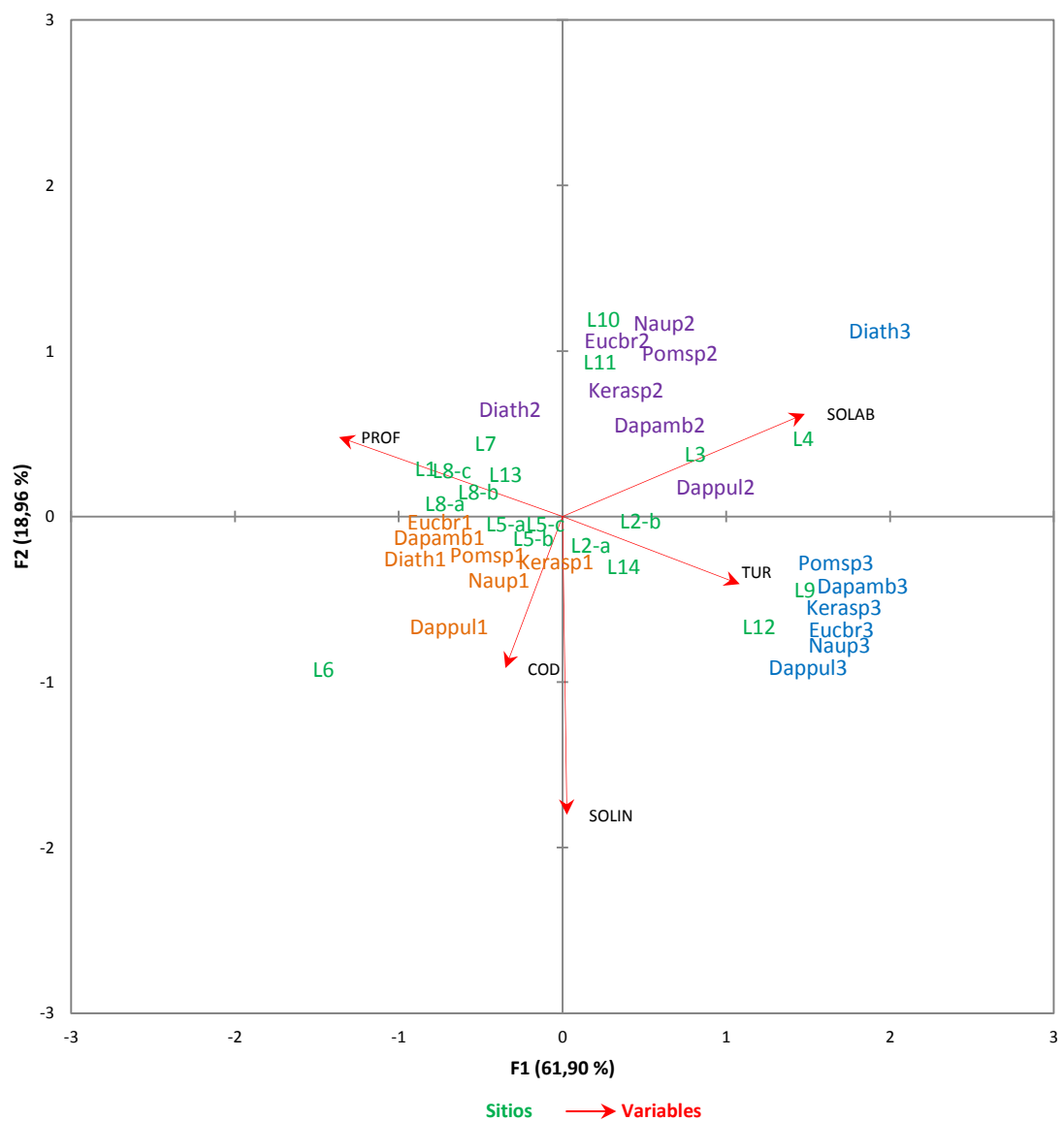


Figura 69. Plano de ordenamiento basado en un Análisis de Correspondencia Canónica entre la biota de zooplancton, sitios y variables abióticas durante la época de transición. Las distintas tonalidades en la nomenclatura de los individuos representan las horas de colecta (Naranja y N° 1: 9h00-11h59 Morado y N° 2: 12h00-14h59 Azul y N° 3: 15h00-17h59).

Época de Lluvias

La Figura 70 muestra la confrontación de variables abióticas, la abundancia y los sitios en la época de lluvias. En esta época, la variable de Turbidez (TUR), tiene incidencia sobre los individuos colectados en horas próximas al anochecer: *Eucyclops breviramatus* (Eucbr3), Nauplio (Naup3) y *Daphnia ambigua* (Dapamb3), donde a mayor turbidez hubo mayor abundancia de estas especies. La conductividad (COD) tiene el mismo efecto sobre los individuos Larva *Daphnia* (LarDaph3) en horas próximas al anochecer y en menor proporción a los individuos colectados en horas de la tarde: *Eucyclops breviramatus* (Eucbr2), *Diacyclops thomasi* (Diath2), Nauplio (Naup2), Larva *Daphnia* (LarDap2), *Pompholyx* sp. (Pomsp2), *Daphnia ambigua* (Dapamb2), *Daphnia pulex* (Dappul2) e individuos próximos al anochecer *Daphnia pulex* (Dappul3), como se observa están relacionadas y mantienen una misma dirección en los sitios de muestreo L7, L3, L8-a, L8-b, L8-c y L10. Los Sólidos Suspendidos Laboratorio (SOLAB) tienen esta misma relación con los individuos colectados en horas próximas al anochecer: *Diacyclops thomasi* (Diath3), *Pompholyx* sp. (Pomsp3), *Eucyclops breviramatus* (Eucbr3) y Nauplio (Naup3) en los sitios de muestreo L12 y L13. En esta época los individuos colectados en horas de la mañana: Larva *Daphnia* (LarDap1), *Daphnia ambigua* (Dapamb1), Nauplio (Naup1), *Eucyclops breviramatus* (Eucbr1), *Diacyclops thomasi* (Diath1), *Pompholyx* sp. (Pomsp1) y *Daphnia pulex* (Dappul1), no se relacionan con el aumento de las variables abióticas, es decir que su abundancia más bien ocurre a menores valores de estas variables.

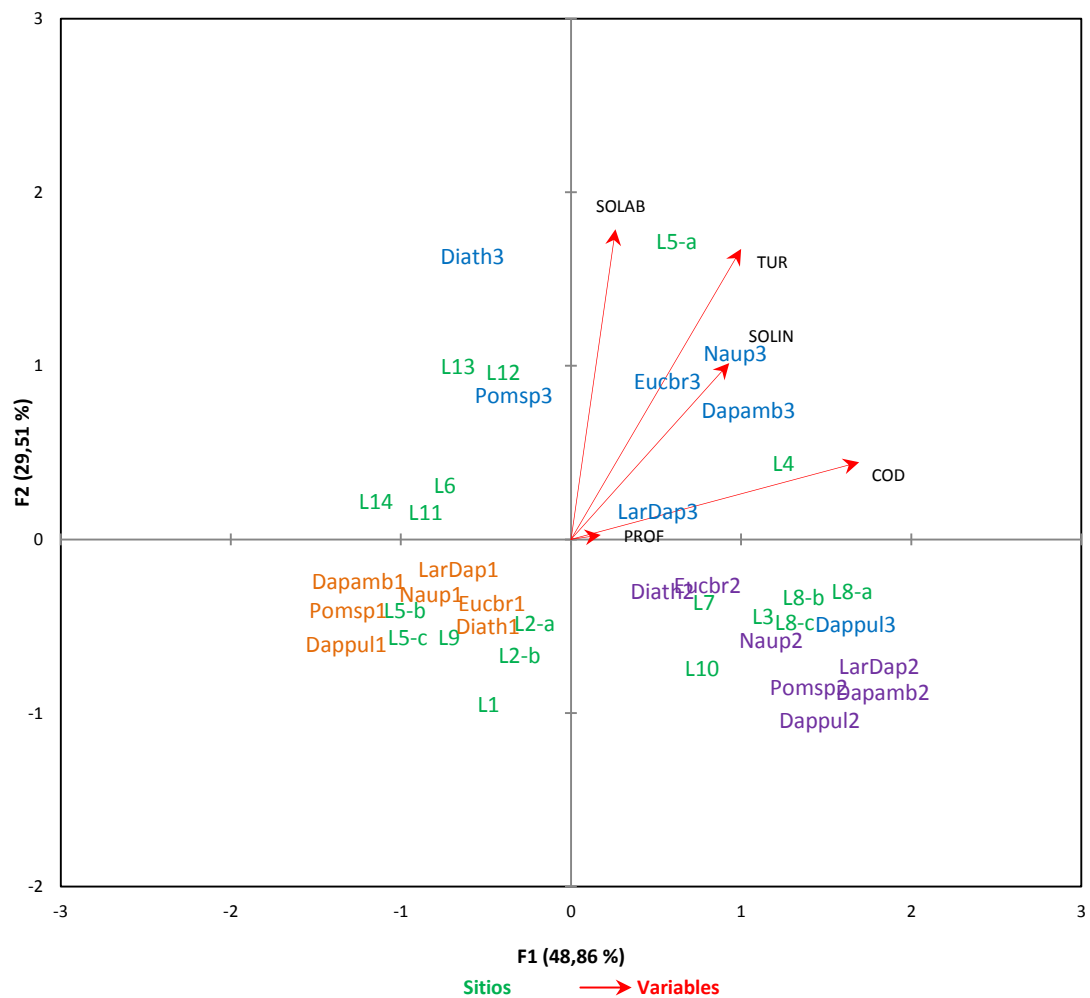


Figura 70. Plano de ordenamiento basado en un Análisis de Correspondencia Canónica entre la biota de zooplancton, sitios y variables abióticas durante la época lluviosa. Las distintas tonalidades en la nomenclatura de los individuos representa las horas de colecta (Naranja y N° 1: 9h00-11h59 Morado y N° 2: 12h00-14h59 Azul y N° 3: 15h00-17h59).

CAPITULO V

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los lagos de los climas tropicales están determinados por la latitud, la altitud y la morfología, que son factores abióticos que alteran las condiciones físico-químicas (oxígeno, pH o turbidez entre otras) del agua (Casallas y Gunkel, 2001), es decir que alteran la hidrodinámica de la laguna de Papallacta; este suceso provoca variaciones en la distribución y comportamiento de los organismos zooplanctónicos.

Según el sistema de clasificación de Lewis (1983), la laguna de Papallacta puede clasificarse como un lago polimictico (Roldán, 1992), que es característico de los lagos de alta montaña tropicales, ya que debido a las variaciones térmicas no llega a desarrollar una estratificación estable. Steinitz-Kannan *et al.* (1983) sugiere que se debe a las variaciones de la polimixis, es decir la mezcla permanente de la columna de agua durante todo el año.

A pesar que la principal fuente de energía en el agua es la radiación solar, en los lagos de alta montaña también está influenciada por afluentes hídricos (fría o caliente), el aire, la materia orgánica en descomposición y la constante cobertura nubosa durante la mayor parte del año (Umaña, 1990). Según Casallas y Gunkel (2001), esta estructura térmica afecta los patrones de circulación de las lagunas, dando como resultado que la temperatura del agua de los lagos de alta montaña, como la laguna de Papallacta, muestren variaciones térmicas diarias y estacionales. Estas variaciones térmicas se deben especialmente a que en los trópicos las

temperaturas no varían significativamente, debido a las pequeñas variaciones temporales de la radiación solar y del aire (Lewis, 1983).

En cuanto a la comunidad zooplanctónica de la laguna de Papallacta, las especies registradas en el presente estudio, también fueron observadas en los monitoreos biológicos de Steinitz-Kannan (2006) y Grandes (2011) realizados después del derrame de petróleo del 2003 y hay concordancias en las especies: *Eucyclops breviramatus*, *Daphnia pulex*, *Keratella* sp, Nauplios, *Pompholyx* sp, copépodos juveniles (copepoditos), copépodos con huevos, huevos de *Daphnia*, Larva *Daphnia*. Por primera vez en este estudio se han registrado las especies: *Leptodiaptomus minutus*, *Diacyclops thomasi*, *Daphnia ambigua* y *Adineta* sp.

Los estudios realizados en los lagos que tienen una temperatura promedio bajo los 15 °C, tienden a tener una baja diversidad de especies (Umaña, 1990). Steinitz-Kannan *et al* (1983) reportó que la riqueza de especies observadas de zooplancton es baja en algunos lagos de montaña de Ecuador, con pocas especies por lago, siendo *D. pulex* la más común en los lagos ecuatorianos. La diversidad que tiene la laguna de Papallacta se puede considerar entonces como buena, al encontrar seis especies de crustáceos y cinco especies de rotíferos.

La composición del zooplancton depende de la química del agua, la hidrodinámica, las estratificaciones térmicas entre otros factores y para el caso de los lagos tropicales, depende también de los factores climáticos y de las condiciones

propias y específicas de cada lago o laguna del callejón interandino como lo señalan los estudios de Steinitz-Kannan *et al.* (1983), Umaña, (1990) y Casallas y Gunkel, (2005). El comportamiento de la comunidad zooplanctónica será determinada por las condiciones climáticas que alteran la físico-química del agua que ocurren en la laguna de Papallacta como lo veremos a continuación.

Época Seca

Como se apreció en la figura 68 en esta época la biota tiende a estar estrechamente relacionada con las variables físico-químicas del lugar, la biota se distribuye por la profundidad, la conductividad, la turbidez y los sólidos suspendidos (Laboratorio) principalmente, esto es debido a que hay una velocidad de mezcla lenta, que permite que haya una estabilidad entre la biota y las variables abióticas de la laguna de Papallacta. De este modo los organismos tienden a preferir un ambiente pelágico en la laguna, y mientras avanza el día tienden a migrar a zonas litorales, es decir que las migraciones zooplactónicas pueden ser tanto verticales como horizontales (Acosta 2005). Según los estudios de Paggi y Paggi (1990), los organismos pueden migrar dependiendo de los lugares donde haya más alimento o donde los factores ambientales sean más favorables y puedan definir mejor su estructura, esto puede verse en la turbidez donde la especie *Pompholyx* sp, tiende a desarrollarse mejor en ambientes con mayor turbidez, mientras que *Eucyclops breviramatus* y nauplios tratan de agruparse en lugares con menor turbidez.

Es claro que en esta época hay una gran estabilidad en la laguna de Papallacta, si se observa las figuras 57 y 60 se observa que las variables abióticas y la

biota mantiene una similitud parecida en la mayoría de los sitios de muestreo lo que puede deberse a la velocidad lenta de mezcla, este mismo fenómeno se aprecia en los valores altos de TPH de los sitio L7 y L13. Si se observa el anexo 1 se puede apreciar que los fenoles son bajos en esta época, esto puede significar que la contaminación es puntual pero se encuentra estrictamente restringida en los sedimentos de la laguna, sin embargo los puntos anteriormente mencionados tienen valores altos de TPH que no se volverán apreciar en las épocas siguientes. Farreras (2004) en sus estudios, asegura que cada laguna tiene una hidrodinámica diferente y que debe ser un factor primordial que afecte la distribución de la biota zooplanctónica.

Época de Transición

En esta época sucede algo muy peculiar, la figura 69 muestra que los sólidos suspendidos *in situ* y la turbidez tienen una mayor influencia sobre las abundancia de *Eucyclops breviramatus*, nauplios, *Daphnia ambigua*, *Daphnia pulex*, *Keratella* sp y *Pompholyx* sp. En esta época los niveles de agua comienzan a subir pero la temperatura se muestra constante y alta, lo que indica una época de afloramiento. Según estudios de Gutiérrez y Gagneten (2011), este suceso causa una explosión de abundancias de fitoplancton y consecuentemente las abundancias de zooplancton. Este suceso es provocado por la mezcla de agua fría y caliente que llevan los nutrientes desde los sedimentos hasta la superficie (Korovchinsky 1992), que se demuestra en los valores bajos de DBO y valores altos de pH (Anexo 2). Este mismo

hecho ha sido registrado en estudios realizados por Acosta (2005) y Vásquez y Rey (1992).

En esta época, la similitud de sitios de muestreo en variables abióticas y la biota se comienza a disgregar, es decir la estabilidad que se tenía en la época seca comienza a romperse a causa de dos factores: el aumento de lluvias y la temperatura; en las figuras 58 y 61 se observa claramente cómo han comenzado a perder similitud. Se puede observar en el anexo 2, que los parámetros de fenoles y TPH comienzan a oscilar en la columna de agua. Esto puede deberse a la velocidad de mezcla que aumenta con la consecuente disminución de la similitud de los sitios, por lo cual se puede concluir que la cantidad de agua que entra en el sistema dependiendo de la época, afecta directamente sobre la dinámica de la laguna de Papallacta, este mismo fenómeno se reporta en el estudio realizado por Wörman y Kronnäs (2005), en humedales donde concluyen que la cantidad de agua que entra en un sistema altera las condiciones físico-químicas del agua.

Época de Lluvias

La figura 70 muestra que los sólidos suspendidos (laboratorio e *in situ*), la turbidez, la conductividad y la profundidad no afectan las abundancias de las especies, ni de los estadios larvarios en la columna de agua, es decir que la biota no muestra dependencia a estas variables. En la época de lluvias se incrementa el nivel de agua en la Laguna de Papallacta, lo que produce una disminución en la cantidad

de nutrientes, que sumado a la baja penetración de luz y las bajas temperaturas provocan la disminución de fitoplancton en el sistema hídrico (Casalla y Gunkel, 2001); en el anexo 3 se puede apreciar que los valores de DBO tienden a ser elevados y los valores de pH son bajos por la escasez de fotosíntesis en el sistema.

Los grupos de cladóceros y copépodos comienzan a competir directamente por el alimento causando una disminución de sus abundancias (Anexo 6) por lo cual la similitud que muestran las figuras 59 y 62 para esta época es mayor, así mismo se observa que hay gran semejanza entre sitios debido a la dinámica que posee la laguna de Papallacta. La disminución de alimento provoca una competencia entre grupos de zooplancton, por ejemplo la especie *Diacyclops thomasi* durante su ciclo de vida es herbívoro pero en estadios avanzados cambia su hábito alimenticio a omnívoro y comienza a depredar tanto a organismos zooplanctónicos como a larvas de insectos (Marten y Reid, 2007). Los rotíferos, como la especie *Pompholyx* sp. que es un rotífero oportunista, al alimentarse de material particulado suspendido en el agua, que en esta época tiende a ser elevado, provoca una explosión de sus abundancias al no tener competencia (Anexo 6) y además porque en general la familia Testunellidae de rotíferos, al que pertenece *Pompholyx* sp, segregan una cobertura de textura gelatinosa que es de desagradable sabor para los depredadores (Andrade-Sossa *et al.*, 2011). En esta época también se observa que las abundancia de estadios tempranos de nauplios, copépodos juveniles y larvas de *Daphnia* (Anexo 6) puede significar que los huevos de resistencia estén eclosionando al tener un ambiente favorable (Acosta, 2005). Escalante *et al.* (2000), Gutiérrez y Gagneten (2011) muestran en

sus estudios este mismo hecho, y aseguran que la biota disminuye considerablemente cuando la cantidad de alimento no es la suficiente.

En el presente estudio las variaciones climáticas tienen una relación más fuerte con las abundancias de los grupos zooplactónicos como se mencionó anteriormente y fue un objetivo específico de este estudio, averiguar si hay relación del zooplancton a las variaciones climáticas o a los diferentes contaminantes del petróleo como metales pesados. Los contaminantes de los hidrocarburos aparentemente no alteran a la comunidad.

Otro objetivo específico fue sectorizar donde los organismos muestren contaminación lo cual no fue posible debido a que son organismos que tienen movilidad y como se señaló se distribuyen a los lugares donde haya mayor cantidad de recursos o los mejores lugares para su desarrollo, también puede significar que los organismos tuvieron resistencia a los contaminantes por un lado y por otro que la cantidad de metales pesados estén acumulados en el sedimento de la laguna de Papallacta y no se encuentre en dosis letales para exterminar organismo zooplanctónicos.

Relación del zooplancton con diferentes contaminantes de hidrocarburos

De acuerdo a los estudios de calidad ambiental de Paggi y Paggi (1990), la calidad química del agua debe ser un factor considerablemente importante en la estructura de poblaciones zooplanctónicas donde el deterioro de sistema hídrico afectaría su composición. Conde-Porcuna (2004) sugieren que a pesar de las interacciones ecológicas que tiene el zooplancton en un sistema hídrico, los contaminantes afectarían el equilibrio de una comunidad sana. Además de esto Wang y Yu (2002) indica que los metales pesados no afectarían por igual a los distintos componentes del zooplancton y concluye que los cladóceros fueron los más afectados por metales pesados, en tanto que los copépodos y rotíferos resultaron ser los más resistentes.

Las comunidades zooplanctónicas de la laguna de Papallacta fueron modificadas por la contaminación de la fuente hídrica, sin lugar a dudas, pero fue durante los primeros meses del derrame. Ahora si observamos los anexos 1, 2 y 3, los contaminantes tienen cantidades menores que las que debieron tener al momento del derrame, en este punto años atrás la comunidad debió haber sido afectada mayormente e inclusive pudo llevar a la desaparición de algunos organismos zooplanctónicos

Los trabajos realizados por Gutiérrez y Gagneten (2011), también registraron que los metales pesados afectan en mayor medida a los cladóceros que a los

copépodos. Además señalan que los copépodos son tolerantes a la acción tóxica de metales pesados. En los estudios de Andrade-Sossa *et al*, (2011) se demuestra que los nauplios, copepoditos y rotíferos tienden a resistir los contaminantes pero sugieren que reducen sus tamaños.

Gagneten (2008) presume que la biota podría consumir los metales pesados en suspensión. En este estudio no se obtuvieron valores de correlación (Anexo 7, 8 y 9) entre los metales pesados estudiados y las variables ambientales, es más la relación que existe es tan débil que no se aprecian valores. Pero si se observan los valores de los anexo 1, 2 y 3 se presumirían que por la dinámica hídrica que ocurre en la laguna de Papallacta, el zooplancton podría consumir en la época de lluvias material contaminado, que se encuentra en suspensión en la columna de agua como son los fenoles, tph y metales pesados.

Si bien en el estudio no se pudo obtener una relación directa entre los metales pesados y la biota, se debe considerar que los metales pesados, elementos que tienen un peso atómico considerablemente altos (Rainbow, 1997), se caracterizan por ser altamente dañinos y alteran los ecosistemas y sus redes tróficas.

Al estar los metales pesados ligados a la materia orgánica, éstos pueden ser incorporados a la biomasa zooplanctónica por vía trófica (Conde-Porcuna, 2004), donde los contaminantes serían incorporados en el primer nivel de la cadena trófica - el fitoplancton- y luego al zooplancton debido a que es su alimento, y posteriormente

a organismos superiores como *Oncorhynchus mikiss* (trucha Arco Iris) por magnificación biológica. En este caso al estar asociada a metales pesados, podría tener un efecto negativo sobre la biota del ecosistema acuático y posteriormente sobre los animales o humanos que se encuentren cerca a esta fuente.

A partir del reconocimiento de la importancia del proceso de biomagnificación de metales pesados, en los últimos años se han intensificado los estudios que incluyen la distribución de los metales a través de los organismos. Beltrán (2004) destaca que hay una relación muy estrecha entre el contenido de metales pesados de los organismos zooplanctónicos y sus hábitos tróficos y ecológicos. En tal sentido, en experiencias de laboratorio se pudo determinar bioconcentración de Cr en el segmento de la cadena trófica de agua dulce representado por *Daphnia magna* (Gutiérrez y Gagneten, 2008). El patrón de bioacumulación registrado podría continuar en niveles tróficos superiores como por ejemplo en peces ictiófagos.

El efecto de los hidrocarburos en la distribución zooplanctónica, objetivo específico de este estudio no se cumplió, debido a que no hay una historia limnológica lo suficientemente sólida de la laguna de Papallacta, sin embargo se debería considerar otros estudios que complementen éste como se verá más adelante.

Conclusión Final

El estado de salud ecológica que tiene la laguna de Papallacta, dependiendo de las historias naturales que tienen las especies de zooplancton registradas en este estudio, sugiere que es mesotrófico pero de acuerdo a los valores permisibles para considerar un ambiente sano para flora y fauna y para determinar una fuente de agua potencial para consumo animal o humano, según el Texto Unificado de legislación ambiental secundaria (Tulas, 2010), los resultados de los análisis realizados en la laguna de Papallacta, demuestra que no se puede consumir agua de esta fuente hídrica y que no tiene una calidad ambiental adecuada para la flora y fauna. En el anexo 10 muestra que el límite permisible de fenoles en el sistema hídrico para consumo, es de 0.002 mg/l para el ser humano o animal y 0.001 mg/l para flora y fauna del lugar, estos valores según el estudio, se elevan en épocas de lluvias. Los TPH en los sitios L7 y L13 en la época seca se encuentran dentro del valor permisible de 0.5 mg/l.

Esta fuente hídrica no puede ser utilizada como reservorio para la ciudad de Quito, por lo que la necesidad de agua potable es un problema que se evidenciará en los años por venir, lo cual es corroborado por Grandes (2011).

Recomendaciones

- Se debe realizar un estudio comparativo de la composición y estructura de comunidades zooplanctónicas tomando en cuenta las condiciones físico-químicas de la fuente hídrica sin intervenir.
- Se debe realizar un estudio sobre los tamaños de los grupos copépodos y rotíferos, para determinar si hubo una reducción de sus tamaños. Si los resultados de un estudio de esta naturaleza fueran significativos, también se propondría un estudio adicional para determinar la cantidad de metales pesados que estén incorporados en sus tejidos.
- Se debe añadir en este tipo de estudios un muestreo de sedimento, conducido a encontrar huevos de resistencia especialmente de grupos copépoda y cladóceras. Si se logra encontrarlos también se debería tratar de aislarlos y hacerlos eclosionar con el fin de encontrar nuevas especies.
- Se debe añadir un estudio sobre la dinámica térmica y sobre las corrientes internas que posee la laguna de Papallacta.
- Por último se recomienda no intervenir la laguna de Papallacta con una nueva biorremediación y permitir que el ecosistema intente recuperarse por sí solo. Se hace necesario que la sociedad se involucre y se cree conciencia ambiental

Bibliografía

- Acosta F. 2005. Caracterización del zooplancton de laguna en la llanura inundable del río Ichilo. *Revista Boliviana. Ecología*. 17:01-14, Cochabamba Bolivia.
- Albuja L., Ibarra M., Urgilés J. y Barriga R. 1982. Estudio preliminar de los vertebrados ecuatorianos. Escuela Politécnica Nacional. Quito Ecuador.
- Alemán A. 2009. Determinación de hidrocarburos totales del petróleo en suelos y sedimentos de la cuenca del río Coatzacoalcos. Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Químicas. Tesis: Para obtención del título de Ingeniero Químico. Veracruz México
- Andrade-Sossa C., Garcia-Folleco M., Rodriguez-Munar C., Duque S. y Realpe, E. 2011. Efectos de la fluctuación del nivel del agua sobre la estructura del ensamblaje de rotíferos en el Lago Largo (Sistema Yahuaraca - Llanura de Inundación del Río Amazonas - Colombia). *Caldasia* 33(2): 519-537.
- Armengol J. 1978. Los crustáceos del plancton de los embalses españoles. Departamento de Ecología. Facultad de Biología, Universidad de Barcelona. España. *Oecologia aquatica*. Vol. 8-12
- Arriaga L., Aguilar V. y Alcocer J. 2002. Aguas continentales y diversidad biológica de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Bahamonde N. y Ruiz R. 2003. Distribución Estacional de Cladóceros y Copépodos en el Lago Rapel, Chile Central. *Revista Chilena de Historia Natural*, Santiago Chile. Publicación Ocasional N° 58: 8; 33-37.
- Bahamonde N. y Ruiz, R. 2003. Distribución Estacional de Cladóceros y Copépodos en el Lago Rapel, Chile Central. *Revista Chilena de Historia Natural*, Santiago Chile. Publicación Ocasional N° 58: 8; 33-37.

- Baron J., LeRoy N., Angermeier P., Dahm C., Gleick P., Hairston N., Jackson R., Johnston C., Richter B. y Steinman A. 2003. Sustaining Healthy Freshwater Ecosystems. Issues in Ecology. Ecological Society of America. Minnesota. Estados Unidos. Number 10
- Barriga S. y Terneus E. 2005. Primer hallazgo de una población de Paloendemica del Pez Grundulus cf. Bogotencis (Humboldt, 1821) en los altos andes del Ecuador. Departamento de ciencias Biologicas, Escuela Politecnica Nacional. Quito Ecuador.
- BIODAMAZ. 2004. Guía para Estudiar Patrones de Distribución de Especies Amazónicas. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana. Perú. Documento técnico No. 06.
- Brancelj A., Meester L. y Spaak P. 1996. Cladocera: The biology of model organisms: proceedings of the Fourth International Symposium on Cladocera, held in Postojna, Slovenia. Hydrobiologia. V. 360.
- Bravo E. 2007. Los impactos de la explotación petrolera en ecosistemas tropicales y la biodiversidad. Acción Ecológica. Quito. Ecuador.
- Bueno J., Alvarez F. y Santiago-Fragoso S. 2005. Biodiversidad del Estado de Tabasco. México. UNAM. 370 páginas.
- Camacho A. y Ariosa L. 2000. Diccionario de términos ambientales. Centro Félix Varela. Publicaciones Acuario. La Habana-Cuba.
- Casallas J. y Gunkel G. 2001. Limnological investigations in Lake San Pablo, a high mountain lake in Ecuador. Linnetica. España. 20(2). Pág. 11-13.
- Chang J. 2006. Limnología. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar. Guayaquil-Ecuador. Pág. 7-9

- Conde-Porcuna J., Ramos-Rodríguez E. y Morales-Baquero R. 2004. El zooplancton como integrante de la estructura trófica de los ecosistemas lenticos. Instituto del Agua, Universidad de Granada. AEET. Revista de ecosistemas. Granada, España.
- Cowardin L., Carter V., Golet F., LaRoe E. 1979. Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States. U. S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service, Washington, D.C. 131pp.
- Cumbal I., Aguirre V., Murgueitio E., Tipan I., Chavez C., Poma F. 2008 Origen del arsénico en las aguas y sedimentos de la laguna de Papallacta. Centro de Investigaciones científicas. Escuela Politécnica del Ejército. Sangolquí, Ecuador.
- Díaz J. 2008. Atlas de organismos planctónicos en los humedales de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. España. Pág. 149-200.
- Donner J. 1965. Ordnung Bdelloidea. Reihe: Bestimmungsbücher zur boden Fauna Europas. Akademie-Verlag, Berlin. Alemania. 296 p.
- East T., Havens K., Rodusky A. y Brady M. 1999. *Daphnia lumhotzi* and *Daphnia ambigua*: population comparisons of an exotic and native cladoceran in lake Okeechobee, Florida. Journal of Plankton Research. Vol. 21 No. 9 pp. 1537-1551.
- Escalante-Estrada V, Sánchez-Guerrero M., Pozo-Román F. y Rivera-Hernández A. 2000. *Identificación y Evaluación de Procesos Biológicos de Tratamiento*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México.
- Estupiñán H. 2006. Examen de control ambiental al derrame de crudo ocurrido en el área de la Reserva CAYAMBE-COCA, por la ruptura de la tubería del sistema de oleoducto Transecuatoriano (SOTE). A cargo de Petroecuador. Dirección de Control de Obras. Informe. Quito, Ecuador.

- Farreras S. 2004. Hidrodinámica de Lagunas Costeras. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Mexico.
- Fernandez M. 2000. II Evento Internacional de Biodiversidad y Turismo. Biotur 2000. Holguin, Cuba.
- Fossati O. y Rosero D. 2007 Invertebrados acuáticos en ríos del Sistema Papallacta (Ecuador). Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable (EMAAP), Fondo para la Protección del Agua (FONAG) y Institut de Recherche pour le Développement (IRD). Montpellier, Francia.
- Frey, D. G. 1963. Wisconsin: The Birge-Juday era. Pages 3-54 in D. G. Frey, editor. Limnology in North America. The University of Wisconsin Press, Madison.
- Gagneten A. 2002. Respuesta de una comunidad zooplanctónica de agua dulce a la aplicación de cromo en clausuras experimentales. Interciencia. Vol. 27. Número 010. Pag. 563-570 Caracas Venezuela.
- Gagneten A. 2008. Respuestas del zooplancton a la contaminación por cromo en la cuenca del río Salado Inferior. Universidad Nacional del Litoral. Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas. Tesis de Doctorado. Santa Fe, Argentina.
- Grandes X. 2011. Informe técnico del análisis limnológico del fitoplancton y zooplancton del agua de los embalses la Mica, Salve Facha, Mogotes, Sucus y La Laguna de Papallacta. Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento.
- Greenacre M. 2008. Análisis Canónico de Correspondencias. La práctica del análisis de correspondencias. Capítulo 24. Fundación BBVA. Editorial Rubes. España.
- Gutiérrez E. 2006. Estudio comparativo del zooplancton en dos regiones de México. El Colegio de la Frontera Sur, Informe final SNIBCONABIO proyecto No. AS019 México D. F. 3-4

- Gutiérrez M. y Gagnetten A. 2011. Efectos de los metales sobre microcrustáceos de agua dulce. Avances metodológicos y potencialidad de cladóceros y copépodos como organismo test. *Revista Peruana Biología* 18(3): 389-396. Facultad de Ciencias Biológicas UNMSM. Lima Perú.
- Hairston B. 1996. Zooplankton egg bank as biotic reservoirs in changing environments. *Limnology and Oceanography*. Cornell University. New York. *Limnom. Oceanogra.* 41(5): 1087-1092.
- Hernández C., Arquillos A. y Nates J. 2006. Plan de manejo ambiental del parque ecológico distrital humedal Tibanica. México. 5-6
- Imoobe T. y Adeyinka M. 2009. Zooplankton basado en la evaluación del estado trófico de un río de bosques tropicales en Nigeria. *Arco, Biol., Ciencia., Belgrado*. Pag 1, 2. Lakeshore. Science for a changing world. 5-6. Porter, Indiana.
- Korovchinsky M. 1992. Sididae & Holopedidae (Crustacea: Daphniformes). SPB Academics, The Hague, 82p. Guides to the identification of the microinvertebrate of the continental waters of the world, V.3.
- Lahoz-Beltrán R., Ortega-Escobar J. y Fernández C. 1995. Métodos Estadísticos en Biología del Comportamiento. Colección manuales: Sección: Ciencias del Comportamiento. Madrid. España. 232 páginas.
- Langston W. 1990. Toxic Effects of Metal and the Incidence of Metal Pollution in Marine Ecosystems. In: R. W. Furnes y P. S. Rainbow (Eds.), *Heavy Metals in the Marine Environment*. Boca Raton. Florida. 256pp.
- Lewis W. 1983. A revised classification of lakes based on mixing. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40: 1779-1787

- Marcus N., Lutz R., Burnett W. y Cable P. 1994. Age, viability, and vertical distribution of zooplankton retreating eggs from an anoxic basin: Evidence of egg bank. *Limnology and Oceanography*. Florida State University. 39(1): 154-158.
- Marten G. y Reid J. 2007. Cyclopoid Copepods. Biorational Control of Mosquitoes, American Mosquito Control Association Bulletin. Nueva Orleans-Los Angeles. No. 7.
- Martínez S., Vela A., Botero A., Arandia F. y Mollinedo P. 2010. Nuevo micro-bioensayo de eco toxicidad de extractos acuosos de plantas medicinales sobre *Daphnia magna*. Instituto de Investigaciones en Productos Naturales. Revista Boliviana de Química. La Paz. Bolivia. Volumen 27, No. 1.
- Mejía M. 2007. Ecología Tropical: Clasificación de Laguna Tropicales. Revista de Biología Tropical. Colombia. 70 pp.
- Mena-Vásquez P. 2005. La biodiversidad de Paramos en el Ecuador. *Botanica Economica de Los Paramos Centrales*. Quito. Ecuador. Pag. 496-506.
- Murgel S. 1984. Limnología sanitaria, Estudio de la polución de aguas continentales. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos Programa regional de Desarrollo Científico y Tecnológico monografía N° 28. Washington. 9-79 pp
- Nordberg G. 2001. Enciclopedia de Salud y Seguridad en el trabajo: Metales propiedades físicas y Toxicidad. Organización Internacional del Trabajo, OIT. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. Tercera Edición. España. Página 339-415.
- Ochoa H., Tituaña M. y Arias G. 1999. Proyecto Turístico en el sector de Papallacta. Proyecto Bioreserva del Cóndor. Financiado por La agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) y The Nature Conservancy.

- Paggi J. y Paggi S. 1990. Zooplankton de ambientes lóticos e lênticos do río Paraná medio. *Acta Limnol. Brasil* 3: 685-719.
- Patiño I. 1998. Ecosistemas Acuáticos. Fundación Simón. Bolivia. V. 9-12 Páginas 16.
- Peñafiel J y Zayas J. 1996. Aplicación de las técnicas de medición GPS en tiempo real con precision centimetrica a levantamiento Batimetrico. *MAPPING*. Madrid. España.
- Pinilla G. y Pinilla A. 1998. Indicadores Biológicos en Ecosistemas acuáticos continentales de Colombia: Recopilación Bibliográfica. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Magdalena. Colombia. Páginas 67.
- Rainbow P. 1997. Ecophysiology of Trace Metal Uptake in Crustaceans. *Estuarine, Coastal and Shelf. SCIENCE*. 44, 169-175.
- Ramirez F. 1981. Cladóceras. Atlas de zooplankton del Atlántico Sudoccidental métodos de trabajo con zooplankton marino. Demetrio Boltovskyoy. Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero. Mar del Plata. Argentina. Páginas 1-936
- Roldán G. 1992. *Fundamentos de Limnología Neotropical*. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia. Pp. 529.
- Roldán G., Machado T. y Fernando-Velasquez L. 1981. Ecología: La ciencia del Ambiente: Ecosistemas Acuáticos. Edición Norma. Medellin. Colombia. Páginas 200-226.
- Romero L. 2008. Caracterización morfo técnica y aspectos filogenéticos de cepas de rotíferos del grupo *Brachionus plicatilis* utilizados en la acuicultura peruana. Tesis para obtener título de Biólogo. Pág. 1, 3, 4. Lima- Perú
- Rossell A., González H., Abreu J. y Galván M. 1982. Técnicas de Muestreo y análisis de Plancton y Perifiton. Instituto Nacional de Ecología. Edic. (3) México. D F. Pg. 1-149.

- Salas I., Gorrochotegui N., Gómez H. y Ponce G. 2005. Utilización de copépodos en el control de *Aedes aegypti*. Laboratorio de Entomología Médica. FBC-UANL. San Nicolás de los Garza, México. N. L. CP 66450.
- Sarmiento F., Vera F. y Juncosa J. 2000. Diccionario de Ecología: Paisajes, Conservación y Desarrollo Sustentable para Latinoamérica. Editorial Abya Yala. Quito. Ecuador. Páginas 226.
- Schönborn W. 2004. Biotechnology: Microbial Degradation. Vol.8, VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, Germany.
- Silva M. 2003. Diversidade dos Cyclopoida (Copepoda, Crustacea) de água doce do Estado de São Paulo: taxonomia, ecología e genética. Tesis Doctoral. São Carlos: UFSCAR. Brazil. 154 p.
- Sokal R y Rohlf J. 1986. Bioestadística. Volumen 5 de serie de biología fundamental. Reverte. New York. 380 Páginas.
- Steinitz-Kannan M, Colinvaux P. y Kannan R.1983. Limnological studies in Ecuador:a survey of chemical and physical properties of Ecuadorian Lakes. Ecuador. Hydrobiology 65:61-103.
- Steinitz-Kannan M. 1979. Comparative Limnology of Ecuadorian Lakes: A Study of Species Number and Composition of Plankton Communities of the Galapagos Islands and the Equatorial Andes. Ohio State University, 1-372 p.
- Steinitz-Kannan M. 2006. Informe para Ecu ambiente sobre el monitoreo de la Laguna de Papallacta Universidad San Francisco de Quito. Ecuador.
- Terneus E., Cueva M., Molina M. y Rancies M. 2011. Informe Final del Monitoreo Limnológico y macroinvertebrados en las zonas remediada de la laguna de Papallacta

- Torres L. y Rylander K. 2006. Diversity and abundance of littoral cladocerans and copepods in nine Ecuadorian highland lakes. Texas University. Texas, United States. Rev. Biol. Trop. Vol. 54 (1): 131-137.
- Tricart J. 1985. *Pro-Lagos. Los lagos del Eje Neovolcánico de México*. Instituto de Geografía, UNAM, Universite Louis Pasteur-Strasbourg I, Conacyt, Centre National de la Recherche scientifique. México, D. F., 66 pp.
- Umaña, G. & C. Collado. 1990. Asociación planctónica en el Embalse Arenal, Costa Rica. Rev. Biol. Trop. 38: 311-321.
- Uribarren T. 2013. Gnatostomosis. Departamento de Microbiología y Parasitología. Universidad Nacional Autónoma de México. México. Bio. Salud. 30(4).
- Vásquez E. y Rey A. 1989. A longitudinal study of zooplankton along the lower Orinoco River and its Delta. Venezuela. Annales de Limnologie 25(2): 107-120.
- Velázquez A. y Martínez J. 2002. La Ecología de Montaña: Oportunidades para la investigación científica: Ecosistemas Acuáticos. Academia de Ciencias Exactas, físicas, Químicas y Naturales de Zaragoza. España. Páginas 101-112
- Wallace R. Snell T., Ricci C. y Nogardy T. 2006. "ROTIFERA: Biology, ecology and systematics. Guides to the identification of the microinvertebrates of the continental waters of the world". Second edition. Number 23. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands.
- Wang X y Yu R. 2002. Trace metals assimilation and release budget in *Daphnia magna*. Limnology and Oceanography. Hong Kong. China. 47 (2). 495-504.
- Weemaels N. 2003. Derrame del SOTE en Papallacta. Acción Ecológica. <http://www.accionecológica.org/petroleo/crudos-pesados/ocp/181-derrame-sote-en-papallacta> Ingreso: 7 de Octubre de 2011.

Wetzel R. 1981. Limnología. Ediciones Omega, S. A.- Casanova, Barcelona- 36. 222-241 pp.

Whitman R. L., Davis B. y Goodrich M. L. 2002 Study of the application of limnetic zooplankton as a bioassessment tool for lakes of sleeping bear dunes national lakeshore. Science for a changing world. 5-6. Porter, Indiana.

Wörman A. y Kronnäs V. 2005. Effect of pond shape and vegetation heterogeneity on flow and treatment performance of constructed wetlands. Journal of Hydrology 301: 123-138.

Sitios Web

Figura 1. <http://destinoecuador.ec/fotos/thumb-lagunamica.jpg>. Ingreso: 12 de Febrero de 2012.

Figura 2. Asombrados por la majestuosidad de un Oso de anteojos. Fuente: <http://selvanet20.blogspot.com/2010/10/oso-de-anteojos-tremarctos-ornatus.html>. Ingreso: 14 de Febrero de 2012

Figura 5. Laguna de Papallacta después de cuatro días del derrame. Fuente: <http://www6.rel-uita.org/agricultura/ambiente/fotos/papallacta.jpg>: La red. Ingreso: 19 de Marzo de 2013.

Figura 7. Cuerpo de agua Léntico: Laguna de Papallacta Fuente: http://www.turismoenfotos.com/archivos/temp/3229/400_1243349606_laguna-de-papallacta-ecuador.jpg. Ingreso: 19 de Marzo de 2013.

Figura 9. Estratificación térmica de Lagunas y Lagos en Zonas Calientes Fuente: The thermocline: a summer phenomenon in Michigan in land lakes: http://msue.anr.msu.edu/news/the_thermocline_a_summer_phenomenon_in_michigan_inland_lakes Ingreso: 15 de Marzo de 2012.

Figura 10. Variaciones de los Ecosistemas Loticos. Fuente: Limnology Lecture -- EFB 524: <http://www.esf.edu/efb/schulz/Limnology/Limnology3.html> Ingreso: 18 de Marzo de 2012.

Figura 11. Zonificación longitudinal y Zonificación lumínica de lagos. Fuente: Organisms and the Environment; tutorvista.com. Ingreso: 20 de Marzo de 2012.

Figura 12. Mezcla del agua que ocurre durante todo el día con la ayuda del viento en lagunas tropicales cálidas. Fuente: Ecología de las Aguas Dulces: <http://www.jmarcano.com/nociones/fresh3.html> Ingreso: 20 de Marzo de 2012.

Figura 13. Muestra las dos zonas en una Laguna Tropical Fría Fuente: Lagos: <http://www.ucm.es/info/ecologia/Descriptiva/Rios1/Rios1.htm> Ingreso: 24 de Marzo de 2012

Figura 21. Área de influencia donde ocurrió la contaminación de petróleo en la localidad de Papallacta. Fuente: [http://www.cepeige.org/Documentos/2005\(6-37\).Andrade2005](http://www.cepeige.org/Documentos/2005(6-37).Andrade2005). Ingreso: 19 de Marzo de 2012.

Figura 22. Esquema de Batimetría realizada en el Proyecto. Fuente: <http://samsulbahriodc.blogspot.com/> 13 de Marzo de 2013.

Figura 23. Gpsmap 62s de precisión para ubicación de puntos en batimetría y colección de muestras. Fuente: <http://www.taringa.net/posts/apuntes-y-monografias/10505784/Como-pasar-los-puntos-de-GPS-a-mi-pc-notebook-u-otro.html>. Ingreso: 15 de Marzo de 2013.

An Image-Based Key to the Zooplankton of the Northeast (USA): <http://www.cfb.unh.edu/CFBKey/html/index.html>. Ingreso: 02 de Enero de 2012

Free-living and Parasitic Copepods (Including Branchiurans) of the Laurentian Great Lakes: Keys and Details on Individual Species <http://www.glsc.usgs.gov/greatlakescopepods/> Ingreso: 02 de Enero de 2012

The Academy of Natural Sciences Rotifer Collection Search

<http://rotifer.acnatsci.org/rotifer.php> Ingreso: 02 de Enero de 2012

Glosario (Camacho y Ariosa, 2000).

Afótica: Zona donde no es posible el desarrollo de procesos fotosintéticos, ya que menos del 1% de la luz solar penetra en ellas.

Antropogénicos: se refiere a los efectos, procesos o materiales que son el resultado de actividades humanas.

Bioacumulación: es el proceso de acumulación de sustancias químicas en organismos vivos de forma que estos alcanzan concentraciones más elevadas que las concentraciones en el medio ambiente o en los alimentos. Las sustancias propensas a la bioacumulación alcanzan concentraciones crecientes a medida que se avanza en el nivel trófico en la cadena alimenticia.

Biorremediación: A cualquier proceso que utilice microorganismos, hongos, plantas o las enzimas derivadas de ellos para retornar un medio ambiente alterado por contaminantes a su condición natural.

Biota: Se designa al conjunto de especies de plantas, animales y otros organismos que ocupan un área dada.

Carotenos: compuesto químico llamado más específicamente β -caroteno. Este es el carotenoide más abundante en la naturaleza y el más importante para la dieta humana, por lo que da su nombre a todo un grupo de compuestos bioquímicos.

Ecología: Ciencia que estudia las relaciones de los seres vivos entre sí y con el medio en el que viven.

Epicontinentales: Se dice de las zonas marinas próximas a la costa, situadas sobre la plataforma marina. Los ecosistemas acuáticos epicontinentales son todas aquellas aguas superficiales que se distribuyen en los continentes.

Epilimnion: a capa cálida superior de agua en un lago o un estanque distribuida por el viento y por lo general de una temperatura uniforme.

Eutrofización: Enriquecimiento de las aguas con nutrientes a un ritmo tal que no puede ser compensado por su eliminación definitiva por mineralización, de manera que el exceso de materia orgánica producida hace disminuir enormemente el oxígeno en las aguas profundas.

Exopoditos: La rama exterior del protopodito del apéndice de un crustáceo.

Fótica: Es aquella en la que penetra la luz del sol. Su profundidad es muy variable en función de la turbidez del agua.

Heterótrofos: Se aplica al organismo que es incapaz de elaborar su propia materia orgánica a partir de sustancias inorgánicas y se nutre de sustancias elaboradas por otros seres vivos.

Hidrocarburos: Compuesto químico orgánico formado por carbono e hidrógeno.

Hipolimnion: En las masas de agua estratificadas térmicamente, capa situada por debajo de la zona de máxima discontinuidad.

Intersticiales: Compuesto cristalino formado por una malla a base de metales de transición en cuyos intersticios se colocan átomos de elementos ligeros.

Labrum: labio, belfo, labro; labio de un invertebrado (en zoología).

Maxilípodo: Uno de los apéndices de la boca de crustáceos, situado detrás del maxilar superior. Cangrejos tienen tres pares, pero muchos de los crustáceos inferiores tienen una par.

Mesotrófico: Es un cuerpo de agua con un nivel intermedio de productividad, mayor que el de un lago oligotrófico, pero menor que el de un lago eutrófico.

Oligomerización: Partes iguales de un crustáceo, tienen mucha semejanza.

Oligomicticos: son lagos cuya temperatura en todo el lago es de 4° y rara vez tienen un período de circulación, se da en los climas tropicales húmedos.

Oligotróficos: Es un cuerpo de agua con baja productividad primaria, como resultado de contenidos bajos de nutrientes.

Pelágica: Se aplica a la zona del mar o lacustre que comprende prácticamente su totalidad, a excepción del fondo y las orillas.

Pleistoceno: Se aplica a la época geológica que es la primera de la era cuaternaria o neozoica, o, según las escuelas, la primera del periodo cuaternario de la era cenozoica, y precede al holoceno; se extiende desde hace unos 2 millones de años hasta hace unos 10 000 años.

Polimícticos: Es una calificación que se aplica a los lagos que tienen la característica que las aguas se mezclan vertical y completamente muchas veces al año.

Rabiones: Corriente impetuosa del río en los cauces estrechos o de mucha pendiente.

Telson: Último segmento del cuerpo de un crustáceo.

Termoclina: Gradiente vertical brusco de temperatura que se produce por la mezcla de aguas frías y calientes.

Topografía: Técnica para describir y representar con detalle la superficie o el relieve de un terreno.

Trofogénica: La zona trofогénica es definida como epilimnio, pero no es idéntica a éste. En lagos de aguas turbias, la alta absorción de la luz resultará de una alta concentración de fitoplancton, y la radiación disponible para la fotosíntesis no alcanzará los bordes más profundos del epilimnio, mientras que en lagos de aguas claras, esa radiación puede penetrar el epilimnio y partes superiores del hipolimnio.

Anexos

Anexo 1. Variables abióticas registradas en todos los sitios de muestreo los sitios durante la época seca en la laguna de Papallacta.

UNIDAD SITIOS/VARIABLES		L1	L2A	L2B	L3	L4	L5A	L5B	L5C	L6	L7	L8A	L8B	L8C	L9	L10	L11	L12	L13	L14
mg/l	BARIO	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
mg/l	CROMO	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
mg/l	DBO	4	2	13	2	1	8	1	15	3	1	1	1	1	1	6	4	1	1	10
mg/l	DQO	18	14	29	15	14	16	16	20	15	5	11	16	18	13	17	10	5	10	27
mg/l	FENOLES	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
mg/l	NITROGENO GLOBAL	0.3	0.4	0.3	0.3	0.4	0.5	0.4	0.5	0.4	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4
mg/l	PLOMO	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
mg/l	SOLIDOS SUSPENDIDOS (LABORATORIO)	16	17	8	10	6	18	5	8	11	6	9	8	5	13	23	14	15	6	6
mg/l	TPH	0.08	0.07	0.08	0.13	0.05	0.12	0.05	0.04	0.07	0.5	0.05	0.05	0.06	0.05	0.1	0.11	0.02	0.5	0.02
mg/l	TURBIDEZ	7	7	6	7	6	13	5	6	19	5	6	8	6	9	9	7	7	6	4
mg/l	VANADIO	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Metros	PROFUNDIDAD	1.2	5.8	5.8	3.0	8.8	12.2	12.2	12.2	1.8	29.3	28.3	28.3	28.3	18.0	2.0	3.0	3.7	16.5	16.5
Celsius	TEMPERATURA	14.4	14.3	14.3	14.4	13.3	13.7	13.8	13.75	14.6	15.3	13.3	12.2	12.2	12.2	13.8	14.9	14.5	14.3	13.3
μS	CONDUCTIVIDAD	810	790	790	790	760	770	790	780	810	740	740	780	780	780	780	870	810	820	770
pH	pH	8.9	9	9	8.9	9	8.9	9.1	9	8.9	9.8	9.2	9.3	9.3	9.3	9.2	8.9	8.9	8.7	9.4
ppm	OXIGENO SATURACION	6.1	6.2	6.2	6	5.5	5.4	5.6	5.5	6.1	6.03	5.6	5.5	5.5	5.5	5.6	6.2	6.1	6	5.5
mg/l	SOLIDOS SUSPENDIDOS <i>IN SITU</i>	400	390	390	390	370	380	390	385	400	370	370	380	380	380	390	430	400	390	380
Metros	SECKI	1.3	5.7	5	3.1	2.1	3.1	3	2.8	1.58	3.1	3	2.7	1.8	3.5	1.95	3	2	3.5	3.3

Anexo 2. Variables abióticas registradas en todos los sitios de muestreo durante la época transición en la laguna de Papallacta.

UNIDAD	SITIOS/VARIABLES	L1	L2A	L2B	L3	L4	L5A	L5B	L5C	L6	L7	L8A	L8B	L8C	L9	L10	L11	L12	L13	L14
mg/l	BARIO	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
mg/l	CROMO	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
mg/l	DBO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
mg/l	DQO	31	14	15	12	16	14	28	21	9	14	33	12	33	23	15	14	16	15	12
mg/l	FENOLES	0.005	0.001	0.001	0.006	0.001	0.001	0.001	0.001	0.005	0.03	0.04	0.08	0.001	0.001	0.001	0.003	0.001	0.002	0.001
mg/l	NITROGENO GLOBAL	0.86	0.34	0.15	0.37	0.59	5.22	3.54	3.42	0.09	0.24	0.04	0.65	0.27	0.08	0.10	0.09	0.78	0.02	0.04
mg/l	PLOMO	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
mg/l	SOLIDOS SUSPENDIDOS (LABORATORIO)	5	9	14	15	13	5	5	5	8	7	5	5	5	6	8	21	10	6	5
mg/l	TPH	0.14	0.10	0.10	0.15	0.14	0.14	0.18	0.28	0.12	0.18	0.18	0.20	0.12	0.16	0.13	0.15	0.14	0.09	0.18
mg/l	TURBIDEZ	8	16	7	19	10	4	6	6	8	9	3	7	6	8	6	8	10	9	5
mg/l	VANADIO	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Metros	PROFUNDIDAD	0.9	5.2	4.6	3.4	2.7	14.9	14.3	13.7	1.5	28.3	28.3	27.4	27.1	6.1	0.9	3.7	3.4	16.5	17.1
Celsius	TEMPERATURA	14.6	14.9	14.9	14.9	14.9	14.7	14.7	14.7	14.7	14.8	14.7	14.7	14.7	14.6	13.9	14.8	14.9	14.7	14.6
μS	CONDUCTIVIDAD	780	780	780	780	760	760	760	760	810	750	750	750	750	750	760	790	770	760	750
pH	pH	7.7	7.8	7.8	7.9	7.9	8.1	8.1	8.1	7.6	8.3	7.6	7.6	7.6	7.9	7.8	7.8	7.9	7.8	8.3
ppm	OXIGENO SATURACION	6.1	6.1	6.1	6.5	6.3	5.9	5.9	5.9	6.1	6.1	5.9	5.9	5.9	5.9	6.5	6.2	6.3	6.3	5.6
mg/l	SOLIDOS SUSPENDIDOS <i>IN SITU</i>	380	390	390	390	380	380	380	380	400	380	380	380	380	380	370	390	390	380	380
Metros	SECKI	1.2	2.3	2.3	2.4	3.1	3.5	3.5	3.5	1.6	3.6	3.3	3.3	3.3	3.2	1.2	2.1	2.1	3.6	3.5

Anexo 3.- Variables abióticas registradas en todos los sitios de muestreo durante la época de lluvias en la laguna de Papallacta.

UNIDAD	SITIOS/VARIABLES	L1	L2A	L2B	L3	L4	L5A	L5B	L5C	L6	L7	L8A	L8B	L8C	L9	L10	L11	L12	L13	L14
mg/l	BARIO	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
mg/l	CROMO	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
mg/l	DBO	31	18	15	16	14	14	3	7	19	11	2	5	14	18	22	20	12	19	26
mg/l	DQO	39	19	20	19	23	31	42	32	23	26	18	13	52	27	18	21	30	38	39
mg/l	FENOLES	0.001	0.001	0.004	0.001	0.016	0.007	0.008	0.011	0.012	0.011	0.008	0.010	0.011	0.015	0.006	0.008	0.016	0.001	0.007
mg/l	NITROGENO GLOBAL	2.8	2.9	2.8	2.8	2.9	2.8	2.8	2.9	2.8	2.8	2.7	2.8	2.8	2.8	2.9	2.8	2.8	2.7	2.8
mg/l	PLOMO	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
mg/l	SOLIDOS SUSPENDIDOS (LABORATORIO)	16	16	16	19	16	50	19	16	16	27	18	16	16	20	16	16	16	17	21
mg/l	TPH	0.112	0.124	0.132	0.173	0.051	0.244	0.233	0.101	0.112	0.091	0.122	0.122	0.091	0.071	0.142	0.066	0.076	0.101	0.061
mg/l	TURBIDEZ	17.0	17.0	16.0	20.0	20.8	35.4	13.2	12.4	17.0	29.1	15.5	11.6	11.1	12.6	21.0	17.0	16.6	18.1	20.5
mg/l	VANADIO	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Metros	PROFUNDIDAD	5.5	10.1	10.1	7.6	4.0	18.6	18.6	18.6	6.1	33.2	31.7	31.7	31.7	13.1	7.0	8.8	7.3	16.8	21.6
Celsius	TEMPERATURA	10.8	11.0	11.0	11.3	11.3	11.0	11.0	11.0	11.0	10.9	11.1	11.1	11.1	11.2	11.1	11.2	11.3	11.2	11.4
µS	CONDUCTIVIDAD	360	390	390	400	410	400	400	400	380	420	480	480	480	390	380	380	410	420	390
pH	pH	7.9	8.9	8.9	8.9	7.5	8.0	8.0	8.0	8.1	7.6	7.6	7.6	7.6	7.9	8.9	8.1	7.8	7.8	8.3
ppm	OXIGENO SATURACION	6.0	5.7	5.7	6.4	11.8	5.9	5.9	5.9	6.0	5.6	8.5	8.5	8.5	4.9	6.5	6.1	4.7	7.5	5.9
mg/l	SOLIDOS SUSPENDIDOS IN SITU	170	190	190	190	200	200	200	200	190	210	240	240	240	190	180	190	210	220	200
Metros	SECKI	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.3	1.5	1.5	1.5

Anexo 4. Abundancia registrada en los sitios de muestreo durante la época seca en la laguna de Papallacta

[illegible]

Anexo 5. Abundancia registrada en los sitios de muestreo durante la época de transición en la laguna de Papallacta.

Zooplankton Papallacta	L1	L2 a	L2 b	L3	L4	L5 a	L5 b	L5 c	L6	L7	L8 a	L8 b	L8 c	L9	L10	L11	L12	L13	L14
<i>Eucyclops breviramatus</i>	720	960	1920	96	480	432	960	2640	432	768	2496	1200	912	336	336	816	960	240	480
<i>Leptodiptomus minutus</i>	0	0	0	0	0	192	192	336	0	144	0	0	288	0	96	0	96	0	0
<i>Diacyclops thomasi</i>	0	192	0	0	192	144	384	192	0	144	720	192	96	0	0	0	0	0	48
Copepodo Juvenil	0	0	336	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	0	0	0	0	0	0
Nauplio	0	288	768	0	144	240	336	288	336	0	288	144	336	336	192	720	288	144	96
Huevos Copepodos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Larva <i>Daphnia</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Daphnia pulex</i>	1248	480	0	336	384	336	1728	0	1200	336	960	960	192	816	192	144	1008	0	336
<i>Daphnia ambigua</i>	1488	2784	3264	288	1008	720	2592	1392	1344	528	2160	1824	1392	1200	1488	384	1488	480	1632
Morfotipo 1	0	0	0	0	0	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	96	0	0	0
Huevos <i>Daphnia</i>	240	96	0	48	48	144	0	48	48	0	0	0	0	96	192	0	96	0	96
<i>Keratella</i> sp	0	0	1248	96	624	384	336	48	240	288	0	240	240	144	96	48	1008	0	48
<i>Adineta</i> sp	336	0	0	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	96	0	0	144	0
Morfotipo 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Morfotipo 2	192	288	0	48	48	0	192	48	96	144	0	48	0	0	0	144	192	96	0
<i>Pompholyx</i> sp	336	480	336	192	240	240	336	0	96	0	0	48	192	96	240	144	288	0	192

Anexo 6. Abundancia registrada en los sitios de muestreo durante la época de lluvias en la laguna de Papallacta.

Zooplankton Papallacta	L1	L2 a	L2 b	L3	L4	L5 a	L5 b	L5 c	L6	L7	L8 a	L8 b	L8 c	L9	L10	L11	L12	L13	L14
<i>Eucyclops breviramatus</i>	144	672	48	384	528	336	96	384	624	96	288	0	48	96	48	192	336	144	48
<i>Leptodiptomus minutus</i>	48	288	96	0	0	0	0	0	288	0	144	0	0	0	288	192	48	0	288
<i>Diacyclops thomasi</i>	0	288	0	96	0	0	0	0	96	0	0	0	0	0	0	0	336	48	0
Copepodo Juvenil	0	192	96	192	384	240	192	144	0	0	336	96	48	240	384	624	240	0	336
Nauplio	48	960	768	288	960	480	288	0	240	336	336	96	48	1536	336	768	432	624	768
Huevos Copepodos	0	96	0	0	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	0	0	0	0
Larva <i>Daphnia</i>	0	144	0	96	0	96	0	192	0	288	0	0	192	0	0	48	0	48	0
<i>Daphnia pulex</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	0	0	0	96	48	0	0	0	48
<i>Daphnia ambigua</i>	48	48	96	192	480	192	240	0	0	144	0	48	48	336	96	336	0	144	336
Morfotipo 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Huevos <i>Daphnia</i>	0	96	0	0	0	0	96	48	0	0	0	0	0	0	0	0	96	96	0
<i>Keratella</i> sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Adineta</i> sp	0	0	0	96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	0	0	0
Morfotipo 1	0	0	48	48	0	0	48	0	0	0	0	0	0	0	0	48	48	0	0
Morfotipo 2	0	0	0	0	0	0	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	144	0
<i>Pompholyx</i> sp	0	672	528	816	336	480	912	0	96	528	528	288	0	1248	1536	720	816	240	1200

Anexo 7. Correlación simple de las variables abióticas usando el coeficiente de Pearson, donde los valores mayores a 0.8 muestran las variables que más se relacionan entre sí, en la época seca.

VARIABLES	DBO	DQO	NITROGENO GLOBAL	SOLIDOS SUSPENDIDOS (LABORATORIO)	TPH	TURBIDEZ	PROFUNDIDAD	TEMPERATURA	CONDUCTIVIDAD	pH	OXIGENO SATURACION	SOLIDOS SUSPENDIDOS (IN SITU)	SECCHI
DBO	1	0.717	0.341	0.073	-0.226	-0.026	-0.199	0.096	-0.009	-0.105	-0.015	0.068	0.217
DQO	0.717	1	0.027	-0.130	-0.441	-0.068	-0.075	-0.294	-0.093	-0.024	-0.205	-0.089	0.199
NITROGENO GLOBAL	0.341	0.027	1	0.304	-0.465	0.315	0.009	-0.214	-0.091	-0.119	-0.073	-0.028	-0.017
SOLIDOS SUSPENDIDOS (LABORATORIO)	0.073	-0.130	0.304	1	-0.215	0.412	-0.487	0.200	0.253	-0.276	-0.084	0.385	-0.049
TPH	-0.226	-0.441	-0.465	-0.215	1	-0.136	0.058	0.453	-0.026	0.150	0.231	-0.114	0.136
TURBIDEZ	-0.026	-0.068	0.315	0.412	-0.136	1	-0.277	0.076	0.182	-0.297	-0.540	0.210	-0.278
PROFUNDIDAD	-0.199	-0.075	0.009	-0.487	0.058	-0.277	1	-0.551	-0.656	0.777	0.077	-0.661	0.007
TEMPERATURA	0.096	-0.294	-0.214	0.200	0.453	0.076	-0.551	1	0.361	-0.266	0.096	0.487	0.107
CONDUCTIVIDAD	-0.009	-0.093	-0.091	0.253	-0.026	0.182	-0.656	0.361	1	-0.637	0.025	0.950	-0.061
pH	-0.105	-0.024	-0.119	-0.276	0.150	-0.297	0.777	-0.266	-0.637	1	0.063	-0.548	0.013
OXIGENO SATURACION	-0.015	-0.205	-0.073	-0.084	0.231	-0.540	0.077	0.096	0.025	0.063	1	-0.001	0.621
SOLIDOS SUSPENDIDOS (IN SITU)	0.068	-0.089	-0.028	0.385	-0.114	0.210	-0.661	0.487	0.950	-0.548	-0.001	1	-0.079
SECCHI	0.217	0.199	-0.017	-0.049	0.136	-0.278	0.007	0.107	-0.061	0.013	0.621	-0.079	1

Anexo 8. Correlación simple de las variables abióticas usando el coeficiente de Pearson, donde los valores mayores a 0.8 muestran las variables que más se relacionan entre sí, en la época de transición.

VARIABLES	DBO	DQO	FENOLES	NITROGENO GLOBAL	SOLIDOS SUSPENDIDOS (LABORATORIO)	TPH	TURBIDEZ	PROFUNDIDAD	TEMPERATURA	CONDUCTIVIDAD	pH	OXIGENO SATURACION	SOLIDOS SUSPENDIDOS (IN SITU)	SECCHI
DBO	1	0.470	-0.103	-0.102	-0.176	-0.175	-0.137	0.371	-0.006	-0.228	-0.300	-0.145	-0.114	0.156
DQO	0.470	1	-0.027	0.115	-0.409	0.158	-0.375	0.298	-0.100	-0.353	-0.247	-0.276	-0.388	0.130
FENOLES	-0.103	-0.027	1	-0.149	-0.233	0.349	-0.155	0.614	0.035	-0.325	-0.273	-0.158	-0.150	0.247
NITROGENO GLOBAL	-0.102	0.115	-0.149	1	-0.315	0.393	-0.292	0.088	0.036	-0.139	0.416	-0.297	-0.198	0.336
SOLIDOS SUSPENDIDOS (LABORATORIO)	-0.176	-0.409	-0.233	-0.315	1	-0.288	0.473	-0.534	0.343	0.553	-0.099	0.539	0.505	-0.392
TPH	-0.175	0.158	0.349	0.393	-0.288	1	-0.298	0.368	-0.047	-0.393	0.397	-0.455	-0.303	0.414
TURBIDEZ	-0.137	-0.375	-0.155	-0.292	0.473	-0.298	1	-0.424	0.418	0.401	-0.034	0.578	0.456	-0.272
PROFUNDIDAD	0.371	0.298	0.614	0.088	-0.534	0.368	-0.424	1	0.067	-0.691	0.098	-0.500	-0.385	0.751
TEMPERATURA	-0.006	-0.100	0.035	0.036	0.343	-0.047	0.418	0.067	1	0.230	0.060	-0.074	0.621	0.298
CONDUCTIVIDAD	-0.228	-0.353	-0.325	-0.139	0.553	-0.393	0.401	-0.691	0.230	1	-0.332	0.395	0.816	-0.710
pH	-0.300	-0.247	-0.273	0.416	-0.099	0.397	-0.034	0.098	0.060	-0.332	1	-0.299	-0.241	0.450
OXIGENO SATURACION	-0.145	-0.276	-0.158	-0.297	0.539	-0.455	0.578	-0.500	-0.074	0.395	-0.299	1	0.154	-0.553
SOLIDOS SUSPENDIDOS (IN SITU)	-0.114	-0.388	-0.150	-0.198	0.505	-0.303	0.456	-0.385	0.621	0.816	-0.241	0.154	1	-0.339
SECCHI	0.156	0.130	0.247	0.336	-0.392	0.414	-0.272	0.751	0.298	-0.710	0.450	-0.553	-0.339	1

Anexo 9. Correlación simple de las variables abióticas usando el coeficiente de Pearson, donde los valores mayores a 0.8 muestran las variables que más se relacionan entre sí, en la época de lluvias.

VARIABLES	DBO	DQO	FENOLES	NITROGENO GLOBAL	SOLIDOS SUSPENDIDOS (LABORATORIO)	TPH	TURBIDEZ	PROFUNDIDAD	TEMPERATURA	CONDUCTIVIDAD	pH	OXIGENO SATURACION	SOLIDOS SUSPENDIDOS (IN SITU)	SECCHI
DBO	1	0.169	-0.369	0.335	-0.065	-0.299	0.190	-0.549	0.062	-0.658	0.362	-0.237	-0.645	-0.069
DQO	0.169	1	0.016	-0.111	0.097	0.016	-0.100	0.200	-0.059	0.021	-0.333	-0.075	0.115	0.338
FENOLES	-0.369	0.016	1	0.016	-0.018	-0.399	-0.126	0.128	0.253	0.241	-0.588	0.183	0.272	0.053
NITROGENO GLOBAL	0.335	-0.111	0.016	1	-0.114	-0.163	0.009	-0.460	0.026	-0.517	0.473	-0.117	-0.554	-0.366
SOLIDOS SUSPENDIDOS (LABORATORIO)	-0.065	0.097	-0.018	-0.114	1	0.544	0.812	0.221	-0.165	-0.044	-0.090	-0.188	-0.009	-0.002
TPH	-0.299	0.016	-0.399	-0.163	0.544	1	0.316	0.052	-0.384	-0.048	0.298	-0.207	-0.093	-0.234
TURBIDEZ	0.190	-0.100	-0.126	0.009	0.812	0.316	1	-0.026	-0.086	-0.252	0.072	-0.098	-0.223	-0.106
PROFUNDIDAD	-0.549	0.200	0.128	-0.460	0.221	0.052	-0.026	1	-0.142	0.789	-0.492	0.171	0.804	0.540
TEMPERATURA	0.062	-0.059	0.253	0.026	-0.165	-0.384	-0.086	-0.142	1	0.115	0.017	0.238	0.175	0.086
CONDUCTIVIDAD	-0.658	0.021	0.241	-0.517	-0.044	-0.048	-0.252	0.789	0.115	1	-0.539	0.540	0.969	0.490
pH	0.362	-0.333	-0.588	0.473	-0.090	0.298	0.072	-0.492	0.017	-0.539	1	-0.431	-0.601	-0.438
OXIGENO SATURACION	-0.237	-0.075	0.183	-0.117	-0.188	-0.207	-0.098	0.171	0.238	0.540	-0.431	1	0.470	0.077
SOLIDOS SUSPENDIDOS (IN SITU)	-0.645	0.115	0.272	-0.554	-0.009	-0.093	-0.223	0.804	0.175	0.969	-0.601	0.470	1	0.495
SECCHI	-0.069	0.338	0.053	-0.366	-0.002	-0.234	-0.106	0.540	0.086	0.490	-0.438	0.077	0.495	1

Anexo 10. Límites permisibles para la calidad de agua, por un lado el consumo animal y uso doméstico y por otro lado para garantizar calidad para flora y fauna de lugar del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario (TULAS).

Límites Máximo Permisibles	Expresión	Unidad	Consumo Animal y Uso Domestico	Para flora y Fauna
Bario	Ba	mg/l	1,0	1,0
Cromo	Cr+6	mg/l	0,05	0,05
DBO	DBO	mg/l	2,0	-
Fenoles	Fenol	mg/l	0,002	0,001
Plomo	Pb	mg/l	0,05	-
TPH	TPH	mg/l		0,5
Turbidez	-	UTN	100	-
Vanadio	V	mg/l	0,1	-
pH	Potencial hidrogeno	-	6,,9	5,-,9
Oxígeno Disuelto	OD	mg/l	6	6
Sólidos Suspendidos	.	mg/l	1000	-