



Memorias del archipiélago: Efectos de las especies invasoras en las islas Galápagos. Evaluación de riesgo y soluciones actuales

Memories of the archipelago: Effects of invasive species on the Galapagos Islands. Risk assessment and current solutions

Memórias do arquipélago: Efeitos de espécies invasoras nas Ilhas Galápagos. Avaliação de riscos e soluções atuais

Paola Guala-Alulema ^I

paola.guala@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-2508-2079>

Joel Monar-Nuñez ^{II}

joel.monarazul@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-1878-0116>

Mirella Noemí Vásquez-García ^{III}

mirellan.7@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0005-1514-9654>

María de los Ángeles Guamán-Coronel ^{IV}

mguaman1@utpl.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-1778-8044>

Mirian Janeth Paredes-Vargas ^V

janeth_univer@yahoo.es

<https://orcid.org/0009-0009-8649-2045>

Correspondencia: paola.guala@epoch.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

* **Recibido:** 25 de julio de 2024 * **Aceptado:** 01 de agosto de 2024 * **Publicado:** 16 de septiembre de 2024

- I. Research Group YASUNI-SDC, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Sede Orellana, Riobamba EC-220001, Ecuador.
- II. Research Group YASUNI-SDC, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Sede Orellana, Riobamba EC-220001, Ecuador.
- III. Unidad Educativa José Joaquín de Olmedo, Bachillerato Técnico, Shushufindi 210401, Ecuador.
- IV. Universidad Técnica particular de Loja (UTPL), an Cayetano Alto, Calle París, Loja, 1101608, Ecuador.
- V. Unidad Educativa José Joaquín de Olmedo, Bachillerato Técnico, Shushufindi 210401, Ecuador.

Resumen

El archipiélago de Galápagos es una de las áreas protegidas más sobresalientes de Ecuador. En 1978 fueron declaradas Patrimonio Natural de la Humanidad por la UNESCO. Galápagos consta de 234 islas, entre ellas, 15 grandes, varios islotes y rocas pequeñas. Su superficie total es de aprox. 8000 km². Están ubicadas a 930 km de la costa de Ecuador en el Océano Pacífico. Posee gran biodiversidad, cerca de 7000 especies identificadas. Acoge a más de 271238 turistas. Es un atractivo turístico con varias actividades por desarrollar, entre ellos, senderismo por la playa, visita a sus volcanes, surf, natación etc. Además, existen varios centros de investigación educativa. Sin embargo, desde su descubrimiento en 1535 ha sufrido un terrible mal, denominado “ser humano” el cual es el responsable de introducir especies ajenas al ecosistema insular. Estas especies ocasionan grandes perjuicios hacia el medio ambiente, atentan con la salud de las personas y en contra de las especies endémicas del lugar. Por esta razón, es importante conocer su historia a lo largo del tiempo, para comprender como fue llegando dichas especies. En este sentido, se han establecido tres objetivos que se cumplen a cabalidad. Cada uno de ellos fue resuelto mediante revisión de literatura en bases de datos científicas a través de la web. El primero objetivo es diagnosticar la historia del surgimiento de las especies exóticas en Galápagos, en la cual, se estima que aparecieron por acciones antrópicas, como, transporte o comercio en el año de 1807, para el año de 1971 el número de especies oscilaban los 77 ejemplares, desde entonces el número continua creciendo hasta la fecha, existe un aproximado de 1579 especies invasoras en la actualidad. El segundo objetivo conlleva determinar los principales efectos que ocasionan las especies invasoras sobre el archipiélago de Galápagos, en la cual, afectan el equilibrio ecosistémico de la región insular, desplazan y compiten con las especies endémicas, disminuyen la cantidad de nutrientes y modifican la estructura natural del suelo, sobre todo tienen el potencial de erradicar o extinguir gran parte de las especies endémicas de las islas Galápagos. Por último, las alternativas para el control y erradicación de las especies exóticas conllevan alianzas activas con organizaciones nacionales e internacionales, con el fin de buscar apoyo financiero para obtener herramientas adecuadas para el manejo y monitoreo de las especies invasoras dentro de Galápagos.

Palabras claves: archipiélago; efectos; especies invasoras; evaluación; riesgo; solución.

Abstract

The Galapagos archipelago is one of the most outstanding protected areas in Ecuador. In 1978 they were declared a Natural Heritage of Humanity by UNESCO. Galapagos consists of 234 islands, including 15 large islands, several islets, and small rocks. Its total area is approx. 8000 km². They are located 930 km off the coast of Ecuador in the Pacific Ocean. It has great biodiversity, about 7000 identified species. It welcomes more than 271238 tourists. It is a tourist attraction with several activities to develop, including hiking on the beach, visiting its volcanoes, surfing, swimming, etc. In addition, there are several educational research centers. However, since its discovery in 1535 it has suffered a terrible evil, called "human being" which is responsible for introducing foreign species to the island ecosystem. These species cause great damage to the environment, threaten people's health and against the endemic species of the place. For this reason, it is important to know their history over time, to understand how these species arrived. In this sense, three objectives have been established that are fully met. Each of them was solved by reviewing literature in scientific databases through the web. The first objective is to diagnose the history of the emergence of exotic species in Galapagos, in which, it is estimated that they appeared by anthropic actions, such as transport or trade in the year 1807, by the year 1971 the number of species oscillated 77 specimens, since then the number continues to grow to date, There are approximately 1579 invasive species today. The second objective involves determining the main effects caused by invasive species on the Galapagos archipelago, in which they affect the ecosystem balance of the island region, displace and compete with endemic species, reduce the quantity of invasive species, and reduce the number of species in the región nutrients and modify the natural structure of the soil, above all they have the potential to eradicate or extinguish a large part of the endemic species of the Galapagos Islands. Finally, alternatives for the control and eradication of alien species entail active alliances with national and international organizations, in order to seek financial support to obtain adequate tools for the management and monitoring of invasive species within Galapagos.

Keywords: archipelago; effects; invasive species; evaluation; risk; solution.

Resumo

O arquipélago de Galápagos é uma das áreas protegidas mais notáveis do Equador. Em 1978 foram declarados Património Natural da Humanidade pela UNESCO. Galápagos consiste em 234 ilhas,

incluyendo 15 grandes ilhas, várias ilhotas e pequenas rochas. A sua área total é de aprox. 8000 km². Eles estão localizados a 930 km da costa do Equador, no Oceano Pacífico. Possui grande biodiversidade, cerca de 7000 espécies identificadas. Acolhe mais de 271238 turistas. É uma atração turística com várias atividades para desenvolver, incluindo caminhadas na praia, visitar seus vulcões, surf, natação, etc. Além disso, existem vários centros de pesquisa educacional. No entanto, desde a sua descoberta em 1535 tem sofrido um mal terrível, chamado "ser humano" que é responsável pela introdução de espécies estranhas no ecossistema da ilha. Estas espécies causam grandes danos ao meio ambiente, ameaçam a saúde das pessoas e contra as espécies endêmicas do local. Por isso, é importante conhecer a sua história ao longo do tempo, para perceber como estas espécies chegaram. Neste sentido, foram estabelecidos três objetivos que são plenamente cumpridos. Cada um deles foi resolvido através da revisão da literatura em bases de dados científicas através da web. O primeiro objetivo é diagnosticar a história do surgimento de espécies exóticas em Galápagos, em que, estima-se que elas apareceram por ações antrópicas, como transporte ou comércio no ano de 1807, até o ano de 1971 o número de espécies oscilou 77 espécimes, desde então o número continua a crescer até hoje, Existem hoje cerca de 1579 espécies invasoras. O segundo objetivo envolve determinar os principais efeitos causados por espécies invasoras no arquipélago de Galápagos, em que afetam o equilíbrio do ecossistema da região insular, deslocam e competem com espécies endêmicas, diminuem a quantidade de nutrientes e modificam a estrutura natural do solo, sobretudo têm o potencial de erradicar ou extinguir grande parte das espécies endêmicas das Ilhas Galápagos. Finalmente, as alternativas para o controle e erradicação de espécies exóticas implicam alianças ativas com organizações nacionais e internacionais, a fim de procurar apoio financeiro para obter ferramentas adequadas para a gestão e monitorização de espécies invasoras em Galápagos.

Palavras-chave: arquipélago; efeitos; espécies invasoras; avaliação; risco; solução.

Introducción

Las especies exóticas son aquellas que no pertenecen a un determinado lugar. Son introducidas en los ecosistemas por diferentes factores, en mayor medida por acciones antropocéntricas, como el comercio o transporte, en algunos casos el traslado de las especies exóticas ocurre de forma espontánea, como la intervención del viento, escorrentía, huracanes, tsunamis etc. Estas especies pueden asentarse en un ecosistema que favorezca su desarrollo a largo plazo. Al no ser propias del

lugar ocasionan perjuicios ambientales, sociales y económicos [1]. Además, impactan contra la biodiversidad, estabilidad de los ecosistemas, salud, medios de vida y bienestar humano [2].

Algunas características de las especies exóticas provocan impactos ecológicos como la alteración del paisaje mediante el corte o infección de árboles (pj. 1. *Castor canadensis*. 2. Escoba de bruja: *Taphrina betulina*, *Pucciniastrum goeppertianum*, *Moniliophthora perniciosa*) disminución o eliminación de especies nativas mediante competencia o depredación (pj. 1. hormiga *Solenopsis geminata*. 2. Rata negra *Rattus rattus*. 3. Gato silvestre *Felis silvestris* en las Islas Galápagos) reestructuración y modificación de funciones del ecosistema (pj., bivalvos acuáticos invasores, mejillón zebra *Dreissena polymorpha*) [3].

Las especies exóticas provocan pérdidas sustanciales en distintos sectores productivos y socioeconómicos. Se estima una reducción del 10 al 16% en el rendimiento de cultivos a nivel mundial por causas de insectos invasores [4]. Los efectos de las invasiones biológicas pueden obstaculizar el crecimiento económico sostenible, especialmente en países con vías de desarrollo. Además, las especies exóticas ocasionan pérdidas de bienes y servicios de interés humano, como la destrucción de infraestructura en varios ámbitos, entre ellos, los sectores forestales, pesca, y agricultura, los cuales, son importantes para el realce económico de un país [5].

Existen pérdidas económicas alrededor del mundo causado por especies exóticas, se estima una pérdida aproximada cerca de 120 mil millones de dólares en los EE. UU, 14,45 mil millones de dólares en China, 12 000 millones de euros en Europa y 70 mil millones de dólares a nivel mundial sólo para insectos invasores [6]. Adicional, el costo económico por invasión biológica se dividió en dos categorías: "Daños", refiriéndose a las pérdidas económicas directas e indirectas causadas por especies invasoras, "Gestión", son los gastos en acciones dedicadas a controlar o eliminar especies invasoras [7].

Ecuador abarca 250.000 km² de territorio, es decir, el 1,5% de América del Sur. Es uno de los países con mayor biodiversidad en el mundo [8]. El país cubre dos de los cinco hotspots de biodiversidad de América del Sur: los Andes tropicales y el Hotspot Tumbes-Chocó-Magdalena. Ecuador es un hotspot de biodiversidad para vertebrados endémicos, particularmente para anfibios y reptiles, que constituyen aproximadamente el 45% de las especies locales y 26% para especies endémicas de plantas vasculares [9]. Además, el Ecuador continental contiene una variedad de ecosistemas diferentes, como páramo (tundra alpina), manglares, bosques nubosos y bosques tropicales; esto incluye tres biomas: la Costa, los Andes y el Amazonas [10].

Aproximadamente el 30% del territorio ecuatoriano se encuentra distribuido en 74 áreas protegidas bajo la categoría de protección máxima, según establece la legislación ambiental nacional y el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP). La más famosa de estas áreas protegidas son las Islas Galápagos, declaradas Patrimonio Natural de la Humanidad por la UNESCO en 1978 [11]. Son consideradas como un “museo viviente y escaparate de la evolución” debido a su peculiar fauna y flora. Por ello, atraen el interés de más de 271.238 turistas. Por esta razón, este archipiélago cuenta con financiamiento internacional, el cual cubre las demandas de protección y conservación de manera sostenible [12].

A lo largo de la historia, el archipiélago de Galápagos ha sido invadido por distintas especies provenientes de un gran número de taxones, los cuales representan una amenaza excepcional para este vulnerable y delicado ecosistema insular [13]. Hasta 2017, el número de especies exóticas terrestres y marinas registradas en las islas fue de 1.522. Entre estos, 810 fueron especies de plantas, 63 patógenos, 50 invertebrados marinos y 3 plantas marinas. De las especies de plantas introducidas, al menos 32 fueron consideradas invasoras [14].

Muchas especies de plantas fueron introducidas con fines ornamentales y/o agrícolas en cuatro islas habitadas del archipiélago (Floreana, Isabela, San Cristóbal y Santa Cruz) en la actualidad, muchos individuos vegetales se encuentran fuera de control [15]. Entre las plantas que impacta significativamente la biodiversidad y los servicios ecosistémicos se encuentran *Cedrela odorata* (cedro español), *Cestrum auriculatum* (cestrum naranja), *Cinchona pubescens* (árbol de quinina), *Lantana camara* (lantana multicolor), *Psidium guajava* (guayaba), *Rubus niveus* (mora) y *Tradescantia fluminensis* (arañita de hoja pequeña) estas especies sobrepasan la cantidad de individuos con respecto a la flora endémica y nativa de Galápagos [16].

Además, existen 545 especies de insectos introducidos, de los cuales al menos seis especies se consideran invasoras [17]. Un ejemplo claro de ello, son dos especies de hormigas, *Wasmannia auropunctata* (pequeña hormiga de fuego) y *Solenopsis geminata* (hormiga de fuego tropical) se considera una plaga ambiental y económica, está documentada en 20 islas e islotes, se consideran las amenazas más graves para las crías de 25 taxones endémicos, incluidas tortugas terrestres, iguanas y muchas aves marinas de las Islas Galápagos [18]. No obstante, los vertebrados exóticos conllevan la mayor amenaza dentro del archipiélago, ya que, ocasionan impactos devastadores sobre la biodiversidad dentro de las islas [19].

Estas invasiones han ocurrido a principios del siglo XIX, con la introducción de cerdos, cabras, ganado vacuno, gatos, perros y aves. Desde entonces, se ha informado que 27 especies de vertebrados viven en las islas, de las cuales 20 han establecido poblaciones salvajes [20]. Las introducciones de vertebrados han provocado algunas extinciones locales; por ejemplo, la iguana terrestre (*Conolophus subcristatus*) en la isla Santiago [21]. Las cabras salvajes amenazan entre el 55% y el 60% de las especies de plantas endémicas. Por lo tanto, a lo largo de 50 años, las especies exóticas invasoras en las Islas Galápagos han sido el eje de numerosos proyectos de gestión [22]. Bajo estas circunstancias se ha establecido resolver ciertos problemas que atraviesa el archipiélago de Galápagos. En la cual, se identificará soluciones que ayudarán a informar y priorizar una planificación de gestión óptima para el área. De esta manera, se han propuesto tres objetivos específicos. Primero, diagnosticar la historia del surgimiento de las especies invasoras dentro del archipiélago de Galápagos. Segundo, determinar los principales efectos que ocasionan las especies invasoras en el archipiélago de Galápagos. Por último, proponer soluciones para mejorar la situación actual en el archipiélago de Galápagos con respecto a las especies invasoras.

Metodología

Área de estudio

El archipiélago de Galápagos se formó sobre una placa tectónica de origen volcánico, inducido por un punto caliente en la Placa de Nazca. Se desplaza constantemente hacia el este a una velocidad de aprox. 51 km Ma⁻¹ en relación con el punto de acceso. Este movimiento ha generado una cadena de islas volcánicas de diferentes edades y tamaños [23]. El archipiélago de Galápagos consta de 234 islas, entre ellas, 15 grandes, varios islotes y rocas pequeñas. Su superficie total es de aprox. 8000 km² [24]. Están ubicadas a 930 km de la costa de Ecuador en el Océano Pacífico. Son reconocidas como Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO. Además, abarcan gran biodiversidad endémica. Sin embargo, en ella residen cerca de 22 especies marinas catalogadas en peligro de extinción de la Lista Roja de la UICN [25].

En los últimos años, las presiones antropocéntricas han aumentado de manera drástica. Entre ellos, la agricultura, sistema de saneamiento y pesca ilegal han provocado contaminación marina [26]. También, el incremento de turistas provoca la entrada de especies invasoras en gran parte del archipiélago. Por esta razón, las islas que se encuentran aisladas tienen más posibilidades de

vulnerabilidad ante las especies exóticas invasoras, lo cual, causa extinción o perjuicio a las especies nativas, ya que, estas zonas poseen menor tolerancia y poca disponibilidad de hábitat, estos factores omiten la capacidad de dispersar o disminuir las amenazas crónicas [27]. Los impactos que causan las especies exóticas invasoras en Galápagos tienen importantes consecuencias ecológicas, ambientales y socioeconómicas, sobre todo para la industria turística que comprende el 80% de la economía local [28].

Para contextualizar se especifica cinco islas más emblemáticas del área de estudio. Entre ellas tenemos a la más grande del archipiélago, correspondiente a Isabela. Con una superficie de 4588 km², representa el 60% de la superficie total de Galápagos [29]. Su punto más alto es el volcán Wolf, alcanza 1707 metros sobre el nivel del mar. En su territorio se encuentra seis volcanes, Alcedo, Cerro Azul, Darwin, Ecuador, Sierra Negra y Wolf. En esta área atraviesa la línea ecuatorial, en sus aposentos se encuentra el Puerto Villamil, el mayor asentamiento humano del archipiélago [30]. La segunda isla más grande es la Santa Cruz, con una superficie de 986km y una altitud de 864m [31]. Esta isla es un volcán durmiente, su última erupción ocurrió hace un millón y medio de años. Del mismo modo, la tercer isla más grande del archipiélago, denominada Santiago. Esta isla consta de dos volcanes superpuestos. Su territorio abarca 585km, su altitud corresponde a 907 metros [32]. Conlleva gran parte de vida silvestre endémica, como, lobo marino de Galápagos, león marino de Galápagos, cangrejo Sally Lightfoot, iguana marina, iguana terrestre de Galápagos, delfín mular, rata arrocera y Microlophus. Sus puntos de interés más concurridos según sus puntos cardinales son, al norte Playa Espumilla, al oeste Bahía James y el este Bahía Sullivan, frente a la Isla Bartolomé, ambas bahías con extensas coladas de lava pahoehoe y aa procedentes de una erupción en 1889 [33]. De la misma manera, la siguiente isla es reconocida como la cuarta isla más grande, denominada San Cristóbal. Esta isla tiene una superficie de 556km, su punto más elevado es el cerro San Joaquín, con 715m [34]. Por último, la quinta isla más grande es conocida como Floreana. La cual, tiene 173km de superficie, con una altitud máxima de 640m correspondiente al cerro Pajas [35].

Metodología

El método investigativo para responder las problemáticas establecidas sobre la extensión de especies invasoras dentro del archipiélago de Galápagos se basara en revisión de literatura bibliográfica en bases datos académicos dentro de la web [36]. Se tomara en cuenta documentación

actualizada, con el propósito de obtener datos recientes sobre el estado actual de las especies que residen en las islas. Para ello, se aplicara parámetros de búsqueda avanzada, como, palabras claves, año de publicación, área de estudio etc. Una vez aplicados estos parámetros de búsqueda se comenzara con la lectura de títulos, resúmenes, objetivos, resultados y conclusiones, con el fin de establecer información que se ajuste al tema actual [37]. Cuando exista información suficiente sobre las especies invasoras en Galápagos se desarrollara un listado con las especies más significativas de los últimos años. Con esta lista se podrá tomar en cuenta su distribución espacial a lo largo del tiempo.

Resultados

Historia del surgimiento de las especies invasoras dentro del archipiélago de Galápagos

Los actuales resultados del presente estudio sobre especies invasoras en Galápagos recopila información sobre los riesgos más contundentes para el delicado ecosistema del archipiélago, en la cual, se considera como punto principal las malas hierbas ocasionadas por la agricultura. En la mayoría de la región insular sobresalen especies como, quina pubescente (*Succirubra klotzsch*) y la guayaba o arazá (*Psidium guajava*), dos de las especies con más efectos perjudiciales para los hábitats del sector, ya que, son especies de rápido crecimiento, desplazando la flora endémica del lugar, esto hace que las especies vegetales nativas se reduzcan significativamente a lo largo del tiempo. También, alteran la composición natural del suelo, disminuyendo la disponibilidad de nutrientes presentes, llegando a afectar el ciclo hidrológico para las plantas locales [38]. Otra característica perjudicial es su manera de crecimiento, ya que lo hacen en forma de densos matorrales que impiden el desarrollo de las especies endémicas, afectando el equilibrio ecosistémico.

En el caso del guayabo, su dispersión es uno de los factores que más perjudica al sector, esta acción lo realizan mediante las semillas de sus frutos, los animales que ingieren este alimento lo dispersan a lo largo del archipiélago. Además, dos de las especies más controversiales para isla son *Cedrela odorata* y *Cestrum auriculatum*, las cuales, son una amenaza para el ecosistema endémico, modifica las condiciones naturales del entorno al competir con las especies endémicas, alteran el hábitat, modifican el suelo, tienen rápida expansión, impactan en el ciclo de nutrientes, sobre todo

en el caso de *Cestrum auriculatum*, ya que, contiene propiedades tóxicas para las especies faunística del sector, estos factores nocivos empeoran con el paso del tiempo en escenarios futuros [39]. Así mismo, dentro de los pastizales la especie *Cyperus rotundus* es considerada una plaga difícil de erradicar.

Gran parte de las especies invasoras del archipiélago de Galápagos han sido introducidas por la mano del hombre, mediante actividades antropocéntricas, como transporte y comercio. Estas especies han llegado por su valor ecosistémico, ornamental, agrícola, medicinal, maderable, comercio, alimentación y compañía [40]. Aunque algunas especies han llegado de manera espontánea o accidentalmente en forma de maleza, malas hierbas o plagas residentes de los navíos. Se estima que alrededor del 45% de las especies invasoras se han naturalizado alrededor de las islas.

A lo largo de la historia sobre especies invasoras, varios investigadores han presentado argumentos sobre cómo y cuando llegaron a las islas [41]. Mauchamp [42] manifiesta que el aumento del número de especies invasoras van de manera conjunta con el incremento de número de habitantes dentro de las islas, es decir, un factor depende del otro, con más personas, más número de especies invasoras. Porter [43] establece que las primeras especies invasoras pertenecen a las calabazas (*Cucurbita maxima*) patatas (*Solanum tuberosum*) ratas (*Rattus rattus* y *Rattus norvegicus*) cabras (*Capra hircus*) perros (*Canis lupus familiaris*) gatos (*Felis catus*) cerdos (*Sus scrofa*) mosquito (*Aedes taeniorhynchus*) y hormiga loca (*Anoplolepis gracilipes*) las cuales llegaron aproximadamente en el año 1807.

Desde entonces el número de especies invasoras aumentaron de manera gradual en los años próximos. En 1971 el número de especies oscilaban los 77 ejemplares [44]. Con el paso del tiempo no tardó en aumentar el número de especies invasoras, para el año 1983 existían un aproximado de 195 especímenes, 260 en 1989, 438 en 1995 y un total de 471 especies invasoras para el año de 1999. Bajo estos antecedentes se especula que la llegada de especies invasoras en el archipiélago de Galápagos fue de más de 10 ejemplares por período en menos de 35 años. Sin embargo, algunos autores afirman que existía un mayor índice de ingreso por año, tomando en cuenta el interés que tenían las personas para la introducción de las especies invasoras naturalizadas, cultivadas y no cultivadas en el caso de los vegetales [45].

Diversas especies presentan efectos de desfase temporal dentro del archipiélago de Galápagos. Entre ellas, *Psidium guajava* introducida en 1869, sin embargo, existen registros que su

naturalización ocurrió a principios del siglo XX. Esta especie estuvo restringida a sembríos hasta 1950. Desde entonces se propago por cuatro islas del archipiélago, creando enormes bosques monoespecíficos [46]. En la actualidad, se ha extendido a lo largo de Galápagos y es una de las más controversiales, causando daño a la flora endémica del área. De la misma manera, *Lantana cámara* fue introducida en la isla Floreana a principios del año 1938 como planta ornamental. Durante la época del 1970 se naturalizó de manera amplia en la isla, extendiéndose a más de 2000ha para el año 1987 [47]. Desde entonces su propagación ha continuado a lo largo y ancho de la isla, convirtiéndose en una de las peores especies invasoras.

Otro caso de desfase temporal presenta la especie *Rubus niveus*, la cual fue introducida en la isla San Cristóbal a mediados del año 1983, a partir de entonces se han esparcido de manera veloz hasta convertirse en una de las especies invasoras más dañinas para el ecosistema de tierras altas húmedas de la isla [48]. Lo mismo ocurrió en la isla Santa Cruz, donde fue introducida en el año 1985, se escapó de su espacio aislado para convertirse en densos e impenetrables matorrales en apenas dos años. Así mismo, la especie *Cedrela odorata* introducida en 1950, se esparció de manera espontánea por acción del viento, no obstante, no se convirtió en invasiva hasta 25 años después que sus progenitores comenzaron a producir semillas. En este caso, el desfase temporal ocurrió por el ciclo de vida de la especie. Por último, la especie *Cinchona pubescens* introducida en 1925 para la producción de quinina [49]. Naturalizada con pocos individuos en 1965. Sin embargo, para 1987 había invadido cerca de 4000ha y en 1990 se estima que su expansión fue cerca de 8500ha. A partir de estos datos, su expansión continúa hasta la fecha.

[43] estipula que la tasa de inmigración natural de una especie es de cada 7000 a 12000 años, este factor da entender la flora endémica de Galápagos a lo largo de su historia evolutiva. A partir del año 1970 la llegada de especies invasoras fue de unos 10 ejemplares por año, es decir, unas 100000 veces la tasa de arribo natural. Así mismo, la tasa de introducción de especies invasoras en 1800 fue de 2 especies por año, es decir, 20000 veces la tasa natural. Estos factores impactan de gran manera sobre la ecología y evolución del ecosistema de Galápagos.

Las especies (tabla 1) han comenzado a dominar gradualmente el ecosistema de Galápagos, o no se han naturalizado en su totalidad, también, pueden estar sumergidas en una fase de aplazamiento en el proceso de invasión. Sin embargo, cada una de ellas representa un terrible mal para las especies endémicas del lugar. Las especies que llegan de manera espontánea a las islas deben encontrar óptimas condiciones para adaptarse y establecerse en un determinado hábitat [50]. Por

otra parte, las especies invasoras poseen condiciones favorables en medios de cultivo que las personas crean para su crecimiento y desarrollo, sin darse cuenta que estas especies se pueden descontrolar e invadir los hábitats naturales. Algunos de los factores que impiden el movimiento invasivo temprano son, falta de tamaño poblacional crítico con suficiente diversidad genética para producir especies competitivas contra los ejemplares o hábitats endémicos para su asentamiento esporádico.

Tabla 1. Especies potencialmente invasoras en el archipiélago de Galápagos

#	Familia	Especies
1	Aizoáceas	<i>Carpobrotus sp.</i>
2	Amaranthaceae	<i>Alternanthera lanceolata (Bentham) Schinz</i>
3	Amaranthaceae	<i>Amaranthus caudatus L.</i>
4	Anacardiáceas	<i>Mangifera indica L</i>
5	Anacardiáceas	<i>Schinus molle L.</i>
6	Asteráceas	<i>Conyza canadiensis L.</i>
7	Asteráceas	<i>Lactuca sativa L.</i>
8	Asteráceas	<i>Tagetes erecta L.</i>
9	Bignoniáceas	<i>Spathodea campanulata Beauv.</i>
10	casuarináceas	<i>Casuarina equisetifolia L.</i>
11	Euforbiáceas	<i>Euphorbia pulcherrima Willd.</i>
12	Euforbiáceas	<i>Euphorbia tirucalli L.</i>
13	Juglandáceas	<i>Juglans neotropica Diels</i>
14	leguminosas	<i>Delonix regia (Hook.) Raf.</i>
15	leguminosas	<i>Pueraria faseoloides (Roxb.) Benth.</i>
16	leguminosas	<i>Tamarindus indica L.</i>
17	moráceas	<i>Ficus carica L.</i>
18	mirtáceas	<i>Eucalipto spp</i>
19	mirtáceas	<i>Eugenia malaccensisL.</i>
20	Nyctagináceas	<i>Bougainvillea spectabilis Willd</i>
21	Pináceas	<i>Pinus radiata D.Don</i>
22	Rosáceas	<i>Rubus bogotensis Kunth</i>
23	Rosáceas	<i>Rubus otras spp.</i>

24	Solanáceas	<i>Tropaeolum majus</i> L.
----	------------	----------------------------

Principales efectos que ocasionan las especies invasoras en el archipiélago de Galápagos

Sin duda, una de las principales amenazas para el ecosistema de Galápagos son las especies invasoras. Los depredadores exóticos más comunes como perros y gatos se alimentan de la fauna endémica del sector, disminuyendo gradualmente su tamaño poblacional, incluso llegándolas a extinguir localmente. Lo mismo ocurre con los herbívoros exóticos, como cabras y burros, los cuales, pastan de manera agresiva la vegetación endémica, causando daños ambientales y físicos contra las especies arbóreas propias del lugar, incluso perjudican a individuos maderables de gran tamaño. Por otra parte, tanto los invertebrados como los mamíferos pequeños invasores son los más perjudiciales para la biodiversidad endémica de Galápagos, alteran el equilibrio ecosistémico, compiten con la flora y fauna endémica e intervienen en la cadena trófica natural.

La mayor parte de especies vegetales invasoras han sido utilizadas para la agricultura, favoreciendo a la económica y sustentabilidad de los moradores de Galápagos. Sin embargo, un gran número de especies e individuos exóticos se han esparcido fuera de los medios de cultivos tradicionales hacia cinco de las más grandes islas del archipiélago. Entre ellas se encuentran, Floreana, Isabela, San Cristóbal, Santa Cruz y Santiago. Las especies invasoras prefieren el sustrato y condiciones favorables que ofrece las tierras altas y húmedas de estas cinco islas. Una de estas razones es la adaptabilidad que poseen frente ambientes hostiles con climas húmedos. Además, estas zonas se encuentran 70% restringidas de las zonas habitadas, convirtiendo el área en sitios de agricultura con poca vegetación endémica, facilitando el proceso de expansión para las especies invasoras. Es decir, la principal zona de invasión de las especies exóticas son las áreas colonizadas del Parque Nacional Galápagos [51].

Desde la llegada de las especies invasoras al archipiélago de Galápagos se han registrado 32 ejemplares más perjudiciales hacia el equilibrio ecológico del ecosistema insular (tabla 2). Estas especies han invadido grandes superficies de terreno, afectando de manera drástica las zonas de asentamiento, alteran la estructura de las comunidades endémicas y poseen el potencial de extinguir ejemplares a lo largo del tiempo. La mayor parte de las especies exóticas han sido introducidas por el hombre. No obstante, algunos casos sugieren otros argumentos. Por ejemplo, las especies

Caesalpinia bonduc y *Trema micrantha* no poseen propiedades útiles para las personas, en la cual, se especula que su naturalización ocurrió años más tarde. Por tal manera, uno de sus principales problemas en la actualidad es su rápida expansión y distribución dentro de las islas Galápagos. Este comportamiento sugiere que la introducción sucedió en años recientes, en fin, el año de introducción sigue siendo un tema de debate y controversia hasta la actualidad.

Tabla 2. Especies invasoras que afectan la ecología del ecosistema en Galápagos

#	Familia	Especies
1	agaváceas	<i>Furcraea cubensis</i> (Jacq.) Vent.
2	Bombacáceas	<i>Ochroma piramidal</i> (Lam.) Urbana
3	Bombacáceas	<i>Cordia alliodora</i> (R. & P.) Amigo
4	capparidáceas	<i>Cleome viscosa</i> L.
5	Crasuláceas	<i>Kalanchoe pinnata</i> (Lam.) Pers.
6	cucurbitáceas	<i>Cucumis dipsaceus</i> Ehr.
7	Euforbiáceas	<i>Ricinus communis</i> L.
8	lauráceas	<i>Molino Persea americana</i> .
9	leguminosas	<i>Caesalpinia bonduc</i> (L.) Roxb.
10	leguminosas	<i>Cassia tora</i> l.
11	leguminosas	<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit
12	meliáceas	<i>Cedrela odorata</i> L.
13	mirtáceas	<i>Eugenia jambos</i> l.
14	mirtáceas	<i>Psidium guajava</i> L.
15	pasifloráceas	<i>Passiflora edulis</i> Sims
16	poáceas	<i>Brachiaria mutica</i> (Forssk.) Stapf
17	poáceas	<i>Stent Digitaria decumbens</i>
18	poáceas	<i>Melinis minutiflora</i> Beauv.
19	poáceas	<i>Panicum máximo</i> Jacq.
20	poáceas	<i>Panicum purpurascens</i> Raddi
21	poáceas	<i>Pennisetum clandestinum</i> Hochst.
22	poáceas	<i>Pennisetum purpureum</i> Schum.
23	Rosáceas	<i>Rubus niveus</i> Thunb.
24	Rubiáceas	<i>Cinchona pubescens</i> Vah

25	rutáceas	<i>Citrus aurantiifolia (Christm.) Swingle</i>
26	rutáceas	<i>Risso de lima y cítricos</i>
27	rutáceas	<i>Citrus limon (L.) Quemadura.</i>
28	solanáceas	<i>Cestrum auriculatum L'Her</i>
29	solanáceas	<i>Datura stramonium L.</i>
30	solanáceas	<i>Lycopersicon esculentum Mill.</i>
31	Ulmáceas	<i>Trema micrantha (L.) Blume</i>
32	verbenáceas	<i>Lantana cámara L.</i>

Dentro de los principales efectos que ocasionan las especies invasoras dentro del archipiélago de Galápagos se encuentra; cambios drásticos en los diferentes hábitats de la isla, provocando rodales monoespecíficos con abundante sombra innecesaria para las demás especies endémicas, lo que conlleva a la modificación de las comunidades nativas, afectando el equilibrio ecosistémico e interferencia en la cadena trófica del área. Estos factores influyen en la regeneración natural del ecosistema. En este sentido, los individuos invasores vegetales más dañinos son las especies leñosas, como, *Opsidium guajava*, *Cedrela odorata*, *Lantana camara* y *Quina pubescente* las cuales forman inmensos matorrales impenetrables, compiten con las especies endémicas por recursos sustanciales, como, nitrógeno, oxígeno, agua etc. También, alteran varios procesos ecológicos, como la dinámica del fuego y disponibilidad de nutrientes importantes para el buen desarrollo de las especies endémicas. Por ello, es necesario el control y erradicación de las especies invasoras para conservar la biodiversidad única del archipiélago de Galápagos. Dentro de la tabla 2 se encuentran los peores invasores, los cuales se clasifican en seis grupos según el área invadida y efectos ecológicos provocados.

Grupo1: conformado por especies herbáceas y arbustivas que han invadido el área con menor rapidez, es decir, de una manera lenta a lo largo del tiempo. Su principal función es ser especies dominantes, cambiando el estrato arbustivo natural por hierba invasora. Dentro de esta clasificación podemos encontrar géneros como; *Furcraea*, *Cleome*, *Ricino*, *Casia tora* y *Datura*.

Grupo2: también conformado por especies herbáceas, pero que se han expandido de una forma rápida y extensa a lo largo del archipiélago. Estas especies reemplazan la capa herbácea natural por una capa monoespecífica que crea una alfombra densa, la cual impide la regeneración de las capas

arbustivas endémicas. Dentro de este grupo podemos encontrar géneros como; *Kalanchoe* y gramíneas.

Grupo3: corresponden a especies escaladoras que se han expandido rápida y ampliamente a lo largo de las islas Galápagos. Estas especies se han integrado en las comunidades endémicas del sector, ejerciendo una competencia intermitente con daños malintencionados para el ecosistema. Algunos de estos ejemplares forman densas esteras sobre los arbustos, hierbas y arboles endémicos durante la época húmeda, afectando el crecimiento natural de las especies nativas. Este grupo de especies exóticas son competidores directo de las Cucurbitáceas nativas y de las tortugas gigantes de Galápagos, ya que, ocasionan problemas dietéticos para estas especies. Dentro de este grupo se encuentran los géneros; *Cucumis* y *Passiflora*.

Grupo4: conformado por especies arbustivas y arboles pequeños, los cuales, crean densos rodales que impiden el crecimiento de las especies endémicas, además, perjudican algunas especies faunísticas nativas, como, anfibios y réptiles. Estas especies exóticas se han expandido por la acción del viento, mediante semillas y propagación vegetativa. Causan un drástico cambio ecológico provocando la modificación de varias comunidades de flora endémica, ya que, crean matorrales monoespecíficos. Además, géneros como, *Cestro* y *Lantana* presentan propiedades venenosas para la fauna local, afectando el tamaño poblacional de algunos mamíferos como, *Lasiurus brachyotis* y *Myotis galapagoensis*. Dentro de este grupo de especies invasoras tenemos a los géneros; *Lantana*, *Rubús*, *Cesalpinia*, *Leucaena*.

Grupo5: corresponden a especies arbóreas que han invadido de manera lenta a lo largo del tiempo. Estas especies se encuentran dentro de los primeros registros de invasión. Una de sus características son sus pesadas semillas, la cuales, han sido el factor de su lenta expansión. Gran parte de estas especies aun no presentan problemas para el ecosistema. Sin embargo, debido a su gran tamaño de crecimiento puede causar daños a las especies nativas medianas y pequeñas del sector, así como, perjuicios para la fauna endémica. Varios expertos sustentan que estas especies se encuentran muy dispersas para estudiar el comportamiento y perjuicio futuro sobre el archipiélago. Dentro de este grupo invasivo se encuentran los géneros; *Ocroma*, *Cordia*, *Persea*.

Grupo6: incluyen especies arbóreas que se han esparcido de manera rápida, debido a sus pequeñas semillas trasportadas por acción del viento e intervención de la fauna. Forman densos rodales monoespecíficos que ocasionan daños para la flora y fauna nativa. Varias de estas especies han invadido cerca de 40000ha, incluyendo zonas altas de la isla San Cristóbal, en la cual, existen

bosques de *Eugenia jambos*, además, han invadido grandes áreas volcánicas del sur de la isla Isabela, como el Cerro Azul y Sierra Negra. Dentro de este grupo podemos encontrar géneros como; *Cedrela*, *Psidium*, *Eugenia*, *Cinchona*, *Trema*.

La creación de esta categoría se ha basado en una valoración subjetiva, basada en la información presente sobre especies exóticas y sus efectos controversiales sobre el ecosistema de Galápagos. En la cual, se estima que el grupo más peligroso es el número seis, por sus características naturales de expansión. Sin embargo, algunas especies invasoras merecen mayor rango de preocupación por el perjuicio ocasionado hacia el ecosistema endémico. Por último, es difícil realizar una comparación entre herbáceas y árboles exóticos debido a las diferentes características que presentan cada grupo. No obstante, cada una de ellas presenta daños contundentes para toda la región insular. Por esta razón, es necesario realizar una evaluación de riesgos más profunda, que permita realizar comparaciones y clasificaciones de una manera más precisa.

Propuestas para mejorar la situación actual en el archipiélago de Galápagos sobre especies invasoras

El ecosistema de Galápagos nos ofrece grandes beneficios naturales, culturales, paradisiacos, gastronómicos, turísticos, vacacionales, educacionales etc. Que nos ayudan a liberar estrés y sobrellevar la carga de los días cotidianos. En este espectacular hábitat podemos encontrar gran biodiversidad digna de apreciar, también posee magnificas playas con olas, arena y sol para el deleite de nuestra estadía. En esta área se encuentra la estación científica Charles Darwin, quien es la encargada de la investigación y conservación del archipiélago de Galápagos, también es responsable del control de las especies invasoras que radican en las islas. De la misma manera, el servicio del Parque Nacional Galápagos es la entidad responsable de la jurisdicción de este ecosistema, y el encargado de implementar acciones de gestión, control y erradicación de las especies invasoras.

Sin embargo, a lo largo de la historia las islas Galápagos han sufridos males directa e indirectamente, uno de ellos y de mayor gravedad para la biodiversidad son las especies invasoras. Las cuales, se han propagado a lo largo y ancho del archipiélago. Cada una de ellas acarrea perjuicios contra el ecosistema insular, afectando la sociedad, salud de los moradores y medioambiente en general. En este sentido, para abordar el problema de las especies invasoras en

Galápagos es necesario desarrollar múltiples facetas con enfoques multidisciplinarios, entre ellos, evaluación de riesgos, priorización de problemas y medidas de control. El principal inconveniente es la falta de presupuesto para abordar cada punto necesario, es decir, financiamiento adecuado y un sistema para asignar los recursos presentes en la isla, dirigiéndolos hacia los peores problemas que atraviesa el archipiélago. Por ello, es necesario crear un sistema de evaluación y priorización de riesgos. También, un plan de investigación y control sobre especies exóticas que habitan dentro de las islas.

Uno de los puntos claves para el control de las especies invasoras es el desarrollo de un sistema de Cuarentena. Mediante este sistema habrá control estricto en los puntos de entrada al archipiélago, como aeropuerto y muelles, con la finalidad de prevenir la introducción de nuevas especies exóticas. Además, se tendrá mayor cuidado con la mercancía y equipaje de los visitantes. Con la creación de este sistema se elaborará un listado con especies prohibidas o restringidas. Ecuador debe realizar un sistema de cuarentena internacional para Galápagos, el cual, formará la estructura adecuada para crear soluciones y recomendaciones sobre la evaluación de riesgos. Otro punto clave es la incorporación de programas que ayuden a la erradicación de especies invasoras que habitan en las islas Galápagos.

Con la intervención de las entidades encargadas de la jurisdicción de la región insular se podrá crear programas que ayuden al control y erradicación de estas especies perjudiciales. Para llevarlo a cabo se puede implementar herramientas manuales, como, técnicas de captura, uso de señuelos, trampas y métodos biológicos para el caso de la fauna exótica. En el caso de la flora, se puede llevar actividades integrales como mingas, fumigaciones, arado, quema controlada, el cual aporta abono orgánico al suelo, parches que no afecten en gran medida el ecosistema etc. De la misma manera, un punto necesario es la restauración de hábitats nativos para el desarrollo de especies endémicas. Esta acción se puede llevar a cabo mediante reforestación de áreas afectadas por especies invasoras. También, promoviendo la plantación de especies endémicas con la ayuda de centros de investigación, universidades y centros educativos. Los cuales, puede ayudar a crear conciencia ambiental a lo largo del archipiélago.

Además, implementar campañas de educación ambiental hacia los moradores y turistas sobre los riesgos que provocan la introducción de especies invasoras. Con ello, impulsar la creación de programas y actividades de control-monitoreo de especies invasoras. Estos programas detectarán nuevas especies exóticas y sus impactos ambientales, estableciendo medidas de control inmediatas.

Por esta razón, el mayor inconveniente siempre será el factor económico, por eso, es necesario crear alianzas internacionales con gobiernos extranjeros que brinden financiamiento y asistencia técnica para abordar los problemas que atraviesa las islas Galápagos con relación a las especies invasoras.

Es primordial crear cooperación regional en temas de bioseguridad y manejo adecuado de estas especies. Por lo tanto, es indispensable desarrollar y aplicar leyes, regulaciones, mandatos estrictos que ayuden a controlar las especies exóticas. Se debe asegurar el cumplimiento reglamentario de estas normativas a través de sanciones y medidas legales. Por último, es imprescindible aplicar tecnologías modernas, como, el uso de drones y sistemas de geolocalización que ayuden a monitorear y controlar las poblaciones de especies invasoras a lo largo del archipiélago. Además, desde el punto de vista innovador, se puede desarrollar aplicaciones móviles para que los ciudadanos reporten avistamientos de especies invasoras, con el fin de controlar o erradicar el ejemplar en el momento indicado. Es importante recordar que para abordar el problema de las especies invasoras es imperativo la participación integral y colaborativa de todas las partes interesadas, desde los gobiernos, comunidades locales, organizaciones nacionales y extranjeras hasta la participación ciudadana de los residentes y turistas de Galápagos. Aplicando estas medidas se podrá tener un mejor control y cuidado sobre los individuos-especies invasoras que habitan en las islas Galápagos.

La creación de un modelo de evaluación de riesgos es aplicado en islas con daños similares al de Galápagos. Por ejemplo, en Nueva Zelanda se ha desarrollado e implementado un sistema para evaluar riesgos potenciales hacia el medio ambiente. Existen algunos factores que se deben tomar en cuenta la momento de poner en practica dicho formato. Entre ellos se encuentran, diagnosticar el tipo de población o comunidad perjudicada, para evaluar su resistencia o que tan susceptible es el área ante una incursión de especies exóticas. Después, estimar en qué medida las especies exóticas cambian la composición y regeneración natural del hábitat, también, como persisten a lo largo del tiempo. Con la obtención de estos datos realizar una evaluación sobre la tasa de maduración, producción de nuevos individuos, etapas de viabilidad, medios de dispersión, tasa de establecimiento seguro, crecimiento, desarrollo e importancia de la reproducción, en ciertos casos. Por último, analizar el riesgo de factores físicos, químicos y biológicos, como, incidencia de incendios, capacidad competitiva y resistencia a factores natural o externos. Adicional, se puede tomar en cuenta algunos factores, como, proceso de crecimiento-desarrollo, año de naturalización,

distribución espacial, impactos sobre áreas aledañas, zonas bioclimáticas favorables para las especies exóticas y tiempo de recuperación para especies endémicas.

Conclusiones

Desde el descubrimiento del archipiélago de Galápagos existe información importante para entender la evolución de las especies en general. Es un ecosistema que engloba gran biodiversidad de flora y fauna. Posee grandes maravillas naturales, playas, mar, arena, cultura etc. Todos estos factores hacen de esta isla un lugar paradisiaco digno de apreciar. Sin embargo, desde la llegada del hombre a los aposentos de la isla, ha existido introducción de especies ajenas al ecosistema natural. Las cuales, han ocasionado grandes males en contra de la flora y fauna nativa, así como, daño hacia el medio ambiente insular.

A pesar que las especies exóticas brindan economía para los moradores, también perjudican al equilibrio ecosistémico de la región. En la actualidad existe un enorme listado con las especies invasoras que habitan esta región. Dentro de esta categoría se puede encontrar especies inofensivas y de mayor preocupación, como, *Psidium guajava* misma que compite a diario con las especies endémicas del lugar, cambia la estructura del suelo, disminuye los nutrientes esenciales para la flora endémica y desplaza otro tipo de especies vegetales, incluso las puede llegar a extinguir.

Así mismo, en el caso de *Rattus norvegicus* ocasiona grandes daños hacia la fauna endémica, en especies a las crías de la fauna local. Por ello, se recomienda acciones inmediatas por parte de las entidades encargadas del control y erradicación de las especies exóticas en el archipiélago de Galápagos. Dentro de estas acciones, se puede implementar un sistema de cuarentena en los sitios de entrada a la isla. También, actividades integrales, como, mingas, educación ambiental, puntos de control, drones, sistemas de geolocalización, aplicaciones móviles para informar una especie invasora en determinada área y en tiempo real. Todas estas medidas se las debe cumplir mediante alianzas internas y externas, con organizaciones que financien todas las herramientas adecuadas para control y erradicación de las especies invasoras presentes y futuras dentro del archipiélago de Galápagos.

Referencias

1. Collins, K.; Keith, I.; Dawson, T.P. Chapter 15 - Countering the threat of invasive species to the Galapagos marine reserve. In; Humphreys, J., Clark, R.W.E.B.T.-M.P.A., Arg.; Elsevier, 2020; or. 285–298 ISBN 978-0-08-102698-4.
2. Ballesteros-Mejia, L.; Angulo, E.; Diagne, C.; Cooke, B.; Nuñez, M.A.; Courchamp, F. Economic costs of biological invasions in Ecuador: the importance of the Galapagos Islands. *NeoBiota* 2021, 67, 375–400.
3. Holmes, N.D.; Spatz, D.R.; Opper, S.; Tershy, B.; Croll, D.A.; Keitt, B.; Genovesi, P.; Burfield, I.J.; Will, D.J.; Bond, A.L.; et al. Globally important islands where eradicating invasive mammals will benefit highly threatened vertebrates. *PLoS One* 2019, 14, e0212128.
4. Cayot, L.J.; Campbell, K.; Carrión, V. Chapter 19 - Invasive species: Impacts, control, and eradication. In *Biodiversity of World: Conservation from Genes to Landscapes*; Gibbs, J.P., Cayot, L.J., Aguilera, W.T.B.T.-G.G.T., Arg.; Academic Press, 2021; or. 381–399 ISBN 978-0-12-817554-5.
5. Bacher, S.; Blackburn, T.M.; Essl, F.; Genovesi, P.; Heikkilä, J.; Jeschke, J.M.; Jones, G.; Keller, R.; Kenis, M.; Kueffer, C.; et al. Socio-economic impact classification of alien taxa (SEICAT). *Methods Ecol. Evol.* 2018, 9, 159–168, doi:<https://doi.org/10.1111/2041-210X.12844>.
6. Escobar-Camacho, D.; Rosero, P.; Castrejón, M.; Mena, C.F.; Cuesta, F. Oceanic islands and climate: using a multi-criteria model of drivers of change to select key conservation areas in Galapagos. *Reg. Environ. Chang.* 2021, 21, 47.
7. Diagne, C.; Catford, J.A.; Essl, F.; Nuñez, M.A.; Courchamp, F. What are the economic costs of biological invasions? A complex topic requiring international and interdisciplinary expertise. *NeoBiota* 2020, 63, 25–37.
8. Torres, M. de L.; Urquía, D.; Moyle, L.; Gibson, M.; Vision, T.; Reatini, B. Unravelling the Interactions Between Endemic and Invasive Plant Species in the Galapagos Islands. In *Island Ecosystems: Challenges to Sustainability*; Springer, 2023; or. 169–186.
9. Carrión-Klier, C.; Moity, N.; Sevilla, C.; Rueda, D.; Jäger, H. The importance of very-high-resolution imagery to map invasive plant species: Evidence from Galapagos. *Land* 2022, 11, 2026.

10. Monar-Nuñez, J.; Mestanza-Ramón, C.; Guala-Alulema, P.; Montenegro-Zambrano, Y.; Herrera-Chávez, R.; Milanes, C.B.; Arguello-Guadalupe, C.; Buñay-Guisñan, P.; Toledo-Villacís, M. A Review to Update the Protected Areas in Ecuador and an Analysis of Their Main Impacts and Conservation Strategies. *Environments* 2023, 10.
11. Walentowitz, A.; Manthey, M.; Bentet Preciado, M.B.; Chango, R.; Sevilla, C.; Jäger, H. Limited natural regeneration of unique *Scalesia* forest following invasive plant removal in Galapagos. *PLoS One* 2021, 16, e0258467.
12. Dueñas, A.; Jiménez-Uzcátegui, G.; Bosker, T. The effects of climate change on wildlife biodiversity of the Galapagos Islands. *Clim. Chang. Ecol.* 2021, 2, 100026.
13. Laso, F. Galapagos is a Garden. *L. Cover L. Use Chang. Islands Soc. Ecol. Threat. to Sustain.* 2020, 137–166.
14. Shackleton, R.T.; Bertzky, B.; Wood, L.E.; Bunbury, N.; Jäger, H.; van Merm, R.; Sevilla, C.; Smith, K.; Wilson, J.R.U.; Witt, A.B.R.; et al. Biological invasions in World Heritage Sites: current status and a proposed monitoring and reporting framework. *Biodivers. Conserv.* 2020, 29, 3327–3347, doi:10.1007/s10531-020-02026-1.
15. Jimenez, I.; Vega-Mariño, P.; Villacres, T.; Houck, E. Review of One Health in the Galápagos Islands (Part 1): Historical Perspective, Invasive Species, and Emerging Infectious Diseases. 2023.
16. Paltán, H.A.; Benitez, F.L.; Rosero, P.; Escobar-Camacho, D.; Cuesta, F.; Mena, C.F. Climate and sea surface trends in the Galapagos Islands. *Sci. Rep.* 2021, 11, 14465.
17. Mena, C.F.; Quiroga, D.; Walsh, S.J. Threats to sustainability in the Galapagos Islands: A social–ecological perspective. In *The Elgar companion to geography, transdisciplinarity and sustainability*; Edward Elgar Publishing, 2020; or. 342–358 ISBN 178643010X.
18. Ramirez, I.E.; Yar, J.; Sinclair, B.J.; Torres, A.K.; Causton, C.E.; Heimpel, G.E. Competition among invasive and endemic carrion fly species in the Galapagos Islands with implications for biological control risk assessment. *Insect Conserv. Divers.* 2024, 17, 409–418.
19. Coloma, A.; Anchundia, D.; Piedrahita, P.; Pike, C.; Fessl, B. Observations on the nesting of the Galapagos dove *Zenaida galapagoensis* in Galapagos, Ecuador. *Galapagos Res* 2020, 69, 34–38.

20. Riegl, B.; Walentowitz, A.; Sevilla, C.; Chango, R.; Jäger, H. Invasive blackberry outcompetes the endemic Galapagos tree daisy *Scalesia pedunculata*. *Ecol. Appl.* 2023, 33, e2846.
21. Alomía Herrera, I.; Paque, R.; Maertens, M.; Vanacker, V. History of land cover change on Santa Cruz Island, Galapagos. *Land* 2022, 11, 1017.
22. Re, V.; Rizzi, J.; Tuci, C.; Tringali, C.; Mancin, M.; Mendieta, E.; Marcomini, A. Challenges and opportunities of water quality monitoring and multi-stakeholder management in small islands: the case of Santa Cruz, Galápagos (Ecuador). *Environ. Dev. Sustain.* 2023, 25, 3867–3891.
23. Hunt, C.A.; Honey, M.; Frenkiel, K. The Galapagos Islands, Ecuador. *Overtourism Lessons a Better Future*. 2021, 215–226.
24. Cooke, S.C.; Anchundia, D.; Caton, E.; Haskell, L.E.; Jäger, H.; Kalki, Y.; Mollá, Ó.; Rodríguez, J.; Schramer, T.D.; Walentowitz, A. Endemic species predation by the introduced smooth-billed ani in Galápagos. *Biol. Invasions* 2020, 22, 2113–2120.
25. Jones, J.S.; Porter, A.; Muñoz-Pérez, J.P.; Alarcón-Ruales, D.; Galloway, T.S.; Godley, B.J.; Santillo, D.; Vagg, J.; Lewis, C. Plastic contamination of a Galapagos Island (Ecuador) and the relative risks to native marine species. *Sci. Total Environ.* 2021, 789, 147704, doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147704>.
26. Laso, F.J. *Agriculture, wildlife, and conservation in the Galapagos Islands* 2021.
27. Jäger, H.; San-José, M.; Peabody, C.; Chango, R.; Sevilla, C. Restoring the threatened *Scalesia* forest: insights from a decade of invasive plant management in Galapagos. *Front. For. Glob. Chang.* 2024, 7, 1350498.
28. Zehetner, F.; Gerzabek, M.H.; Shellnutt, J.G.; Ottner, F.; Lüthgens, C.; Miggins, D.P.; Chen, P.-H.; Candra, I.N.; Schmidt, G.; Rechberger, M. V; et al. Linking rock age and soil cover across four islands on the Galápagos archipelago. *J. South Am. Earth Sci.* 2020, 99, 102500, doi:<https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102500>.
29. Life, E. *Galápagos Derailed. Exuberant Life An Evol. Approach to Conserv. Galápagos* 2021, 83.
30. Jones, J.S.; Guézou, A.; Medor, S.; Nickson, C.; Savage, G.; Alarcón-Ruales, D.; Galloway, T.S.; Muñoz-Pérez, J.P.; Nelms, S.E.; Porter, A. Microplastic distribution and composition

- on two Galápagos island beaches, Ecuador: Verifying the use of citizen science derived data in long-term monitoring. *Environ. Pollut.* 2022, 311, 120011.
31. Reatini, B.; de Lourdes Torres, M.; Vision, T.J. Local exclusion and regional decline of an endemic Galápagos tree species (*Psidium galapageium*) by an invasive relative (*P. guajava*). *bioRxiv* 2022, 2010–2022.
 32. MacLeod, A.; Cooke, S.C.; Trillmich, F. The spatial ecology of invasive feral cats *Felis catus* on San Cristóbal, Galápagos: first insights from GPS collars. *Mammal Res.* 2020, 65, 621–628.
 33. Cruz, F.; Josh Donlan, C.; Campbell, K.; Carrion, V. Conservation action in the Galápagos: feral pig (*Sus scrofa*) eradication from Santiago Island. *Biol. Conserv.* 2015, 121, 473–478, doi:<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2004.05.018>.
 34. Urquía, D.; Gutierrez, B.; Pozo, G.; Pozo, M.J.; Torres, M. de L. Origin and dispersion pathways of guava in the Galapagos Islands inferred through genetics and historical records. *Ecol. Evol.* 2021, 11, 15111–15131.
 35. Grube, A.M.; Stewart, J.R.; Ochoa-Herrera, V. The challenge of achieving safely managed drinking water supply on San Cristobal island, Galápagos. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 2020, 228, 113547.
 36. Monar, J.; Guala, P. Presencia de metilmercurio en ictiofauna del Cantón Cáscales debido a minería aurífera; minería artesanal y de pequeña escala (MAPE). 2022.
 37. Nuñez-Estrada, S.; Burgos-Obando, G.; Valdez-Elizalde, R.; Nuñez-Estrada, B.; Nuñez-Estrada, M.; Monar-Monar, W. Implementación de metodología TINI: Formación ambiental en educación básica. *Green World J.* 2024, 07, 133, doi:10.53313/gwj72133.
 38. Kricher, J.; Loughlin, K. *Galápagos: A Natural History Second Edition*; Princeton University Press, 2022; ISBN 0691217246.
 39. Moore, R. *Galápagos: an encyclopedia of geography, history, and culture*; Bloomsbury Publishing USA, 2021; ISBN 1440864705.
 40. Chaves, J.A.; Martinez-Torres, P.J.; Depino, E.A.; Espinoza-Ulloa, S.; García-Loor, J.; Beichman, A.C.; Stervander, M. *Galápagos: an encyclopedia of geography, history, and culture*. *Diversity* 2020, 12, 425.
 41. Cayot, L.J. The history of Galapagos tortoise conservation. In *Galapagos giant tortoises*; Elsevier, 2021; or. 333–353.

42. Mauchamp, A. Threats from alien plant species in the Galápagos Islands. *Conserv. Biol.* 1997, 260–263.
43. Porter, D. *Journal of a cruise made to the Pacific Ocean*; Wiley & Halsted, 1822; Libk. 1;
44. Gibson, M.J.S.; de Lourdes Torres, M.; Brandvain, Y.; Moyle, L.C. Reconstructing the history and biological consequences of a plant invasion on the Galápagos islands. *BioRxiv* 2020, 2009–2020.
45. Gibson, M.J.S.; de Lourdes Torres, M.; Moyle, L.C. Local extirpation is pervasive among historical populations of Galápagos endemic tomatoes. *Evol. Ecol.* 2020, 34, 289–307.
46. Stahl, P.W.; Astudillo, F.J.; Jamieson, R.W.; Quiroga, D.; Delgado, F. *Historical ecology and archaeology in the Galápagos Islands: A legacy of human occupation*; University Press of Florida, 2020; ISBN 0813057388.
47. Anderson, E.B. Invasion on So Grand a Scale: Darwin, Lyell, and Invasive Species. *J. Hist. Biol.* 2024, 1–23.
48. Espinosa, A. *A Synthesis of the Galápagos: Natural History, Human Conflict, and the Destiny of an Archipelago*; Cambridge Scholars Publishing, 2024; ISBN 103640188X.
49. Cisneros-Heredia, D.F.; Reyes-Puig, C. Natural history and conservation of the Galápagos snake radiation. *Islands Snakes Divers. Conserv.* 2023, 2, 157.
50. Anchundia, D.; Fessl, B. The conservation status of the Galapagos Martin Progne modesta: Assessment of historical records and results of recent surveys. *Bird Conserv. Int.* 2021, 31, 129–138.
51. Vision, T.; Reatini, B. Unravelling the Interactions Between Endemic and Invasive Plant Species in the Galapagos Islands María de Lourdes Torres, Diego Urquía, Leonie Moyle, Matt Gibson. *Isl. Ecosyst. Challenges to Sustain.* 2023, 169.