



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
INDOAMÉRICA**

FACULTAD DE CIENCIAS DEL MEDIO AMBIENTE

CARRERA DE BIODIVERSIDAD Y RECURSOS GENÉTICOS

TEMA:

**REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN SOBRE ESTUDIOS BIOLÓGICOS DEL
HELECHO PTERIDIUM AQUILINUM EN LAS ISLAS GALÁPAGOS.**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Biodiversidad y Recursos Genéticos

Autor(a)

Robles Santi Erick Ivan

Tutor(a)

PhD. David Salazar Valenzuela

QUITO – ECUADOR

2023

**AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA,
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA
DEL TRABAJO DE TÍTULACIÓN**

Yo Erick Ivan Robles Santi declaro ser autor del Trabajo de Titulación con el nombre **“Revisión de la información sobre estudios biológicos del helecho *Pteridium aquilinum* en las Islas Galápagos.”**, como requisito para optar al grado de Ingeniería en Biodiversidad y Recursos Genéticos y autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica Indoamérica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Tecnológica Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Quito, a los días del mes de febrero de 2023, firmo conforme:

Autor: Robles Santi Erick Ivan

Firma:



Número de Cédula: 2000132601

Dirección: Pichincha, Quito, El Condado, Conjunto Jardines del Condado

Correo Electrónico: erick98iv@outlook.es

Teléfono: 0968973607

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN SOBRE ESTUDIOS BIOLÓGICOS DEL HELECHO PTERIDIUM AQUILINUM EN LAS ISLAS GALÁPAGOS” presentado por Robles Santi Erick Ivan, para optar por el Título Ingeniera en Biodiversidad y Recursos Genéticos,

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del Tribunal Examinador que se designe.

Quito, 15 de febrero del 2023

.....
David Salazar Valenzuela, PhD.

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, como requerimiento previo para la obtención del Título de Ingeniero en Biodiversidad y Recursos Genéticos, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor

Quito, 15 de febrero del 2023



.....

Robles Santi Erick Ivan
2000132601

APROBACIÓN TRIBUNAL

El trabajo de Titulación, ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, sobre el Tema: “REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN SOBRE ESTUDIOS BIOLÓGICOS DEL HELECHO PTERIDIUM AQUILINUM EN LAS ISLAS GALÁPAGOS”, previo a la obtención del Título de Ingeniero (a) en Biodiversidad y Recursos Genéticos, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del trabajo de titulación.

Quito, 15 de febrero de 2023

.....

Nora Oleas Gallo
LECTOR

.....

Fabián Santos
LECTOR

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres quienes me apoyaron en todo el tiempo que estuve cursando mi carrera, ellos me enseñaron que la constancia y perseverancia siempre dan resultados al final. Por los esfuerzos que pusieron en mi carrera dejando de lado muchas cosas, procurando mi bienestar y el de mis hermanos.

Les dedico todo el tiempo que invertí para realizar mi tesis, fueron días y noches difíciles, pero cuando llegue el día de mi graduación espero verlos y escuchar de ellos “ya eres ingeniero y nos sentimos orgullosos de ti”.

Así como ellos me apoyaron en todo yo les apoyaré incondicionalmente.

Los amo padres, mi éxito también será su éxito.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer primeramente a Dios por brindarme sabiduría y fuerza cuando la necesité, permitiéndome alcanzar mis metas. A mi familia, por brindarme su apoyo incondicional y estar pendientes de mi bienestar, porque no es fácil estar lejos de casa. A mis amigos y amigas Stevyn Mena, Ricardo Mariño, Jennifer Caiza, Débora Rojas y especialmente a Ivette Vera, quienes me brindaron compañía y ayuda cuando más lo necesité. A mis hermanos Santiago Robles y Jessica Robles, quienes se comunicaban conmigo para conocer cómo me encontraba y si me hacía falta algo. A la Dra. Laura Salazar y al Dr. David Salazar por ayudarme y guiarme en todo el proceso que seguí para culminar mi tesis, creyendo en mí y siendo pacientes durante todo el camino trazado. A la Dra. Patricia Salerno, por siempre tener tiempo para ayudarme a mejorar el trabajo y darme palabras de ánimo. A la Universidad Tecnológica Indoamérica por permitirme seguir esta carrera y culminar mis estudios.

INDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
AUTORIZACIÓN DE REPOSITO DIGITAL.....	ii
APROBACIÓN DEL TUTOR	iii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD	iv
APROBACIÓN TRIBUNAL	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN EJECUTIVO.....	x
ABSTRACT.....	xi
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II	4
METODOLOGÍA.....	4
CAPÍTULO III.....	6
RESULTADOS	6
CAPÍTULO IV	11
DISCUSIÓN	11
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:	16
LITERATURA CITADA:	17
ANEXOS	20
Anexo 1.-	21
Anexo 2.-	22

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Número de documentos de acuerdo al tipo de estudio que fueron usados.	7
Figura 2. Comparación de los datos de Galápagos y el Ecuador continental para determinar la actualidad de los documentos recopilados.	7
Figura 3. Número de publicaciones científicas realizadas en las Islas Galápagos de acuerdo al lugar donde se realizó el estudio.	8
Figura 4. Número de publicaciones realizadas en Galápagos y el Ecuador continental sobre las afectaciones que padecen los animales de granja y fauna endémica por la toxicidad del helecho <i>Pteridium aquilinum</i>	10

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MEDIO AMBIENTE
CARRERA DE BIODIVERSIDAD Y RECURSOS GENÉTICOS

TEMA: REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN SOBRE ESTUDIOS BIOLÓGICOS DEL HELECHO *PTERIDIUM AQUILINUM* EN LAS ISLAS GALÁPAGOS.

AUTOR: Erick Ivan Robles Santi

TUTOR: Cristhian David Salazar Valenzuela PhD.

RESUMEN EJECUTIVO

El helecho *Pteridium aquilinum*, de la familia Dennstaedtiaceae, es una especie vegetal ampliamente distribuida a nivel mundial. Existen estudios realizados en Ecuador y el mundo sobre los problemas biológicos y ecológicos que genera esta especie en la flora y fauna silvestre, así como en algunos animales de granja. Por ejemplo, se conoce que la toxina ptaquilósido produce enfermedades urinarias y cáncer en el ganado bovino mantenido en el Ecuador continental, pero no existen datos en Galápagos. Por este motivo, surge la necesidad de realizar una recopilación de los estudios biológicos realizados sobre el helecho *Pteridium aquilinum* en las islas Galápagos. Mediante la revisión bibliográfica de distintas fuentes, se examinó y comparó las investigaciones realizadas en el archipiélago de Galápagos y el Ecuador continental, con el fin de determinar los tipos de estudios biológicos realizados en las islas y conocer los problemas que puede generar en el sector agropecuario. Los datos encontrados muestran que no se ha indagado en las enfermedades que puede ocasionar en los bovinos de Galápagos, así mismo se encontró que, la información en el Ecuador continental es más actualizada. El campo de estudio de *Pteridium aquilinum* en Galápagos se encuentra poco explorado; existen varios aspectos de la especie que aún no han sido tratados, por lo que se incentiva a que investigaciones futuras se centren en dar respuesta a los vacíos y dudas como: su rol ecológico, toxicidad para los animales de granja y animales silvestres, los problemas que genera en el ganado y afectaciones a la salud del ser humano. El análisis de los 49 documentos bibliográficos nos indica que la especie en el Ecuador continental es un problema ecológico, biológico y económico para las áreas naturales, el ganado, café y banano. Estos problemas pueden ser abordados en futuros estudios realizados en las islas Galápagos.

Palabras clave: Estudios biológicos, islas Galápagos, *Pteridium aquilinum*, Problemática.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MEDIO AMBIENTE
CARRERA DE BIODIVERSIDAD Y RECURSOS GENÉTICOS

THEME: REVIEW OF INFORMATION ON BIOLOGICAL STUDIES OF THE FERN *PTERIDIUM AQUILINUM* IN THE GALAPAGOS ISLANDS.

AUTHOR: Erick Ivan Robles Santi

TUTOR: Cristhian David Salazar Valenzuela PhD.

ABSTRACT

The fern *Pteridium aquilinum*, of the family Dennstaedtiaceae, is a plant species widely distributed worldwide. Studies are conducted in Ecuador and the world on biological and ecological problems. This species generates wild flora, fauna, and some farm animals. For example, ptaquiloside toxin is known to cause urinary disease and cancer in cattle kept in mainland Ecuador, but there are no data in Galapagos. For this reason, there is a need to compile the biological studies carried out on the fern *Pteridium aquilinum* in the Galapagos Islands. Through the bibliographic review of different sources, the investigations carried out in the Galapagos archipelago, and continental Ecuador were examined and compared to determine the types of biological studies carried out on the islands and to know the problems that can be generated in the agricultural sector. The data showed that it had yet to investigate the diseases it can cause in the Galapagos cattle. Likewise, it was found that the information in continental Ecuador is more updated. The field of study of *Pteridium aquilinum* in the Galapagos is little explored; There are several aspects of the species that have not yet been treated, so future research is encouraged to focus on responding to gaps and doubts such as its ecological role, toxicity for farm animals and wild animals, the problems it generates in livestock and effects on human health. The analysis of the 49 bibliographic documents indicates that the species in continental Ecuador is an ecological, biological, and economic problem for natural areas, livestock, coffee, and bananas. Future studies conducted on the Galapagos Islands need to address these gaps.

KEYWORDS: Biological studies, Galapagos Islands, *Pteridium aquilinum*, issues

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En el mundo dependiendo de su origen las islas pueden ser clasificadas en volcánicas, sedimentarias, coralinas, continentales y fluviales (Castro, 2003). Las islas oceánicas son territorios generados por flujos de lava submarinos, pero también pueden ser restos del continente Pangea (Iturralde, 2004). La edad de estos territorios depende de que tan alejadas se encuentran del punto caliente que les dio su origen, mientras más alejadas estén mayor es su edad (Peralta, 2002). Poseen un relieve, clima y geología diferente al continental (Ramos, 2021). El aislamiento de las islas oceánicas y la poca variabilidad genética de los organismos que colonizan el territorio crean procesos evolutivos únicos que las hace divergir de las poblaciones continentales (Stuessy et al., 2014). Las especies de las islas son catalogadas como nativas propias de un ecosistema o endémicas que solo se ubican en un lugar particular (Romoleroux, 2009). El problema más grave que afecta a las islas son las especies introducidas que amenazan los procesos ecológicos y la dinámica de las comunidades de especies propias del lugar (Leihy et al., 2008).

Las Islas Galápagos representan una de las áreas biológicas más importantes del planeta. Poseen gran variedad de hábitats que en combinación con el aislamiento geográfico han permitido el desarrollo de procesos evolutivos únicos (Snow y Nelson, 1984). El archipiélago está conformado por 13 islas grandes, 6 islas pequeñas y 107 rocas e islotes (Molina et al., 2017). Las especies que arribaron a las Galápagos fueron en su mayoría reptiles y aves, pocos mamíferos y ningún anfibio de forma natural (FCD y WWF, 2017). Los entornos naturales se conservan prístinos debido al difícil acceso y a las labores de conservación (Celata y Sanna, 2010).

Las especies y parásitos introducidos son un mal que aqueja a la mayoría de las islas a nivel mundial (Ordoñez et al., 2017). En las islas Galápagos, este es uno de los mayores problemas debido a que las especies autóctonas no toleran la competencia o infecciones, reduciendo sus poblaciones e incluso en algunos casos llevándolas al borde de la extinción (Soria y Gardener, 2002). Se estima que existe un 25% de especies endémicas en el archipiélago (Cedeño, 2000). Las especies nativas han pasado por procesos largos de aislamiento y especiación que las ha diferenciado de las continentales (Tapia et al., 2009). Los organismos introducidos pueden desplazar a las especies autóctonas debido a su alta competitividad y reproducción acelerada (Sapsford et al., 2020).

El helecho *Pteridium aquilinum* de la familia Dennstaedtiaceae se distribuye en casi todos los ecosistemas a nivel mundial pero no se tiene datos de donde se originó (Ekrt et al., 2021). Por su amplia distribución geográfica, rápida adaptación a diferentes climas y desarrollo en colonias, es catalogada como una especie invasiva para muchos ecosistemas del mundo (Rodríguez y Chacón, 2022). Su reproducción se realiza a través de esporas pequeñas que son arrastradas por el viento hasta llegar a un lugar favorable para su establecimiento (Valdez et al, 2020). Su alta capacidad de adaptarse a nuevos entornos ha ocasionado que sea imposible frenar su propagación en ecosistemas tropicales y templados (Ershova, 2010). El cambio climático ocasiona el calentamiento de los ecosistemas, esto implica un incremento en las áreas que el helecho puede invadir (Dávila, 2018). En estudios recientes se ha observado que es una planta tóxica para el ganado debido a la toxina ptaquilósido que ocasiona enfermedades urinarias y cáncer en los bovinos, esto implica pérdidas económicas para el sector ganadero (Ruiz, 2022).

Adicionalmente, es una especie que amenaza la sostenibilidad de los ecosistemas del mundo (Vetter, 2009). En el Ecuador continental es catalogada como una planta invasiva e introducida que afecta diversos hábitats (Ross, 2010). En varias islas de Galápagos se encuentra esta especie y es catalogada como nativa (Coffey, 2011). En algunos estudios realizados en la isla San Cristóbal se demuestra que existen diferencias genéticas con las poblaciones de la especie presente en América del Sur (Klekowski, 1973). Se estima que este helecho arribó hace 10.000 años de acuerdo a las esporas encontradas en un núcleo de sedimentos de la laguna El Junco de la isla San Cristóbal (Colinvaux, 1976). Sin embargo, no existen datos ecológicos y comparativos en las islas Santa Cruz e Isabela que verifiquen que se traten de las mismas especies. También existen vacíos de información en cuanto a su distribución, aunque se conoce que ocupa las zonas altas y húmedas de las islas Santa Cruz, San Cristóbal, Santiago, Floreana e Isabela (Landry y Roque, 2006).

La isla Santa Cruz se encuentra en el centro del archipiélago Galápagos, posee dos tipos de zonas, una húmeda y una seca. En la zona húmeda se encuentra el sector de Media Luna ubicado a 860 m s.n.m., donde se ha observado la influencia de dos especies: el arbusto endémico *Miconia robinsoniana* y el helecho *Pteridium aquilinum* como las especies dominantes del sitio. Debido a los problemas que este último genera en el mundo y al poco interés que se le ha prestado a la especie en las Galápagos, es importante realizar este estudio. De igual modo la recopilación de las publicaciones científicas sobre la especie será útil para entender los problemas que genera en el Ecuador continental y sugerir posibles afectaciones que podrían estar ocurriendo en las islas, por ello es relevante la realización de un artículo de revisión sobre el helecho *Pteridium aquilinum*, el mismo que nos permitirá identificar vacíos de información en Galápagos.

Debido a los problemas que genera el helecho *Pteridium aquilinum* en las áreas donde se encuentra, la falta de estudios enfocados en la especie de las islas Galápagos y la fragilidad del archipiélago, es importante evaluar el conocimiento sobre las interacciones, genética, ecología y problemas de esta especie en el archipiélago. Para es importante responder a las siguientes preguntas de investigación ¿Cuál es el rol biológico y ecológico del helecho *Pteridium aquilinum* en Galápagos?, ¿Qué enfoques han tenido los estudios de *Pteridium aquilinum* en Galapagos y el Ecuador continental?, para ello se realizó una revisión exhaustiva de los documentos bibliográficos del Ecuador continental y las islas Galápagos comparando las temáticas abordadas en ambos territorios. Por otro lado, observando los problemas que la especie genera en el Ecuador continental, la ciencia actual puede permitarnos tener datos más fiables sobre las interrelaciones que tiene el helecho con los frágiles hábitats de las islas.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

La información en la cual se basa el estudio fue obtenida de 49 documentos bibliográficos publicados entre los años 1972 y 2023 en los idiomas inglés, español y alemán enfocados en la ecología, evolución, genética, interacciones, control, problemas, adaptación, abundancia y distribución del helecho *Pteridium aquilinum* realizados en las islas Galápagos y el Ecuador continental. Se encontraron 21 estudios realizados en Galápagos, a los que se les revisó, el título, introducción y resultados, no se usó todo el texto porque en algunos estudios de Galápagos solo mencionan brevemente a la especie, pero en 38 documentos caracterizados del Ecuador continental si se revisó todo el documento

exceptuando en ocasiones la discusión porque los estudios si se encontraban orientados en la especie. Para obtener la mayor cantidad de información relevante para el estudio, la información fue obtenida de motores de búsqueda de bibliografía científica académica como Google Scholar y Scielo, usando las siguientes palabras clave: nombre científico de la especie o sinónimos y nombre del lugar de donde se quería obtener los datos (Galápagos o Ecuador continental). Los datos obtenidos no solo se tomaron de estudios donde se trata específicamente a la especie, sino también de otros donde se la menciona por ser parte del hábitat.

Se generó una base datos en Excel con la información de los documentos bibliográficos del helecho *Pteridium aquilinum*. Los datos encontrados se colocaron en una tabla enfocada solo a los estudios encontrados en Galápagos y una solo para los de Ecuador continental. La base de datos se organizó en las siguientes columnas: nombre del artículo, autor, tipo de estudio, año, tipo de documento (Artículo científico, plan de ordenamiento territorial, estudio de impacto ambiental, tesis y libros) para los estudios del Ecuador continental. En Galápagos se mantuvo el mismo esquema solo que se adicionó una columna (isla) para conocer de qué lugar del archipiélago de Galápagos son los datos. De esta manera se acumularon en la tabla de Excel de acuerdo a las diferentes columnas para ordenar y depurar la información importante.

Se usaron todos los documentos bibliográficos disponibles sin importar el año de su publicación, es decir, no se excluyeron estudios muy antiguos. No obstante, se tomaron en cuenta los años de publicación para observar qué tan actuales eran los estudios y verificar si los métodos usados eran los adecuados para sugerir posibles mejoras con nuevas metodologías. Se compararon las fechas y enfoques de los datos obtenidos de

Galápagos con los del Ecuador continental para observar qué estudios se han hecho y qué estudios faltan por hacer. De la base de datos principal se extrajeron los datos recopilados de interés para generar una tabla secundaria y diseñar los gráficos en Microsoft Excel. Se diseñó un gráfico de barras para comparar los tipos de estudio de acuerdo a su enfoque, cronología y problemas (toxicidad e invasividad).

CAPÍTULO III

RESULTADOS

En este estudio se usaron 49 documentos bibliográficos; se consideraron las investigaciones más recientes en Ecuador continental, puesto que existía numerosa bibliografía al respecto. Sin embargo, para el caso de las Islas Galápagos se consideraron todos los estudios disponibles (todos los que mencionaban la especie) porque existían pocas investigaciones. Los estudios recopilados, donde se encontró información biológica para el helecho *Pteridium aquilinum* de Galápagos y el Ecuador continental, datan del año 1972 hasta el año 2023. Los documentos usados en este trabajo fueron principalmente artículos científicos, con un total de 38 documentos que corresponden al 77,55 % de la información usada. El 32,45 % restante corresponde a ocho tesis representando el 16,33 %, un plan de ordenamiento territorial, un estudio de impacto ambiental y un libro, cada uno representa el 2,04 % de los documentos bibliográficos usados (Figura 1). En los estudios recopilados de las islas Galápagos se nombra a la especie de helecho *Pteridium aquilinum* como nativa, pero gran parte de la información es antigua como se evidencia con el 38,10% (Figura 2). La distribución geográfica es uno de los aspectos más estudiados en las islas, se encontraron estudios que mencionan su ubicación las islas de Santa Cruz (cinco), San Cristóbal (Tres), no se tiene ningún dato específico de Isabela,

Floreana y Santiago, pero se menciona su ubicación en estas islas en varios de los (trece) estudios realizados a nivel de archipiélago. (Figura 3).

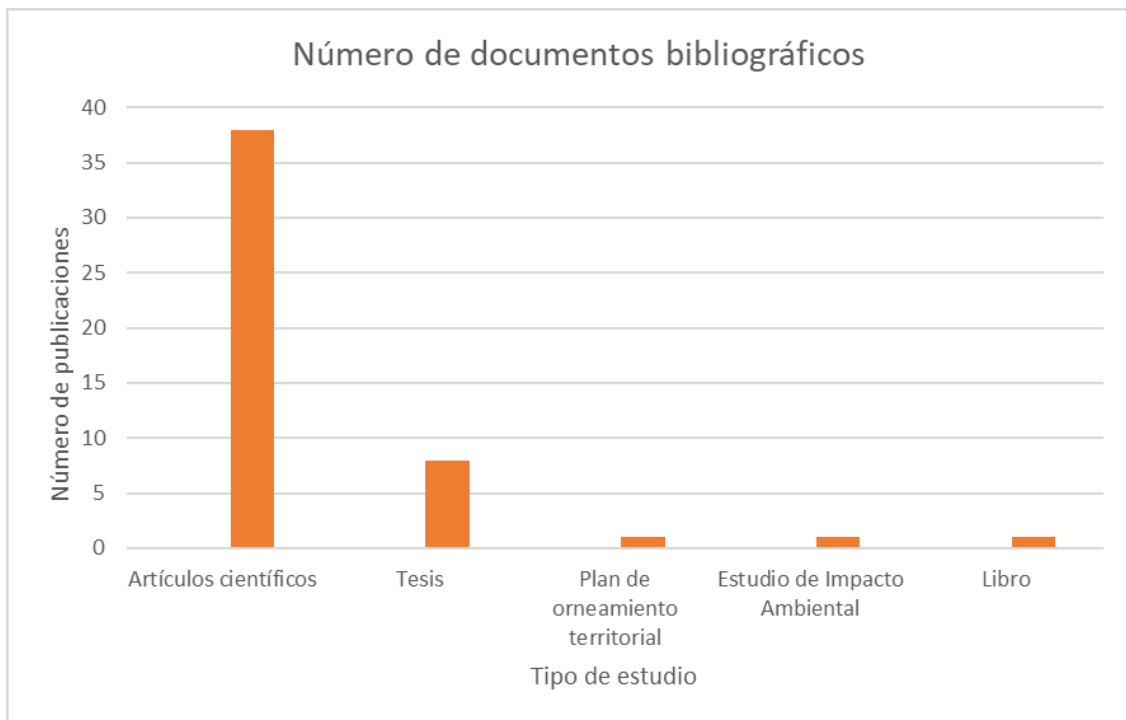


Figura 1: Número de documentos de acuerdo al tipo de estudio (artículos, tesis, plan de ordenamiento territorial, estudio de imapacto ambiental y libros) que fueron usados.

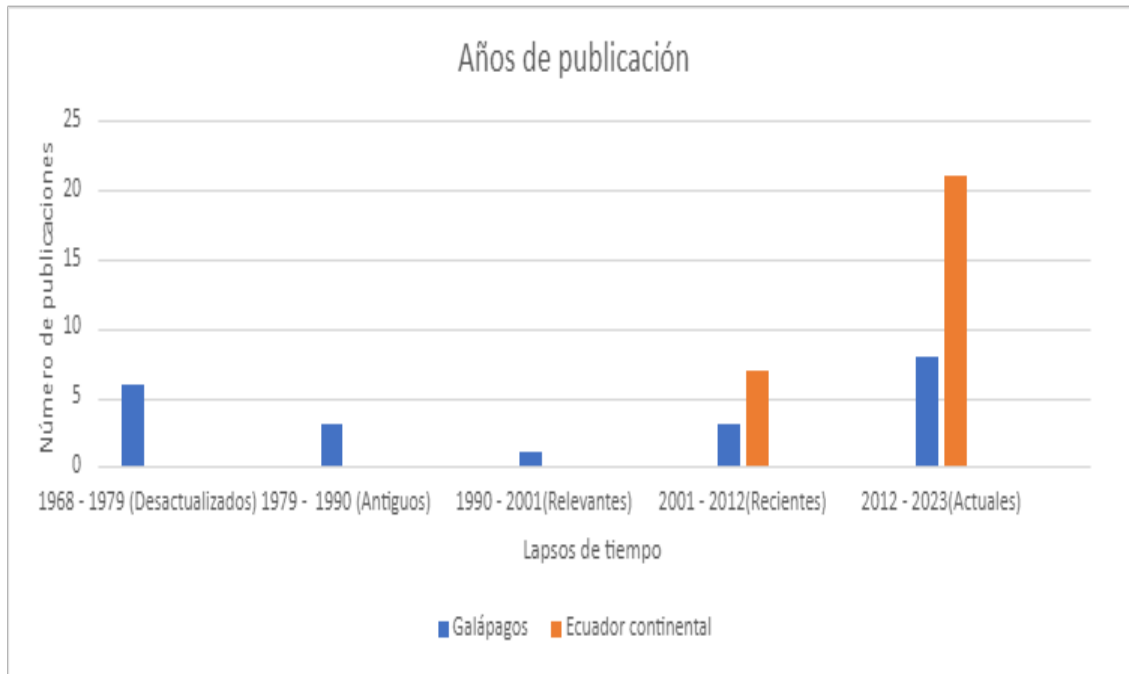


Figura 2: Comparación de los datos de Galápagos y el Ecuador continental para determinar la actualidad de los documentos recopilados. Los datos se catalogaron de acuerdo a los intervalos de tiempo propuestos para el año en el que fueron publicados: 1968 - 1979 desactualizados, 1979 - 1990 antiguos, 1990 - 2001 relevantes, 2001 - 2012 recientes y 2012 - 2023 actuales.

A partir de la clasificación de los documentos bibliográficos se observó que la mayor parte de los estudios realizados en las Islas Galápagos se han hecho a nivel de todo el archipiélago con el 61,90 %, mientras que, en islas específicas han sido pocos. Las islas en las que más interés se ha presentado en estudiar la especie son Santa Cruz con el 23,81%, seguida de San Cristóbal con el 14,29%, sin embargo, no se tienen datos específicos de Isabela, Floreana y Santiago, aunque se ha mencionado brevemente a la especie en algunos estudios (Figura 3). En general, existen pocas investigaciones enfocadas específicamente en la especie, sin embargo, existen estudios enfocados en especies de aves o insectos que mencionan al helecho *Pteridium aquilinum* como parte del hábitat y vagamente las interacciones ecológicas que presentan.

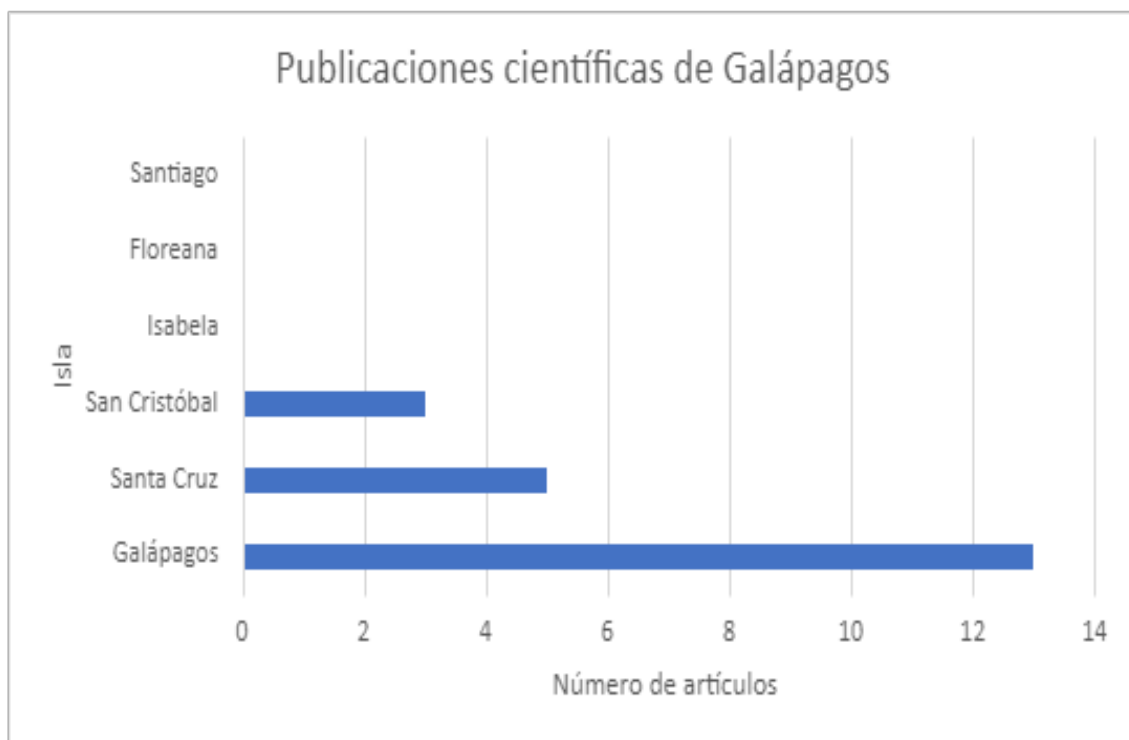


Figura 3: Número de publicaciones científicas realizadas en las Islas Galápagos de acuerdo al lugar donde se realizó el estudio (Galápagos, Santa Cruz, San Cristóbal, Isabela, Floreana y Santiago), Para conocer las islas donde se ha estudiado más a fondo a la especie.

En relación al análisis previo de los documentos bibliográficos, se observó la existencia de aspectos tratados en el Ecuador continental que no se han estudiado en las islas Galápagos, se encontró que en el Ecuador continental se han estudiado los problemas que genera la toxicidad del helecho *Pteridium aquilinum* a los animales de granja (Alonso, 1999), por la presencia de la toxina ptaquilósido, la cual es la principal toxina carcinogénica que posee la planta y causa enfermedades (Rincón et al., 2016). En la mayoría de los casos afecta a los bovinos generando hematuria enzoótica bovina, anemia, neoplasias de esófago, tumores, enfermedades urinarias, hemorragia generalizada, depleción de la médula ósea, pérdida de peso, trombocitopenia, ulceración del estómago o intestino y posteriormente la muerte (Wallig, 2013).

En las áreas agrícolas donde se cultiva café y banano se ha visto una reducción de la productividad por la alta invasividad y competencia ejercida por el helecho *P. aquilinum* que ocasiona una disminución en el rendimiento de los cultivos y el desplazamiento de la vegetación nativa (Labrada, 2022). La toxina ptaquilósido puede producir cáncer gástrico en los seres humanos que son intoxicados indirectamente debido a que la toxina se mantiene en la leche consumida por las personas después de la ingesta de la planta por parte del ganado (Ramos et al., 2012). En Galápagos no se encontró ningún estudio que haga referencia a este tema (Figura 4). De hecho, no existen trabajos enfocados en los problemas que puede generar esta especie en las islas, y la mayor parte de los estudios se centran en las interacciones que presenta la especie con la flora y fauna circundante. En general se ha tenido un enfoque conservacionista, por ello no se ha en cuenta ninguna preocupación social, económica o cultural respecto a los problemas que genera esta especie.

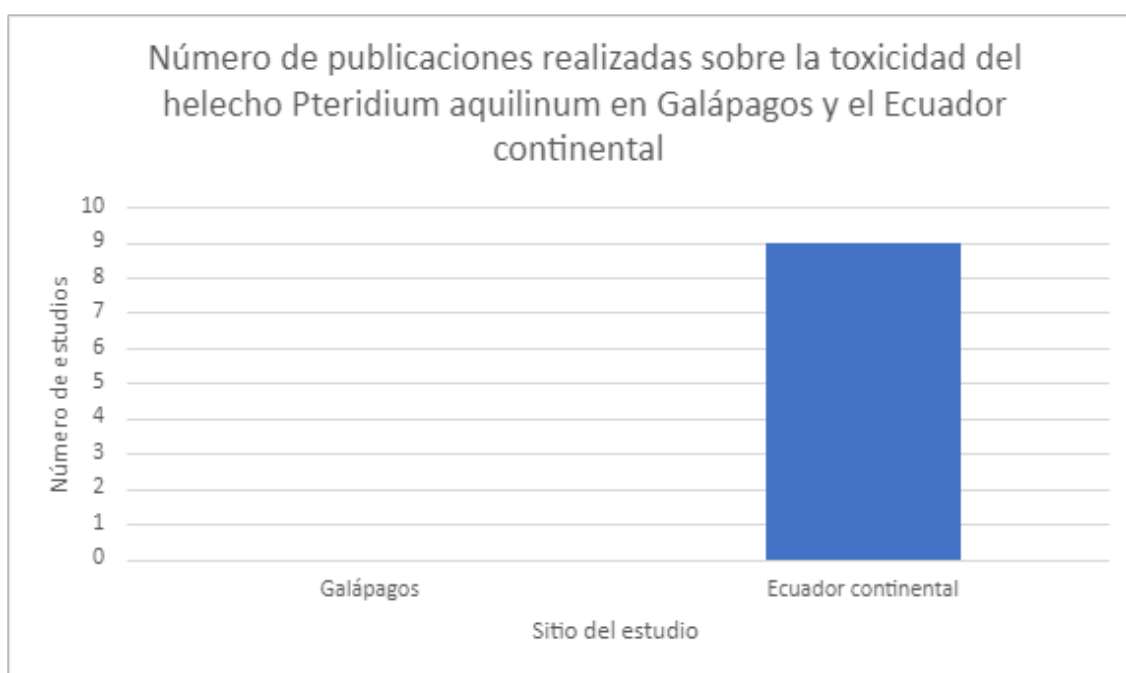


Figura 4: Número de publicaciones realizadas en Galápagos y el Ecuador continental

sobre las afectaciones que padecen los animales de granja y fauna endémica por la toxicidad del helecho *Pteridium aquilinum*.

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN

El helecho *Pteridium aquilinum* es una especie que amenaza la sostenibilidad de los ecosistemas del Ecuador continental debido a su alta invasividad y toxicidad, pero en las islas Galápagos es catalogada como una especie nativa de acuerdo a varios estudios, lo que ocasiona que no se realicen investigaciones sobre los posibles problemas que pudiera estar generando en el archipiélago. El rol biológico del helecho *Pteridium aquilinum* ha sido estudiado en las islas Galápagos, pero en el Ecuador continental existen más estudios enfocados a diferentes aspectos de la especie como toxicidad, reproducción, comportamiento, entre otros, por ende, la información es más completa. El archipiélago de Galápagos no posee mucha información actualizada de la especie por eso la información utilizada en este estudio proviene de diferentes fuentes y periodos de tiempo. Mientras que, en el Ecuador continental, al existir mayor abundancia de estudios, no se tomó en cuenta la información desactualizada, es decir no se consideraron las publicaciones realizadas antes del año 2000. La mayor parte de los estudios realizados en las islas Galápagos no se enfocan específicamente en la especie, pero si es nombrada en investigaciones enfocadas en otros organismos por formar parte del hábitat donde se localizan. Adicionalmente, se hace referencia a este helecho en un plan de ordenamiento territorial de la isla San Cristóbal donde se hace referencia a las especies vegetales del sector el progreso que serían gravemente afectadas por la expansión de agrícola, ganadera y urbana y en un estudio de impacto ambiental de la isla Santa Cruz. Por lo tanto, podemos

señalar que se necesitan más estudios enfocados en investigar específicamente a la especie para determinar cuál es su rol ecológico y cuáles son las dinámicas que posee con su entorno.

Varias investigaciones realizadas en el Ecuador continental demuestran los problemas que ocasiona el helecho *Pteridium aquilinum* a la flora y fauna circundante (Roos, 2011). En los estudios realizados en el territorio continental se ha hecho énfasis en las afectaciones que genera el helecho *Pteridium aquilinum* en el ganado y el ser humano (Vetter, 2009). En Galápagos no se tienen datos de algún estudio realizado sobre este tema. La especie, al ser considerada nativa, se muestra como parte del hábitat de las zonas altas de las islas Santa Cruz, San Cristóbal, Santiago, Floreana e Isabela. En algunas de estas zonas, también se realizan actividades ganaderas lo que implica que la especie tenga contacto con el ganado y que podría provocar afectaciones a estos animales. Es probable que se haya estudiado más a la especie en el continente porque genera pérdidas en el sector agrícola y ganadero (Motoche et al., 2018). Las interacciones con el ambiente son negativas debido a que es un colonizador muy eficiente ocasionando que se distribuya dentro de áreas agrícolas o naturales, desplazando o inhibiendo el crecimiento de la vegetación nativa o cultivos (Ruiz, 2018). En cambio, en Galápagos al ser considerada parte del hábitat natural no se ha indagado a profundidad sobre el rol ecológico de la especie, lo que a su vez genera que la influencia que posee sobre su hábitat no esté clara. Entender el rol ecológico de *Pteridium aquilinum* en las islas es fundamental para generar iniciativas de conservación efectivas y así poder proteger la biodiversidad única de las islas Galápagos.

El helecho *Pteridium aquilinum* posee la toxina ptaquilósido, algunos glucósidos de cianógeno, agentes de carácter antitiamina y tiaminasa, compuestos termolábiles y termoestables y agentes cancerígenos (Vetter, 2009). La cantidad de toxinas del helecho cambia según la altitud del individuo y la edad de la fronda, siendo mayor en especímenes jóvenes (Rodríguez y Chacón, 2023). Las afectaciones negativas que generan estos compuestos tóxicos del helecho *P. aquilinum* en el ganado es un tema abordado en el Ecuador continental, pero existen estudios realizados en otros países que mencionan que también afecta a otras especies como el caballo, codorniz, hámster, ratón, ratas, ovejas, cerdos, entre otros (Pedraza, 1989). Entre los problemas generados a estas especies están la ceguera, enfermedades urinarias, cáncer, enfermedades pulmonares, entre otros, que podrían conducir a la muerte del individuo (Reyes y Gudiño, 1999). También se señala que estos animales y otras especies se intoxican con mayor frecuencia por la ingesta del helecho *P. aquilinum* debido a que la especie se expande rápidamente a nuevas zonas y tipos de suelo (Akomolafe y Rahmad, 2018). Por esto, a pesar de ser una especie estudiada en Ecuador, existen problemas que aún no han sido indagados como efectos perjudiciales para animales silvestres.

En Galápagos existe una gran variedad de helechos como el *Pteridium aquilinum*, *Cyanthea weartherbyana*, *Cyathea abarca*, entre otros que forman parte del hábitat natural de las islas (Ackers, 2009). A pesar de los pocos estudios realizados, en Galápagos sí ha existido el interés de estudiar la especie, aunque este interés ha estado restringido a su genética, distribución e interacciones. Algunos de los documentos investigativos importantes encontrados en la revisión literaria son el realizado por Colinvaux y Schofield (1976), donde se menciona el análisis de un núcleo de sedimentos del sector El Junco de la isla San Cristóbal donde se observan esporas de *Pteridium aquilinum* y otras especies

de helechos que se encuentran en la zona. Otro estudio relevante es el de Wolf et al. (2015) donde se hace referencia a la dispersión y diferenciación de helechos del género *Pteridium* en Galápagos; también se muestra la plasticidad fenotípica de la especie. El estudio de Klekowski (1973) menciona un experimento de hibridación entre la especie de *P. aquilinum* de Galápagos con el *P. aquilinum* de Hawai donde se observó que las especies son interestériles, es decir, no se reproducen entre ellas. Estos estudios, aunque no sean actualizados, proveen evidencia para conocer el interés que se ha prestado en indagar sobre la genética de la especie.

Gran parte de los estudios genéticos realizados sobre el helecho *Pteridium aquilinum* en Galápagos no son actuales, fueron realizados entre los años 1969 y 2001. Esto implica que el interés de estudiar la especie era más alto entre las décadas de los 70 y 90, luego se redujo y mantuvo sin una variación considerable durante un tiempo; actualmente se ha incrementado levemente. En cambio, en el continente basándonos en los criterios usados para filtrar la información se tiene que casi la totalidad de la información reciente. Esto quiere decir que, a medida que los esfuerzos se intensifican en el Ecuador continental, pero en Galápagos a pesar de haber crecido no se ha tenido un aumento significativo. Estos datos nos muestran un panorama contradictorio en el que a pesar de la gran cantidad de estudios que se desarrollan anualmente en las islas Galápagos pocos son relacionados a esta especie.

El mayor porcentaje de estudios en Galápagos se ha desarrollado a nivel de archipiélago y no de islas específicas; entre las islas se ha hecho más énfasis en la isla Santa Cruz y San Cristóbal, mientras que en las islas Isabela, Floreana y Santiago no existen estudios, a pesar de que en estos territorios también se encuentra la especie. De los cinco estudios

realizados en Santa Cruz, tres son antiguos y dos actuales, esto quiere decir que la mayor parte de la información no está actualizada. El panorama en San Cristóbal es similar; de los tres artículos encontrados, uno es reciente y dos son antiguos. A nivel de archipiélago la tendencia mejora, de los trece artículos encontrados, cuatro son antiguos y nueve son recientes o actuales. Esto quiere decir que la mayor parte de los esfuerzos actuales se están enfocando a nivel de archipiélago y no de islas específicas. El interés ha crecido a partir del año 2001, debido a que la mayor parte de los estudios realizados a partir de esa fecha, no se enfocan específicamente en el helecho *Pteridium aquilinum* sino que es mencionada en estudios referentes a otras especies de plantas y animales que se distribuyen en todo o la mayor parte del archipiélago.

Los vacíos de información que existen sobre la especie son uno de los puntos fuertes que generan gran interés para estudiarla y conocer más a fondo las interacciones ecológicas y evolutivas que posee. El estudio de la toxicidad de la especie en el ganado vacuno es un campo no estudiado en las islas Galápagos, lo que genera la oportunidad de realizar investigaciones futuras enfocadas en este tema y en las posibles afectaciones que podría representar la fauna endémica que consuma grandes cantidades de esta planta como parte de su dieta. No se tiene información que compare a las especies de las diferentes islas y las interacciones específicas con el hábitat. Existe el potencial de estudiar los mismos problemas que genera la especie en el Ecuador continental, en Galápagos, porque se ha observado que afecta negativamente a un gran porcentaje de los animales de granja como los mencionados anteriormente y a las áreas naturales por la reducción de su diversidad vegetal (Marrero y Calderón, 2012). Se puede sugerir que la especie posee una dinámica perjudicial para los ecosistemas naturales de Galápagos que no se estén tomando en cuenta.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

Tras realizar este trabajo para recabar la información y analizarla en este estudio, se presenta información relevante sobre el helecho *Pteridium aquilinum* en Galápagos y el Ecuador continental. Se proporcionó datos importantes sobre las interacciones, ecología, genética, evolución y problemas de la especie. En Galápagos se observó que gran parte de la información de esta especie se encuentra en estudios enfocados en otras especies animales y vegetales, pero existen importantes vacíos en el conocimiento de la misma debido a que los estudios no se enfocan específicamente en ella. En cuanto a *P. aquilinum* en el Ecuador continental, es evidente que la especie se encuentra más estudiada.

En la revisión de la información del Ecuador continental se observó que el interés por estudiar la especie ha crecido en los últimos años, pero en Galápagos no se ha tenido un aumento significativo por lo que mucha de la información de las islas empleada en este estudio no se encuentra actualizada. Además, la desactualización de la información implica que las metodologías usadas puedan no ser las adecuadas y a su vez abren las puertas a que estas puedan ser mejoradas con otras metodologías sofisticadas como: SNP, microsatélites, árboles filogenéticos y estudios espaciales que podrían cambiar la concepción que se tiene sobre la especie. Esto sería útil para verificar si las diferencias genéticas entre la especie de Galápagos y las continentales se mantienen y así evidenciar si existe la presencia de la especie invasora en las islas.

Para finalizar, en el análisis de los 49 documentos bibliográficos se muestra que la especie en el Ecuador continental es un problema ecológico y biológico para el sector agropecuario y las áreas naturales. En varios estudios se observó que es un problema para

el ganado, café, banano y los bosques montanos, convirtiéndose en una amenaza para la biodiversidad de las áreas naturales y la economía de las zonas agrícolas. Esto incentiva a que futuros trabajos de investigación se enfoquen en completar los vacíos y dudas de investigación que existen en Galápagos. En particular, es de gran importancia evaluar la toxicidad de la especie que es un campo abordado profundamente en el Ecuador continental, mas no en el archipiélago. La información sobre interacciones debería ser tratada con más profundidad debido a que no se explica claramente cuál es su rol ecológico. Se sugiere hacer una comparación genética y taxonómica entre la especie de distintas islas del archipiélago de Galápagos para observar si son las mismas o distintas variedades de la especie. El cambio climático amplía las áreas de distribución del helecho *Pteridium aquilinum*, esto ocasiona que la biodiversidad de áreas naturales se vea afectadas con más frecuencia, convirtiéndola en una amenaza para ecosistemas de todo el mundo.

LITERATURA CITADA:

- Ackers, G. (2009). Ferns from the Galapagos Islands. *Pteridologist* 2009, 118.
- Alonso, M. E. (1999). Helecho macho, salud animal y salud humana. *Rev Fac Agron LUZ*, 16, 528-541.
- Akomolafe, G. F., & Rahmad, Z. B. (2018). A review on global ferns invasions: mechanisms, management and control. *Journal of Research in Forestry, Wildlife and Environment*, 10(3), 42-54.
- Berget, C., Duran, E., & Bray, D. (2015). Participatory restoration of degraded agricultural areas invaded by bracken fern (*Pteridium aquilinum*) and conservation in the Chinantla Region, Oaxaca, Mexico. *Human ecology*, 43, 547-558.
- Briones, F. (2018). *Evaluación de herbicidas sistémicos y de contacto en el cultivo de banano (Musa spp.) en la zona de San Juan, cantón Pueblo Viejo* (Bachelor's thesis, Babahoyo: UTB, 2018).

- Castro, D. M. (2003). Ensayo sobre tipología de suelos colombianos-Énfasis en génesis y aspectos ambientales. *Rev. Acad. Colomb. Cienc*, 27(104), 319-341.
- Celata, F., & Sanna, V. (2010). Ambientalismo y (post-) política en un espacio de reserva: el archipiélago de las Galápagos. *Scripta Nuova*, 14(331), 62.
- Colinvaux, P., & Schofield, E. (1976). Historical ecology in the Galápagos Islands: II. A Holocene spore record from El Junco Lake, Isla San Cristobal. *The Journal of Ecology*, 1013-1028.
- Coffey, E. E., Froyd, C. A., & Willis, K. J. (2011). When is an invasive not an invasive? Macrofossil evidence of doubtful native plant species in the Galápagos Islands. *Ecology*, 92(4), 805-812.
- Davila Rengifo, N. (2018). Evaluación del crecimiento de la Shapumba (pteridium aquilinum) para la mejora de suelos degradados en Puente Piedra-Lima, 2018. Tesis, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental
- Ekrt, L., Podroužek, J., Hornych, O., Košnar, J., & Koutecký, P. (2021). Cytotypes of bracken (*Pteridium aquilinum*) in Europe: widespread diploids and scattered triploids of likely multiple origin. *Flora*, 274, 151725.
- Ershova, E. A. (2010). Adaptation of *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn in Siberia. *Contemporary problems of ecology*, 3(6), 698-702.
- Farhat, S. D., & León, J. G. (2016). Nueva tendencia de hospitalidad. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*, (2016_12).
- Fundación Charles Darwin (FCD) y WWF-Ecuador. (2018). Atlas de Galápagos, Ecuador: Especies Nativas e Invasoras. Quito, FCD y WWF Ecuador
- Iturralde-Vinent, M. A. (2004). La Paleogeografía del Caribe y sus implicaciones para la biogeografía histórica. *Revista del Jardín Botánico Nacional*, 49-78.
- Klekowski, E. J. (1973). Genetic endemism of Galapagos *Pteridium*. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 66(2), 181-188.
- Labrada, R. (2022). Major weeds of Ecuador IV. Coffee plantations in Jipijapa. *GSC Advanced Research and Reviews*, 12(1), 051-056.
- Landry, B., & Roque-Albelo, L. (2006). The Acentropinae and Musotiminae (Lepidoptera, Pyralidae) of the Galapagos Islands, Ecuador. *Zootaxa*, 1354(1), 45-56.
- Leihy, R. I., Duffy, G. A., & Chown, S. L. (2018). Species richness and turnover among indigenous and introduced plants and insects of the Southern Ocean Islands. *Ecosphere*, 9(7), e02358.

- López Andrade, J. (2022). La forma urbana en áreas naturales protegidas: el caso del archipiélago de Galápagos: Puerto Ayora en la Isla de Santa Cruz y el proyecto de la ciudad endémica.
- Marrero Faz, E., & Calderón Tobar, Á. (2012). Plantas tóxicas e inocuidad alimentaria: Hematuria Enzoótica Bovina por *Pteridium* spp. un problema relevante de salud. *Revista de Salud Animal*, 34(3), 137-143.
- Molina, E., Játiva, J. F. M., Chipantaxi, P. L. P., Quisphe, E., Mañay, D., & Sandoval, L. (2017). Evaluación de la gestión empresarial de los prestadores de servicios turísticos de Puerto Ayora. *TURYDES: Revista sobre Turismo y Desarrollo local sostenible*, 10(23), 36.
- Motoche, L., & del Cisne, D. (2018). Prevalencia de Hematuria Enzoótica Bovina diagnosticada mediante el uso de tiras reactivas en el cantón Arenillas.
- Ordóñez-Delgado, L., Freile, J. F., Guevara, E. A., Cisneros-Heredia, D., & Santander, T. (2017). Memorias de la V Reunión Ecuatoriana de Ornitología. *Revista Ecuatoriana de Ornitología*, (2).
- Pedraza, C. E. (1989). Aspectos generales de algunos problemas causados por el helecho (*Pteridium aquilinum* (L) Kuhn. *ICA Informa*, 23(3), 25-30.
- Peralta, P. O. (2002). Región y nación en la formación de las identidades galapagueñas. *Procesos: revista ecuatoriana de historia*, (19), 151-169.
- Ramos, D. (2021). a-ISLADAS. Desplazamientos y encuentros desde las islas Galápagos *tesis*, Universidad de Sevilla.
- Ramos, M., Chavera, A., Tabacchi, L., Huamán, H., Sandoval, N., & Rodríguez, J. (2012). Lesiones anátomo-patológicas en cuyes intoxicados experimentalmente con *Pteridium aquilinum* como modelo animal para bovinos con hematuria vesical enzoótica bovina. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 23(2), 201-208.
- Reyes, S. A., & Gudiño, J. S. F. (1999). Registro de plantas tóxicas para ganado en el estado de Veracruz, México. *Veterinaria México*, 30(1), 79-94.
- Rincón, D. F., Díaz, G. J., & Gardner, D. R. (2016). Detección de ptaquilósido en diferentes estados fenológicos de "helecho macho" (*Pteridium aquilinum*) y análisis de muestras de leche en granjas con hematuria en Tolima, Colombia. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 11(1), 72-77.
- Rodríguez-Salazar, M., & Chacón-Villalobos, A. (2022). La biotoxina ptaquilósido en helechos del género *Pteridium*. *Agronomy Mesoamerican*, 49755-49755.
- Romoleroux, K. (2009). Notas sobre la flora vascular de Galápagos. *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas*, 30(1-2).

- Roos, K., Rödel, H. G., & Beck, E. (2011). Short-and long-term effects of weed control on pastures infested with *Pteridium arachnoideum* and an attempt to regenerate abandoned pastures in South Ecuador. *Weed research*, 51(2), 165-176.
- Roos, K. (2010). *Tropical bracken, a powerful invader of pastures in South Ecuador: Species composition, ecology, control measures, and pasture restoration* (Doctoral dissertation) Fakultät Biologie, Chemie und Geowissenschaften, Universidad Bayreuth.
- Ruiz, A. L. (2022). Descripción de plantas tóxicas para rumiantes en el trópico ecuatoriano (Bachelor's thesis, Babahoyo: UTB, 2022).
- Sapsford, S., Brandt, A., Davis, K., Peralta, G., Dickie, I., Gibson, R., ... & Peltzer, D. (2020). Hacia un marco para comprender la dependencia del contexto de los impactos de las especies de árboles no nativos. *Ecología funcional*, 34 (5), 944-955.
- Stuessy, T. F., Takayama, K., López-Sepúlveda, P., & Crawford, D. J. (2014). Interpretation of patterns of genetic variation in endemic plant species of oceanic islands. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 174(3), 276-288.
- Tapia, W., Ospina, P., Quiroga, D., González Novoa, J. A., & Montes del Olmo, C. (2009). Ciencia para la sostenibilidad en Galápagos: El papel de la investigación científica y tecnológica en el pasado, presente y futuro del archipiélago. Parque Nacional Galápagos.
- Tye, A., Soria, M. C., & Gardener, M. R. (2002). A strategy for Galapagos weeds. *Turning the tide: the eradication of invasive species*, 336-341.
- Valdez-Ramírez, C., Levy-Tacher, S. I., León-Martínez, N. S., Navarrete-Gutiérrez, D. A., & Ortiz-Ceballos, Á. I. (2020). Chemical and biological soil changes caused by *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn in areas of influence of the reserve of the biosphere of Calakmul, Campeche. *Terra Latinoamericana*, 38(2), 289-300.
- Vetter, J. (2009). Un peligro biológico de nuestra era: Helecho helecho [*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn] Una revisión. *Acta Veterinaria Hungarica*, 57 (1), 183-196.
- Wallig, M. A., & Keenan, K. P. (2013). Nutritional toxicologic pathology. In Haschek and Rousseaux's Handbook of Toxicologic Pathology (pp. 1077-1121). Academic Press.
- Wolf, P. G., Rowe, C. A., Der, J. P., Schilling, M. P., Visger, C. J., & Thomson, J. A. (2015). Origins and diversity of a cosmopolitan fern genus on an island archipelago. *AoB Plants*, 7.

ANEXOS

Anexo 1.-

HELECHO PTERIDIUM AQUILINUM





Anexo 2.-



Numero de estudios de acuerdo a los enfoques de los documentos usados (Distribución, evolutivo, genético, ecológico, interacciones, problemas, control, adaptación, abundancia)