

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales

**Composición de la comunidad de invertebrados acuáticos
en ecosistemas lénticos y lóticos del Archipiélago de
Galápagos**

Patricia Cárdenas López

Biología

Trabajo integración curricular presentado como requisito para la obtención del
título de Biología, concentración Ecología Marina

Quito, 18 de diciembre de 2019

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ
COLEGIO CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**Composición de la comunidad de invertebrados acuáticos en ecosistemas
lénticos y lóticos del Archipiélago de Galápagos**

Patricia Cárdenas López

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico

Andrea Encalada, PhD.

Firma del profesor

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: Patricia Cárdenas López

Código: 00117498

Cédula de Identidad: 1103650832

Lugar y fecha: Quito, 18 de diciembre de 2019

Dedicatoria

A la sonrisa de mis padres que vale un millón.

Agradecimientos

Mi más sincero respeto, cariño y admiración a Andrea Encalada, por ser quien es con cada uno de nosotros, por enseñarnos que en el laboratorio todos nos debemos ayudar y en equipo se llega más lejos. Por ayudarme a dar mis primeros pasos en el mundo de la ecología acuática y enseñarme un universo microscópico que yo desconocía, pero sobre todo por su paciencia para responder mis mil preguntas durante estos años y enseñarme que puedo hacer todo lo que me proponga, gracias.

A todos los que conforman el laboratorio de ecología acuática pues allí aprendí desde como limpiar una muestra hasta identificar especies, cada uno apporto de una u otra forma a mi educación, pero sobre todo gracias por la ayuda y por ser tan buena gente. En especial a Sebas y Diego que me ayudaron con algunos invertebrados y que hicieron el tiempo en el laboratorio más ameno, al profe Giovani quien también me ayudo cuando no lograba identificar algún coleóptero y ser paciente, y a Christian Villamarín pues me enseñó su técnica para Chironomidaes la cual me alegra haber aprendido.

También quisiera mencionar al Galápagos Science Center porque en sus instalaciones pude hacer gran parte de mi trabajo y todos allí me trataron como una científica.

En estos años de carrera hice amigos increíbles sin ellos nada de esto hubiera pasado, David, Josue, Cami, Raquel, Mel y en especial Stefy que se convirtió en mi familia en Quito, las risas nunca faltaron, gracias.

También quisiera mencionar a Fátima Viteri, una gran profesora que conocí durante la carrera que me enseñó que no todo lo que importa es lo que tienes en la mente sino también en el corazón, y lo valioso de ser un buen ser humano, gracias, Fátima por escucharme y por tus consejos.

Y a todos quienes conformar la USFQ y COCIBA pues no solo a los profesores que aportaron a mi educación, sino a todo el personal, a Gaby por aconsejarnos en las materias y hacer que nos cuadren las cosas, a Lili por cuidarnos como si fuéramos sus hijos y a Doña Mary que siempre tuvo una sonrisa para nosotros.

Mis abuelos que rezan por nosotros, y mis padres que siempre hacen lo mejor para sus tres hijos.

Gracias a todos y sigan haciendo ciencia.

RESUMEN

El Archipiélago de Galápagos está conformado por 13 islas grandes y varios islotes, los cuales se diferencian entre sí por la edad de origen. Solo la isla más antigua, San Cristóbal, tiene ecosistemas de ríos, mientras las islas nuevas carecen de ecosistemas acuáticos de agua dulce y solo unas pocas, como Isabela y Santa Cruz, presentan humedales o lagos costeros salobres formados por la salida de aguas subterráneas a la superficie. El objetivo de nuestra investigación es describir estos ecosistemas de agua dulce y salobres y la diversidad de invertebrados acuáticos, y entender qué variables ambientales (físico – químicas) explican mejor la composición de la comunidad. Muestreamos invertebrados bentónicos y parámetros ambientales en 13 sitios en la Isla San Cristóbal y 9 sitios en la Isla Isabela durante Febrero y Noviembre del año 2018, respectivamente. Los resultados muestran que la diversidad de invertebrados varía drásticamente entre las islas Isabela y San Cristóbal, con familias como Tabanidae, Notonectidae y Palaemonidae que solo están presentes en Isabela y Gyrinidae, Muscidae y Simuliidae exclusivos de San Cristóbal. La familia Chironomidae (Orden Díptera), es abundante en ambas Islas, pero la diversidad es contrastante y no comparten especies similares entre islas. Los órdenes Odonata, Díptera y Coleóptera han colonizado y se han adaptado exitosamente en ambas Islas, mientras los órdenes Ephemeroptera, Trichoptera y Plecoptera que son característicos de ríos y lagos continentales están completamente ausentes en las Galápagos. Los análisis físico- químicos sugieren diferencias grandes en los ecosistemas de agua dulce entre las islas. San Cristóbal tiene alta concentración de oxígeno disuelto (≈ 6 mg/L) y baja conductividad ($\approx 60\mu\text{S}/\text{cm}$), mientras Isabela tiene bajo oxígeno (≈ 1 mg/L) y alta conductividad de 1500 a 11000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Entender la composición de la comunidad y la dinámica poblacional en estos ecosistemas de agua dulce y su relación con factores ambientales proveerá información crítica para mejorar el manejo y la conservación de estas Islas que son un ícono a nivel mundial.

Palabras clave: invertebrados, ecosistemas de agua dulce, Galápagos, entomología, composición comunidades.

ABSTRACT

The Galapagos Archipelago is made up of 13 large islands and several islets, which differ from each other by the age of origin. Only the oldest island, San Cristóbal, has river ecosystems, while the new islands lack freshwater ecosystems, and just a few like Isabela and Santa Cruz, have brackish coastal wetlands or lakes formed by the outflow of groundwater to the surface. The objective of our research is to describe these freshwater and brackish ecosystems and their diversity of aquatic invertebrates, and to understand how the environmental variables (physical-chemical) explain the composition of the community. We sampled benthic invertebrates and environmental parameters at 13 sites on San Cristobal Island and 9 sites on Isabela Island during February and November 2018. The results showed that the diversity of invertebrates change between Isabela and San Cristóbal Islands, with families such as Tabanidae, Notonectidae and Palaemonidae that are only present in Isabela and Gyrinidae, Muscidae and Simuliidae exclusively on San Cristóbal. The Chironomidae family (Order: Diptera) is abundant in both islands, but the diversity is contrasting and they do not share similar species between islands. The orders Odonata, Diptera and Coleoptera have colonized and adapted successfully in both islands, while the orders Ephemeroptera, Trichoptera and Plecoptera, that are characteristic of continental rivers and lakes are completely absent in the Galapagos. Physical-Chemical analyzes suggest larger differences in freshwater ecosystems between islands. San Cristóbal has a high concentration of dissolved oxygen (≈ 6 mg/L) and low conductivity ($\approx 60\mu\text{S}/\text{cm}$), while Isabela has low oxygen (≈ 1 mg/L) and high conductivity of 1500 to 11000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Understanding the composition of the community and population dynamics in these ecosystems and their relationship with environmental factors, will provide critical information to improve the management and conservation of these islands that are a worldwide icon.

Keywords: Invertebrates, freshwater ecosystems, Galapagos Islands, Entomology, community composition.

TABLA DE CONTENIDO

Dedicatoria.....	4
Agradecimientos.....	5
Resumen.....	6
Abstract.....	7
Artículo: Composición de la comunidad de invertebrados acuáticos en ecosistemas lénticos y lóticos del Archipiélago de Galápagos.....	9
Introducción.....	11
Metodología.....	16
Resultados.....	22
Discusión.....	26
Conclusión.....	32
Referencias Bibliográficas.....	34
Anexos.....	40
Apéndice.....	56

**COMPOSICIÓN DE LA COMUNIDAD DE INVERTEBRADOS ACUÁTICOS EN
ECOSISTEMAS LÉNTICOS Y LÓTICOS DEL ARCHIPIÉLAGO DE
GALÁPAGOS**

Cárdenas P ¹, Ochoa V ², Guayasamín J ³, Chávez J ³, Tapia A ¹ & Encalada A.C ¹

¹Instituto Biosfera, Laboratorio de Ecología Acuática, Universidad San Francisco de Quito, Ecuador

²Departamento de Ingeniería Ambiental, Universidad San Francisco de Quito, Ecuador.

³Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales, Universidad San Francisco de Quito, Ecuador.

Título abreviado: Invertebrados en ecosistemas de agua dulce en las Islas Galápagos.

Palabras clave: invertebrados, ecosistemas de agua dulce, Galápagos, limnología, composición comunidades.

RESUMEN

El Archipiélago de Galápagos está conformado por 13 islas grandes y varios islotes, los cuales se diferencian entre sí por la edad de origen. Solo la isla más antigua, San Cristóbal, tiene ecosistemas de ríos, mientras las islas nuevas carecen de ecosistemas acuáticos de agua dulce y solo unas pocas, como Isabela y Santa Cruz, presentan humedales o lagos costeros salobres formados por la salida de aguas subterráneas a la superficie. El objetivo de nuestra investigación es describir estos ecosistemas de agua dulce y salobres y la diversidad de invertebrados acuáticos, y entender qué variables ambientales (físico – químicas) explican mejor la composición de la comunidad. Muestreamos invertebrados bentónicos y parámetros ambientales en 13 sitios en la Isla San Cristóbal y 9 sitios en la Isla Isabela durante Febrero y Noviembre del año 2018, respectivamente. Los resultados muestran que la diversidad de invertebrados varía drásticamente entre las islas Isabela y San Cristóbal, con familias como Tabanidae, Notonectidae y Palaemonidae que solo están presentes en Isabela y Gyrinidae, Muscidae y Simuliidae exclusivos de San Cristóbal. La familia Chironomidae (Orden Díptera), es abundante en ambas Islas, pero la diversidad es contrastante y no comparten especies similares entre islas. Los órdenes Odonata, Díptera y Coleóptera han colonizado y se han adaptado exitosamente en ambas Islas, mientras los órdenes Ephemeroptera, Trichoptera y Plecoptera que son característicos de ríos y lagos continentales están completamente ausentes en las Galápagos. Los análisis físico- químicos sugieren diferencias grandes en los ecosistemas de agua dulce entre las islas. San Cristóbal tiene alta concentración de oxígeno disuelto (≈ 6 mg/L) y baja conductividad ($\approx 60\mu\text{S}/\text{cm}$), mientras Isabela tiene bajo oxígeno (≈ 1 mg/L) y alta conductividad de 1500 a 11000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Entender la composición de la comunidad y la dinámica poblacional en estos ecosistemas de agua dulce y su relación con factores ambientales proveerá información crítica para mejorar el manejo y la conservación de estas Islas que son un ícono a nivel mundial.

Palabras clave: invertebrados, ecosistemas de agua dulce, Galápagos, entomología, composición comunidades.

INTRODUCCIÓN

El archipiélago de Galápagos está conformado por 16 islas grandes, 6 medianas y 215 islotes, cada una de estas fueron formadas en diferentes tiempos, por ejemplo, la Isla Isabela tiene aproximadamente 3 millones de años desde su formación, mientras que San Cristóbal se formó hace casi 6 millones de años (Jackson, 1993). Estas islas son de origen volcánico, donde erupciones pasadas han creado túneles de lava y grietas que se conectan con el océano, como es el caso de la Isla Isabela. Esta dinámica y con el pasar el tiempo, han dado paso a diversas formaciones que contienen agua dulce y agua salobre creando así ecosistemas únicos en cada una de estas islas (Bak *et al.* 2017). Las islas se caracterizan por ser un laboratorio de la evolución, pues el aislamiento de las especies entre islas ha permitido el estudio de cambios fisiológicos y comportamentales debido a presiones ambientales (Chávez y Brusca, 1991). Así mismo, su posición estratégica en el Pacífico y junto con las corrientes oceánicas que transitan por las islas han creado ecosistemas que han sido colonizados por especies que han podido adaptarse a estas condiciones ambientales (Banks, 1999).

El agua dulce en Galápagos es algo no muy visible, pero está presente en algunos lugares de ciertas islas, principalmente de forma subterránea, en grietas y quebradas conocidas localmente como encañadas (Ozouville, 2007). El recurso de agua dulce en las Islas Galápagos depende mucho de la época del año, pues existen dos estaciones, una seca donde no llueve por seis meses y la época lluviosa donde la vegetación permanece verde, además la cantidad de precipitación varía dependiendo de si ocurre el fenómeno climático de El Niño o de La Niña (Guyot *et al.*, 2007).

Ozouville (2007), menciona que la forma de acumulación de agua en las islas es en lagunas costeras, de manera subterránea, humedales y cauces, en este estudio nos

enfocamos más en las lagunas costeras de la Isla Isabela y en los cauces que serían las encañadas en la Isla San Cristóbal.

Las lagunas costeras son cuerpos de agua salobre separados ligeramente del mar, se caracterizan por tener variaciones rápidas de salinidad y temperatura pues el intercambio de agua con el mar es algo constante (Gelin *et al*, 2002). Por otro lado, en las Islas Galápagos existen alrededor de cincuenta lagunas (salobres y de agua dulce) formadas por actividad volcánica, la acumulación de lluvia y pequeñas garuas de temporada (Vargas, 1989).

Tanto en las lagunas costeras como en las encañadas los cuerpos de agua se forman por la lluvia y la acumulación de agua, en San Cristóbal existe neblina y lluvia horizontal lo que hace que en la parte alta de la isla se formen encañadas que mantienen un flujo de agua permanente a lo largo del año y que varía en su cantidad durante la época seca y lluviosa (Ozouville, 2007). En Isabela por otro lado, al ser una isla joven, la capa de suelo es mínima y predomina la presencia de lava solidificada de erupciones anteriores de varios volcanes, todavía activos en la isla. La naturaleza del suelo permite así una rápida infiltración de agua de lluvia a canales subterráneos que desembocan en depresiones geográficas en la costa de la isla, formando así las lagunas costeras. Adicionalmente, estas lagunas pueden tener entrada de agua salada ya sea por cercanía a la zona intermareal o al estar conectadas con túneles de lava que tienen salida al mar. (Gravez, 2004).

Estos ecosistemas son importantes por la diversidad que albergan ya que sus características físicas y ambientales son particulares y los organismos que las habitan se consideran “resistentes” o de gran adaptación a la variabilidad del entorno. Es así como existen especies que desarrollan todo su ciclo biológico dentro del agua encontrando un balance en la comunidad y especies que se desarrolla solo su estado larvario en el agua y

su vida adulta fuera de ella. Hay que considerar que la unión entre agua dulce y agua salada permite la colonización de organismos acuáticos continentales y de origen marino, pero solo los que pueden adaptarse exitosamente a un ecosistema salobre logran sobrevivir (Lara-Domínguez *et al.*, 2011).

Los invertebrados acuáticos muestran una gran variedad de adaptaciones, incluyendo grandes diferencias en sus ciclos de vida y tipo de alimentación, cada uno de ellos se ha adaptado a diferentes ambientes ya sea por las temperaturas del lugar y los recursos disponibles (Vásquez *et al.* 2009). Varios invertebrados realizan migraciones a lo largo de los ríos y entre ambientes de agua dulce y mar (Hanson *et al.* 2010). Sin embargo, a las islas han llegado pocos colonizadores y los que lo han logrado ha sido por corrientes de agua, en patas de aves migratorias o por vías antropogénicas. Muchos de ellos se han sabido adaptar al nuevo ecosistema, ya que son reptadores, trepadores, buceadores, pero otros tantos han fallado en su colonización y por ende haciendo que la riqueza de las islas no sea alta (Grenier, 2007).

La composición de las comunidades es un factor clave para determinar la riqueza y abundancia de los organismos en un hábitat, se puede decir que las gradientes de un entorno pueden mostrar variabilidad en la distribución y abundancia como consecuencia de las características, espacio del entorno y la capacidad del organismo de adaptarse al hábitat (Clemente, 2008). Por ello entender la composición de la comunidad de un organismo es

fundamental para poder determinar los factores que influyen en su buen desarrollo en un hábitat y como estos se conectan para mantener la comunidad estable (Andrade, 2012).

Son pocos los estudios que se han realizado sobre la biología y ecología de estos ecosistemas de agua dulces de las islas, principalmente estudios enfocados en odonata, coleóptera y hemíptera como los mencionados en el Apéndice A.

Existe un estudio de Gelin (2002) que es hasta el momento el que abarca de forma más profunda los ecosistemas de agua dulce del archipiélago. Pues menciona los invertebrados de las lagunas de Isabela así como la salinidad de estos ecosistemas, indica que Las Diablas posee la menor salinidad, respecto a las lagunas del archipiélago, siendo de igual forma la más grande, encontrando aquí gran diversidad como: Odonata, *Ishnura*, *Trichocorixa*, *Paraplea*. Observando así que las larvas de Odonata no tuvieron ningún problema para su desarrollo en estas aguas. También muestrearon otra laguna denominada La Salina pues posee niveles de salinidad muy altos entre 37 g l⁻¹ a 74 g l⁻¹ predominando en este ecosistema el grupo Ostrácoda. Enfocándonos en las especies que encontraron fue Odonata en estado de ninfa y gran abundancia de Diptera en estado larval.

Los ecosistemas de agua dulce de la isla varían mucho, es así como no siempre se pueden encontrar los mismos invertebrados coexistiendo y en muchos casos se da la presencia de un depredador que hace que los competidores se mantengan en baja densidad, cambiando así la abundancia relativa del lugar (Lara-Lara *et al.* 2008). Siendo así que los factores físico-químicos del lugar determinan qué especies pueden llegar a predominar en ciertas zonas, pero no se puede determinar un patrón en un ecosistema ya que las variables

dependen de las características del ambiente, por ende, la diversidad será variable dependiendo del ecosistema (Begon, 1986).

En este contexto nuestro objetivo es determinar la diversidad y composición de la comunidad de invertebrados acuáticos en los diferentes ecosistemas de agua dulce en las islas Isabela y San Cristóbal. Además, buscamos describir los parámetros físicos y químicos de los ecosistemas de agua dulce para así con esta información determinar la relación entre los parámetros ambientales y las comunidades de invertebrados acuáticos.

METODOLOGÍA

Área de Studio

El Archipiélago de Galápagos cuenta con ecosistemas lénticos y lóticos que son formaciones naturales de agua, denominadas encañadas y lagunas costeras. Se muestrearon en total 22 entre las islas San Cristóbal e Isabela.

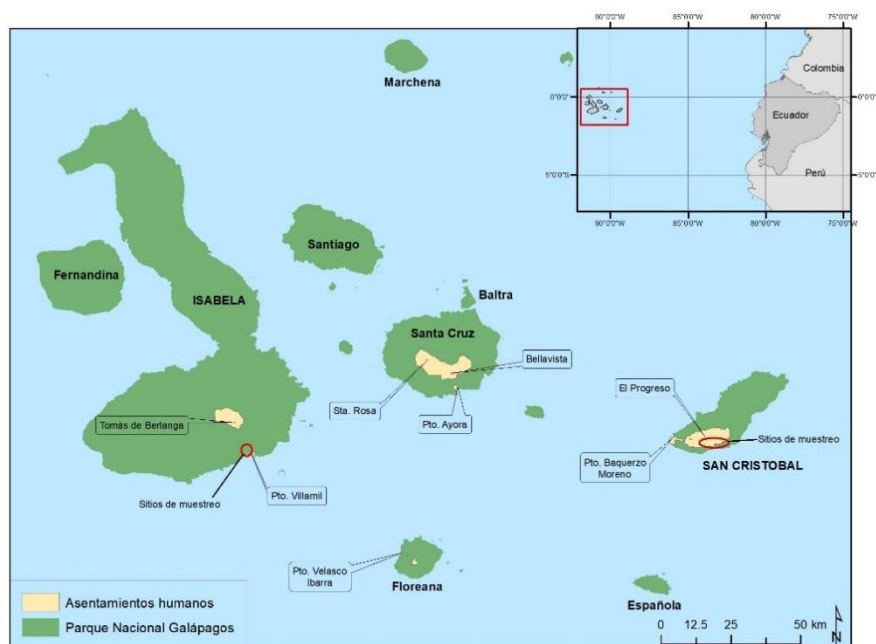


Figura 1. Archipiélago de Galápagos

En la Isla San Cristóbal al sureste del Archipiélago ($0^{\circ}47'58.02''S$, $89^{\circ}23'55.15''O$) se muestrearon 13 sitios (Tabla 1).

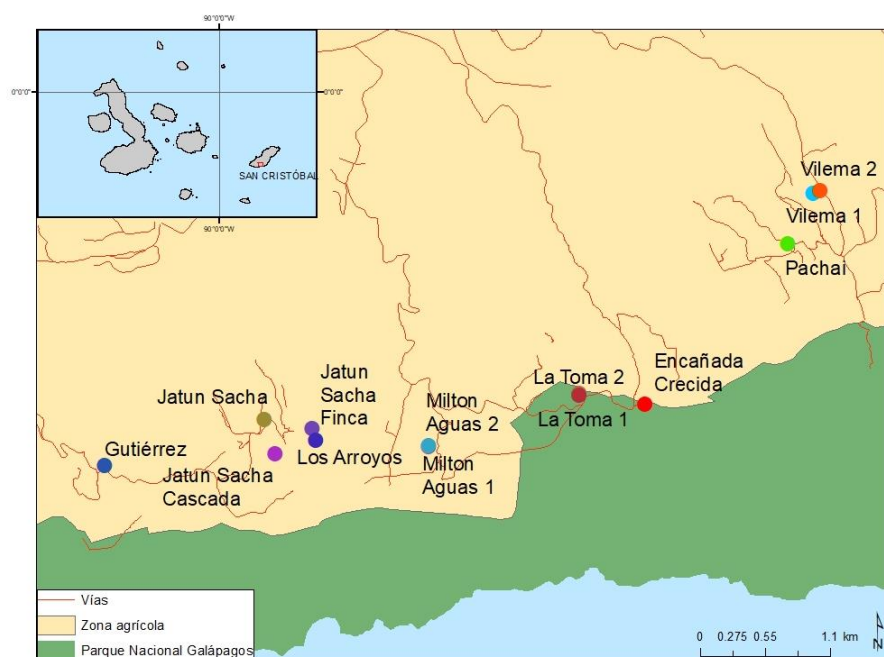


Figura 2. Sitios muestreados en San Cristóbal

En la Isla Isabela al oeste del Archipiélago ($0^{\circ}45'39''S$ $91^{\circ}01'22''O$) se muestrearon 9 sitios (Tabla 2).



Figura 3. Sitios muestreados en Isabela

Para la selección de estos sitios se tomó en cuenta la presencia de agua y materia orgánica para que sea posible la vida de invertebrados en el lugar. En la Isla San Cristóbal los sitios muestreados estuvieron ubicados en una altitud entre 38 msnm y 268 msnm en el punto muestreado más alto, mientras que en la Isla Isabela los puntos estuvieron entre de 0 msnm hasta 10 msnm.

Las encañadas de la Isla San Cristóbal presentaban una gran cobertura vegetal a su alrededor y materia orgánica (hojas, troncos) en el sustrato, así como piedras, sin embargo, eran estrechas y su caudal era bajo. En el caso de la Isla Isabela los sitios de estudio fueron lagunas, predominadas por materia vegetal a su alrededor, las lagunas son de una gran profundidad y aguas claras. En el caso de sitio de muestreo El Estero, trata de una vertiente de agua dulce ubicado en una entrada de mar donde en marea alta es cubierto totalmente por agua de mar.

Métodos

Muestreo de invertebrados acuáticos

Para poder caracterizar la comunidad de invertebrados, se realizaron muestreos bentónicos.

Para esto se utilizaron dos métodos:

1. Red Surber, para un muestreo cuantitativo (Correa-Araneda, 2016), el cual se trata de una red que debe ser usada a bajas profundidades. Se coloca la red en el río y con el movimiento de las manos se remueve el agua y el sustrato del río para recolectar invertebrados acuáticos. Esto se empieza desde la parte más baja del río hacia la más alta, teniendo el mismo esfuerzo de muestreo en todo momento. En nuestro estudio se realizaron cuatro muestras Surber por sitio muestreado.

2. Red D-net, para un muestreo cualitativo (Correa-Araneda,2016), es una red usada comúnmente para sitios profundos, se toman varias muestras en la misma red del sitio a muestrear, dejándola en el agua 30 segundos y teniendo el mismo esfuerzo de muestreo a lo largo de todo el ecosistema, en este caso se obtuvo una muestra D-net por sitio en partes profundas donde no se podía muestrear con una red Surber.

Cabe recalcar que en la Isla Isabela todos los muestreos fueron cualitativos debido a la gran profundidad de las lagunas, mientras que en San Cristóbal se hicieron ambos tipos de muestreo, a excepción del sitio “Encañada crecida” donde no se tomó muestra D-net.

En el campo las muestras fueron limpiadas y se separó los invertebrados acuáticos en frascos individuales con alcohol al 100% para su posterior identificación.

Identificación de invertebrados acuáticos

Las muestras fueron identificadas hasta el nivel taxonómico más bajo posible en los laboratorios, Galápagos Science Center (GSC) y Laboratorio de Ecología Acuática (LEA-USFQ), donde se utilizó claves taxonómicas para invertebrados acuáticos (Domínguez, Fernández, 2009; Tholthuis, L.B, 1955; Thorp, Rogers, 2018; Gonzáles, 2003; Epler, 2001). Para la identificación se usó un microscopio electrónico y se siguió las instrucciones de la clave.

Adicionalmente para poder llegar a un nivel taxonómico más bajo en el caso de Chironomidae se realizó el montaje de la cabeza para observar con claridad las estructuras bucales en el microscopio óptico, esto siguiendo el protocolo de Epler (2001).

VARIABLES AMBIENTALES

Para evaluar las encañadas y las lagunas se midieron 19 parámetros físico-químicos en cada sitio de muestreo.

Para los parámetros físicos: pH, oxígeno disuelto (ODO), turbidez, conductividad (Cond), salinidad y temperatura se utilizó la sonda YSI Pro (Yellow Springs, OG, U.S.A), cabe aclarar que estos parámetros no fueron tomados en: Jatun Sacha Finca, Jatun Sacha Cascada, Encañada Crecida, Los Arroyos por restricciones logísticas.

En cada sitio se tomaron muestras de 60ml de agua filtrada, las cuales se congelaron hasta que fueron transportadas al Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la USFQ (LIA-USFQ). Con un espectrómetro de emisión atómica con acoplamiento de plasma inductivo (ICP-OES) marca Thermo Scientific modelo iCAP 7400, se realizó el análisis de metales traza. Cabe aclarar que estos parámetros no pudieron ser tomados en: Encañada Crecida y Los Arroyos.

Análisis estadísticos

Para los siguientes análisis se relacionaron por separado las muestras cualitativas y las muestras cuantitativas.

El análisis estadístico de las variables ambientales consiste en encontrar los parámetros que mejor expliquen la variación de los diferentes ecosistemas respecto a los componentes físico-químicos del lugar. Para ello se realizó un análisis de componentes principales (PCA) con los datos normalizados para tener una mejor homogeneidad, también se hizo un Non-metric Multi-Dimensional Scaling (NMDS) en base a las especies de invertebrados, para ver la agrupación en los diferentes ecosistemas por islas (25 restarts,

estrés mínimo 0.01), también se realizó un cluster para mostrar el porcentaje de similitud entre los diferentes ecosistemas y sus invertebrados. Estos análisis fueron realizados en PRIMER 6.0 beta (Clarke and Gorley, 2006, Plymouth).

Ambas islas fueron comparadas con las diferentes variables físico-químicas, realizando análisis de varianza (ANOVA) entre la isla y el componente, los datos fueron previamente transformados ($\log+0.1$) para obtener homogeneidad, así mismo se realizó un ANOVA entre las especies de las diferentes islas para ver en cuales existía diferencia. También se vio la relación entre las variables ambientales y la riqueza de la comunidad de invertebrados, donde queríamos obtener los R^2 de todos estos parámetros; para ello se usó el programa estadístico JMP (SAS institute inc.)

RESULTADOS

Invertebrados Acuáticos

En base a los resultados totales en la Isla San Cristóbal se encontró que los grupos con mayor abundancia fueron, Diptera 82%, Decápoda 6%, Amphipoda 5% (Gráfico 1). Respecto a la Isla Isabela los grupos de mayor abundancia fueron Diptera 55%, Hemíptera 32%, Odonata 8% (Gráfico 2).

El grupo Diptera tuvo en total 12 especies, en Isabela (Gráfico 3) se encontraron 7 especies predominando *Tanytarsus sp.1* con 191 individuos, en San Cristóbal (Gráfico 4) 7 spp predominando *Chironomus sp.1* con 2051 individuos. Coleóptera presentó 4 especies en total incluyendo estadios larvarios y adultos, en Isabela 2 spp predominando *Thermonectus basillaris galapagensis* con 3 individuos, mientras que en San Cristóbal 3 spp predominando *Gyrinus galapagoensis*, estadio larvario, con 62 individuos. Odonata se identificaron 6 spp, en Isabela 5 spp predominando *Tramea spp.* con 25 individuos, en San Cristóbal 3 spp, predominando *Rhionaeschna galapagoensis* con 16 individuos. Respecto a Hemíptera se identificaron 6 especies, 5 spp en Isabela predominando *Paraplea puella* con 82 individuos, en San Cristóbal 2 spp predominando *Microvelia sp.1* con 47 individuos. *Spirostreptida género 1* se encuentra presente solo en San Cristóbal con 15 individuos, al igual que *Paradoxosomatidae género 1* que solo está presente en San Cristóbal con 42 individuos. *Hyalella spp.* se encontraron 170 individuos en San Cristóbal, mientras que en Isabela 1 individuo. *Prosekia galapagoensis* fue una especie de un solo individuo encontrado en San Cristóbal. Respecto al grupo Decápoda, se identificaron 5 spp, 2 en Isabela predominando *Palaemonidae genero 1* con 11 individuos y 3 spp en San Cristóbal predominando *Australatya sp.* con 139 individuos. *Glossiphoniidae genero 1* se encontraron 3 únicos individuos en la isla de San Cristóbal.

Respecto a Oligochaeta, se encontró una sola especie *Haplotaxia género 1*, con 5 individuos en Isabela y 18 individuos en San Cristóbal. Gasterópoda estuvo presente en ambas islas, en San Cristóbal con 14 individuos *Antillorbis género 1* y en Isabela con 1 individuo *Ancylini género 1*. Tanaidacea tuvo una sola especie con 6 individuos *Sinelobus stanfordi* presente únicamente en Isabela.

En base a los 22 sitios estudiados, en las muestras cualitativas (D-net), se registraron un total de 43 especies, en la Isla de San Cristóbal se registraron 27 especies, mientras que en Isabela 25 especies, siendo así una comunidad no equitativa, pues posee gran abundancia de una especie, Diptera, y muy pocos individuos de otras especies, siendo así que toda la riqueza de la comunidad se inclina hacia un solo grupo (Gráfico 5). En las muestras son Red Surber se encontró un total de 20 especies.

Respecto al muestreo con D-net, el cluster superpuesto al NMDS mostro un 5% de similitud entre Isabela y San Cristóbal, siendo así un 95% diferentes entre ellas. Las agrupaciones del MDS presentaron un estrés de 0.1 y revelaron que las similitudes existentes entre invertebrados ocurren a nivel de isla, ya que todos los sitios de San Cristóbal se agruparon por una parte y todos los sitios de Isabela se agruparon por otra parte, a excepción de Estero que es 100% diferente al resto de sitios de ambas islas (Gráfico 6).

Respecto al muestreo con Red Surber, el cluster superpuesto al NMDS mostro un 20% de similitud dentro de los sitios de San Cristóbal. El NMDS presento un estrés de 0.15 y mostro dos grandes agrupaciones de grupos, a excepción del sitio Milton aguas 2 Surber 4 (MA2_S4) que su similitud con el grupo es 10%, siendo diferente al resto (Gráfico 7).

Existieron especies significativamente diferentes entre Isabela y San Cristóbal y esto se pudo corroborar con un ANOVA (Tabla 3) las especies significativamente diferentes son: *Chironomus sp.1* ($p < 0.0001$), *Ablabesmyia sp. 1* ($p = 0,0497$), *Goeldichironomus* ($p < 0.0001$), *Tanytarsus sp. 1* ($p < 0.0001$), *Dasyheleinae sp.1* ($p < 0.0001$), *Culicoides sp. 1* ($p = 0,0335$) *Tabanus sp.1* ($p < 0.0001$), *Tabanidae Genero 1* ($p < 0.0001$), *Thermonectus basillaris galapagoensis* ($p = 0,0024$), *Ischnura hastata* ($p = 0,0242$), *Tramea spp.* ($p < 0.0001$), *Brachymesia spp.* ($p = 0,0024$), *Pantala spp.* ($p < 0.0001$), *Notonecta sp.1* ($p < 0.0001$), *Buenoa sp.1* ($p = 0,0335$), *Paraplea puella* ($p < 0.0001$), *Mesovelvia amoena* ($p < 0.0001$), *Trichocorixa reticulata* ($p = 0,0335$), *Sinelobus stanfordi* ($p = 0,0335$), *Australatya sp.* ($0,0054$), *Palaemonidae Genero 1* ($p = 0,0335$), *Uca galapagoensis* ($p = 0,0335$), *Ancylini Genero 1* ($p = 0,0335$).

Variables ambientales

Según el Análisis de Componentes Principales (PCA), las variables físico-químicas explican las agrupaciones en un 65.1 %, respecto a la distribución de los sitios de las islas frente a estas variables (Gráfico 8). Las variables que mejor explican la variación del eje 1 (41.7 %) fueron sulfatos, sodio, potasio y conductividad y respecto al eje 2 (14.3%) fueron molibdeno, hierro, vanadio, magnesio y temperatura (Anexo C).

Respecto al ANOVA realizado entre los datos químicos y las islas se encontró que existen gran cantidad de químicos significativamente diferentes entre islas (Tabla 4, Gráfico 9), estos son: Cloruro ($p < 0,0001$), Sulfatos ($p < 0,0001$), Bario ($p < 0,0001$), Vanadio ($p < 0,0001$), Zinc ($p < 0,0001$), Calcio ($p < 0,0001$), Silicio ($p = 0,0037$), Magnesio ($p < 0,0001$), Potasio ($p < 0,0001$), Sodio ($p < 0,0001$), Hierro ($p < 0,0001$), siendo los que más varían entre islas Sulfato y Hierro.

El ANOVA realizado a los datos físicos , mostro también una gran cantidad de variables significativamente diferentes entre islas (Tabla 5, Gráfico 10), estos son: pH ($p=0,0067$), Turbidez (FNU) ($p<0,0001$), Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ($p<0,0001$), Sp Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ($p<0,0001$), Sal (psu) ($p<0,0001$), Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) ($p= 0,0014$).

Para tener una mejor idea de cómo las variables físico-químicas afectan a la comunidad de invertebrados se realizó una correlación entre la riqueza de invertebrados de los diferentes ecosistemas y cada variable, 11 variables tuvieron una correlación, aunque estas no fueron muy altas (Tabla 6, Gráfico 11), las más relevantes son: Cloruros (R^2 0,280), Cond ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (R^2 0,275), Fe (R^2 0,210), Sal (psu) (R^2 0,279), Sp Cond ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (R^2 0,224).

DISCUSIÓN

En base al objetivo principal de esta investigación, describir la composición de la comunidad de invertebrados en dos islas del Archipiélago Galápagos, reportamos 45 especies en total de invertebrados acuáticos para las islas Isabela y San Cristóbal. Nuestros resultados sugieren comunidades completamente diferentes entre ambas islas. Sin embargo, en ambas el orden predominante es Diptera con su familia Chironomidae con más de 2000 individuos, siendo así el grupo con más abundancia.

En Isabela gran parte de la diversidad se ve dominada por Hemíptera, es el segundo orden con mayor presencia en las lagunas. Hemíptera es un grupo altamente adaptado, existen familias acondicionadas por completo a los ecosistemas acuáticos como en este caso: Notonectidae y Corixidae, por otra parte, tenemos hemípteras más de superficie que no se adentran en el agua, sino que más bien patinan sobre ella o se encuentran en hojas superficiales, siendo así Mesovelidae y Veliidae en nuestro muestreo (López Ruf, 1994). Además, estos hemíptera pueden alejarse del agua para ir en busca de comida, ya que no necesitan del agua para respirar, pues tienen un sistema abierto de tráquea (Carrasco, 2005), esto nos ayuda a entender la diversidad de hemíptera en las lagunas ya que no dependen del agua para su respiración, sino que están allí por la necesidad de comida, pues se alimentan de moluscos, anfibios, oligoquetos y pequeños peces (Mazzuconi y Bachmann, 1995).

Odonata se encontraba presente en ambas islas, en Isabela fue mayor la riqueza pues las especies de la familia Libellulidae están altamente presentes en esta isla, lo cual concuerda con otros autores que han estudiado el archipiélago como Peck (1992) y Lambertz *et al* (2011). Como se mencionó anteriormente Hemíptera tiene alta presencia en

Isabela pues tiene 5 especies, lo cual tiene relación con el estudio de Lenin y Gravez (2002) que encontraron gran abundancia de este orden en la isla.

En San Cristóbal por otra parte, predomina de gran manera Diptera en su composición, pues, aunque existen 13 especies en las islas, solo los son de gran abundancia, la especie *Chironomus sp.1* la cual es una especie filtradora y colectora de materia orgánica, y *Ablabesmyia sp.1*, que es una especie depredadora de larvas en especial de *Chironomus* (Ferrington, 1996). La gran abundancia de Diptera coincide con estudios previos en las islas, según Ferrington (1996) su especie más abundante fue *Chironomus sp* con 87.6 % seguida de *Ablabesmyia sp* con 9.0%, coincidiendo así que la familia Chironomidae es la más abundante en los ecosistemas dulces del archipiélago, al igual que en nuestro muestro. *Hyalella spp.* Tuvo gran abundancia en las encañadas de San Cristóbal, es un género endémico de la región Neotropical y en Ecuador solo existen tres especies (Horton & Lowry, 2013). Así mismo al encontrar solo un individuo de *Uca galapagensis* se pensaría que es raro, sin embargo, según Robinson & Harcourt (1981) es una especie común en lagunas saladas, especialmente si estas se encuentran cerca de manglares.

En el orden coleóptera las especies encontradas eran tanto larvas como adultos pues ambos estadios pueden tener un comportamiento acuático (Jach, 2008). Además este orden ha colonizado casi todos los ambientes del mundo, pues poseen grandes adaptaciones como patas natatorias y un espacio cerrado entre los élitros y el abdomen, creando así una cámara de aire que les permite respirar bajo el agua, por lo cual se adaptaron muy bien para estar presentes tanto en Isabela como en San Cristóbal (Ribera, 2000); esto sin embargo es algo que no ocurre en otras especies acuáticas como Odonata, pues existe una fase de larva en el agua y la fase adulta se da por completo fuera del agua (Ribera *et al*, 2014).

Como resultado de los muestreos de D-net y Surber se obtuvieron las 45 especies estudiadas, se puede ver que existió más diversidad en el muestreo cualitativo, lo cual tendría lógica pues con una red D-net la cantidad de invertebrados atrapados es superior, adicionalmente vemos que la riqueza entre islas no fue muy diferente pues San Cristóbal tiene 27 especies mientras que Isabela 25, aunque cada isla tiene sus especies características. En base a esto como se observa en el Gráfico 9 nos indica que la comunidad no es equitativa y las dos comunidades son realmente diferentes pues la gran abundancia de grupos como *Chironomus* y *Ablabesmyia* muy por encima del resto hace que se creen estos picos, teniendo grupos raros porque tienen pocos individuos y unos pocos grupos que tienen una gran abundancia, en base a esto podemos decir que las comunidades son poco diversas.

Con el NMDS del muestreo cualitativo pudimos comprobar que la comunidad de invertebrados si se agrupa por islas, siendo así que todos los sitios de Isabela se agruparon por una parte y todos los sitios de San Cristóbal por otra, lo cual tiene lógica pues las mismas familias de invertebrados están presentes en San Cristóbal mientras Isabela tiene también sus propias familias presentes en las lagunas, aquí podemos ver que el Estero está completamente separado de las dos islas y se ve como un punto aislado esto se debe a que este sitio está en la costa de Isabela y no se trata ni de una laguna ni de una encañada, sino que es una pequeña corriente de agua dulce que entra unos metros al mar, por lo cual tiene especies únicas no presentes en el resto de sitios como *Palaemonidae*.

Aunque existen familias presentes en ambas islas, hay varias familias que si son significativamente diferentes entre islas, pues tienen una gran abundancia en una isla y no en otra o presencia o ausencia independiente en cada isla, esto lo podemos ver en la tabla 3 y se puede observar que las especies con mayor significancia son justamente las que hacen

única a cada isla como Hemíptera, Odonata, Chironomidae. Referente al NMDS de la muestra cuantitativa, el cual solo se hizo en San Cristóbal, se comparó las agrupaciones de las comunidades de cada encañada de la isla obteniendo una similaridad de 20% entre los dos grandes grupos dentro de San Cristóbal y observando que Milton aguas 2 Surber 4 estaba aislado del resto, esto se puede deber a que *Simulium ochraceum* l se encuentra en gran abundancia, 192 individuos, en comparación al resto, por ende se ve independiente.

Con el ANOVA pudimos corroborar que del total de nuestras especies 24 son significativamente diferentes entre islas y en realidad siendo en la mayoría un $p < 0.001$ nos da que son 99.9% diferentes estas especies entre islas, como ya se mencionó esto se debe a que puede existir la misma familia en ambas islas pero las especies en cada isla son diferentes.

Para entender nuestro objetivo de los parámetros abióticos en los cuerpos de agua tenemos el PCA, el cual nos muestra que el PC1 aporta con un 41.7% a la variación, siendo así que sulfatos aporta a la variación de Estero, así como Hierro a los sitios de San Cristóbal. De acuerdo al PC2 la temperatura, oxígeno disuelto y en gran parte el Molibdeno hacen que los sitios de Isabela sean diferentes a los de San Cristóbal.

Así mismo con el ANOVA se pudo ver la significancia de los metales respecto a las islas y si estos son diferentes entre ellas, se encontró que de 15 metales, 11 son significativamente diferentes entre las islas, dándonos así que un 99.1% del metal no tiene las mismas medidas en Isabela y San Cristóbal. De igual forma las variables físicas cambian drásticamente entre las dos islas, principalmente el pH, Sal, Conductividad, como se puede observar en la Tabla 4 y 5 respectivamente. Estos datos sí coinciden con la geografía de las Islas, puesto que su formación es sumamente diferente, como se mencionó anteriormente la manera en que llega el agua a las encañadas y a las lagunas no es de igual

forma, siendo así Isabela una isla con mucha más salinidad y conductividad como corroboran estudios de Tindle & Tindle (1978).

Para entender nuestro último objetivo de la relación de invertebrados con las variables físico-químicas se realizaron curvas de relación, el R^2 en ninguna fue muy próximo a 1 para tener una muy alta correlación, sin embargo, si existieron relaciones, tal vez un poco más bajas de lo que se esperaba pero existentes, a continuación explico lo que se encontró. En San Cristóbal la comunidad vario muy poco respecto a los metales se veía que en realidad no afectaban de gran forma, pero en Isabela si se vio una relación un poco más fuerte como se observa en el gráfico 15, podemos ver que a mayor Calcio menor es la riqueza de especies en este caso la relación no es muy marcada, respecto a Cloruros cuanto más aumentan se disminuye la riqueza de una forma más drástica y directa, lo que tendría sentido pues un ambiente con cloruro no es el mejor para el desarrollo de las especies, sin embargo Martínez (1994) menciona que el Cloruro no es de gran importancia para el desarrollo biológico y que en una comunidad la misma cantidad que entra debería salir. Respecto a conductividad pudimos ver que a mayor conductividad se reducía el número de especies, por otro lado, se vio que a mayor Hierro la riqueza de especies aumentaba, así mismo se vio que a mayor Oxígeno disuelto aumentaba de una gran forma la riqueza de la comunidad, esto se debe a que existe más oxígeno en el agua por lo tanto todas las especies pueden respirar y se ven favorecidas (Peña, 2007). Además, cabe recalcar que en las lagunas de mayor diversidad la salinidad no era muy alta pues ciertas larvas de Odonata no soportan condiciones muy salinas (Peck, 1992).

En base a esto se vio que los grupos presentes en cada isla son diferentes, cabe recalcar que las especies vienen de diferentes lugares del mundo, como sabemos a Galápagos llegan muchas corrientes marinas, Cromwell del Oeste directo desde Australia a

Ecuador, Humboldt trayendo consigo invertebrados de Perú y la corriente de Panamá que trae agua caliente desde el norte (Chávez y Brusca, 1991) por lo tanto los invertebrados al contrario de lo que se cree no vienen todos del continente, por ejemplo *Australatya* se ha comprobado que viene de Australia (Page, 2007) a las islas además han llegado muchas especies invasivas introducidas por el humano (Gravez *et al*, 2004) , un caso común se da en Diptera, llamada comúnmente “Carmelita”, entonces esto es algo a tomar en cuenta el momento de relacionar la isla con otros sitios alrededor del mundo.

CONCLUSIÓN

En base a los resultados obtenidos de los invertebrados podemos concluir que la composición de comunidades entre Isabela y San Cristóbal es diferente, aunque existen varias especies compartidas entre las islas, es mayor la cantidad de diversidad significativamente diferente, lo que hace que cada ecosistema sea único. Además, la formación natural de las encañadas y de las lagunas costeras es completamente diferente y esto se relaciona con las variables físico-químicas del lugar (sulfatos, hierro , conductividad). En San Cristóbal encontramos un ecosistema totalmente dulce mientras que en Isabela el ecosistema es más salobre, lo cual tiene un efecto más directo sobre la comunidad, pues el agua se ve a diario influenciada por el mar, lo que da como resultado que los organismos no logren adaptarse o que deban osmoregularse para sobrevivir, dando como resultado que solo ciertas especies logren tener éxito de vida (Lara-Domínguez, 2011)

Se observó que la familia más predominante en ambas islas fue Chironomidae, por ello el trabajo de montado de cabezas es importante para corroborar que respecto a *Tanytarsus* existen nuevos individuos clasificados para la ciencia solo por sus morfotipos (Epler, 2001), por lo tanto se realizará un estudio taxonómico más profundo en el futuro.

Aunque la química de los lugares fue diferente se pudo observar que existen especies como Hemíptera muy bien adaptadas a ecosistemas salobres por lo cual en las lagunas si fue posible encontrar riqueza. En las lagunas de menor salinidad se encontró Odonata, siendo así que las variables más significativas para la distribución de las especies fue calcio, sodio, conductividad y sulfatos.

Con esta investigación algo interesante que se encontró es que Notonectidae no está descrito en para el Archipiélago de Galápagos ni existe información al respecto y nosotros si colectamos esta familia con gran abundancia de individuos. Por lo cual surge la duda si están siendo nuevas especies colonizadoras o tal vez alguien las introdujo, siendo así importante estudiar esto más a profundidad. También se observó a Myriapoda alimentándose debajo del agua, estos animales no son acuáticos pero se los encontró allí y se observó que no tenían estructuras acuáticas, por lo tanto puede ser que estén en transición al agua por la materia orgánica del lugar y sería algo interesante también profundizar en un futuro.

Existen familias comunes en ecosistemas de agua dulce como son Ephemeroptera, Trichoptera y Plecoptera las cuales no han logrado colonizar los ambientes acuáticos de las islas, tal vez no se supieron adaptar al ecosistema y no han encontrado la forma de llegar tan lejos (Batzer *et al.* 1999)

Continuamos trabajando en el proyecto, pues se planea muestrear más islas y de Isabela y San Cristóbal obtener más datos, así como abarcar las descripciones de los ecosistemas a profundidad con estudios de materia orgánica, algas, cobertura vegetal. Se quiere también describir las nuevas especies de Chironomidae pues se tienen más de 2000 individuos.

Sabemos que el estudio tuvo ciertas limitaciones y se planifica extender el área de muestreo para tener más información y describir mejor estos ecosistemas, aunque cabe recalcar que este estudio es de los más recientes y completos respecto a ecosistemas de agua dulce de Galápagos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, P (2012). *Abundancia y preferencia de habitat de Damiselas en la isla San Cristobal, Galápagos*. (Bachelor's thesis, Quito: USFQ 2012). Recuperado de <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/2356/1/104240.pdf>
- Bak, M., Kociolek, J. P., Lange-Bertalot, H., Łopato, D., Witkowski, A., Zglobick, I., & Seddon, A. W. (2017). Novel diatom species (Bacillariophyta) from the freshwater discharge site of Laguna Diablas (Island Isabela= Albemarle) from the Galapagos. *Phytotaxa*, 311(3), 201-224.
- Batzer, D. P., Rader, R. B., Wissinger, S. A., & Wissinger, S. A. (Eds.). (1999). *Invertebrates in freshwater wetlands of North America: ecology and management*. John Wiley & Sons.
- Banks SA 1999. *The Use of AVHRR Data in Determining Sea Surface Temperature Zonation and Variability Across the Galápagos Marine Reserve*. M Sc Thesis. Southampton Oceanographic Centre, UK, 46 pp.
- Begon, M., Harper, J. L., & Townsend, C. R. (1986). *Ecology. Individuals, populations and communities*. Blackwell scientific publications.
- Carrasco, O. (2005). *Distribución y ecología de la comunidad de hemípteros acuáticos (Suborden: Heteróptera), en las lagunas de la zona de inundación del río mamoré (Trinidad-Beni)*. Universidad Mayor de San Andrés , Facultad de Ciencias puras y naturales. Bolivia.
- Chavez, F. P., & Brusca, R. C. (1991). The Galapagos Islands and their relation to oceanographic processes in the tropical Pacific. In *Galapagos marine invertebrates* (pp. 9-33). Springer, Boston, MA.
- Clemente S, Hernández JC. 2008. *Influence of wave exposure and habitat complexity in determining spatial variation of the sea urchin Diadema aff. antillarum (Echinoidea: Diadematidae) populations and macroalgal cover (Canary Islands - Eastern Atlantic Ocean)*. *Revista de Biología Tropical* 56:229-254.

- Correa-Araneda, Francisco. (2016). Diseño muestral y métodos de muestreo en ríos, lagunas y humedales para el estudio de bioindicadores de calidad de agua. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú.
- Domínguez, E. (2009) *Invertebrados bentónicos sudamericanos: sistemática y biología, 1a edn.* Domínguez, E. y Fernández, H., Tucumán.
- Drake, C.J., Froeschner, R.C. (1967) *Lace bugs of the Galápagos Archipelago (Hemiptera: Tingidae)*. Proceedings of the Entomological Society of Washington 69(1): 82-91.
- Epler, J. H. (2001). *Identification manual for the larval Chironomidae (Diptera) of North and South Carolina* (pp. 1-526). Crawford, South Carolina: John H. Epler.
- Ferrington, L. & Pehofer, H. *Instar distribution and biomass of Chironomidae larvae in Lago El Junco, Isla San Cristóbal, the Galápagos*. Hydrobiologia 318:123-133. 1996. Kluwer Academic Publishers. Belgium.
- Gelin, A., & Gravez, V. (2001). Impact of the Jessica oil spill on high intertidal invertebrate communities in the Galápagos Islands (Ecuador). *Biological Impacts of the Jessica Oil Spill on the Galápagos Environment: Preliminary Report*. Charles Darwin Foundation, Puerto Ayora, Galápagos, Ecuador, 41-50.
- Gelin, A., Gelin, A. 2002. *Lagunas Costeras*. En: Reserva Marina de Galápagos. Línea Base de la Biodiversidad (Danulat E & GJ Edgar, eds.). pp 119-145. Fundación Charles Darwin / Servicio Parque Nacional Galápagos, Santa Cruz, Galápagos, Ecuador.
- Gelin, A., Gravez, V. (2002) *Lagunas costeras*. In: Danulat, E. & Edgar, G.J. (eds.) (2002): *Reserva Marina de Galápagos. Línea Base de la Biodiversidad*. Fundación Charles Darwin/Servicio Parque Nacional Galápagos, Santa Cruz, Galápagos, Ecuador, p. 119-145
- Gerecke R, Peck SB & HE Pehofer 1995. *The invertebrate fauna of the inland waters of the Galapagos archipelago (Ecuador)*. A limnological and zoogeographical summary. Archiv für Hydrobiologie, Supplement 107 (2): 113–147.

- Gerecke, R., Peck, S.B. & Pehofer, H.E. (1995) *The invertebrate fauna of the inland waters of the Galápagos Archipelago (Ecuador) - a limnological and zoogeographical summary*. Arch. Hydrobiol./ Suppl. 107(2): 113-147
- Gravez, V., Gelin, A., Zurita, L., & Encalada, E. (2004). *Contribución al conocimiento de la laguna las diabras (isabela, galápagos) para su manejo*. Parque nacional Galápagos.
- Gravez V., Gelin A., Zurita L. & Encalada E., 2004. Contribucion al conocimiento de la laguna Las Diabras (Isabela, Galápagos) por su manejo (cartografía, profundifaf y parámetros físico-químicos). Parque Nacional Galápagos, Ecuado: 24 p.
- Grenier, C. (2007). *Conservación contra natura. Las islas Galápagos* (Vol. 233). Editorial Abya Yala.
- Guyot-Téphany J,C Gremier and D Orellana. 2013. *Uses, perceptions and management of water in Galápagos*. Pp. 67-75. In: Galápagos Repor 2011-2012. GNPS,GCREG, CDF and GC. Puerto Ayora, Galápagos, Ecuador.
- Hanson, P., Springer, M., & Ramirez, A. (2010). Capítulo 1: Introducción a los grupos de invertebrados acuáticos. *Revista de Biología Tropical*, 58, 3-37.
- Hickman CP & TL Zimmerman 2000. *A field guide to crustaceans of Galápagos*. Galapagos Marine Life Series. Sugar Spring Press, Lexington, Virginia, USA, 156 pp.
- Holthuis, L.B (1955). *The recent genera of the caridean and stenopodidean shrimps (class Crustacea, order Decapoda , supersection Natantia) with keys for their determination*. Brill
- Horton, T. and Lowry, J., 2013, Hyalella S. I. Smith, 1874, Horton, T., Lowry, J., De Broyer, C., Bellan-Santini, D., Coleman, C. O., Daneliya, M.; Dauvin, J-C.; Fišer, C.; Gasca, R.; Grabowski, M.; Guerra-García, J. M., Hendrycks, E., Holsinger, J., Hughes, L., Jaume, D., Jazdzewski, K., Just, J., Kamaltynov, R. M., Kim, Y.-H., King, R., KrappSchickel, T., LeCroy, S., Lörz, A.-N., Senna, A. R., Serejo, C., Sket, B., Tandberg, A.H., Thomas, J., Thurston, M., Vader, W., Väinölä, R., Vonk,

- R., White, K., Zeidler, W, World Amphipoda Database. Accessed through: World Register of Marine Species at <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=158104>
- Jäch, M. A., & Balke, M. (2008). Global diversity of water beetles (Coleoptera) in freshwater. *Hydrobiologia*, 595(1), 419-442.
- Jackson, M. H. (1993). *Galapagos, a natural history*. University of Calgary press.
- Lambertz, M. Spieth, V. Dekinger, J. Traunspurger, W. 2011. On dragonfly nymph (Insecta: Odonata: Anisoptera) from the caldera of the Cerro Azul volcano, Isla Isabela (Galápagos Archipelago, Ecuador).
- Lara-Lara, J. R., Arreola-Lizárraga, J. A., Calderón-Aguilera, L. E., Camacho-Ibar, V. F., De la Lanza-Espino, G., Escofet-Giansone, A., & Meling-López, E. A. (2008). Los ecosistemas costeros, insulares y epicontinentales. *Capital natural de México*, 1, 109-134.
- Lara-Domínguez, A. L., Contreras-Espinosa, F., Castañeda-López, O., Barba-Macías, E., & Pérez-Hernández, M. A. (2011a). Lagunas costeras y estuarios. In A. Cruz-Angón (Ed.). *La Biodiversidad en Veracruz: Estudio del Estado* (pp. 301-317). México: CONABIO
- Lopez Ruf, M. 1994. "El género *Pelocoris* en la Argentina (Heteroptera Limnocoeridae). *Introduccion, diagnosis, clave de especies y redescription de Binoculatus nigriculus* Berg, *Binoculatus binoculatos* (Stal) y *impicticollis* Stal. *PHYSIS* 49 (116-117): 13-22 pp.
- López, F. M., & Pujante, A. (1994). Invertebrados y calidad de las aguas de la red fluvial de la provincia de Valencia. *Ecología*, (8), 23-62.
- Mazzuconi, S., Bachmann A. 1995. "Geographic distribution of the Gerridae Argentina (Insecta, Heteroptera). *Insecta Mundi* 9: 363-369 pp.
- Ozouville, N. 2007. *Fresh water: the reality of a critical resource*. Biodiversity and Biphysical Resource. In Galápagos Report 2006-2007. Puerto Ayora, Galápagos, Ecuador.

- Page, T. J., von Rintelen, K., & Hughes, J. M. (2007). Phylogenetic and biogeographic relationships of subterranean and surface genera of Australian Atyidae (Crustacea: Decapoda: Caridea) inferred with mitochondrial DNA. *Invertebrate Systematics*, 21(2), 137-145.
- Peck SB.1992. *The dragonflies and damselflies of the Galápagos islands, Ecuador* (Insecta: Odonata). *Psyche* 99: 309–320.
- Peck, S.B. (1992) *The dragonflies and damselflies of the Galapagos Islands, Ecuador* (Insecta: Odonata). *Psyche* 99(4): 309-321.
- Peck, S.B. (2001) *Small Orders of Insects of the Galápagos Islands, Ecuador: Evolution, Ecology, and Diversity*. NRC Research Press, Ottawa, Ontario, Canada, 278 pp.
- Peña, E. 2007. *Calidad de Agua*. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Trabajo de investigación Bachelor. Guayaquil, Ecuador.
- Ribera I, Sanchez- Fernandez D, Iñigo E . 2014. *Los coleópteros acuáticos de Aragón. Naturaleza Aragonesa*, n.º 31. ISSN: 1138-8013. Instituto de Biología Evolutiva (CSIC- Universitat Pompeu- Fabra. Barcelona
- Ribera, I. 2000. Biogeography and conservation of Iberian water beetles. *Biological Conservation*, 92: 131-150
- Thorp, J. H., & Rogers, D. C. (Eds.). (2018). *Thorp and covich's freshwater invertebrates: ecology and general biology* (Vol. 3). Elsevier.
- Tindle RW & LE Tindle 1978. Estudios sobre el flamingo (*Phoenicopterus ruber ruber*) en las islas Galápagos. Estación Científica Charles Darwin, Informe anual 1978.
- Van Dyke, E.C. (1953) *The Coleoptera of the Galapagos Islands*. Occasional Papers of the California Academy of Sciences 22: 1-181.
- Vásquez, D., R.W. Flowers & M. Springer. 2009. *Life history of five small minnow mayflies (Ephemeroptera: Baetidae) in a small tropical stream on the Caribbean slope of Costa Rica*. *Aquat. Insect*. 31: 319-332.

Vargas H 1989. *Estado actual de aves acuáticas residentes de lagunas cercanas a zonas pobladas en las Islas Isabela y San Cristóbal, Galápagos*. Tesis de Licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, 156 pp.

Anexos

ANEXO A. TABLAS

Tabla 1. Sitios de estudio en San Cristóbal, con sus coordenadas y su abreviación para fines de uso en gráficos.

San Cristóbal				
Sitio	Abreviación	Altitud	Latitud	Longitud
Encañada Crecida	CC	172	0°55'25.48"S	89°28'13.75"O
Gutierrez	GG	179	0°55'42.57"S	89°30'41.08"O
Jatun Sacha	JS	175	0°55'29.85"S	89°29'57.63"O
Jatun Sacha Cascada	JSC	194	0°55'39.36"S	89°29'54.66"O
Jatun Sacha Finca	JSF	204	0°55'32.29"S	89°29'44.65"O
La Toma 1	LT1	180	0°55'22.97"S	89°28'31.59"O
La Toma 2	LT2	138	0°55'22.69"S	89°28'31.66"O
Los Arroyos	LA	192	0°55'35.49"S	89°29'43.58"O
Milton Aguas 1	MA1	190	0°55'36.95"S	89°29'12.75"O
Milton Aguas 2	MA2	188	0°55'37.13"S	89°29'12.73"O
Pachai	P	202	0°54'41.31"S	89°27'34.81"O
Vilema 1	V1	242	0°54'26.75"S	89°27'26.04"O
Vilema 2	V2	268	0°54'27.54"S	89°27'27.99"O

Tabla 2. Sitios de estudio en Isabela, con sus coordenadas y su abreviación para fines de uso en gráficos.

Isabela				
Sitio	Abreviación	Altitud	Latitud	Longitud
Diablas entrada 2	DE2	5	0°57'25.41"S	90°58'40.71"O
Diablas entrada 3	DE3	5	0°57'25.41"S	90°58'40.71"O
Diablas Picnic	DP	5	0°57'25.99"S	90°59'12.75"O
El Chapin 1	EC1	10	0°56'42.47"S	90°58'27.80"O
El Chapin 2	EC2	10	0°56'42.47"S	90°58'27.80"O
El Chapin 3	EC3	10	0°56'42.47"S	90°58'27.80"O
Estero	E	0	0°57'36.29"S	90°59'38.15"O
San Vicente 1	SV1	10	0°55'35.76"S	90°58'42.28"W
San Vicente 2	SV2	10	0°55'35.76"S	90°58'42.28"W

Tabla 3. ANOVA en relación con la diversidad de especies de invertebrados frente a la Isla de Isabela y San Cristóbal.

Especie	F ratio	P value
<i>Chironomus sp.1</i>	26,8883	<0.0001*
<i>Ablabesmyia sp. 1</i>	4,0567	0,0497*
<i>Goeldichironomus</i>	37,8506	<0.0001*
<i>Tanytarsus sp. 1</i>	38,4122	<0.0001*
<i>Polypedilum</i>	0,2214	0,6402
<i>Muscidae Genero 1</i>	3,8259	0,0564
<i>Simulium ochraceum l</i>	2,6855	0,1079
<i>Simulium ochraceum a</i>	0,2214	0,6402
<i>Dasyheleinae sp.1</i>	41,729	<0.0001*
<i>Culicoides sp. 1</i>	4,7959	0,0335*
<i>Tabanus sp.1</i>	18,4025	<0.0001*
<i>Tabanidae Genero 1</i>	10,9621	0,0018*
<i>Limoniidae Genero 1</i>	0,2214	0,6402
<i>Gyrinus galapagoensis a</i>	1,2481	0,2696
<i>Gyrinus galapagoensis l</i>	3,5358	0,0663
<i>Copelatus galapagoensis</i>	0,619	0,8046
<i>Thermonectus basillaris galapagoensis</i>	10,2849	0,0024*
<i>Tropisternus lateralis l</i>	0,5822	0,4493
<i>Tropisternus lateralis a</i>	0,4517	0,5048
<i>Anax amazili</i>	0,0013	0,9719
<i>Rhionaeschna galapagoensis</i>	1,2332	0,2724
<i>Ischnura hastata</i>	5,4226	0,0242*
<i>Tramea spp.</i>	21,6151	<0.0001*
<i>Brachymesia spp.</i>	10,2849	0,0024*
<i>Pantala spp.</i>	17,7647	0,0001*
<i>Notonecta sp.1</i>	36,9682	<0.0001*
<i>Buenoa sp.1</i>	4,7959	0,0335*
<i>Paraplea puella</i>	20,2661	<0.0001*
<i>Mesovelvia amoena</i>	19,5104	<0.0001*
<i>Microvelia sp.1</i>	0,4012	0,5295
<i>Trichocorixa reticulata</i>	4,7959	0,0335*
<i>Spirostreptidae Genero 1</i>	0,2214	0,6402
<i>Paradoxosomatidae Genero 1</i>	0,903	0,3468
<i>Hyaella spp.</i>	3,3074	0,0753
<i>Prosekia galapagoensis</i>	0,2214	0,6402
<i>Sinelobus stanfordi</i>	4,7959	0,0335*
<i>Australatya sp.</i>	8,5277	0,0054*
<i>Atya sp.</i>	1,8186	0,1839
<i>Archeatya sp.</i>	1,1212	0,2951

<i>Palaemonidae Genero 1</i>	4,7959	0,0335*
<i>Uca galapagoensis</i>	4,7959	0,0335*
<i>Glossiphoniidae Genero 1</i>	0,2214	0,6402
<i>Haplotaxida Genero 1</i>	0,0768	0,7829
<i>Antillorbis Genero 1</i>	1,1087	0,2978
<i>Ancylini Genero 1</i>	4,7959	0,0335*

*Significativo

Tabla 4. ANOVA en relación con los factores químicos frente a las Islas de Isabela y San Cristóbal.

Elemento	F ratio	P value
Cloruro	699,8463	<0,0001*
Sulfatos	684,8625	<0,0001*
Aluminio	3,2712	0,0757
Bario	39,5018	<0,0001*
Cobre	2,6096	0,1116
Manganeso	0,3687	0,5461
Vanadio	42,3664	<0,0001*
Zinc	20,0999	<0,0001*
Molibdeno	3,9819	0,0507
Calcio	51,7625	<0,0001*
Silicio	9,1282	0,0037*
Magnesio	54,5467	<0,0001*
Potasio	282,0223	<0,0001*
Sodio	884,8713	<0,0001*
Hierro	69,377	<0,0001*

*Significativo

Tabla 5. ANOVA en relación con los factores físicos frente a las Islas de Isabela y San Cristóbal.

Elemento	F ratio	P value
pH	7,8985	0,0067*
ODO (%)	0,0861	0,7702
ODO (mg/l)	2,7328	0,1037
Turbidez (FNU)	41,0564	<0,0001*
Cond (µs/cm)	43,0335	<0,0001*
Sp Comd (µs/cm)	40,2838	<0,0001*

Sal (psu)	154,6994	<0,0001*
Temp (°C)	11,2868	0,0014*

*Significativa

Tabla 6. Correlación entre la riqueza de invertebrados de cada isla y cada variable físico-química.

Elemento	R²
Calcio	0,135
Cloruros	0,280
Cond (µS/cm)	0,275
Fe	0,210
K	0,174
Mg	0,129
Na	0,195
ODO (mg/l)	0,143
Sal (psu)	0,279
Sp Cond (µS/cm)	0,224
Turbidez (FNU)	0,143

ANEXO B. GRÁFICOS

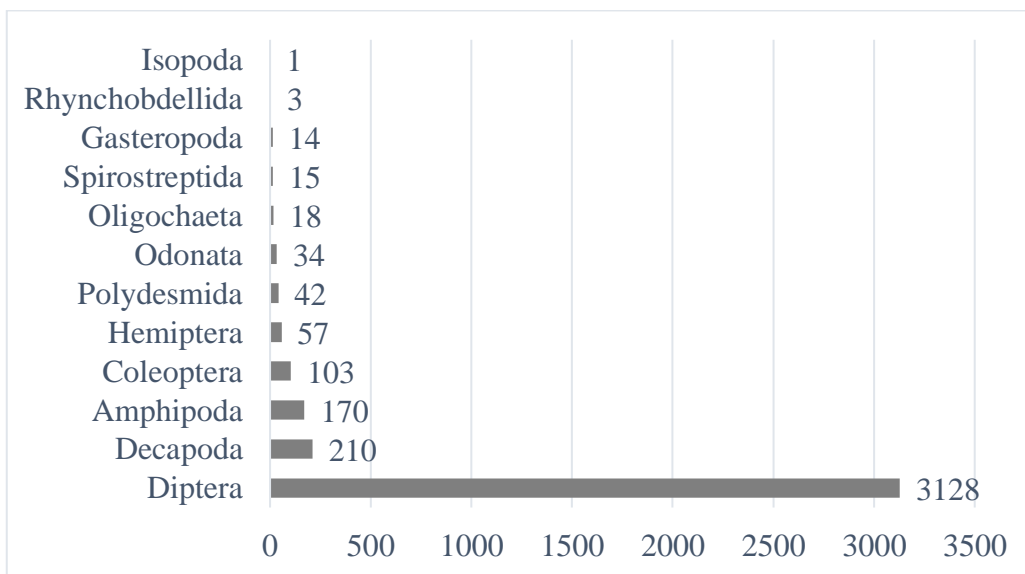


Gráfico 1. Abundancia de individuos según el orden, Isla San Cristóbal.

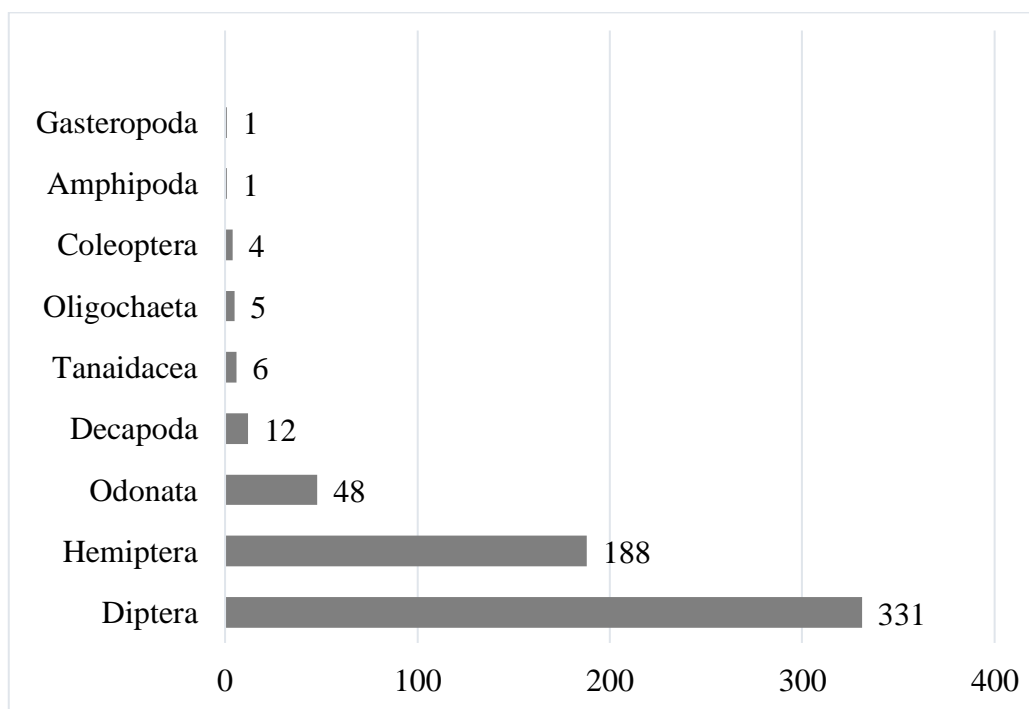


Gráfico 2. Abundancia de individuos según el orden, Isla Isabela.

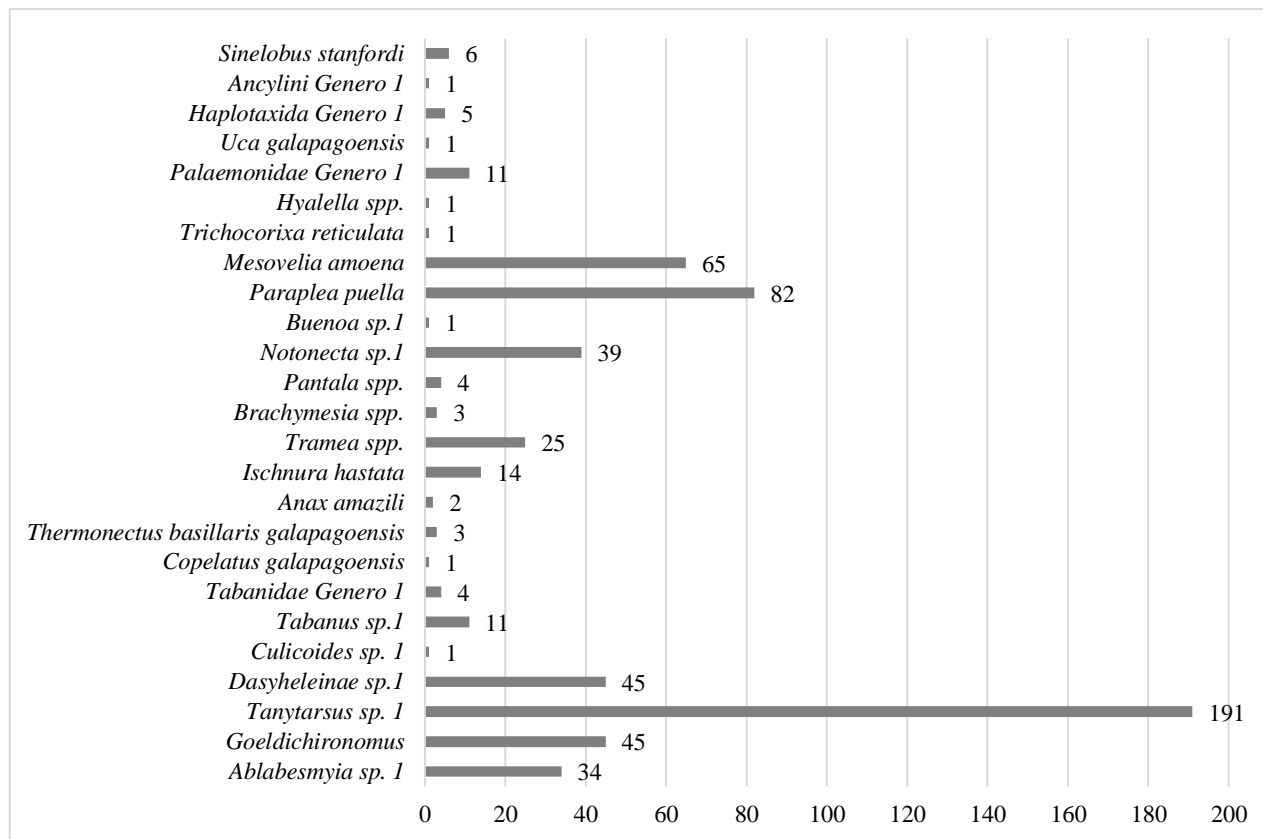


Gráfico 3. Individuos de cada especie presentes en la Isla Isabela

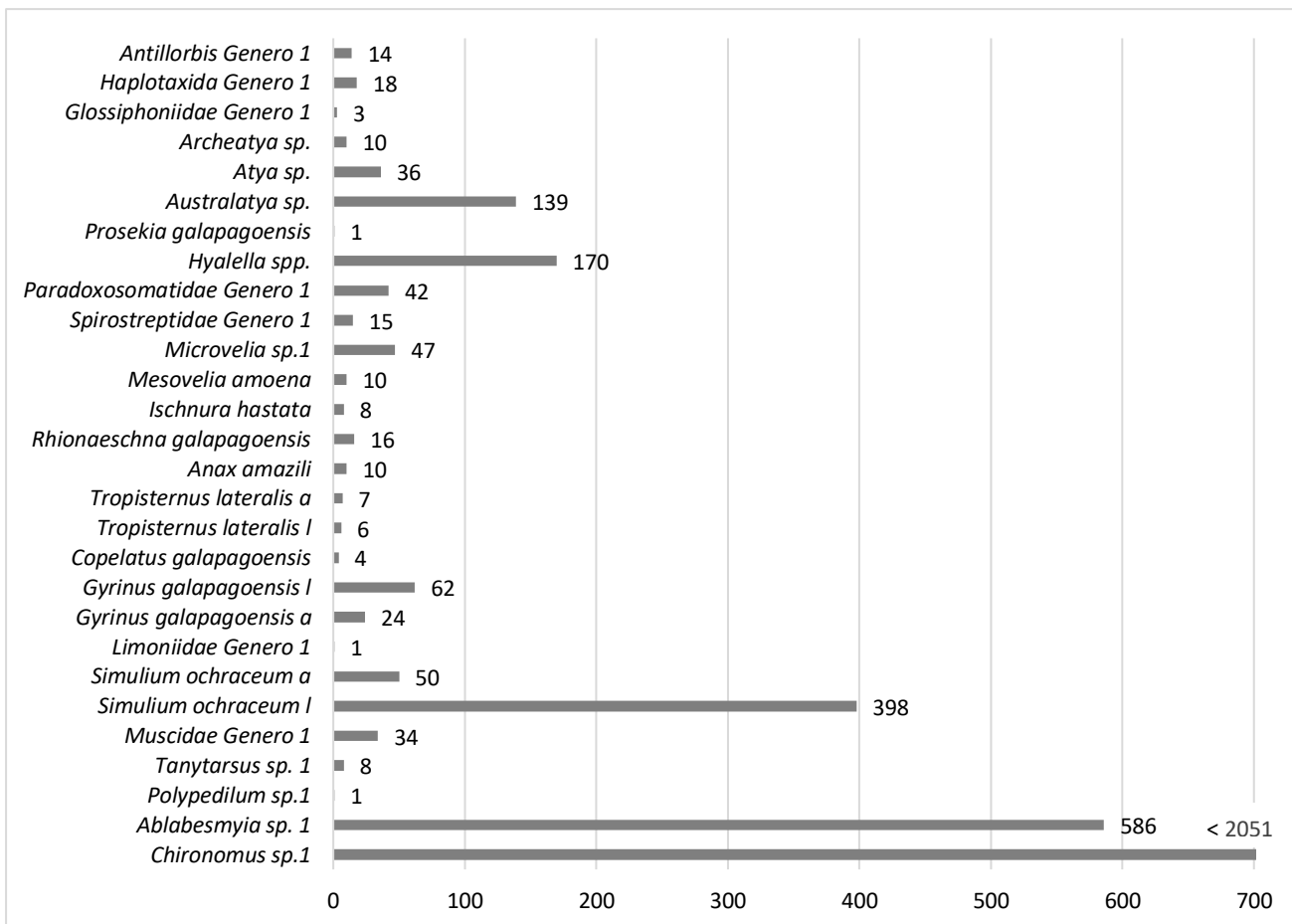


Gráfico 4. Individuos de cada especie en la Isla San Cristóbal.

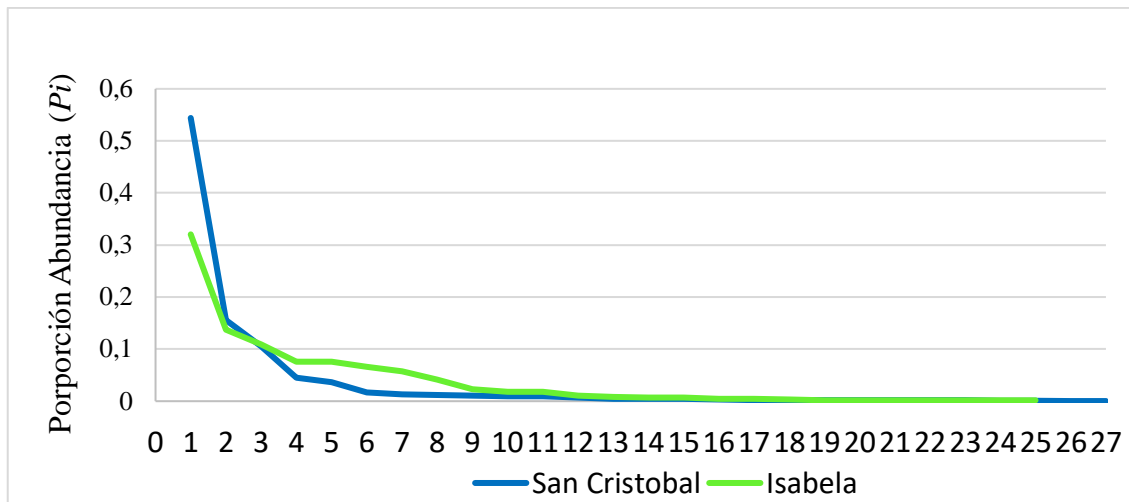


Gráfico 5. Proporción respecto a la abundancia de especies en Isabela y San Cristóbal.

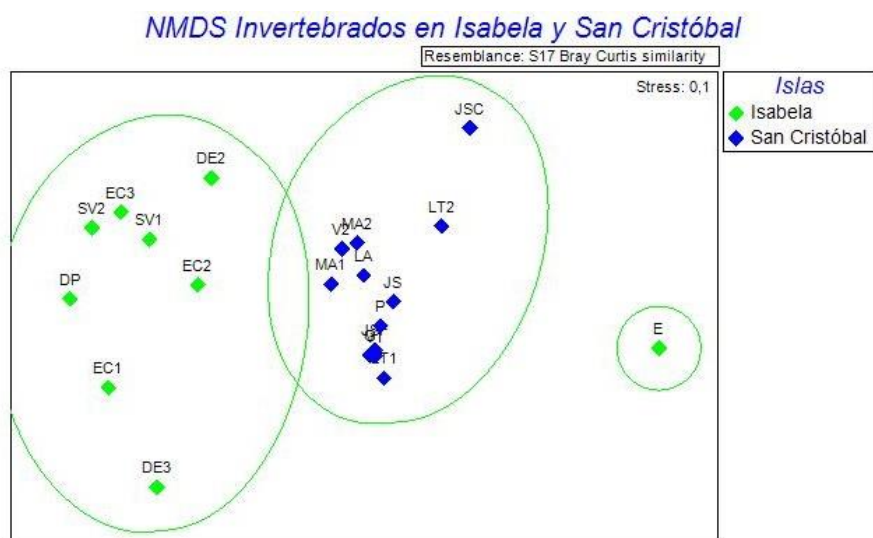
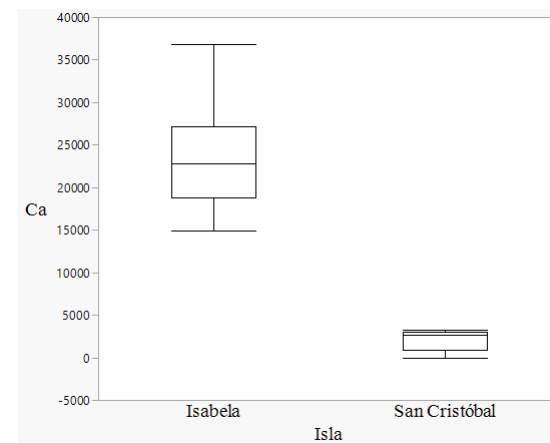
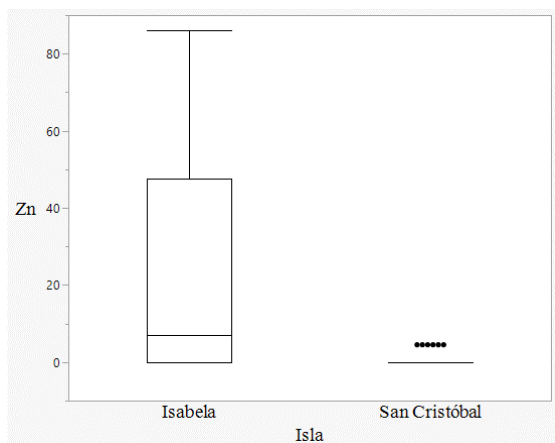
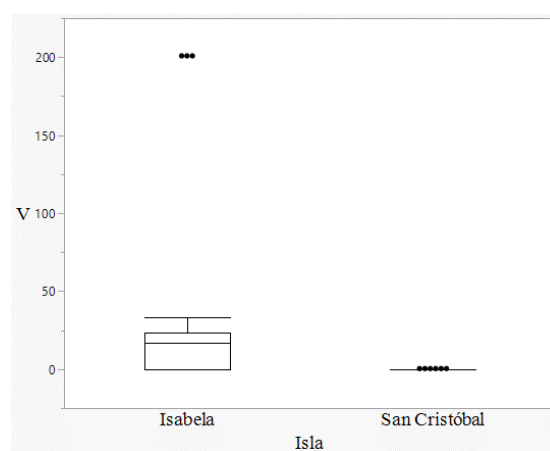
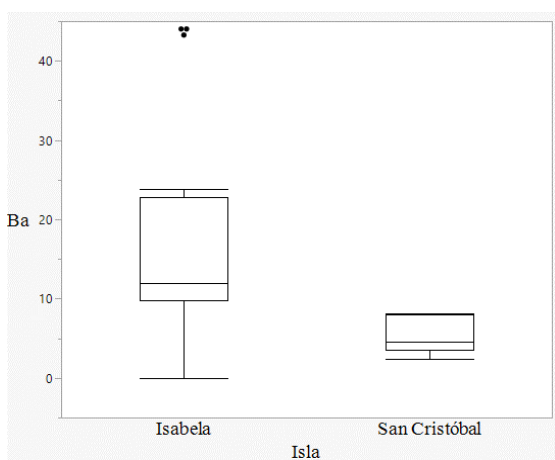
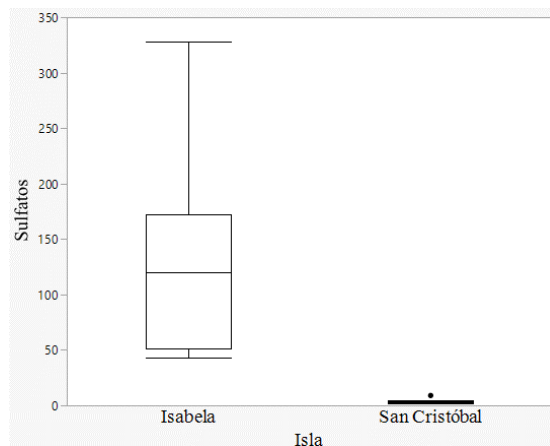
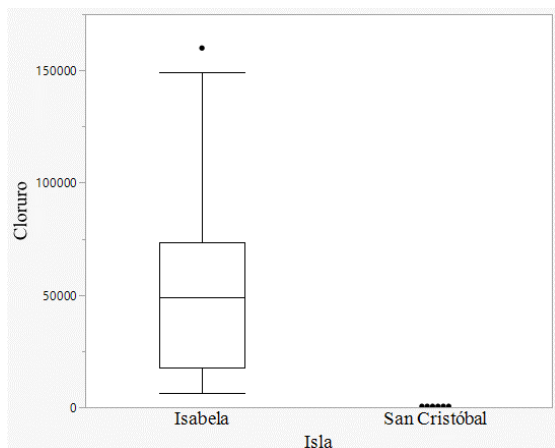


Gráfico 6. NMDS, con cluster superpuesto, respecto a invertebrados en las diferentes islas.



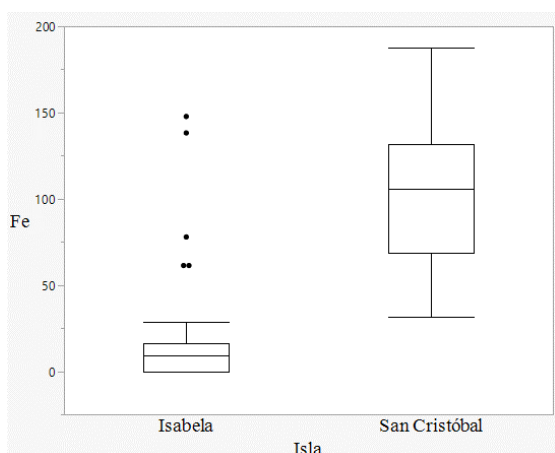
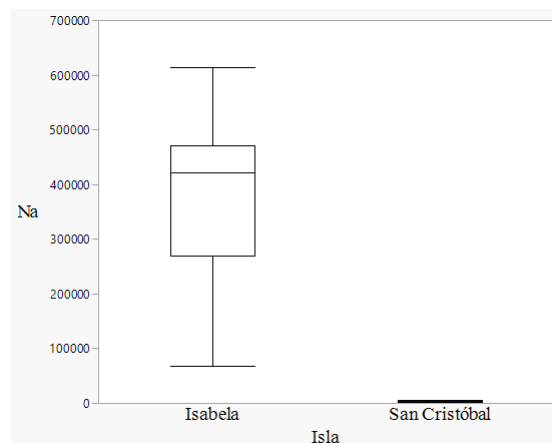
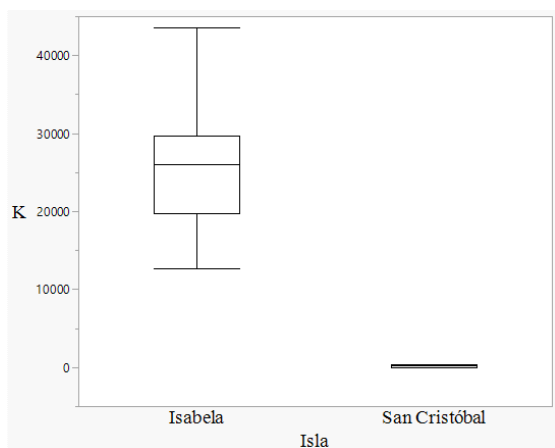
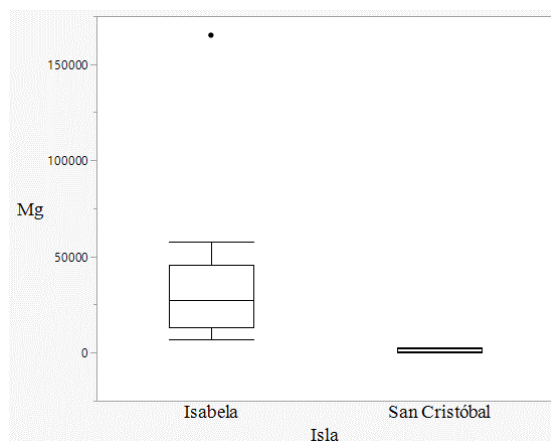
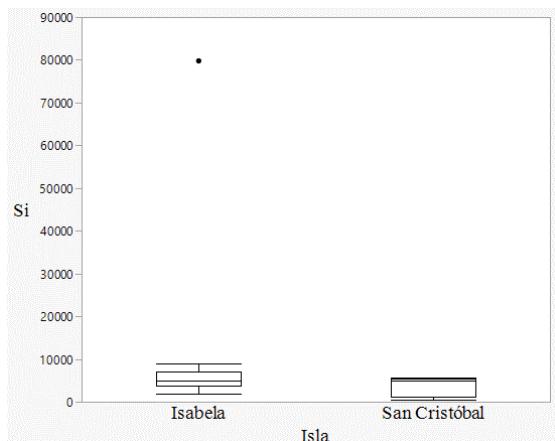


Gráfico 9. Variables químicas, metales, frente a Isabela y San Cristóbal

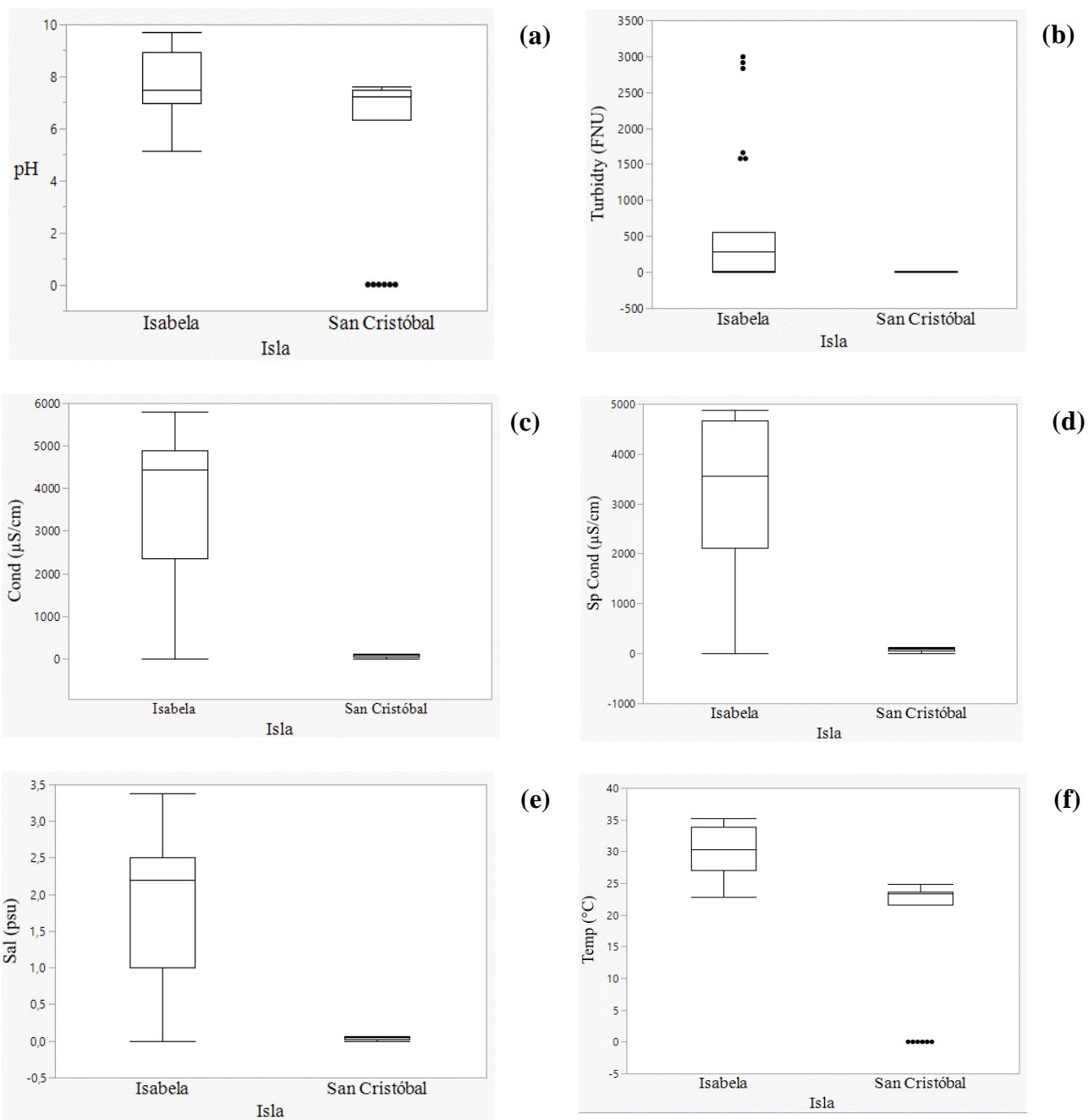
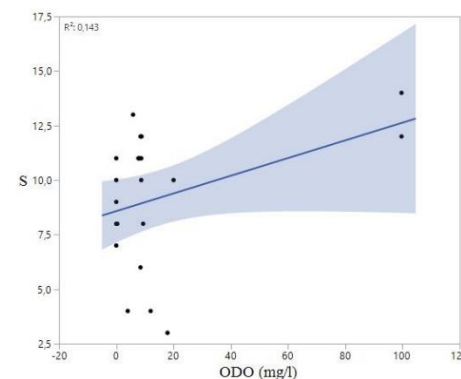
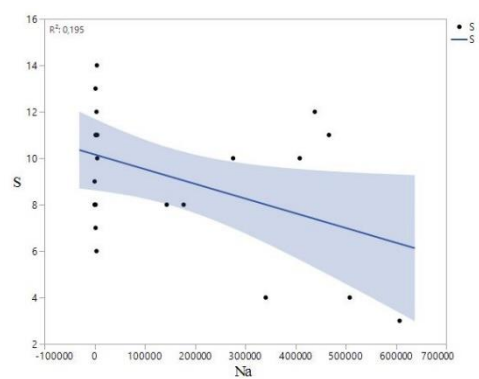
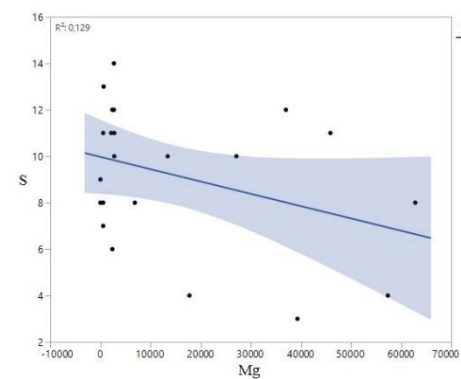
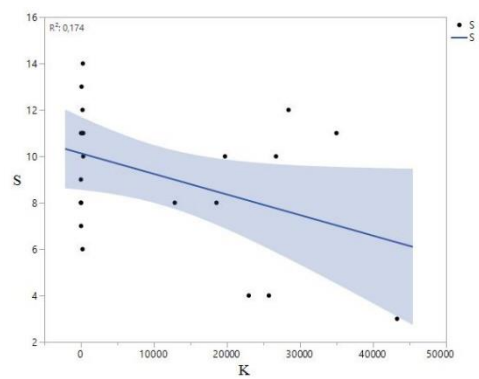
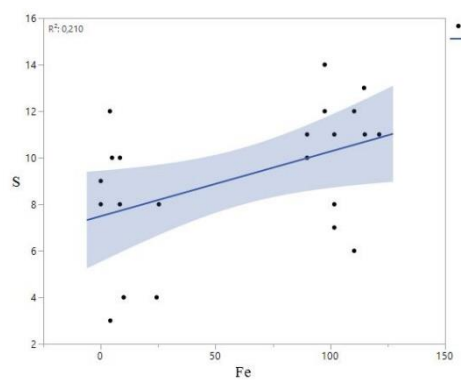
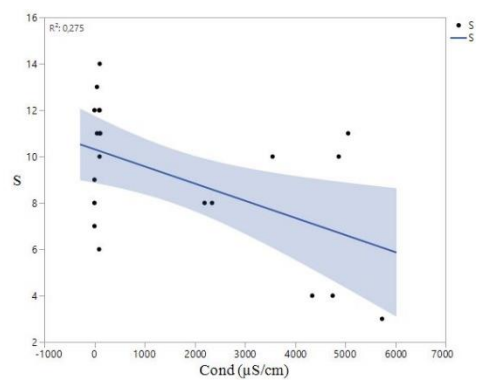
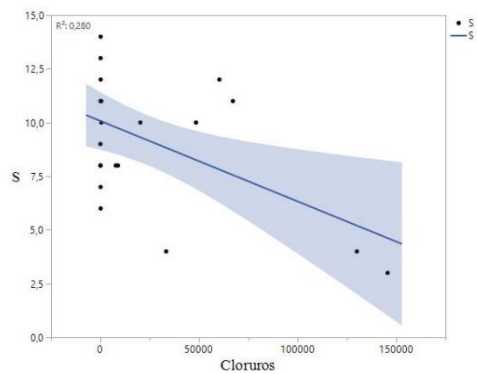
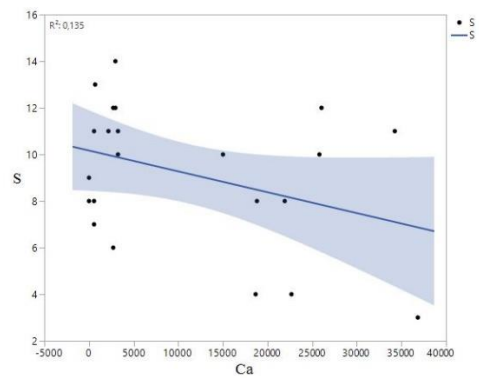


Gráfico 10. Variables físicas, frente a Isabela y San Cristóbal



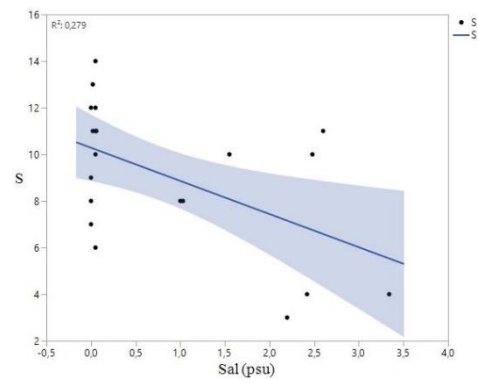
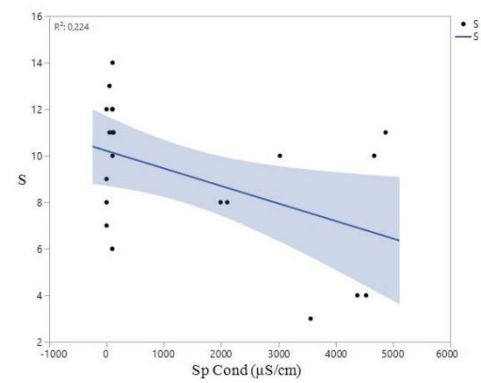
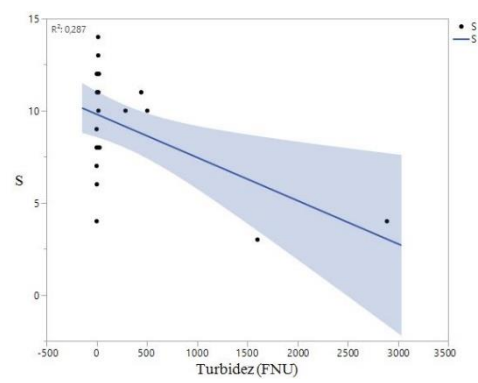
**(i)****(j)****(k)**

Gráfico 11. Correlación entre la riqueza de invertebrados y las variables físico-químicas.

ANEXO C. PCA

a) Porcentaje de variación en cada uno de los tres ejes

Ejes	Peso de cada variable	Variación (%)	Variación Acumulada (%)
1	9.6	41.7	41.7
2	3.28	14.3	56.0
3	2.09	9.1	64.1

b) Contribución de cada variable a cada uno de los ejes

Eje	1	2	3
Variables			
Cloruro	-0,261	0,050	-0,174
Sulfatos	-0,295	-0,187	-0,052
Al	0,061	0,005	0,455
Ba	-0,148	0,164	0,071
Cu	0,057	0,000	0,058
Mn	-0,121	-0,440	0,178
V	-0,181	-0,421	0,115
Zn	-0,149	-0,183	0,264
Mo	-0,159	-0,445	0,104
Ca	-0,311	0,023	-0,026
Si	-0,061	0,088	-0,013
Mg	-0,219	0,012	-0,124
K	-0,311	0,052	-0,087
Na	-0,304	0,055	-0,106
Fe	0,144	-0,282	0,195
pH	-0,148	0,192	0,502
ODO %	-0,070	0,325	0,290
ODO (mg/l)	0,065	0,068	0,181
Turbidity (FNU)	-0,178	0,197	-0,073
Cond (μ S/cm)	-0,299	0,050	-0,050
Sp Cond (μ S/cm) R1	-0,295	0,007	-0,045
Sal (psu)	-0,289	0,046	-0,058
Temp ($^{\circ}$ C)	-0,198	0,224	0,413

APÉNDICES

APÉNDICE A.

Autor	Año	Grupo de estudio	Isla de estudio
Hickman	2000	<i>Archaeatya, Macrobrachium</i>	San Cristóbal
Hickman	2000	Ostrácoda	Isabela
Peck	1992	Odonata (<i>Anax, Ishnura, Pantala</i>)	Isabela
Peck	2001	Coleóptera , Hemíptera	San Cristóbal, Isabela
Van Dyke	1953	<i>Gyrinus, Copelatus</i>	San Cristóbal
Gerecke	1995	Coleópteros acuáticos	San Cristóbal, Isabela
Drake	1967	Hemíptera	Isabela
Gelin	2002	Hemíptera	Isabela