

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales

**Análisis del crecimiento de *Pistia stratiotes* en las lagunas Cariyuturi,
Añangucocha y Yanacocha en el sistema del Río Napo, Ecuador**

Melanie Pamela Valente Guacho

Biología

Trabajo de integración curricular presentado como requisito
para la obtención del título de
Licenciada en Biología

Quito, 18 diciembre de 2019

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ
COLEGIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y
AMBIENTALES

HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

**Análisis del crecimiento de *Pistia stratiotes* en las lagunas
Cariyuturi, Añangucocha y Yanacocha en el sistema del Río
Napó, Ecuador**

Melanie Pamela Valente Guacho

Calificación:

Nombre del Profesor, Título académico:

Andrea Encalada, Ph.D.

Nombre del Profesor, Título académico:

David Romo Ph.D.

Quito, 18 de diciembre de 2019

Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: _____

Nombres y apellidos: Melanie Pamela Valente Guacho

Código: 00118787

Cédula de identidad: 1715956247

Lugar y fecha: Quito, 18 de diciembre de 2019

DEDICATORIA

A Dios, a mi madre, mi familia y a todos los que hicieron posible este proyecto.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar quiero agradecer a Dios por la vida y la oportunidad que me dio de culminar mis estudios. Al Programa de Diversidad Étnica que me abrieron las puertas para estudiar en una de las mejores universidades del país, la Universidad San Francisco de Quito que forma profesionales fundamentados en valores y calidad académica.

En mención especial a Andrea Encalada y David Romo mis tutores de tesis quienes confiaron en mí y me guiaron de la mejor manera para obtener resultados excelentes en este proyecto.

A mi familia por su apoyo incondicional y sobre todo a mi madre quien me apoyo en cada sueño que quería realizar por más difícil que fuera ella siempre estuvo allí para levantarme y apoyarme con lo poco o mucho que teníamos.

A mis compañeros de clases con los que pudimos compartir muchas anécdotas, bromas, locuras e historias que enriquecieron mi vida universitaria.

A mis amigos Karol, Melissa, Lizbeth, María José, Mirta, Alejandra, Raquel, Carolina, Carlos quienes fueron incondicionales y me animaron en los momentos más difícil para continuar con mi carrera.

A todos los que hicieron posible este proyecto, en especial a los miembros del Laboratorio de Ecología Acuática, Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad San Francisco de Quito, Estación de Biodiversidad Tiputini y Ministerio del Ambiente por ayudarnos con la movilización, permisos y logística para la entrada hacia las lagunas estudiadas.

También quiero agradecer a los miembros de la comunidad Añangu y la Comunidad El Edén por su colaboración en la realización del proyecto.

PRÓLOGO

La cuenca del Amazonas está conformada por numerosos ríos, humedales y lagunas. En este contexto nuestro trabajo de investigación se centra en las lagunas amazónicas, ecosistemas de gran riqueza natural y cultural. Esto debido a que las comunidades indígenas amazónicas dependen del agua para su supervivencia. Una de las razones más importantes es porque en los últimos años las comunidades indígenas han buscado desarrollar un turismo sustentable. El objetivo es dar a conocer sus riquezas naturales como por ejemplo las lagunas de aguas negras que alberga una gran cantidad de peces, aves y mamíferos. Sin embargo, desde hace varios años muchas lagunas amazónicas se han visto invadidas por el crecimiento de plantas acuáticas.

La información que se presenta en este proyecto ha sido recopilada en tres lagunas amazónicas Cariyuturi, Añangucocha y Yanacocha ubicadas en la cuenca del río Napo. Nuestro proyecto es un esfuerzo para generar conocimiento sobre el crecimiento de *Pistia stratiotes* en su hábitat natural en diferentes lagunas amazónicas, además queremos determinar los factores ambientales que permiten un mayor crecimiento y su posible control. La información recopilada en este proyecto se realizó mediante viajes de investigación, monitoreos y análisis de laboratorio.

Quiero agradecer por las vivencias y aprendizajes que hemos construido a lo largo de este proceso y principalmente a las comunidades que nos abrieron las puertas de su hogar y estuvieron dispuesto a trabajar conjuntamente por un bien específico. Asimismo, agradezco a mis profesores y amigos que participaron en la recopilación de información, coordinación logística y en la generación de ideas que permitieron culminar este proyecto. En particular, agradezco a Andrea Encalada, David Romo, Valeria Ochoa, Gonzalo Rivas, Javier Chamba, Comunidad Añangu, Comunidad El Edén, Andrea Tapia, Claudia Serrano, Tomi Sugahara, Raquel Chinchin, Alejandra Romero, Patricia Cárdenas.

PRÓLOGO QUICHUA

Kashnami tandarishca cuenca Amazonaska, tauka mamakucha yakukuna, humedales y kucha yaku. Shinashpaca ñukanchik Llankaitaka yuyaita churanchik kucha yakumanta, tukui imalla tiyan kai allpa pachapi shumak tiyashca y kaushaikunamantapish. amazonaspi kaushak runa aillokunapakka yakumi tukuimanta yallika paikuna kausan. Punta allí yuyauka kai huta kunapika markapi kausak runa kunaka abamsashpa katishka paikunapak kausaita shuktakkinaman risichishpa ayudarishka. Paikunapak muskuika tukui kai allpa pachapi allí sumak charishkakunatami risichina yuyaita charin kuna suk ejemplo mamakuchayakukuna yanakuna achka chaulakunami tiyan, waiyapi purik pishkitu y mamíferos kunapish. Chasnapish achka wutakuna ñaupá achka mamakucha yakukunapi amazonaspi achkata binsishka wuñarishpa rikurishka yakupi kaushak planta kuna.

Kai llankaikunata kankunama yachak chayachingapakka kinsa mama kucha yakumantami tandachirkani amazonika, Cariyuturi, Añangokucha y Yanacocha may lugarpimi cuenca rio Napo. Ñukanchik Llankaika sinchimi cashka allí yuyaikunata charingapak ima shina wiñarishkamanta kai Pistia stratiotes maipipish mirarishkata chikan chikan mama kucha kunapi amazonikapi, ashtawuampish rikuchishun ninchik imashinalla ambientepe tiyashka kunata imashina sakin ratu wuñarichun y chashna llatak ima sina harkanamanta. Imasina kai llankaipak tandachishkata kashnami tandachirkani chaillaktaman tapunaman rishpa imashina kaskata rikurashpa y chashnallatak laboratoripi analisisista rurashpa.

Pagui nisanini ima sina kashkata rikushkamanta sinallatak yachashkamanta kai tukui timpopi chashnallatak puntapi llakyakunata punguta pashkashkamanta paikunapak wushikunata chashnallatak listo mi karka tandalla llankangapak suklla allí yuyaimanta. Chashnallatak paguinishanini ñukata yachachik kunamanta chashnallatak ñuka amigo kunatapis ayudashpa tandachishkamanta yuyakunata, imallata ministishkata tandachik kunata chashnallatak yuyaita churashpa ayudak kunamanta kai llankaita tukuchingapak, kaikunata paguinisha nini Andrea Encalada, David Romo, Valeria Ochoa, Gonzalo Rivas, Javier Chamba, Comunidad Añangu, Comunidad El Edén, Andrea Tapia, Claudia Serrano, Tomi Sugahara, Raquel Chinchin, Alejandra Romero, Patricia Cárdenas.

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue determinar el crecimiento de *Pistia stratiotes* en tres lagunas amazónicas de aguas negras Cariyuturi, Añangucocha y Yanacocha, ubicadas en la cuenca del río Napo. Este estudio se llevó acabo debido a la preocupación de la Comunidad El Edén por el crecimiento de esta planta en la laguna Cariyuturi. La principal preocupación por parte de la comunidad era el acceso fluvial al lodge comunitario, que fue establecido para el desarrollo del turismo sostenible como una alternativa para mejorar los ingresos económicos de la comunidad. *Pistia stratiotes* o lechuga de agua es una planta o macrófita acuática, nativa de Sudamérica y se encuentra presente en casi todos las cuencas hidrográficas tropicales y subtropicales. Es capaz de colonizar rápidamente sistemas lénticos debido a su capacidad de adaptación en ecosistemas alterados y a su reproducción rápida por semilla y reproducción vegetativa. Con esta rápida propagación llegan a cubrir por completo la superficie de lagos, estanques y humedales. Las plantas fueron estudiadas en su hábitat natural, para ello se colocaron 12 cuadrantes de PVC de 1m x1m dentro de cada laguna y por 2 meses se monitoreó su crecimiento mediante fotografías. Se encontró que la mayor tasa de crecimiento ocurrió en las plantas de la laguna Añangucocha con (3,7985 g/m²/día), mientras que en Cariyuturi el crecimiento fue de (2,7945 g/m²/día), y Yanacocha no presento crecimiento de lechuga de agua. Los resultados muestran que *Pistia stratiotes* se desarrolla bien en los hábitats que cuentan con factores ambientales óptimos para su crecimiento. En Añangucocha el agua tuvo mayor cantidad de nitratos, fosfatos y mayor temperatura, que son los factores ambientales que permitieron un mayor crecimiento de lechuga de agua en esta laguna. En conclusión, nuestra recomendación es el control físico de *Pistia stratiotes*, que a su vez podría ser utilizada para beneficio de la comunidad como biomasa para la producción de biogás.

Palabras claves: *Pistia stratiotes*, lechuga de agua, macrófita, nativa, planta acuática, lagunas amazónicas, sistemas lénticos, reproducción vegetativa.

ABSTRACT

This study aims to determine the growth of *Pistia stratiotes* in three Amazonian dark water lakes: Cariyuturi, Añangucocha and Yanacocha, located in the Napo river basin. This study was carried out due to the concern of the El Eden Community about the growth of this plant in the Cariyuturi lagoon. The main concern of the community was the blockade of the river access to the community lodge, which was established for the development of sustainable tourism as an alternative to improve the economic income of the community. *Pistia stratiotes* or water lettuce is a plant or aquatic macrophyte, native of South America. It is present in almost all tropical and subtropical watersheds. It is capable of rapidly colonizing lentic systems due to its ability to adapt to altered ecosystems and its rapid reproduction by seed and vegetative reproduction. This rapid spread allows to completely cover the surface of lakes, ponds and wetlands. The plants were studied in their natural habitat, so 12 quadrants of 1m x1m PVC were placed inside each lagoon and their growth was monitored for 2 months by photographs. It was found that the highest growth rate occurred in the Añangucocha lake plants with (3,7985 g / m² / day), while in Cariyuturi the growth was (2.7945 g / m² / day), and Yanacocha did not present water lettuce growth. The results show that *Pistia stratiotes* develops well in habitats that have optimal environmental factors for their growth. In Añangucocha the water had a greater amount of nitrates, phosphates and higher temperatures, which are the environmental factors that allowed a greater growth of water lettuce in this lake. In conclusion, our recommendation is the physical control of *Pistia stratiotes*, which in turn could be used for the benefit of the community as biomass for the production of biogas.

Keywords: *Pistia stratiotes*, water lettuce, macrophyte, native, aquatic plant, Amazonian lakes, lentic systems, vegetative reproduction.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTO	5
PRÓLOGO	6
RESUMEN.....	8
ABSTRACT	9
Análisis del crecimiento de <i>Pistia stratiotes</i> en las lagunas Cariyuturi, Añangucocha y Yanacocha en el sistema del Río Napo, Ecuador.....	11
INTRODUCCIÓN	12
METODOLOGÍA.....	16
Área de estudio	16
Diseño general del estudio.....	19
Tasa de crecimiento de <i>Pistia stratioides</i>	20
Evaluación ecológica de las lagunas.	21
Análisis estadístico.....	25
RESULTADOS	27
Tasa de Crecimiento.....	27
Análisis de Componentes Principales (PCA).....	28
Ecología.....	29
Análisis Químico Foliar.....	30
DISCUSIÓN.....	32
RECOMENDACIONES	36
CONCLUSIONES	38
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39
ANEXO A: TABLAS	42
ANEXO B: GRÁFICOS	46

**ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO DE *PISTIA STRATIOTES* EN LAS LAGUNAS
CARIYUTURI, AÑANGUCOCHA Y YANACOCHA EN EL SISTEMA DEL RÍO
NAPO, ECUADOR**

Valente, M¹., Encalada, A^{1,2,3}., Romo, D^{1,4}., Ochoa, V^{1,5} & Tapia, A²

¹Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales.

² Universidad San Francisco de Quito, Laboratorio de Ecología Acuática USFQ. Quito, Ecuador.

³Department of Geography, University of North Carolina, Chapel Hill, NC.

⁴ Universidad San Francisco de Quito, Estación de Biodiversidad Tiptutini USFQ. Quito, Ecuador.

⁵Universidad San Francisco de Quito, Laboratorio de Ingeniería Ambiental USFQ. Quito, Ecuador.

Titulo abreviado: Análisis del crecimiento de *Pistia stratiotes* en lagunas amazónicas del Ecuador

Palabras claves: *Pistia stratiotes*, lechuga de agua, macrófita, nativa, planta acuática, lagunas amazónicas, sistemas lénticos, reproducción vegetativa.

INTRODUCCIÓN

La región amazónica alberga el mayor sistema fluvial del planeta con 6,9 millones de km² que forman parte de la cuenca del Amazonas, misma que está compuesta por numerosos ríos, humedales y lagos. Este sistema fluvial representa un elemento vital para la economía local de la Amazonia, porque proporciona los medios para la producción de alimentos, transporte y otros vitales servicios ecosistémicos (Macedo y Castello, 2016). En los últimos años las comunidades amazónicas han buscado desarrollar un turismo sustentable mediante el aprovechamiento de sus riquezas naturales y culturales. Uno de los atractivos más importantes han sido las lagunas amazónicas, que se forman de distintas maneras, pueden ser de origen tectónico, volcánico, por glaciares o las formadas por la dinámica del río que con la fuerza de la corriente y la carga de sedimentos forma meandros o codos que con el paso del tiempo se van cerrando hasta formar una laguna (Osborne, 2000).

El turismo se ha convertido en un estímulo para el desarrollo local de un gran número de comunidades amazónicas ya que esta actividad les permite tener un crecimiento económico (Cárdenas, 1984). En este contexto, comunidades kichuwas amazónicas como Añangu, El Edén y Yanacocha han desarrollado actividades turísticas sostenibles buscando rescatar sus tradiciones, conciencia ecológica, proteger y conservar sus atractivos naturales. Es así, que los atractivos principales son las lagunas de aguas negras, ecosistemas acuáticos que poseen una diversidad de flora y fauna apreciada por los turistas (Amores, 2012).

Las cuencas de las lagunas amazónicas son similares con poca profundidad, fondos planos y una biota muy compleja con caimanes como depredador principal (Latrubesse, 2012). El Ecuador posee una diversidad de lagunas que han permanecido estratificadas durante varios años. Este evento es provocado por las bajas concentraciones de oxígeno en

el hipolimnio que pueden dar lugar a la liberación de nutrientes como el fósforo, nitrógeno y sílice del sedimento en la columna de agua que cubre (Dodds, 2002). En la dinámica de las lagunas puede ocurrir un evento conocido como eutrofización, un proceso que vuelve más productivo al ecosistema ya que aumenta la cantidad de nutrientes (Pinto-coelho, 1998). En un lago clasificado como eutrófico el fósforo y nitrógeno presente es alto y esto ayuda a incrementar la tasa de reproducción vegetativa de plantas acuáticas por lo que estas pueden llegar a invadir rápidamente un lago por completo (Hecky, 1993).

En los últimos años las lagunas amazónicas se han visto afectadas por el crecimiento acelerado de plantas acuáticas en especial *Eichitornia crassipes*, *Lemna gibba*, *Pistia stratiotes*, *Azolla filiculoides* y *Salvinia molesta* que han provocado serios problemas (Bonilla-Barbosa & Santamaría 2013). En especial *Pistia stratiotes* que será la especie en la que nos centraremos para nuestro estudio. *Pistia stratiotes* es una planta acuática nativa de Sudamérica, se encuentra presente en casi todos los cursos de agua tropicales y subtropicales ya que debido a su valor estético es empleada como planta para jardines acuáticos o estanques (Bonilla-Barbosa-Barbosa & Santamaría, 2013). El crecimiento de *Pistia stratiotes* ocurre en grandes concentraciones de nitrógeno, fosforo, y a un pH bajo. Es decir, crecen bien en hábitats ecológicamente alterados pues está adaptada a crecer en aguas medianamente contaminadas y en lagos que generalmente no se secan (Sridhar & Sharma, 1979). Otro factor que contribuye con el crecimiento acelerado de esta especie es que no tiene un depredador en especial. Sin embargo, en un estudio realizado en Florida se encontró que seis especies de insectos *Petrophila drumalis*, *Synclita oblitalis*, *Samea multiplicalis*, *Rhopalosiphu, nymphaeae* , *Draeculacephala*, *Tanysphyrus lemnae* se alimentan de esta planta (Chapman et al., 2017).

Pistia stratiotes se reproduce sexualmente y prolifera rápidamente por la producción de semillas que es importante en esta especie porque pueden permanecer viables en el suelo durante meses hasta germinar y resisten la sequía o congelación (McCann et al., 1996). La reproducción vegetativa a través de plantas hijas le permite cubrir rápidamente un lago entero en poco tiempo (Sajna et al., 2007) . Por tal razón, logra sobrevivir durante largos períodos de tiempo por lo que se considera una de las peores malezas en el medio acuático, donde impacta directamente en las plantas nativas y reduce la biodiversidad porque impide el paso de luz solar y el intercambio de oxígeno (Dray & Center, 2002)

El crecimiento acelerado de esta planta acuática puede provocar un severo impacto en el medio ambiente y en la economía de las áreas infestadas. Esto se debe a las densas capas de la planta que pueden bloquear las vías fluviales, dificulta la navegación (Champan et al., 2017). Además, puede alterar los ecosistemas acuáticos ya que provoca una menor concentración de oxígeno disuelto y aumento en las tasas de sedimentación, aumenta la carga de nutrientes, alcalinidad, degradación de los sitios de anidación de peces y en la mortalidad de macroinvertebrados (Hussner, 2012). Finalmente, el efecto acumulativo de estas características negativas de la planta provoca una pérdida de biodiversidad en los hábitats invadidos (GISD, 2019).

En base a la problemática de *Pistia stratiotes* en lagos y estanques en Europa, África, Australia y Sudamérica han desarrollado investigaciones que buscan encontrar un controlador biológico que evite el crecimiento de esta especie. Uno de los más reconocidos es *Neohydronomous affinis* una especie de gorgojo que fue introducida a través de Australia a Sudáfrica (Cilliers, 1991). La introducción de esta especie fue exitosa en cuerpos de agua inmóviles donde se han logrado reducciones rápidas de *P. stratiotes*. Otra de las acciones que se han realizado para combatir esta problemática es darle otro uso a esta especie (Harley et

al., 1990). Por tal razón, en los últimos años sea utilizado plantas acuáticas en el tratamiento de aguas residuales en especial se ha utilizada *Pistia stratiotes* para la eliminación de un amplio rango de contaminantes de aguas residuales (Placencia, 2016). Este acontecimiento se da por la alta productividad y su alto requerimiento nutricional de nitrógeno y fosforo hace que esta especie resulte adecuada para reducir niveles de nutrientes efluentes (Mendoza, 2018). En este contexto nuestro estudio tiene por objetivo:

- Determinar la tasa de crecimiento de *Pistia stratiotes* en lagunas de aguas negras Cariyuturi, Añangucocha y Yanacocha en la cuenca del río Napo.
- Determinar los factores ambientales, biológicos, químicos y físicos que determinan la tasa de crecimiento de *Pistia stratiotes* en lagunas de aguas negras.
- Generar recomendaciones que permitan minimizar el crecimiento de *Pistia stratiotes* en estas lagunas.

METODOLOGÍA

Área de estudio

El estudio se realizó entre diciembre del 2018 a mayo 2019 en tres lagunas Cariyuturi, Añangucocha y Yanacochoa ubicadas en la cuenca del Río Napo, Ecuador (Fig. 1).

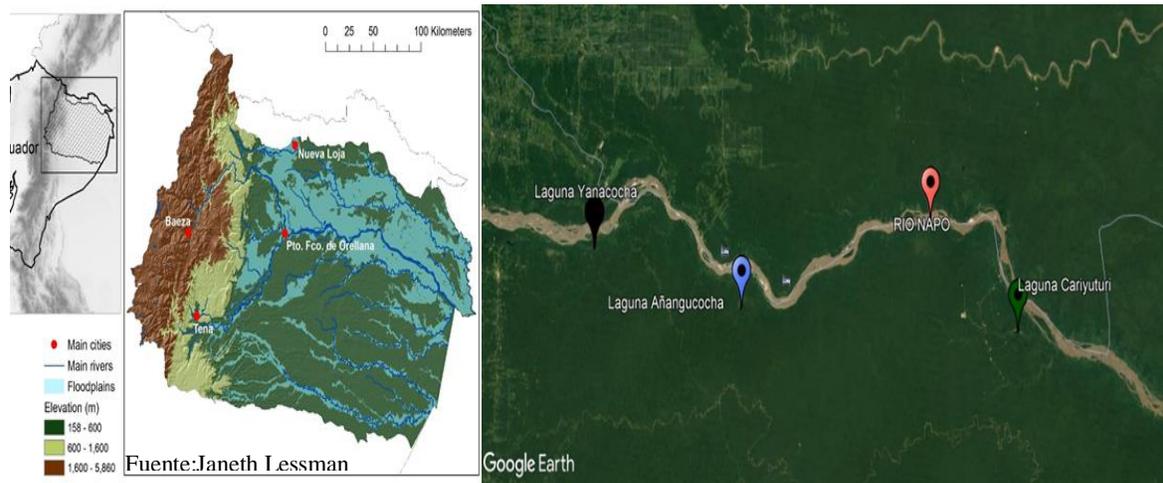


Figura 1. Mapa de los sitios de estudio Laguna Cariyuturi, Laguna Añangucocha y Laguna Yanacochoa ubicada en la cuenca del Río Napo.

Laguna Añangucocha se encuentra ubicada a 15km de la comunidad Kichwa Añangu, en la parroquia Alejandro Labaka, cantón Francisco de Orellana que pertenece a la provincia de Orellana y geográficamente se ubica al margen del río Napo a 60 km del Coca (Figura 2). Es una laguna de aguas negras con forma casi redonda. La laguna está rodeada por formaciones arbóreas, densas y siempre verdes. En la parte norte se encuentra un bosque inundable de palmas de tierras bajas. Además, la laguna cuenta con esteros que confluyen en el río Tiputini por el sur y el río Añanguyacu y Napo al norte (Amores, 2012). Además, posee una diversidad aves, mamíferos, reptiles, anfibios y peces dulceacuícolas, siendo los más representativos: caimán negro, nutrias gigantes, Manatí Amazónico, águila harpía, paiches,

pirañas, anaconda etc. En sus orillas se encuentra uno de los hoteles más importantes de la Amazonia ecuatoriana, el Napo Wildlife Center un Ecolodge conocido a nivel nacional e internacional (Chiguano, 2015).



Figura 2. Laguna Añangucocha

La laguna Cariyuturi está ubicada entre la comunidad El Edén y Yuturi, parroquia Capitán Augusto Ribadenerira. Su vía fluvial se encuentra constituida por el Río Napo y el Río Yuturi, tiene aproximadamente una longitud de 3 km de ancho y 1 km de largo (Fig. 3). Es una laguna de aguas negras que se encuentra rodeada por bosque húmedo tropical donde predominan el ceibo y la chonta. Además, que alberga gran variedad de peces entre los cuales se destaca el paiche y aves que se las puede observar por aproximadamente 2 km de recorrida desde la desembocadura hasta el centro de la laguna. Esta laguna cuenta con un paisaje impactante gracias a su estado de conservación y la biodiversidad que posee (ECOLAP, 2000).



Figura 3. Laguna Cariyuturi

La laguna Yanacocha está ubicada en la provincia de Sucumbíos, cantón Shushufindi, parroquia Limoncocha (Fig. 4). Es una laguna de aguas negras que se encuentra dentro de la Reserva Biológica Limoncocha que está rodeada por gran cantidad de bosque húmedo tropical. A su vez, posee una diversidad de organismos acuáticos y semiacuáticos. En especial alberga una importante cantidad de especies de aves acuáticas. Además, habitantes del lugar creen que allí viven anacondas y es un lugar propicio para que los caimanes negros desoven.



Figura 4. Imagen satelital de la laguna Yanacocha

Diseño general del estudio

Para responder los objetivos de este estudio, diseñamos una investigación que combina: la evaluación ecológica de las lagunas mediante el análisis de parámetros químicos, físicos y biológicos; y el análisis de la tasa de crecimiento de lechuga de agua. A partir de estos resultados nuestro enfoque incluye proporcionar recomendaciones del posible control de esta planta.



Figura 5. Laguna Cariyturi con sus sitios específicos (Outlet, Middle section, Inlet)

El estudio se llevó a cabo entre diciembre del 2018 y mayo del 2019. En primera instancia se midieron los parámetros físicos, químicos y biológicos en las tres lagunas (Anexo A). En cada laguna se establecieron tres sitios de estudio que fueron divididos en Outlet (efluente), Middle section (centro de la laguna) y Inlet (afluente de la laguna) (Figura 5). En cada sitio de estudio se analizó la tasa de crecimiento de la lechuga de agua y se midieron parámetros físicos, químicos, biológicos y ecológicos descritos a continuación.

Tasa de crecimiento de *Pistia stratiotes*.

Para la determinación del crecimiento y biomasa de *Pistia stratiotes* dentro de cada laguna se colocaron de forma horizontal 4 cuadrantes de PVC de 1m x 1m en sus tres sitios de estudio, obteniendo un total de 12 cuadrantes por laguna (Figura 6). Una vez colocados los cuadrantes se realizaron monitoreos cada dos semanas donde se procedió a tomar fotografías de cada cuadrante por un tiempo total de 2 meses. Al transcurrir los 2 meses se analizaron las fotografías, es decir, se contaron el número de cuadrados llenos con lechuga de agua. Con la información recolectada se extrapolo la biomasa de la materia orgánica de las lagunas para estimar la tasa de crecimiento de *Pistia stratiotes*, que se espera sea una regresión exponencial ya que con el paso del tiempo la planta debe ir en crecimiento. Por último, de la mitad de un cuadrante se recolectó plantas de lechuga de agua. La materia orgánica fue transportada a temperatura ambiente hasta el laboratorio de Ecología Acuática. Estas muestras fueron colectadas para calcular la cantidad de materia orgánica en partículas gruesas (CPOM) mediante este análisis pudimos determinar la biomasa, es decir, el peso seco de lechuga de agua de la mitad de un cuadrantes.

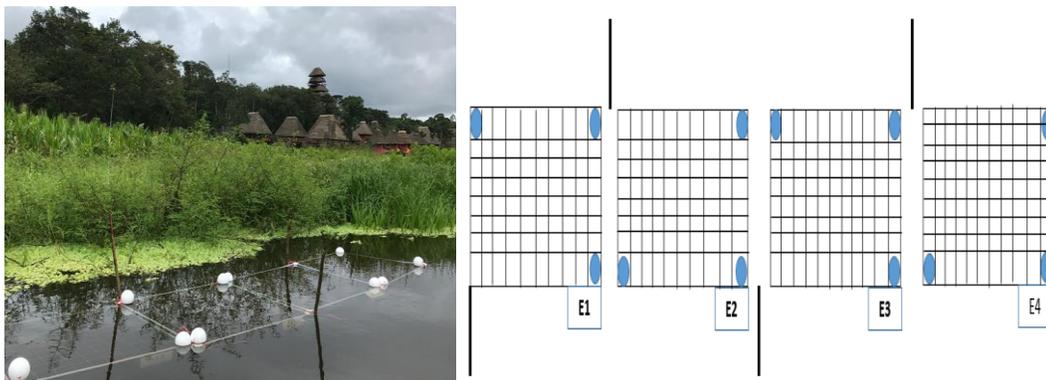


Figura 6. Diagrama de la colocación de cuadrantes de PVC en un conjunto de 4 cuadrantes en cada punto de estudio de la laguna.

Evaluación ecológica de las lagunas.

Parámetros Biológicos y Ecológicos.

Coliformes Fecales.

Para la determinación de los coliformes fecales se procedió a coleccionar una muestra de agua en un frasco de 60 ml. Una vez obtenida la muestra con la ayuda de una pipeta se tomó 10 ul y se colocó sobre la placa petrifilm, presionar y esperar que el agua se esparza completamente. Finalmente, se dejó incubar la placa y una vez en el laboratorio se procedió a contar el número de UFC dentro de la placa de petrifilm.

Biomasa de Algas.

La recolección de las muestras se realizó en los tres sitios de estudio (outlet, middle section e inlet) para ello se utilizó una red de algas que fue lanzada al agua y rápidamente se la arrastro hasta que se pueda obtener un volumen significativo de agua, mismo que se quedará en el envase enroscado al final de la red. Al obtener el volumen de agua se colocó el contenido en una probeta y anotar el volumen que será filtrado, después se vertió el volumen en el vaso de la bomba que contiene el filtro Whatman 47mm de 0.7um y se filtró hasta que el filtro este seco y sólo contenga las algas. Doblar el filtro en 4 con una pinza entomológica y guardarla en el sobre de aluminio. Finalmente, guardar los filtros rotulados en frío a 4°C hasta su llegada Laboratorio de Ecología Acuática en la Universidad San Francisco de Quito.

Para el análisis de los filtros de algas se preparó las muestras 24 horas antes, donde se colocó cada filtro en 10 ml de alcohol al 100% en un frasco opaco, con este paso se extrajo la clorofila y los frascos se colocaron dentro del refrigerador (4°C). Al día siguiente, se realizó la medición de la muestra antes y después de la acidificación. La solución blanco antes de acidificar es etanol 100% y después de la acidificación es etanol 100%+HCl 0.1N

(10ul). Es decir, primero se colocó la solución blanco instancia en el espectrofotómetro y seguidamente en el programa ir a setup, determinar la longitud de onda de (750nm-664nm) y finalmente hacer click en zero. Una vez culminado este pasó se colocó la muestra de clorofila en el envase y nuevamente se midió a una onda de 750nm-664nm. El siguiente paso es la post acidificación para lo cual sacamos la muestra de la maquina Aitent Technologies y en el envase se colocó 10ul de HCl 0.1N y se dejó reposar por 1 minuto, luego se midió la muestra a (600nm-750nm). Finalmente, en la hoja de campo anotar los datos obtenidos.

Materia Orgánica en Partículas Finas (FPOM).

Para determinar la materia orgánica en partículas finas se utilizan los filtros GF/F y G Whatmann ® de 0.7 µm que se utilizaron para filtrar la muestras de agua tomadas en cada laguna. Una vez llegadas las muestras del campo, se colocaron los filtros en el horno por 24 horas para que se sequen. Al transcurrir este tiempo se procedió a retirar los filtros del horno e inmediatamente se pesó cada filtro en la balanza digital. Una vez pesado los filtros se colocaron en el crisol y se pesaron nuevamente. Al término de este paso se colocaron los crisoles en la mufla y se quemó el material a 550°C por 4 horas. Terminado el tiempo de quemado se abrió la mufla lentamente y se dejó enfriar. Una vez enfriada la mufla se retiraron los crisoles. Finalmente, se volvió a pesar los crisoles y anotar los datos en la hoja de campo (Laboratorio de Ecología Acuática, s/f).

Materia Orgánica en Partículas Gruesas (CPOM).

Una vez en el laboratorio se colocó la materia orgánica (planta de lechuga de agua) en una bandeja de aluminio para que se seque a temperatura ambiente por 24 horas y se colocaron debidamente las etiquetas de cada planta en la bandeja. Una vez transcurrido este tiempo se procedió a colocar la materia orgánica en el horno a 60°C por 48 horas. Al término de este tiempo se sacaron las muestras del horno y rápidamente se pesó la materia orgánica

en la balanza de 4 dígitos y se anotó en la hoja de datos. Una vez obtenido el peso total de la planta recoger una porción pequeña de material orgánica (hoja, tallo y raíz) colocarla en un crisol y pesarla nuevamente en la balanza de 4 dígitos. En este paso se debe pesar rápidamente ya que las hojas ganan humedad apenas se les saca del horno. Posteriormente pesar el crisol con el nombre de la muestra escrita en su base. Colocar la porción de material orgánica en el crisol y meterlo a la mufla. Cuando las muestras estén dentro prender la mufla y quemar el material a 550C por 4 horas. Terminando el tiempo de quemado abrir la mufla y esperar aproximadamente 10 minutos a que se enfríen las muestras. Una vez frías las muestras proceder nuevamente a pesar el crisol y anotar en la hoja de datos (Laboratorio de Ecología Acuática, s/f).

Parámetros físicos.

En primera instancia se trazó una línea imaginaria a lo largo de la laguna y en esta se midió en 10 puntos la profundidad de la laguna. Para ello, se sumergió una soga atada a un peso para que esta se hunda hasta que toque el fondo. Una vez que el peso tocó el fondo se sacó la soga y con la ayuda de un metro se midió cuanto se sumergió la soga. En la hoja de campo se anotaron los metros de profundidad que tiene cada punto en la laguna. Seguidamente, para determinar el nivel de transparencia de la laguna en el centro de la misma se sumergió lentamente el disco secchi hasta que no se lo pueda observar y se anotó la profundidad a la que el disco ya no es visible. En cada sitio de estudio se registraron datos de pH, conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$), temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y oxígeno disuelto (% y mg/L) utilizando la sonda YSI. Los datos fueron tomados de la parte superficial y fondo de la laguna. Finalmente, se tomaron puntos GPS de la ubicación de los tres sitios de estudio (Outlet, Middle section y Inlet).

Parámetros químicos.

Las muestras de agua fueron tomadas en los tres sitios de estudio Outlet (efluente), Middle section (centro de la laguna) y Inlet (afluente de la laguna) de cada laguna. En cada sitio se colectaron 3 muestras de agua a un volumen de 60 ml. El agua recolectada fue filtrada con filtros Whatmann® de (0,7µm-25mm) y (0,7µm-47mm), 1.2 µg de porosidad, con el fin de examinar nitritos, nitratos, fosfatos, ortofosfato, elementos mayores y sílice (Figura 7). Una vez terminada la fase de campo se transportaron las muestras selladas y debidamente etiquetadas en una cadena de frío a 4°C, al laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad San Francisco de Quito.

Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad San Francisco de Quito para determinar su contenido de nitritos y nitratos, mediante un espectrofotómetro (Hach Lange, Model DR2800). El contenido de fosfato fue analizado con el método de fósforo reactivo de molibdato soluble (FRS). Finalmente, los elementos mayores (bario, calcio, cobre, hierro, potasio, magnesio, manganeso, sodio, fósforo, silicio, zinc) se analizaron mediante un espectrómetro de emisión atómica con acoplamiento de plasma inductivo (ICP-OES) marca Thermo Scientific. Las curvas de calibración se elaboraron a partir de una mezcla estándar número VIII de varios analitos para ICP, grado Certipur, en una concentración de 100 mg / L. Los límites de detección y cuantificación se calcularon analizando muestras en blanco al menos 12 réplicas y multiplicando la desviación estándar por tres para obtener el límite de detección (LOD) y por 10 para obtener el límite de cuantificación (LOQ).



Figura 7. Muestreo de parámetros físico químicos en el Río Napo, Diciembre del 2019

Análisis estadístico

Para analizar la tasa de crecimiento se utilizó una regresión exponencial entre el tiempo de la puesta de los cuadrantes, es decir, del día 1 al 60 y la cantidad de biomasa de lechuga de agua en cada fecha (1, 15, 29,43, 60). La biomasa fue determinada mediante el número de cuadrados llenos en cada fecha de monitoreo por el valor del peso seco de lechuga de agua y dividido para 50, que representa la mitad del cuadrante de plantas analizadas.

Se realizó una comparación entre las lagunas (Cariyuturi, Añangucocha, Yanacocha) vs sitio específico (Outlet, Middle section, Inlet) y las diferentes variables ambientales (físicas, químicas, biológicas), realizando un análisis de varianza two-way (ANOVA). Los datos fueron previamente transformados (\log_{10}) para obtener homogeneidad y normalidad. Una vez determinada las diferencias significativas de las variables ambientales se realizó una prueba Tukey que nos permitió determinar que laguna es diferente en cuanto a su composición de variables ambientales. Los análisis estadísticos fueron realizados en JMP (SAS institute inc).

El análisis estadístico de las variables ambientales se llevó a cabo mediante un análisis de componentes principales (PCA) que nos muestra los parámetros que mejor expliquen la variación de las diferentes lagunas respecto a los factores ambientales (físicos,

químicos y biológicos) de cada lugar. Los datos fueron previamente estandarizados y normalizaron. Además, se realizó un Multi-Dimensional Scaling (NMDS) en base a las variables ambientales para determinar la agrupación de las diferentes lagunas como respuesta a las variables ambientales, también se realizó un cluster para mostrar el porcentaje de agrupación entre las diferentes lagunas. Los análisis estadísticos fueron realizados en PRIMER 6.0 beta.

RESULTADOS

Tasa de Crecimiento

La tasa de crecimiento de *Pistia stratiotes* varió ampliamente en las diferentes lagunas, presentando alta tasa de crecimiento en Añangucocha y menores densidades e incluso ausencia en las lagunas Cariyuturi y Yanacocha. Los resultados obtenidos nos muestra una diferencia significativa entre la tasa de crecimiento de las lagunas con un $(p < 0.0001)$ (Gráfico 1). Sin embargo, el crecimiento de *P. stratiotes* en los sitios específico dentro de cada laguna no fue significativo con un $F_{(2, 4)} = 0,8070$, $(p = 0,4567)$, eso quiere decir que crecen a un tiempo similar. Los valores máximos de la tasa de crecimiento en la laguna Añangucocha estuvieron entre 5,37 a 1,08 gd^{-1} , superando los valores de Cariyuturi que estuvo entre 3,65 a 0,10 gd^{-1} , mientras que la laguna Yanacocha no presentó tasa de crecimiento debido a que en esta laguna no hubo presencia de lechuga de agua (Tabla 2). En promedio se obtuvo que el crecimiento en Cariyuturi tuvo una tasa de crecimiento 2,7945 gd^{-1} , mientras que en la laguna Añangucocha la planta creció a 3,7985 gd^{-1} . Estos resultados permiten deducir que la laguna Añangucocha presenta mayor incremento de materia orgánica por unidad de tiempo (días). Además, se colectaron y analizaron un total de 26 plantas para la laguna Cariyuturi con una biomasa total de 127,624g, mientras que Añangucocha se colectaron 65 plantas con una biomasa de 109,675g.

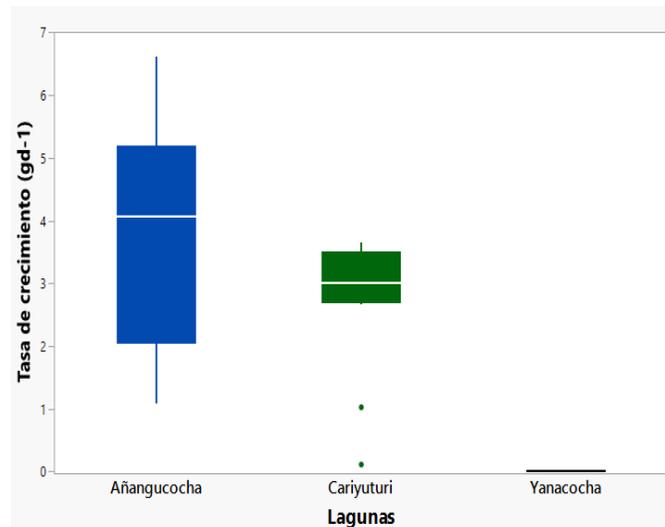


Gráfico 1. La tasa de crecimiento de *Pistia stratiotes* es diferente entre lagunas con

$$(F_{(2,4)}=32,1151, p=<,0001)$$

El análisis de las variables ambientales realizado en ANOVA two-way muestran que si existen variables físicas y químicas que son significativas diferentes en entre laguna y sitio específico para los elementos: bario, hierro, potasio, magnesio, manganeso, sodio y silicio (Tabla 3). Además, los resultados de ANOVA se respaldan con una prueba de Tukey que muestra las claras diferencias (valores de $p \leq 0.05$) entre sitios para la mayor parte de las variables. En el Gráfico 5 vea los boxplot de las variables significativas.

Análisis de Componentes Principales (PCA)

Según el PCA, las lagunas muestreadas sugieren agrupaciones (81,7% total aplicado) establecidas por parámetros ambientales en presencia de la lechuga de agua. En cuanto a los resultados de PCA se observa que Añanguocha es diferente a las lagunas Cariyuturi y Yanaocho porque en estas sus variables ambientales son muy similares (Gráfico 2). Según

los resultados, el PC 1 explica el 48,2% de la variación, el PC2 explica el 22,0% y el PC 3 explica el 11,5% sumando un total del 81,7% de las variaciones acumulativas (Tabla 4). Las variables que explican estas agrupaciones en el primer eje PC1 fueron silicio, potasio, temperatura, pH, en el eje PC2 zinc, fosfatos, nitratos, calcio, cobre y en el PC3 coliformes, hierro, fósforo, magnesio, bario (Tabla 5).

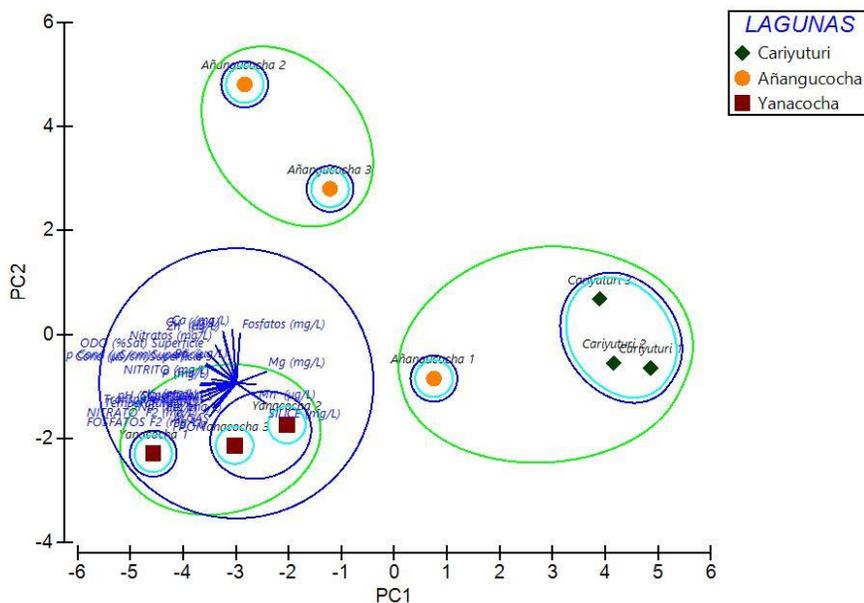


Gráfico 2. PCA entre variables ambientales de las lagunas Añangucocha, Cariyuturi y Yanacocho. El PC 1 explica que el 48,2% del porcentaje de variación componentes principales se debe a los siguientes componentes: nitratos, silicio, potasio, temperatura, pH.

Ecología

Para evaluar las posibles relaciones entre las características físicas, químicas y biológicas se realizó un nMDS. Los resultados de Cluster y nMDS nos muestran que las lagunas son muy diferentes en respuesta a sus variables ambientales (Gráfico 6). Las agrupaciones del nMDS presentaron un estrés de 0,07 y revelaron que las diferencias

existentes entre las variables ambientales ocurren a nivel de laguna. Los resultados obtenidos nos muestran que la composición de las variables ambientales de la laguna Cariyuturi es muy similar por lo que se encuentra totalmente agrupada (Gráfico 3). La laguna Yanacocha muestra su composición similar por lo que tiene una agrupación cercana. Mientras que en la laguna Añangucocha todas las variables ambientales son muy diferentes por lo que sus tres sitios de estudio no se agrupan.

Análisis Químico Foliar

Para determinar si existen diferencias en la composición foliar de planta acuática *Pistia stratiotes* se llevó a cabo un análisis de la cantidad de fósforo y nitrógeno total que contienen las plantas de Cariyuturi y Añangucocha. Los resultados obtenidos en un ANOVA one way para el fósforo se obtuvo un ($p < 0,7673$), mientras que para el nitrógeno total se obtuvo un ($p > 0.3348$) (Gráfico 4). Estos resultados nos muestran que no existen diferencias significativas en la composición foliar de *Pistia stratiotes* en las dos lagunas.

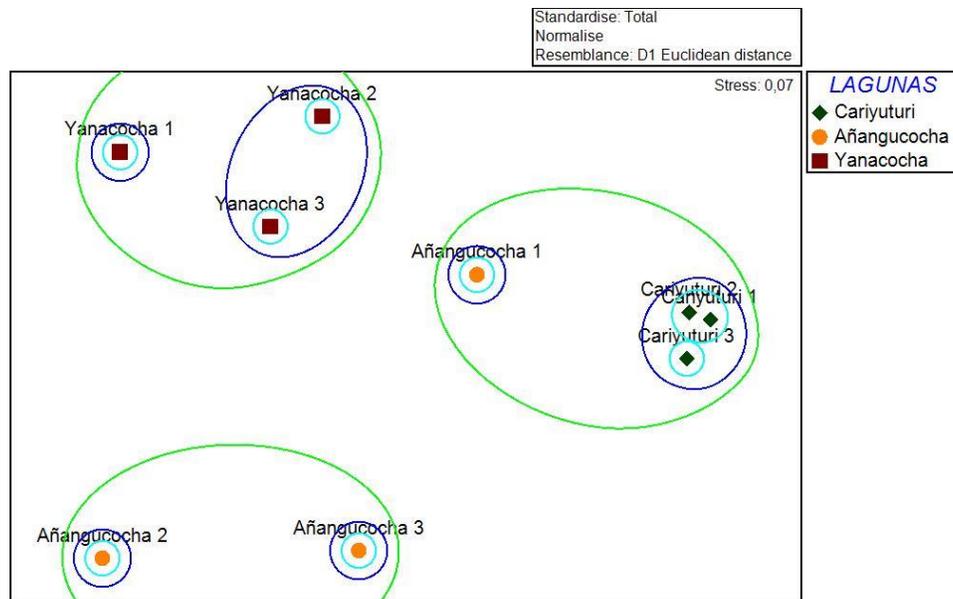


Gráfico 3. nMDS, realizado en Primer 6 Beta con las lagunas Cariyuturi, Añangucocha y Yanacochoa con su respectivo sitio de estudio. La laguna Cariyuturi y Yanacochoa tiene una mayor agrupación en base a la composición de las variables ambientales, mientras que la laguna Añangucocha con sus tres sitios (Middle section, Outlet, Inlet) se encuentra más separada.

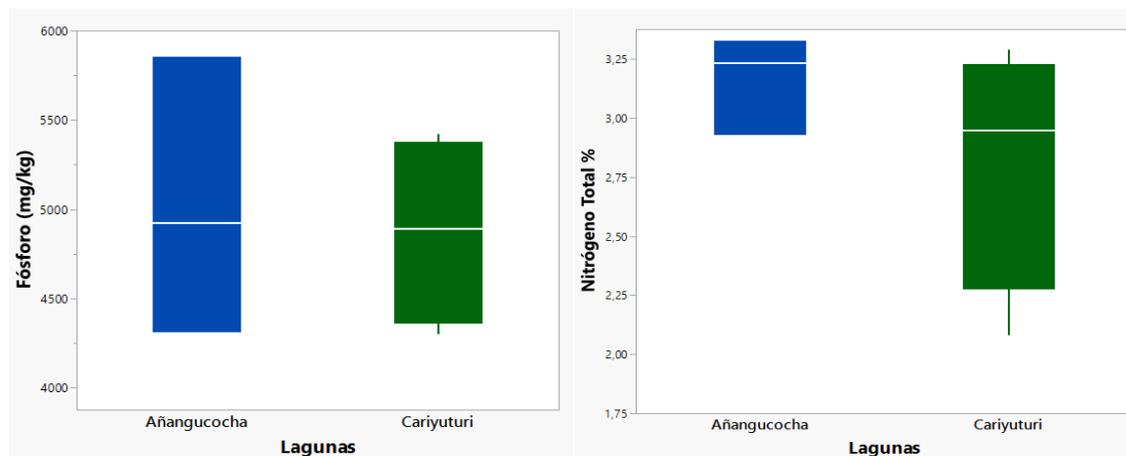


Gráfico 4. Análisis químico foliar de *Pistia stratiotes* muestra no hay diferencias significativas entre fósforo y nitrógeno total en las plantas ubicadas en la laguna Cariyuturi y Añangucocha.

DISCUSIÓN

Los ecosistemas acuáticos son áreas muy productivas que comprenden gran parte de la superficie terrestre. A menudo, estos ecosistemas proporcionan un hábitat favorable para el crecimiento de plantas acuáticas como *Pistia stratiotes* o lechuga de agua una macrófita estolonifera de flotación libre (Henry-Silva, Camargo, & Pezzato, 2008). En la actualidad *P. stratiotes* es considerada una planta pantropical (CABI, 2016). A pesar de que su origen es incierto, según Howard y Harley en 1998 la denominan como nativa de Sudamérica. En los trópicos el desarrollo de esta macrófita ocurre debido a la gran cantidad de luz solar y la falta de temporada invernal (Sridhar & Sharma, 1979).

En este contexto es primordial comprender qué variables ambientales influyen en el crecimiento de plantas acuáticas de flotación libre. En especial en regiones donde esta planta ha sido considerada nativa, es nuestro caso las lagunas de estudio se localizan en la Amazonía Ecuatoriana en Sudamérica. Sin embargo, en esta área existe una falta de estudios acerca esta planta. De hecho, se han realizado pocos estudios sobre ecología de plantas acuáticas en hábitats naturales y se sabe relativamente poco acerca de cómo estas plantas responder a las medidas de manejo en condiciones naturales (Camargo et al., 2003). Por esta razón, buscamos evaluar el crecimiento de *Pistia stratiotes* en condiciones climáticas tropicales en un hábitat natural.

Las curvas de crecimiento de *Pistia stratiotes* muestran que la tasa de crecimiento de la laguna Cariyuturi fue de 2,7945 g/m²/día, mientras que en la laguna Añangucocha la planta creció a 3,7985 g/m²/día. Estos resultados los corroboramos con el ANOVA donde se obtuvo diferencias significativas entre las tasas de crecimiento de la laguna Cariyuturi y Añangucocha ($F_{(2,4)}=32,1151$, $p=<,0001$), pero no fue significativamente diferente entre

sitio específico con ($F_{(2, 4)}=0,8070$, $p=0,4567$). Al comprar nuestros resultados con los encontrados en la literatura, tenemos en primer lugar un estudio realizado en hábitats tropicales naturales de plantas acuáticas en la llanura aluvial del Amazonas donde la tasa de crecimiento *P. stratiotes* fue de 0.08-0.1 gg⁻¹ day⁻¹ (Junk & Piedade, 1997). Por otra parte, otro estudio realizado en condiciones experimentales en Brasil se encontró que el crecimiento de lechuga de agua es de 0,016g/día (Henry-Silva et al, 2008).

En base a nuestros resultados la tasa de crecimiento es mayor a los encontrados en hábitats tropicales. Estas variaciones podrían atribuirse a factores ambientales, que se determina en gran medida por las condiciones del hábitat tales como luz solar, latitud, temperatura, factores bióticos, y depredadores (Eid et al., 2016). El crecimiento de las plantas acuáticas depende de su eficiencia para utilizar la energía solar y de los nutrientes vegetales que estén disponible para consumo de la planta (Reddy & Debusk, 1984). En el año 2002 Rivers informó que el crecimiento óptimo y abundancia de *Pistia stratiotes* ocurre en aguas ricas en nutrientes, temperaturas que oscilan entre 22-30°C, baja concentración de salinidad y pH 7 (Pieterse, Delange, & Verhagen, 1981). Por otro lado, se afirma que el crecimiento de *P.stratiotes* puede ser afectado por la salinidad, patógenos virales, falta de nutrientes, pastoreo de insectos y bajas temperaturas (Hall & Okali, 1974).

Los cambios en los factores ambientales afectan el crecimiento y abundancia de plantas acuáticas (Laboul & Freedman, 2006). Hutchinson en 1975 pone a conocimiento la utilidad de los estudios comparativos de plantas acuáticas entre cuerpos de agua que difieren en sus características limnológicas, por lo que nuestra investigación es útil para comprender los efectos de los factores ambientales sobre el crecimiento de *Pistia stratiotes*. Además, la estructura y composición de la vegetación acuática se relaciona con la composición química del agua y los sedimentos. Por otro lado, se afirma que el crecimiento de *P.stratiotes* puede

ser afectado por la salinidad (Haller, Sutton, & Barlowe, 1974), patógenos virales e insectos (Pettet & Pettet, 1970), falta de nutrientes (Hall & Okali, 1974) y bajas temperaturas (Eid et al., 2016).

Como es evidente en los resultados obtenidos en el análisis estadístico ANOVA (Tabla 3) se pueden observar que existen diferencias significativas en cuanto a la composición de las variables físicoquímicas de cada laguna. Es así, que el bario, hierro, potasio, magnesio, manganeso, fósforo, silicio fueron diferentes entre las lagunas de estudio. Con las pruebas Tukey se corroboró las diferencias. En la laguna Cariyuturi los elementos sodio, magnesio, manganeso son significativamente diferente con un $p > 0,001$ entre las lagunas Añangucocha y Yanacocha. La cantidad del potasio en la laguna Añangucocha con Yanacocha es significativamente diferente con $p > 0,0462$, sin embargo, no hay diferencias entre Yanacocha y Cariyuturi. El fósforo en la laguna Añangucocha con Cariyuturi es significativamente diferente con $p > 0,0055$, sin embargo, no hay diferencias entre Yanacocha y Añangucocha.

Los resultados obtenidos en el nMDS muestran que la laguna Cariyuturi es muy consistente en sus variables ambientales y lo hace diferente a Yanacocha y Añangucocha. En Añangucocha sus variables ambientales en los tres sitios de estudio son mucho más diferentes y debido a ello no se agrupan. Esta diferencia es interesante y creemos que puede ser explicada ya que esta laguna presenta flujos de riachuelos que entran a la laguna, lo que puede provocar un cambio en la composición físico-química. Para entender a qué se debe esta agrupación se realizó un análisis de componentes principales PCA donde se obtuvo que los componentes que explican la agrupación de las lagunas son: pH, temperatura, potasio, nitratos, fosfatos, calcio, cobre y silicio. Estos resultados los corroboramos mediante graficas de boxplot que nos permitieron identificar que la laguna Añangucocha que tuvo mayor

crecimiento de la planta y que cuenta con una mayor cantidad de fosfatos, nitratos, potasio, cobre y temperatura (Gráfico 7). Según Khedr y El-Demerdash en 1997 establecen que el pH, temperatura, salinidad, nitrito, nitrato y fósforo son las variables ambientales que permiten una alta distribución a *P. stratiotes*. Esto concuerda con un estudio realizado en Brasil en condiciones experimentales donde se determinó que el crecimiento de lechuga de agua está limitado por concentraciones altas de nitrógeno, fósforo y temperatura (Holm et al., 1977). Sin embargo, otros nutrientes como calcio, potasio y carbono pueden ser también importantes en el crecimiento de la planta (Thiebaut, Guérold, & Muller, 2002).

Finalmente, los resultados obtenidos en el análisis químico foliar nos indican que en la composición del agua existe una mayor cantidad de fósforo y nitrógeno en la laguna Añangucocha, por lo que se esperaría que la planta absorba mayor cantidad de estos nutrientes, sin embargo, esto no fue así ya que no se obtuvieron diferencias significativas en el análisis de ANOVA. Esto se pudo deber a que nuestro datos fueron muy pocos debido a que es muy costoso realizar este tipo de análisis.

RECOMENDACIONES

Como el conocimiento previo acerca de *Pistia stratiotes* y en base a lo encontrado en la literatura, para nuestro estudio se recomienda principalmente un control físico, es decir, la remoción manual de la biomasa de *P. stratiotes* ya que este control será el menos invasivo y no dañara la flora y fauna nativa. En la literatura, también se sugieren un control químico utilizando herbicidas con diferentes niveles de eficacia glifosato, diquat (Thayer & Haller, 1985) que provocan una reducción de la biomasa hasta > 99% (Martins et al, 2002). Sin embargo, es importante mencionar que aunque en otros estudios se ha recomendado el uso de controles químicos, para nuestro caso no lo recomendamos pues este puede ser muy invasivo y llega a afectar al ecosistema y a las poblaciones locales. Por otra parte, en la literatura se sugiere un control biológico efectivo mediante la utilización de *Neohydronomus affinis* una especie de gorgojo originario de Sudamérica (CABI, 2016). Esta especie fue estudiada y monitoreada en la erradicación de *P. stratiotes* ya que este se alimenta de todo el tejido de la hoja, logrando que la planta muera (Neuenschwander et al, 2009). Es importante mencionar que a pesar de que el control biológico se ha probado en varios países es importante considerar que si se pretende realizar un programa de introducción se debe realizar pruebas extensivas en especificidad de hospedaje y biología del ecosistema afectado, ya que no se ha logrado corroborar que esta especie sea nativa para las áreas de nuestro estudio.

Las macrófitas acuáticas tienen un papel primordial en la estructura y función de los ecosistemas acuáticos porque pueden soportar comunidades diversas de zooplancton, macroinvertebrados y peces (Chambers et al, s. f.). Por lo que, proporcionan numerosos servicios ecosistémicos como uso ornamental, alimentación para ganado, restauración

ecológica, purificación del agua y abono verde (Wang, Wang, & Sun, 2010). Otro uso de esta planta en su biomasa la cual puede ser utilizada para producir biocombustible, convirtiendo así los desechos en un recurso económico rentable para el futuro (Forni & Tommasi, 2016). En especial, tiene un alto potencial de fitorremediación para extraer metales pesados como plomo, cadmio, cobre, arsénico. Por lo que utilizar esta planta acuática es una forma rentable y ecológica que se basa en un enfoque eco-sostenible (Rai, 2019).

CONCLUSIONES

Debido a la importancia de las lagunas de aguas negras en la economía de las comunidades kiwchuas amazónicas El Edén, Añangu y Yanacocha la protección y cuidado de estos ecosistemas es primordial. Por ello, con nuestra investigación queremos dar a conocer como la planta acuática *Pistia stratiotes* crece y que si no se toma acciones pronto su principal atractivo se verá afectado. El crecimiento de *Pistia stratiotes* se vio influenciado por las características físicas y químicas del hábitat. Es así, que la biomasa de esta especie se desarrolla de acuerdo a la dinámica del estado estacionario, por lo que la tasa de crecimiento dependerá del día del año. En nuestro caso las variables pH, temperatura, fosforo, nitratos y silicio son aquellos que influyen más en el crecimiento de la planta en las lagunas Cariyuturi y Añangucocha. Finalmente, sería interesante que en estudios posteriores se pueda verificar si el comportamiento mostrado por *P. stratiotes* en nuestras lagunas es similar en hábitats con diferente ubicación geográfica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amores, F. (2012). Implementación De Buenas Prácticas De Turismo Sostenible En El Lodge Napo Wildlife Center, Comunidad Añangu, Parroquia Alejandro Labaka, Cantón Francisco De Orellana De La Provincia De Orellana (Programa Rainforest Alliance). (tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Bonilla-Barbosa, J.R. & Santamaría, B. (2013). Plantas acuáticas exóticas y trasladadas invasoras, en R. Mendoza y P. Koleff (coords.), Especies acuáticas invasoras en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, pp. 223-247.
- CABI. (2016). *Pistia stratiotes* (water lettuce). Invasive Species Compendium. Recuperado 9 de diciembre de 2019, de <http://www.cabi.org/isc/datasheet/41496>
- Cai, L. (2006). Impact of floating vegetation in Shuikou Impoundment, Minjiang River, Fujian Province | Semantic Scholar. Recuperado 9 de diciembre de 2019, de <https://www.semanticscholar.org/paper/Impact-of-floating-vegetation-in-Shuikou-Province-Lei-ming/0ebdcec00e86cca3f263605f0df066a1a3f8c564>
- Camargo, A., F., Pezzato, M.M. & Henry-Silva, G.G. (2003). Factores limitantes al crecimiento de macrofitas acuáticas. In Thomaz, S. M. & L. M. Bini (eds), Ecología e Manejo de Macrofitas Acuáticas. Eduem, Maringá: 59–84.
- Cárdenas, F. (1984). Comercialización del Turismo. Editorial Trillas: México.
- Chambers, P., Lacuol, P., Thomaz, S. & Murphy, K. J. (s. f.). Global diversity of aquatic macrophytes in freshwater. Recuperado 9 de diciembre de 2019, de https://www.researchgate.net/publication/290105786_Global_diversity_of_aquatic_macrophytes_in_freshwater
- Chapman, D., Coetzee, J., Hill, M., Hussner, A., Netherland, M., Pescott, O. & Tanner, R. (2017). *Pistia stratiotes* L. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin*, 47.
- Chiguano, L.P. (2015). LEVANTAMIENTO DE LINEA BASE EN LA ZONA NOROESTE DE LA COMUNIDAD KICHWA AÑANGU PARQUE NACIONAL YASUNI PROVINCIA DE ORELLANA PARA DIVERSIFICAR LAS ACTIVIDADES TURISTICAS EN EL SECTOR. (tesis de pregrado). Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito, Ecuador.
- Cilliers, C. J. (1991). Biological control of water lettuce, *Pistia stratiotes* (Araceae), in South Africa. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 37(1), 225-229.
- Dray, F. A. & Center, T.D. (2002). Chapter 5: Waterlettuce. In: Biological Control of invasive Plants in the Eastern United States, USDA Forest Service Publication FHTET2002-04, 65-78.
- Dodds, W. (2002). Freshwater Ecology Concepts and Environmental Applications. Academic Press: California.
- ECOLAP. (2000). PLAN DE ZONIFICACIÓN Y MANEJO DE LA COMUNIDAD EL EDÉN PROVINCIA FRANCISCO DE ORELLANA. Proyecto petramazonas estación de biodiversidad tiputini: Ecuador.
- Eid, E. M., Galal, T. M., Dakhil, M. A. & Hassan, L.M. (2016). Modeling the growth dynamics of *Pistia stratiotes* L. populations along the water courses of south Nile Delta, Egypt. *Rendiconti Lincei*, 27(2), 375-382.

- Forni, C. & Tommasi, F. (2015). Duckweed: A Tool for Ecotoxicology and a Candidate for Phytoremediation. *Current Biotechnology*, 04(1), 1-1.
- Global Invasive Species Database. (2019). Species profile: *Pistia stratiotes*. Recuperado 8 de octubre de 2019, de <http://www.iucngisd.org/gisd/species.php?sc=285>
- Hall, J.B. & Okali, D.U.U. (1974). Phenology and Productivity of *Pistia stratiotes* L. on the Volta Lake, Ghana. *J Appl Ecol* 11:709-725.
- Haller, W. T., Sutton, D. L. & Barlowe, W. C. (1974). Effects of Salinity on Growth of Several Aquatic Macrophytes. *Ecology*, 55(4), 891-894.
- Harley, K., Kassulke, R., Sands, D. & Day, M. (1990). Biological control of water lettuce, *Pistia stratiotes* [Araceae] by *Neohydronomus affinis* [Coleoptera: Curculionidae]. *BioControl*, 35, 363-374.
- Hecky, R.E. (1993). The eutrophication of Lake Victoria. *SIL Proceedings, 1922-2010*, 25(1), 39-48.
- Henry-Silva, G.G., Camargo, A.F.M. & Pezzato, M. M. (2008). Growth of free-floating aquatic macrophytes in different concentrations of nutrients. *Hydrobiologia*, 610(1), 153-160.
- Howard, G.W. & Harley, K.L.S. (1998). How do floating aquatic weeds affect wetland conservation and development? How can these effects be minimized?. *Wetland Ecol. Manage.* 5, 215–225.
- Hussner, A. (2012). Alien aquatic plant species in European countries. *Weed Research*, 52(4), 297-306.
- Hutchinson, G. (1975). A treatise on Limnology: III Limnological botany. Wiley Interscience: New York.
- Junk, W.J. & Piedade, M. T. F. (1997). Plant Life in the Floodplain with Special Reference to Herbaceous Plants. En W. J. Junk (Ed.), *The Central Amazon Floodplain: Ecology of a Pulsing System* (pp. 147-185).
- Khedr, A. & El-Demerdash, M. (1997). Distribution of aquatic plants in relation to environmental factors in the Nile Delta. *Aquatic Botany* 56:75-86.
- Laboul, P. & Freedman, B. (2006). Environmental influences on aquatic plants in freshwater ecosystems. *Environ Rev* 14:89-136
- Latrubesse, E. (2012). Amazon lakes. En *Encyclopedia of Lakes and Reservoirs* (pp. 13-26).
- Macedo, M. & Castello, L. (2016). El estado de la Amazonia: conectividad de agua dulce y salud de los ecosistemas; editado por D. Oliveira, C. C Maretti y S. Charity. Brasilia, Brasil: Iniciativa Amazonia Viva de WWF. 138pp.
- Martins, D., Velini, E.D., Negrisoli, E. & Tofoli, G.R. (2002). Chemical control of *Pistia stratiotes*, *Eichhornia crassipes* and *Salvinia molesta* in reservoirs. *Planta Daninha* 20, 83–88.
- Mendoza, Y.I. (2018). Evaluación del Aporte de las Plantas Acuáticas *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes* en el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. *Información Tecnológica*, 29, 10.
- McCann, A. J., Arkin, N. L. & Williams, D. J. (1996). Nonindigenous Aquatic and Selected Terrestrial Species of Florida. Status, Pathway and Time of Introduction, Present Distribution, and Significant Ecological and Economic Effects. *Southeastern Biological Science Center*, 256 pp.
- Neuenschwander, P., Julien, M.H., Center, T.D. & Hill, M.P. (2009) *Pistia stratiotes* L. (Araceae). In: Biological Control of Tropical Weeds Using Arthropods (Eds

- Muniappan R, Reddy GVP & Raman A), pp. 332–352. Cambridge University Press: UK.
- Osborne, P. (2000). Tropical Ecosystems and Ecological Concepts. Cambridge:UK.
- Pettet, A. & Pettet J. (1970). Biological control of *Pistia stratiotes* L. in Western State, Nigeria. *Nature* 226:282
- Pieterse, A. H., Delange, L. & Verhagen, L. (1981). A Study on Certain Aspects of Seed Germination and Growth of *Pistia Stratiotes* L. *Acta Botanica Neerlandica*, 30(1-2), 47-57.
- Pinto-coelho, R. M. (1998). Effects of eutrophication on seasonal patterns of mesozooplankton in a tropical reservoir: A 4-year study in Pampulha Lake, Brazil. *Freshwater Biology*, 40(1), 159-173.
- Placencia, P.C. (2016). *EVALUACIÓN DEL POTENCIAL FITORREMIADOR DE DOS ESPECIES (Pistia stratiotes L.) y (Limnobium laevigatum R.) PARA EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS PRODUCIDOS EN EL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN CENTINELA DEL CÓNDOR, PROVINCIA ZAMORA CHINCHIPE.* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Loja, Zamora, Ecuador.
- Rai, P.K. (2019). Heavy metals/metalloids remediation from wastewater using free floating macrophytes of a natural wetland. *Environmental Technology & Innovation*, 15, 100393.
- Reddy, K. R. & DeBusk, W.F.(1984). Growth characteristics of aquatic macrophytes cultured in nutrient-enriched water. I water hyacinth, water lettuce, and pennywort. *Economic Botany* 38(2): 229–239
- Rivers, L. 2002. Water lettuce (*Pistia stratiotes*). University of Florida and Sea Grant: Gainesville, USA.
- Sajna, N., Haler, M., Skornik, S. & Kaligaric, M. (2007). Survival and expansion of *Pistia stratiotes* L. in a thermal stream in Slovenia. Recuperado 19 de octubre de 2019, de https://www.researchgate.net/publication/222537546_Survival_and_expansion_of_Pistia_stratiotes_L_in_a_thermal_stream_in_Slovenia
- Sridhar, M.K.C. & Sharma, B. M. (1979). *Pistia stratiotes* L. in Nigerian waters. Recuperado 24 de octubre de 2019, de https://www.researchgate.net/publication/226797657_Pistia_stratiotes_L_in_Nigerian_waters
- Thayer, D. & Haller, W. (1985). Effect of Some Herbicides in Controlling the Floating aquatic plants. *Journal of Aquatic Plant Management*, 23:94-95.
- Thiebaut, G., Guérol, F. & Muller, S. (2002). Are trophic and diversity indices based on macrophyte communities pertinent tools to monitor water quality? *Water Research*, 36(14), 3602-3610.
- Wang, C., Wang, L.Y. & Sun, Q. (2010). Response of Phytochelatin and Their Relationship with Cadmium Toxicity in a Floating Macrophyte *Pistia stratiotes* L. at Environmentally Relevant Concentrations. *Water Environment Research*, 82(2), 147-154.

ANEXO A: TABLAS

Tabla 1. Parámetros ambientales analizados

Físicos	Químicos	Biológicos
pH	Nitratos	Algas
Temperatura	Fosfatos	Coliformes
Conductividad	Sílice	
Oxígeno disuelto (% y mg/L)	Metales pesados (bario,calcio, hierro, silicio,cobre,potasio,magnesio,manganeso,zinc)	

Tabla 2. Curva de regresión de la tasa de crecimiento de *Pistia stratiotes* en las lagunas Añangucocha, Cariyuturi y Yanacochoa

Lagunas	Cuadrante	gd-1
Añangucocha	1	1,0858
Añangucocha	2	1,9832
Añangucocha	3	6,611
Añangucocha	4	1,6966
Añangucocha	5	5,3785
Añangucocha	6	2,1955
Añangucocha	7	3,8287
Añangucocha	8	5,105
Añangucocha	9	5,2171
Añangucocha	10	3,0663
Añangucocha	11	4,2993
Añangucocha	12	5,1148
Cariyuturi	1	3,0709
Cariyuturi	2	3,2537
Cariyuturi	3	3,6558
Cariyuturi	4	2,7419
Cariyuturi	5	2,6687
Cariyuturi	6	2,9247
Cariyuturi	7	2,8515
Cariyuturi	8	3,5096
Cariyuturi	9	3,6558
Cariyuturi	10	1,0236
Cariyuturi	11	0,1097
Cariyuturi	12	3,5096
Yanacochoa	1-12	0

Tabla 3. Resultado ANOVA two-way para datos ambientales donde la variable de respuesta fue los parámetros ambientales y los factores fueron Tipo de Hábitat (Cariyuturi, Añangucocha, Yanacochoa) y sitio específico (Outlet, Middle section y Inlet).

Variable	Fuente	df	F value	P value
pH (Fondo)	Tipo Hábitat	(4 , 8)	4.6064	0.09165
	Sitio específico	(4 , 8)	2.1669	0.23037
ODO (%Sat) Superficie	Tipo Hábitat	(4 , 8)	16,50340371	0,011683064
	Sitio específico	(4 , 8)	2,513787533	0,196325976
ODO (% Sat)Fondo	Tipo Hábitat	(4 , 8)	2,48432711	0,198914033
	Sitio específico	(4 , 8)	1,561983339	0,315265337
ODO (mg/L)Fondo	Tipo Hábitat	(4 , 8)	2,461065747	0,200993838
	Sitio específico	(4 , 8)	0,899208322	0,475884047
Transparencia(cm)*	Tipo Hábitat	(4 , 8)	49,75	0,001493617
	Sitio específico	(4 , 8)	6,25	0,058769513
Cond (µS/cm)Fondo	Tipo Hábitat	(4 , 8)	65,8683432	0,000868411
	Sitio específico	(4 , 8)	0,875739645	0,483683043
Sp Cond(µS/cm)Superficie	Tipo Hábitat	(4 , 8)	40,72256876	0,002191519
	Sitio específico	(4 , 8)	0,519846895	0,629958127
Sp Cond (µS/cm)Fondo	Tipo Hábitat	(4 , 8)	66,31898362	0,000856993
	Sitio específico	(4 , 8)	0,707055859	0,545840249
Temperatur(°C) Superficie	Tipo Hábitat	(4 , 8)	1,202216066	0,39008453
	Sitio específico	(4 , 8)	0,038781163	0,962318348
Temperatur(°C)Fondo	Tipo Hábitat	(4 , 8)	0,061674009	0,941065819
	Sitio específico	(4 , 8)	0,95154185	0,459157942
Ba (µg/L) *	Laguna	(2 ,4)	2,5204	0,0917
	Sitio específico	(2 ,4)	52,0056	<,0001
	Laguna*Sitio específico	(2 ,4)	22,0273	<,0001
Ca (mg/L)	Laguna	(2 ,4)	27,1390	<,0001
	Sitio específico	(2 ,4)	10,3894	0,0002
	Laguna*Sitio específico	(2 ,4)	1,9686	0,1156
Cu (µg/L)	Laguna	(2 ,4)	7,3730	0,0017
	Sitio específico	(2 ,4)	2,0864	0,1360
	Laguna*Sitio específico	(2 ,4)	2,0864	0,0983
Fe (mg/L)*	Laguna	(2 ,4)	1,5993	0,2133
	Sitio específico	(2 ,4)	3,6580	0,0337
	Laguna*Sitio específico	(2 ,4)	21,9655	<,0001
K (mg/L)*	Laguna	(2 ,4)	4,6661	0,0144
	Sitio específico	(2 ,4)	2,7337	0,0758
	Laguna*Sitio específico	(2 ,4)	3,2423	0,0202
Mg (mg/L)*	Laguna	(2 ,4)	104,4979	<,0001
	Sitio específico	(2 ,4)	5,0162	0,0108
	Laguna*Sitio específico	(2 ,4)	6,2610	0,0004

Mn (µg/L)*	Laguna	(2 ,4)	33,0028	<,0001
	Sitio específico	(2 ,4)	0,4364	0,6490
	Laguna*Sitio específico	(2 ,4)	8,2866	<,0001
Na (mg/L)*	Laguna	(2 ,4)	10,7687	0,0002
	Sitio específico	(2 ,4)	5,1098	0,0100
	Laguna*Sitio específico	(2 ,4)	4,2692	0,0052
P (mg/L)*	Laguna	(2 ,4)	11,2427	0,0001
	Sitio específico	(2 ,4)	17,6293	<,0001
	Laguna*Sitio específico	(2 ,4)	6,3464	0,0004
Si (mg/L)*	Laguna	(2 ,4)	0,1392	0,8705
	Sitio específico	(2 ,4)	2,8233	0,0700
	Laguna*Sitio específico	(2 ,4)	3,1983	0,0215
Zn (µg/L)	Laguna	(2 ,4)	25,7118	<,0001
	Sitio específico	(2 ,4)	6,2866	0,0039
	Laguna*Sitio específico	(2 ,4)	0,6098	0,6577
Nitratos (mg/L)	Laguna	(2 ,4)	0,4371	0,6486
	Sitio específico	(2 ,4)	1,1122	0,3377
	Laguna*Sitio específico	(2 ,4)	1,3125	0,2798
Fosfatos (mg/L)	Laguna	(2 ,4)	3485,018	<,0001
	Sitio específico	(2 ,4)	3,3133	0,0455
	Laguna*Sitio específico	(2 ,4)	2,3409	0,0693
ALGAS	Laguna	(2 ,4)	24,6692	<,0001
	Sitio específico	(2 ,4)	6,8347	0,0062
	Laguna*Sitio específico	(2 ,4)	2,0528	0,1297
Coliformes	Laguna	(4 , 4)	0.0922	0.9138
	Sitio específico	(4, 4)	0.7137	0.5432
FPOM	Laguna	(2 ,4)	0,6779	0,5202
	Sitio específico	(2 ,4)	1,0429	0,3728
	Laguna*Sitio específico	(2 ,4)	1,4390	0,2618

*Señala las variables que son significativamente diferentes.

Tabla 4. Resultados del Análisis de Componentes Principales (PCA) de las variables ambientales que explican el porcentaje de variación acumulado de cada uno de los ejes.

PC	Eigenvalues	%Variation	Cum.%Variation
<i>1</i>	12,5	48,2	48,2
<i>2</i>	5,72	22,0	70,2
<i>3</i>	3	11,5	81,7

Tabla 5. Resultados del Análisis de Componentes Principales (PCA) de la contribución de cada una de las variables por cada eje del PC1, PC2, PC3.

Variable	PC1	PC2	PC3
pH (Superficie)	-0,270*	-0,015	-0,026
Odo (%sat) superficie	-0,216	0,233	0,155
Transparencia(cm)	-0,218	-0,047	-0,239
Cond (µs/cm)Superficie	-0,229	0,135	0,009
Sp Cond (µs/cm)Superficie	-0,221	0,147	-0,040
Temperatura (°C)	-0,267*	-0,072	0,049
Ba (µg/L)	-0,043	0,157	-0,496*
Ca (mg/L)	-0,029	0,399*	-0,084
Cu (µg/L)	-0,097	0,386*	0,040
Fe (mg/L)	-0,086	-0,101	-0,401*
K (mg/L)	-0,261*	-0,003	0,071
Mg (mg/L)	0,221	0,087	-0,271*
Mn (µg/L)	0,149	-0,007	-0,139
Na (mg/L)	-0,261	-0,104	0,134
P (mg/L)	-0,177	0,004	0,364*
Si (mg/L)	-0,265*	-0,063	-0,060
Zn (µg/L)	-0,096	0,355*	0,178
Nitratos (mg/L)	-0,155	0,286*	-0,015
Fosfatos (mg/L)	0,026	0,372*	-0,013
NITRITO (mg/L)	-0,184	0,032	0,025
SÍLICE (mg/L)	0,219	-0,151	0,251
FOSFATOS F2 (mg/L)	-0,236	-0,213	-0,045
NITRATO F2 (mg/L)	-0,262*	-0,144	-0,018
Coliformes	-0,148	-0,023	-0,354*
Algas	-0,173	-0,186	0,098
FPOM	-0,199	-0,248*	-0,115

*Señala las variables que son significantes.

ANEXO B: GRÁFICOS

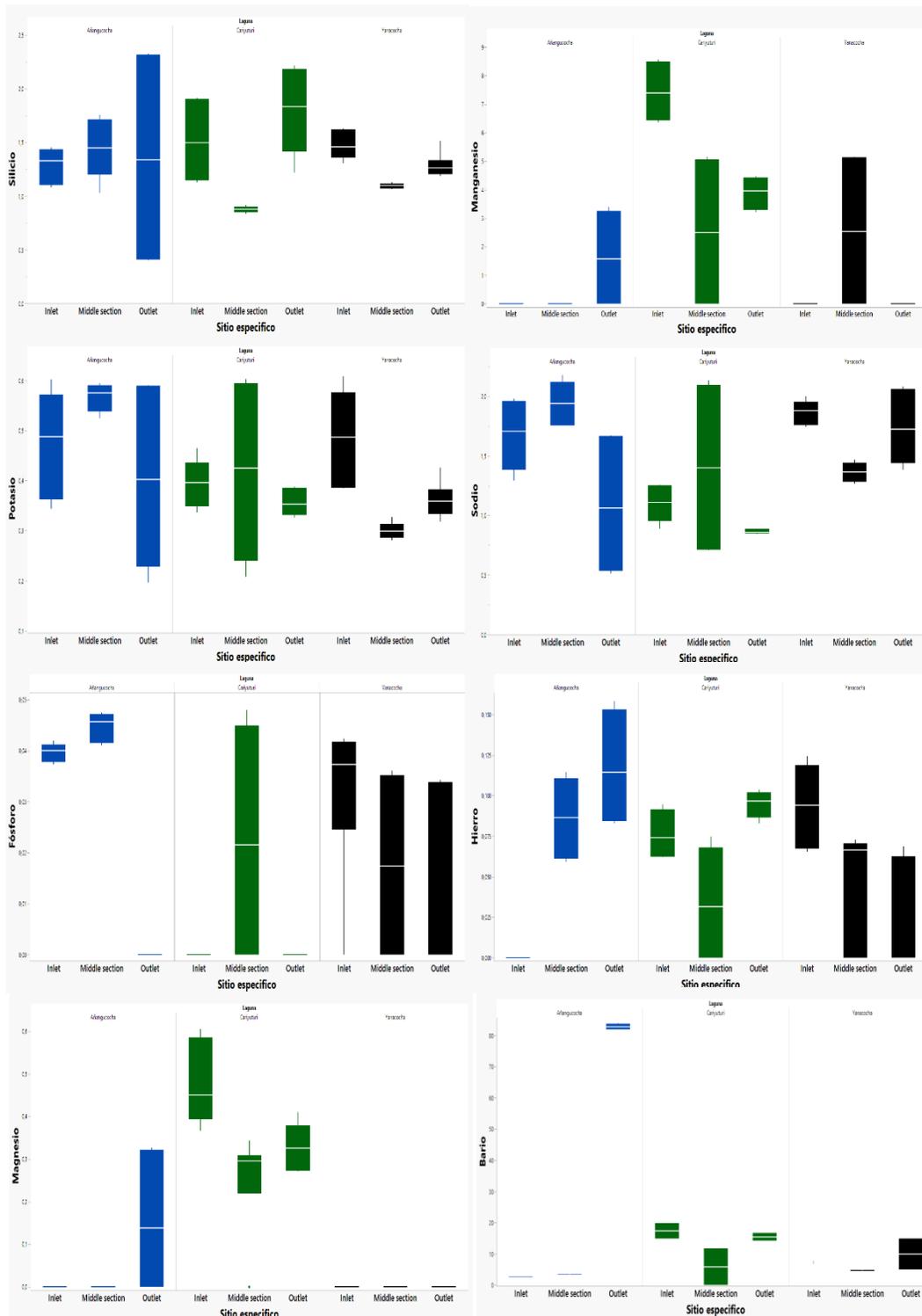


Gráfico 5. Boxplot del ANOVA two way de variables químicas (Ba ($\mu\text{g/L}$), Fe (mg/L), K (mg/L), Mg (mg/L), Mn ($\mu\text{g/L}$)*, Na (mg/L)*, P (mg/L)*, Si (mg/L)) que fueron

significativas en los dos factores lagunas (Cariyuturi, Añangucocha y Yanacochoa) y sitio específico (Outlet, Middle section y Inlet).

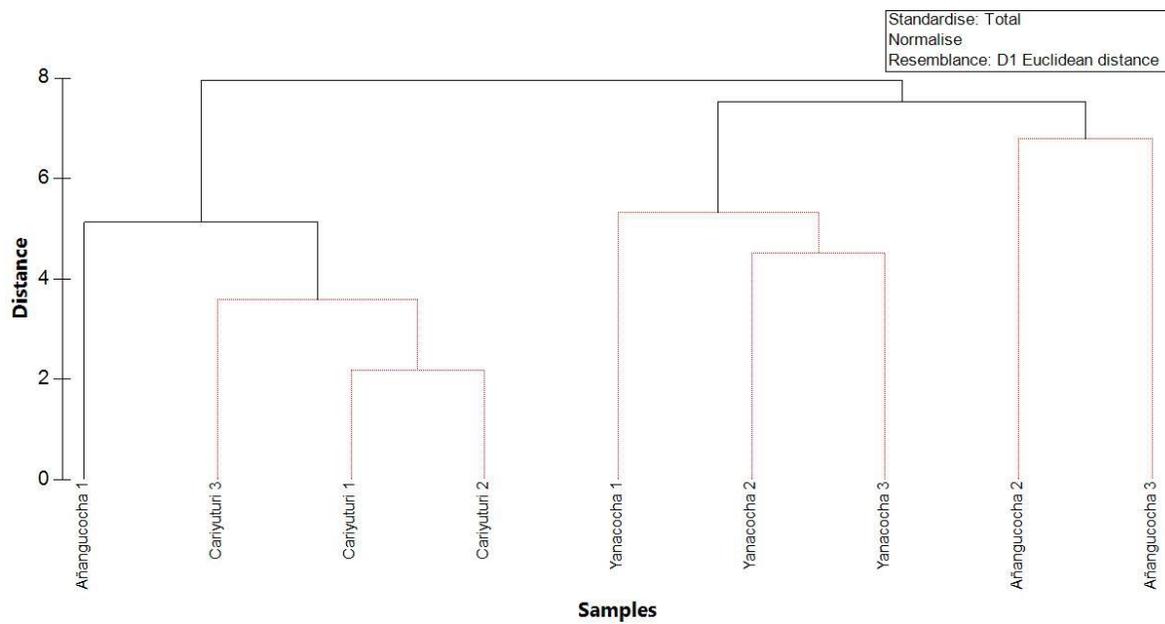


Gráfico 6. Grupo con información de las variables ambientales de las diferentes lagunas y sus sitios específicos.

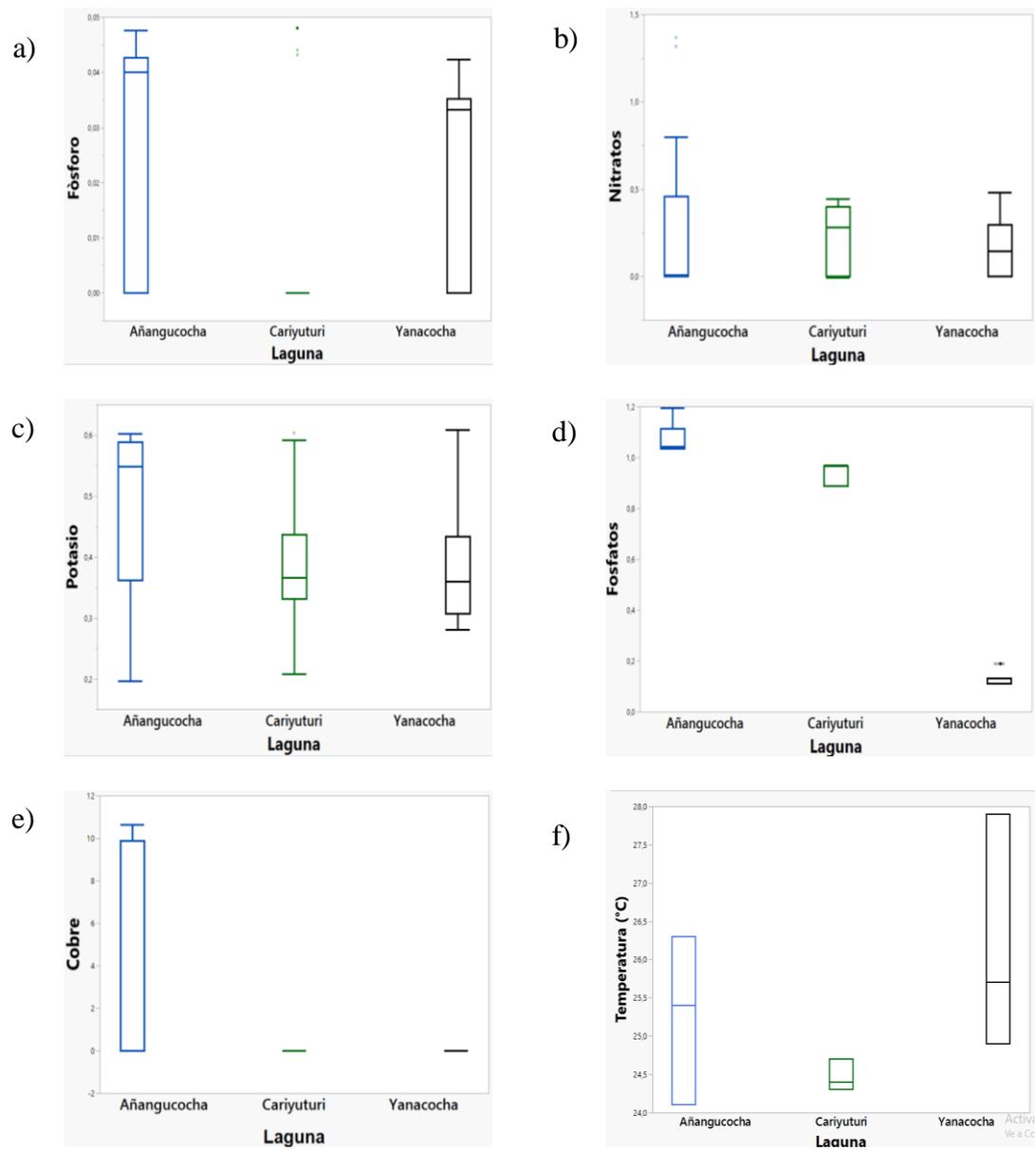


Gráfico 7. Variables determinantes a) fosforo, b) nitratos, c) potasio, d) fosfatos, e) cobre, y f) temperatura que permiten un mayor crecimiento de Añanguocha.