

Fibropapillomatosis in Sea Turtles (*Chelonia mydas*): Predisposing Factors, Impact on Animal and Human Health, and Management Strategies

Fibropapilomatosis en Tortugas Marinas (*Chelonia mydas*): Factores predisponentes, Impacto en la Salud Animal y Humana, y Estrategias de Manejo

Autores:

Salazar-Cantuña, Britany Camila
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
Carrera de Medicina Veterinaria
Riobamba - Ecuador



bsalazar8869@uta.edu.ec



<https://orcid.org/0009-0004-5308-3820>

Kelly-Alvear, Gerardo Enrique
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
Docente Tutor de Medicina Veterinaria
Ambato – Ecuador



ge.kelly@uta.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0002-8193-8791>

Fechas de recepción: 19-SEP-2025 aceptación: 21-NOV-2025 publicación: 30-DIC-2025



<https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>

<http://mqrinvestigar.com/>

Resumen

La fibropapilomatosis (FP) es una enfermedad tumoral emergente que afecta a poblaciones de tortugas marinas, principalmente *Chelonia mydas*, y constituye un modelo paradigmático de interacción entre factores virales, ambientales y antropogénicos. Su agente etiológico, el Chelonid alphaherpesvirus 5 (ChHV5), ha coevolucionado con las tortugas durante millones de años, pero las alteraciones climáticas, contaminación costera y la degradación de hábitats han favorecido su reactivación patológica. Este estudio revisa la evidencia reciente (2012–2024) sobre la etiología, patogénesis, epidemiología y estrategias de manejo de la FP, basada en literatura científica indexada en PubMed, Scopus y Web of Science. Los hallazgos destacan que la temperatura del agua, la eutrofización y la exposición a contaminantes orgánicos persistentes actúan como cofactores críticos que comprometen la inmunocompetencia y promueven la replicación viral. Asimismo, se observa una alta variabilidad geográfica en la prevalencia, alcanzando hasta 70 % en zonas tropicales con intensa actividad humana. Aunque la cirugía láser es el principal tratamiento disponible, la recurrencia tumoral y la falta de terapias antivirales eficaces limitan la recuperación. La FP no solo amenaza la supervivencia de las tortugas, sino también la estabilidad ecológica de los ecosistemas marinos y la salud humana asociada a prácticas de consumo ilegal. Se concluye que el abordaje de esta enfermedad requiere un enfoque integrado basado en el paradigma “Una Salud” (One Health), que vincule la conservación de la fauna marina, la salud pública y la mitigación de los factores ambientales subyacentes.

Palabras clave: fibropapilomatosis; chelonid alphaherpesvirus 5; tortuga verde (*Chelonia mydas*); factores ambientales; conservación marina.

Abstract

Fibropapillomatosis (FP) is an emerging tumoral disease affecting marine turtle populations, primarily *Chelonia mydas*, and represents a paradigmatic model of the interaction between viral, environmental, and anthropogenic factors. Its etiological agent, Chelonid alphaherpesvirus 5 (ChHV5), has coevolved with sea turtles for millions of years; however, climate change, coastal pollution, and habitat degradation have disrupted this equilibrium, leading to pathological reactivation. This review compiles recent evidence (2012–2024) on the etiology, pathogenesis, epidemiology, and management strategies of FP, based on scientific literature indexed in PubMed, Scopus, and Web of Science. Findings indicate that water temperature, eutrophication, and exposure to persistent organic pollutants act as critical cofactors that compromise immune competence and promote viral replication. Moreover, FP prevalence shows marked geographic variability, reaching up to 70% in tropical regions with intense human activity. Although laser surgery remains the most common clinical treatment, tumor recurrence and the absence of effective antiviral therapies significantly limit recovery outcomes. FP not only threatens sea turtle survival but also disrupts marine ecosystem stability and poses indirect public health risks in regions where turtle products are still consumed. The evidence underscores the need for an integrated approach grounded in the “One Health” framework, linking wildlife conservation, environmental management, and public health interventions to mitigate the persistence and transmission of ChHV5.

Keywords: fibropapillomatosis; chelonid alphaherpesvirus 5; green turtle (*Chelonia mydas*); environmental factors; marine conservation.

Introducción

Las tortugas marinas constituyen especies clave en los ecosistemas costeros y oceánicos, donde desempeñan funciones ecológicas esenciales como el control de comunidades bentónicas, el transporte de nutrientes y la regulación de hábitats coralinos y praderas marinas (Page, 2019). Entre ellas, *Chelonia mydas* (tortuga verde) está catalogada como especie en peligro según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), debido a la pérdida de hábitat, la contaminación marina, la captura incidental y la aparición de enfermedades infecciosas que amenazan su supervivencia (Wallace & Broderick, 2024). En las últimas décadas, la fibropapilomatosis (FP) ha emergido como una de las patologías de mayor impacto en poblaciones silvestres de *C. mydas*, con reportes en la mayoría de las regiones tropicales y subtropicales del planeta (Reséndiz et al., 2022).

El incremento en la prevalencia de esta enfermedad ha sido notorio en los últimos años, aunque con marcadas variaciones regionales. En Hawái, la prevalencia se redujo del 60 % a un 20–30 % (Dentlinger et al., 2024), en México, aumentó del 4,23 % al 53,85 % (Muñoz et al., 2022), en Brasil, el 15 % de las tortugas rehabilitadas presentaron FP (Cruz et al., 2024); y en Ecuador se reportaron tres casos (Cardenas & Arévalo, 2020). Esta variabilidad está asociada principalmente a la calidad ambiental de las zonas costeras, donde la contaminación incrementa la susceptibilidad de las tortugas, reduce su capacidad de evasión ante depredadores y compromete su recuperación poblacional (Liceaga et al., 2021)

A pesar de los esfuerzos internacionales para proteger a las tortugas marinas como su inclusión en el Apéndice I de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres y de las diversas normativas de conservación implementadas, persisten importantes vacíos en el conocimiento sobre el impacto sanitario y los factores predisponentes asociados a la FP. Esta falta de información limita el diseño de estrategias efectivas de manejo que permitan prevenir o mitigar la enfermedad (De Geer et al., 2022). La ausencia de acciones específicas no solo afecta directamente a las tortugas, sino que también genera consecuencias ecológicas negativas al comprometer la salud de los arrecifes de coral, los lechos de pastos marinos y las cadenas tróficas costeras (Garcês & Pires, 2022).

Las tortugas marinas cumplen un papel fundamental en la estabilidad ecológica de los océanos, al contribuir a la dinámica de nutrientes y a la salud de los hábitats marinos. Regulan las praderas marinas al alimentarse de ellas, favorecen el equilibrio de los arrecifes de coral y facilitan la transferencia de carbono y nitrógeno entre hábitats costeros y pelágicos (De Carvalho et al., 2015). No obstante, enfrentan múltiples amenazas, entre las cuales la FP destaca como una de las más significativas. Esta enfermedad no solo compromete la salud de las tortugas, sino también la integridad de los ecosistemas marinos y las comunidades humanas que dependen de ellos para actividades económicas como la pesca y el ecoturismo (Himpson et al., 2023).

Los principales factores predisponentes para el desarrollo de la FP incluyen la contaminación del agua, el cambio climático y la alta densidad poblacional en zonas costeras. La contaminación disminuye la respuesta inmunológica de las tortugas, mientras que el aumento de la temperatura del mar puede favorecer la replicación y reactivación del virus. Asimismo, la concentración de individuos en hábitats costeros intensifica las oportunidades de transmisión del agente etiológico, elevando la incidencia de la enfermedad (Dujon et al., 2021). En consecuencia, la FP puede considerarse un bioindicador del deterioro ambiental, al reflejar los efectos combinados de la contaminación y el cambio climático sobre la fauna marina (Garcês & Pires, 2022).

El manejo de la FP debe contemplar tanto los factores ambientales como los clínicos, priorizando la protección de hábitats marinos y el control de las actividades humanas que deterioran la calidad del agua. Desde un enfoque farmacológico, se requiere el desarrollo de tratamientos antivirales que inhiban el Chelonid herpesvirus tipo 5 (ChHV5) y de terapias inmunológicas que fortalezcan la respuesta inmune de las tortugas. Estas acciones, combinadas con estrategias de conservación, programas de monitoreo poblacional y políticas de protección, pueden contribuir a mitigar la propagación de la enfermedad y mejorar la salud de las poblaciones silvestres (Dupont et al., 2024).

El monitoreo constante de las poblaciones afectadas por FP resulta esencial para adoptar medidas preventivas y gestionar adecuadamente los brotes. De igual forma, la investigación sobre antivirales y terapias inmunológicas representa un eje fundamental para fortalecer la capacidad de respuesta ante esta enfermedad. La integración de los esfuerzos de conservación, la regulación ambiental y los avances científicos puede reducir significativamente el impacto de la FP sobre las tortugas marinas y los ecosistemas que habitan (Reséndiz et al., 2022).

En este contexto, la presente revisión bibliográfica recopila y analiza la información científica sobre el impacto de la FP en la salud poblacional de las tortugas marinas, identificando los factores predisponentes y evaluando las estrategias de manejo disponibles. Este enfoque busca mejorar la comprensión de la dinámica de la enfermedad y orientar la implementación de acciones efectivas que mitiguen sus consecuencias, promoviendo la conservación de las tortugas marinas. De esta manera, el presente trabajo proporciona una base integradora para comprender la relación entre salud ambiental y conservación marina, y resalta la necesidad de estrategias interdisciplinarias bajo el enfoque One Health.

Material y métodos

Se realizó una revisión no sistemática de literatura científica publicada entre 2012 y 2024, con el propósito de recopilar y analizar información actual sobre la fibropapilomatosis en tortugas marinas, sus factores predisponentes y las estrategias de manejo implementadas. Las fuentes bibliográficas se obtuvieron de las bases de datos PubMed, Scopus, Web of Science,

SciELO y Google Scholar, seleccionadas por su relevancia y cobertura en temas de salud animal, ecología y biología marina.

Para la búsqueda se utilizaron los términos clave “fibropapillomatosis”, “marine turtles”, “predisposing factors”, “health impact” y “management strategies”, combinados mediante los operadores booleanos AND y OR para ampliar la recuperación de estudios pertinentes. Se incluyeron artículos científicos en inglés y español que abordaran aspectos etiológicos, ambientales o de manejo de la fibropapilomatosis en tortugas marinas, tanto en poblaciones silvestres como en cautiverio. Se excluyeron los trabajos con enfoque exclusivamente farmacológico, metodologías insuficientemente descritas o sin acceso al texto completo, así como documentos duplicados o no sometidos a revisión por pares.

Tras el proceso de depuración y selección, se analizaron 34 artículos considerados relevantes para los objetivos de esta revisión, los cuales se clasificaron según su enfoque principal (epidemiológico, etiológico, ambiental o de manejo) con el fin de facilitar el análisis comparativo y la interpretación de resultados.

Al tratarse de una revisión no sistemática, este estudio presenta limitaciones inherentes al método utilizado. Aunque la búsqueda bibliográfica fue amplia y sustentada en bases de datos especializadas, es posible que se hayan omitido investigaciones relevantes no indexadas o publicadas en idiomas distintos al inglés y al español. Además, no se aplicaron criterios cuantitativos de evaluación de calidad o riesgo de sesgo de los estudios incluidos, lo que restringe la posibilidad de realizar comparaciones estadísticas o metaanálisis.

La selección de los artículos se basó principalmente en la pertinencia temática y la disponibilidad del texto completo, lo cual podría introducir un sesgo de selección hacia estudios con resultados más accesibles o de mayor visibilidad. No obstante, esta revisión ofrece una síntesis actualizada, comparativa y contextualizada sobre la fibropapilomatosis en tortugas marinas, aportando una visión integral de los factores asociados, las implicaciones ecológicas y las estrategias de manejo que contribuyen a la conservación de la especie.

Resultados

Etiología y Patogénesis

En las tortugas marinas, la fibropapilomatosis (FP) es una enfermedad viral causada por el *Chelonid alphaherpesvirus 5* (*ChHV5*), un virus perteneciente a la familia Herpesviridae, subfamilia Alphaherpesvirinae, caracterizado por poseer un genoma de ADN bicatenario y una envoltura lipídica (Reséndiz et al., 2022). Su genoma, de aproximadamente 132 mil pares de bases, conserva la organización típica de los alphaherpesvirus, aunque incluye genes poco comunes como *F-M04*, *F-sial*, *F-lec1* y *F-lec2* que se asocian con mecanismos de evasión inmunológica y formación tumoral. Además, contiene quinasas del tipo US3, implicadas en la replicación viral y en la inhibición de la apoptosis celular, características que le confieren

un comportamiento híbrido capaz de favorecer la persistencia viral y el desarrollo de las lesiones tumorales propias de esta enfermedad (Ackermann et al., 2012)

Tras la infección, el *ChHV5* invade las células epiteliales del hospedador, desencadenando un proceso de replicación viral que induce la proliferación descontrolada de los tejidos afectados. Este crecimiento anómalo conduce a la formación de neoplasias localizadas principalmente en regiones tegumentarias flexibles, como las pterigopodias, la región cervical, las submandíbulas, la columna caudal y la zona pericloacal. En los casos más avanzados, las lesiones pueden extenderse a órganos viscerales internos, comprometiendo funciones vitales y aumentando la morbilidad de los individuos afectados (Page, 2019). Los tumores varían en tamaño y número, y su presencia afecta la movilidad, la alimentación y la capacidad reproductiva de las tortugas, lo que repercute directamente en su estado general de salud (Cruz et al., 2024).

La evolución de la FP está determinada por la persistencia crónica del virus dentro del organismo del hospedador. La respuesta inmunitaria insuficiente impide la eliminación completa del *ChHV5*, permitiendo su replicación continua y el consecuente daño celular. Este proceso genera un entorno favorable para la proliferación celular incontrolada, uno de los mecanismos fundamentales en el desarrollo de los tumores. La permanencia del virus en los tejidos infectados sustenta el crecimiento progresivo de las lesiones (Perrault et al., 2021)

Se ha propuesto que el *ChHV5* ha coexistido evolutivamente con las tortugas marinas durante al menos 8,9 millones de años, sin causarles daño significativo en condiciones ambientales estables (Garcês & Pires, 2022). Sin embargo, la alteración de estos equilibrios ecológicos por factores externos, como el aumento de la temperatura del agua y la presencia de contaminantes químicos, podría haber favorecido la reactivación viral y la expresión clínica de la enfermedad. En este sentido, investigaciones recientes demuestran que las áreas con altos niveles de contaminación presentan una mayor prevalencia de FP, lo que sugiere una relación directa entre el deterioro ambiental y la activación del virus en poblaciones naturales (Manes et al., 2023)

Signos Clínicos

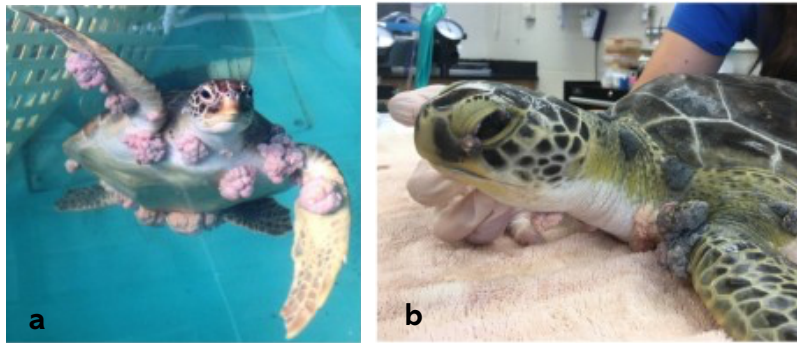
Los tumores asociados a la fibropapilomatosis (FP) se manifiestan como masas proliferativas que pueden aparecer en cualquier región del cuerpo de las tortugas marinas, presentando una amplia variedad de formas y texturas. Estas lesiones pueden adoptar morfologías de placas planas, nódulos pediculados, sésiles, verrucosos o lisos, cuya apariencia depende de la localización anatómica y de la gravedad de la enfermedad. Las infecciones secundarias bacterianas y fúngicas son frecuentes en las lesiones ulceradas, lo que agrava el cuadro clínico y retrasa los procesos de cicatrización (Garcês & Pires, 2022).

Los tumores viscerales, que generalmente se desarrollan de manera posterior a los cutáneos, presentan un curso más crónico y progresivo, y se clasifican histológicamente como fibromas, mixofibromas o fibrosarcomas. Las tortugas con formas graves de FP suelen

encontrarse debilitadas y mostrar alteraciones hematológicas y bioquímicas significativas, entre ellas anemia, leucopenia, linfopenia, hipoproteinemia, hipocalcemia e hiperglobulinemia, parámetros que reflejan una respuesta compatible con enfermedades crónicas y procesos inflamatorios persistentes (Li & Chang, 2020)

Además, los individuos afectados frecuentemente presentan comorbilidades asociadas, tales como infecciones bacterianas, fúngicas o parasitarias, trastornos digestivos, problemas de flotación y traumatismos derivados de colisiones con embarcaciones. Estas condiciones concomitantes no solo incrementan la mortalidad, sino que también dificultan los procesos de rehabilitación y recuperación en centros especializados (Page, 2019).

Figura 1. (a) Tortuga verde (*Chelonia mydas*) que presenta múltiples masas cutáneas exofíticas localizadas en las aletas y la región cervical. (b) Ejemplar de *Chelonia mydas* en evaluación clínica con lesiones nodulares visibles en las extremidades y en la zona periocular.



Fuente: (Duffy et al., 2018)

Transmisión

La transmisión del *ChHV5* ocurre principalmente de manera horizontal, a través del contacto directo entre tortugas infectadas, la liberación de fluidos corporales y la acción de vectores externos, especialmente las sanguijuelas del género *Ozobranchus*, consideradas potenciales transmisores mecánicos del virus (Dupont et al., 2024). Aunque se ha planteado la posibilidad de una transmisión vertical de madre a cría, hasta la fecha no existen evidencias concluyentes que confirmen este mecanismo en tortugas marinas (Reséndiz et al., 2022)

Además, diversos factores exógenos como la contaminación del agua, los cambios en la temperatura ambiental, la alta densidad poblacional, la presencia de otros patógenos y el estrés ambiental pueden favorecer la diseminación del virus y aumentar la susceptibilidad de los individuos a desarrollar la enfermedad (Monteiro et al., 2021). Estos elementos, combinados con las condiciones ecológicas locales, podrían explicar las diferencias observadas en la prevalencia de la fibropapilomatosis entre distintas poblaciones de tortugas marinas.

Un estudio realizado en la isla Mabul (Malasia) demostró la detección de *ChHV5* en múltiples especies de tortugas marinas, incluyendo la tortuga verde (*Chelonia mydas*), la tortuga carey

(*Eretmochelys imbricata*) y la tortuga olivácea (*Lepidochelys olivacea*). De un total de 63 individuos de tortuga verde analizados, 27 resultaron positivos para *ChHV5* mediante pruebas de PCR; asimismo, tres de cinco tortugas carey y un ejemplar de tortuga olivácea presentaron infección viral (Robben et al., 2023). Estos hallazgos confirman que la infección por *ChHV5* no se restringe a una sola especie, sino que afecta a diferentes quelonios marinos, evidenciando una amplia diversidad de huéspedes. Sin embargo, hasta el momento no se ha documentado susceptibilidad en otros grupos animales, como mamíferos o aves, lo que sugiere que la infección es específica de las tortugas marinas.

Epidemiología

La fibropapilomatosis (FP) afecta a diversas especies de tortugas marinas, especialmente en las aguas cálidas de regiones tropicales y subtropicales, con mayor incidencia en zonas costeras someras donde las condiciones ambientales favorecen la transmisión del virus (Vanstreels et al., 2023). Aunque la enfermedad se ha reportado en todas las especies de tortugas marinas, la tortuga verde (*Chelonia mydas*) presenta la mayor prevalencia, con variaciones geográficas y temporales en su incidencia (Manes et al., 2023)). La FP es particularmente común en individuos jóvenes que migran a hábitats costeros contaminados, donde la alta densidad poblacional y la presencia de patógenos ambientales incrementan el riesgo de infección (Reséndiz et al., 2022)

La prevalencia de FP muestra diferencias notables entre regiones. En Hawái, las tasas han oscilado entre 60 % en la década de 1990 y 20–30 % a partir del año 2000, con una correlación directa entre los niveles de contaminación y la incidencia de la enfermedad: las áreas más contaminadas registran hasta 40 % más casos que las zonas costeras abiertas (Dentlinger et al., 2024). En Florida, la prevalencia alcanza entre 50 y 60 % en ambientes con temperaturas cercanas a 26 °C, evidenciando que las temperaturas elevadas favorecen la infección y la proliferación tumoral, mientras que las bajas temperaturas ralentizan la progresión viral. Asimismo, se ha observado que las áreas con alta prevalencia de FP (≈70 %) presentan una mayor concentración de carbono orgánico en los sedimentos que aquellas con baja prevalencia (≈20 %). En Texas, la descarga fluvial y los cambios en salinidad se asocian con prevalencias superiores al 30 %, lo que sugiere que los contaminantes urbanos actúan como cofactores ambientales más que como causas directas de la enfermedad (Manes et al., 2022).

En México y Brasil también se han documentado incrementos significativos. En la Bahía de Akumal (México), la prevalencia de FP aumentó de 4,23 % en 2014 a 53,85 % en 2018, coincidiendo con la proliferación de sargazo y la eutrofización de las aguas costeras. Las tortugas más afectadas presentaban 50–80 cm de longitud curvada del caparazón (CCL), y durante 2016 y 2018 los individuos juveniles representaron el 69,96 % y 71,56 % de los casos, respectivamente, identificando a Akumal como un punto crítico para la enfermedad (Muñoz et al., 2022). En el norte de Brasil, en el estado de Pará, se registraron casos de FP

en tortugas juveniles en áreas como Curuçá, Salinópolis y Maracaná. En un Centro de Rehabilitación de Fauna, el 15 % de los ejemplares presentaron lesiones compatibles con FP, localizadas en aletas, cuello y región cloacal (Cruz et al., 2024).

En Ecuador, la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), en colaboración con el Centro de Rehabilitación de Fauna Marina del Parque Nacional Machalilla, ha desarrollado estudios desde 2015 sobre tortugas varadas en la región sur de Manabí, con el objetivo de contribuir a la conservación de la biodiversidad marina. En 2018, se reportaron por primera vez en el país tres casos de FP en tortugas hembra (Cardenas & Arévalo, 2020). Más recientemente, en 2024, se efectuó un análisis ambispectivo de lesiones en tortugas atendidas en el Parque Nacional Machalilla, sin que se registraran nuevos casos de FP, ya que la mayoría de las lesiones observadas se relacionaron con actividades antropogénicas (Vásquez, 2024).

Estos resultados reflejan que la FP se encuentra en expansión global y representa una amenaza creciente para las poblaciones de tortugas marinas. Sin embargo, persisten limitaciones metodológicas entre estudios, particularmente en la falta de estandarización de los protocolos de muestreo y análisis. La unificación de criterios para la recolección de datos y la aplicación de técnicas de laboratorio validadas internacionalmente son pasos esenciales para mejorar la comparabilidad entre investigaciones, identificar patrones epidemiológicos robustos y diseñar estrategias de control y manejo más efectivas (Dupont et al., 2024).

Tabla 1
Prevalencia de fibropapilomatosis en tortugas marinas por región geográfica

Región/ País	Prevalencia (%)	Factores asociados	Referencia
Hawái (EE. UU.)	20–30	Recuperación ambiental y zonas protegidas	Dentlinger et al., 2024
México	50	Eutrofización, sargazo, alta densidad poblacional	Muñoz et al., 2022
Brasil (norte y noreste)	15–58	Contaminación costera, carbono orgánico en sedimentos	Manes et al., 2023
Florida (EE. UU.)	50–60	Temperatura media 26 °C, contaminación orgánica	Manes et al., 2022
Ecuador (Machalilla)	Casos aislados (n=3)	Contaminación costera y turismo	Cárdenas & Arévalo, 2020

Factores ambientales asociados

Los factores ambientales desempeñan un papel determinante en la aparición, reactivación y propagación de la FP en tortugas marinas. Estas condiciones no solo favorecen la replicación del *ChHV5*, sino que también debilitan el sistema inmunológico de los individuos afectados, incrementando su susceptibilidad a la enfermedad y agravando su impacto sobre la salud poblacional (Jones et al., 2021). Sin embargo, algunos autores señalan que la relación directa entre inmunosupresión ambiental e infección viral activa aún no ha sido comprobada de forma concluyente (Dupont et al., 2024)

Entre los factores más influyentes se encuentra la temperatura del mar, que incide significativamente en la prevalencia y severidad de la FP. En Florida, se reportan tasas de infección del 50–60 % en aguas con temperaturas cercanas a 26 °C, lo que evidencia que las temperaturas elevadas comprometen la respuesta inmunológica y favorecen la proliferación tumoral. En contraste, las temperaturas más bajas tienden a ralentizar este proceso. Esta relación podría explicarse por la variación metabólica estacional de las tortugas, cuya actividad tisular aumenta durante los meses cálidos y disminuye en invierno, limitando así el crecimiento tumoral (Dujon et al., 2021; Manes et al., 2022)

El aumento de la temperatura también contribuye a la eutrofización marina, generando un exceso de compuestos nitrogenados que se acumulan en la dieta herbívora de las tortugas, especialmente a través de las algas, lo cual podría tener un papel clave en el desarrollo de la enfermedad (Garcês & Pires, 2022). En Texas, se ha observado una prevalencia del 70 % de FP en zonas con altas concentraciones de carbono orgánico en los sedimentos, frente al 20 % en áreas menos contaminadas. Dichos sedimentos se acumulan en los pastos marinos (*Thalassia testudinum*), alimento principal de las tortugas verdes, aumentando su exposición a contaminantes. Aunque el carbono orgánico es un componente esencial del ecosistema, su exceso puede reflejar acidificación oceánica. Además, se ha identificado una correlación entre la FP y las concentraciones elevadas de fósforo, particularmente tras floraciones algales nocivas de *Protocentrum* spp., productoras de ácido okadaico, un reconocido promotor tumoral (Manes et al., 2022)

El incremento de la radiación ultravioleta (UV), asociado al cambio climático, también se ha vinculado a la aparición de tumores en tortugas infectadas con *ChHV5*. Los rayos UVB inducen daño genético y mutaciones en el ADN, procesos que favorecen la oncogénesis (Whilde et al., 2024; Nash & Ryan, 2023). Paralelamente, la contaminación por aguas residuales afecta la inmunocompetencia de las tortugas marinas, debilitando sus defensas y facilitando tanto la infección viral como la progresión tumoral (Nash & Ryan, 2023). En Brasil, se ha demostrado una relación directa entre la calidad del agua y la prevalencia de FP: los hábitats degradados registran tasas del 58,3 %, frente al 15,4 % en áreas con menor contaminación (Manes et al., 2023).

Diversos contaminantes, como los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), los bifenilos policlorados (PCB) y los pesticidas organoclorados, han sido asociados con procesos oncogénicos en fauna acuática y están catalogados entre los contaminantes más prevalentes y de mayor potencial tumorigénico (Patrício et al., 2021). En tortugas verdes se ha comprobado la bioacumulación de estas sustancias, registrándose concentraciones significativamente mayores de HAP y PCB en individuos con FP severa en comparación con tortugas clínicamente sanas (Albuquerque et al., 2021).

La interacción entre contaminación y estrés ambiental amplifica los efectos negativos de la enfermedad. En regiones con alta densidad poblacional y contaminación significativa, como

la Bahía de Kaneohe (Hawái), la prevalencia supera el 70 % (Dentlinger et al., 2024). Este patrón responde a un círculo vicioso donde los contaminantes deterioran la inmunidad, mientras el estrés ambiental potencia la replicación viral, agravando la enfermedad (A. B. Silva et al., 2022).

Ante esta situación, se han propuesto estrategias de mitigación centradas en la reducción de la contaminación y el estrés ambiental. La implementación de áreas marinas protegidas ha demostrado ser una medida eficaz: en zonas protegidas de Hawái, la prevalencia de FP disminuyó aproximadamente un 15 % en una década ((Dentlinger et al., 2024). Asimismo, el control de descargas industriales y agrícolas constituye una acción prioritaria para reducir la contaminación química en hábitats críticos (Arienzo, 2023).

Tabla 2
Factores ambientales vinculados al desarrollo de fibropapilomatosis

Factor Ambiental	Efecto sobre la enfermedad	Referencia
Aumento de la temperatura marina	Favorece replicación viral y proliferación tumoral	Dujon et al., 2021; Manes et al., 2022
Radiación ultravioleta (UV)	Induce mutaciones genéticas en queratinocitos	Whilde et al., 2024; Nash & Ryan, 2023
Eutrofización (nitrógeno/fósforo)	Acumulación de toxinas algales y estrés inmunológico	Garcês & Pires, 2022
Contaminantes orgánicos (HAP, PCB)	Disrupción inmune y efectos oncogénicos	Albuquerque et al., 2021; Patrício et al., 2021
Alta densidad poblacional de tortugas	Incrementa contacto directo y transmisión viral	Reséndiz et al., 2022

Impacto en la salud animal y humana

La FP impacta de manera directa en la salud, supervivencia y función ecológica de las tortugas marinas, y de forma indirecta afecta los ecosistemas marinos, las economías locales y el patrimonio cultural de las comunidades costeras. La reducción de las poblaciones de tortugas, especies clave en la dinámica de los arrecifes de coral y los pastos marinos, altera el equilibrio ecológico y compromete servicios ecosistémicos esenciales para la pesca y el ecoturismo (Garcês & Pires, 2022; E. Da Silva et al., 2019).

Las tortugas afectadas por FP presentan menores probabilidades de alcanzar la madurez sexual, ya que las lesiones tumorales y el deterioro fisiológico disminuyen su condición corporal y su capacidad reproductiva, afectando negativamente la viabilidad y estabilidad de las poblaciones (Dujon et al., 2021). En el caso de la tortuga verde (*Chelonia mydas*), su alimentación basada en pastos marinos como *Thalassia testudinum*, *Halodule wrightii* y *Syringodium filiforme* contribuye a mantener la productividad y la estabilidad ecológica de los ecosistemas costeros (Suárez et al., 2020; Manes et al., 2023). Al controlar el crecimiento de estos pastos, las tortugas mejoran la calidad del agua, estabilizan los sedimentos y favorecen la biodiversidad marina. Por su parte, la tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*) consume esponjas de los géneros *Geodia*, *Spirastrella* y *Chondrilla*, regulando sus poblaciones y evitando la competencia con los corales, lo que mantiene la diversidad y

funcionalidad de los arrecifes (E. Da Silva et al., 2019). Por tanto, la disminución de las poblaciones de tortugas ocasionada por la FP representa una amenaza para la biodiversidad y la resiliencia de los ecosistemas marinos.

Diversos estudios han mostrado que la prevalencia de FP se asocia con zonas de intensa actividad humana y con la acumulación de contaminantes orgánicos persistentes, nutrientes y floraciones algales tóxicas como *Lyngbya majuscula*, posibles cofactores en la progresión de la enfermedad (Dentlinger et al., 2024). Asimismo, la interacción entre tortugas y humanos plantea riesgos zoonóticos potenciales. Aunque no se ha demostrado que los herpesvirus asociados a la FP sean transmisibles al ser humano, la manipulación de tortugas infectadas durante actividades de conservación, pesca o comercio ilegal puede exponer a las personas a otros patógenos oportunistas como *Salmonella* y *Vibrio spp.* (Whilde et al., 2024).

En comunidades costeras donde se continúa con el consumo tradicional de carne y huevos de tortuga, como en Machalilla y Esmeraldas (Ecuador), persiste el riesgo de infecciones zoonóticas bacterianas, fúngicas y parasitarias, además de la bioacumulación de contaminantes tóxicos presentes en los tejidos de las tortugas (De Geer et al., 2022). Estas sustancias incluyen metales pesados y bifenilos policlorados (PCB), los cuales pueden transferirse a los humanos a través de la dieta, provocando efectos adversos en la salud (Patrício et al., 2021). Así, el consumo de productos derivados de tortugas marinas no solo representa un riesgo sanitario, sino que también amenaza los esfuerzos de conservación y la sostenibilidad ecológica de las poblaciones.

En el ámbito socioeconómico, la FP genera impactos significativos en comunidades costeras dependientes del turismo asociado a las tortugas marinas. La presencia visible de animales enfermos reduce la percepción de valor ecológico y estético, afectando la actividad turística y desincentivando las iniciativas de ecoturismo sostenible (Jones et al., 2021). En Ecuador, destacan acciones locales de monitoreo y conservación comunitaria, como las impulsadas por el Parque Nacional Galápagos y la Fundación Equilibrio Azul en Machalilla, que buscan promover la protección de tortugas y la educación ambiental. De igual forma, programas de rehabilitación en centros especializados han demostrado ser herramientas eficaces para reducir la mortalidad y sensibilizar a las comunidades sobre la importancia de la salud de los océanos ((Dentlinger et al., 2024; Monteiro et al., 2021)

La interacción entre tortugas marinas y humanos puede constituir un riesgo sanitario, particularmente durante actividades de conservación o manipulación de ejemplares enfermos. Aunque no se ha demostrado la transmisión directa de los herpesvirus asociados a la FP, diversos estudios han identificado bacterias oportunistas como *Enterococcus cloacae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *P. putrefaciens*, *P. fluorescens*, *P. maltophila*, *P. putida*, *P. stutzeri*, *Burkholderia cepacia* y *Staphylococcus spp.* en tejidos, lavados broncoalveolares y lesiones oculares. Estos microorganismos, considerados patógenos secundarios, se desarrollan bajo condiciones de inmunosupresión o tras lesiones cutáneas, exacerbando el

cuadro clínico y evidenciando la interacción multifactorial entre agentes virales, bacterianos y ambientales en la salud de las tortugas marinas (Ebani, 2023).

Estas infecciones son un riesgo para la salud pública en zonas donde se consume carne y huevos de tortuga como parte de tradiciones locales. En Ecuador, esta práctica se observa especialmente en comunidades costeras de Manabí, en Machalilla y en Esmeraldas, en las Palmas donde la recolección de huevos y carne continúa a pesar de su protección legal. Esto no solo pone en peligro la salud humana, sino que también amenaza la conservación de las tortugas marinas y el equilibrio de los ecosistemas marinos (De Geer et al., 2022). De igual manera, La FP está asociada a contaminantes acumulados en sus tejidos, como metales pesados y PCB, que pueden transferirse a humanos al ingerir productos derivados de tortugas marinas, afectando su salud, lo que resalta la importancia de controlar la contaminación y proteger la fauna marina (Patrício et al., 2021).

Además, la FP y su manejo implican desafíos económicos y sociales, en las comunidades costeras que dependen del turismo relacionado con las tortugas, la enfermedad puede reducir la percepción del valor ecológico y cultural de las mismas, afectando iniciativas de conservación y ecoturismo sostenible. En Ecuador, destacan iniciativas como el monitoreo comunitario en las Galápagos, liderado por el Parque Nacional Galápagos, y los patrullajes en Machalilla a cargo de la Fundación Equilibrio Azul (Jones et al., 2021). El abordaje de la FP debe enmarcarse en el enfoque *Una Salud (One Health)*, que reconoce la interdependencia entre la salud animal, ambiental y humana. Este enfoque permite comprender la enfermedad como un indicador del deterioro ecológico, por lo que las estrategias de manejo deben integrar la conservación de las tortugas marinas con la protección de los ecosistemas y la gestión sostenible de las actividades humanas en el entorno costero. (Cruz et al., 2024).

Diagnóstico

El diagnóstico de la fibropapilomatosis (FP) en tortugas marinas se establece inicialmente mediante el examen clínico y la evaluación macroscópica de las lesiones tumorales, las cuales suelen presentarse como masas fibroepiteliales de aspecto variable según su grado de desarrollo y localización anatómica. Sin embargo, la confirmación definitiva requiere un análisis histopatológico de los fragmentos de tejido afectados. Las tinciones de hematoxilina y eosina (H&E) permiten evaluar la arquitectura tisular y la morfología celular, mientras que técnicas complementarias como la inmunohistoquímica y la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) facilitan la detección específica del *Chelonid alphaherpesvirus 5 (ChHV5)*, confirmando la etiología viral de las neoplasias y diferenciándolas de otras lesiones cutáneas o proliferativas (E. Da Silva et al., 2019).

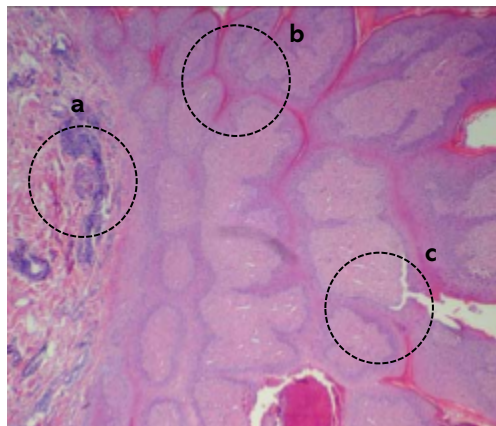
El diagnóstico histológico se basa en el análisis microscópico de biopsias cutáneas o viscerales, en las cuales se observan alteraciones características como engrosamiento epidérmico, formación de papilas digitiformes, hiperqueratosis moderada y proliferación fibroblástica en la dermis, con la presencia de tallos fibrovasculares que sostienen las

estructuras papilares. Un hallazgo distintivo es la presencia de cuerpos de inclusión intranucleares en los queratinocitos, considerados un marcador directo de infección por *ChHV5*. Además, es frecuente la observación de infiltrados inflamatorios compuestos principalmente por linfocitos y macrófagos en los márgenes de la lesión, lo cual refleja la respuesta inmunitaria local del hospedador (Suárez et al., 2020).

En conjunto, la integración de los hallazgos clínicos, histopatológicos y moleculares permite establecer un diagnóstico preciso y diferencial, fundamental para el manejo clínico de los ejemplares afectados y para comprender la dinámica patogénica del virus dentro de las poblaciones de tortugas marinas.

Figura 2.

Rasgos histológicos en la neoplasia de un ejemplar de tortuga verde (*Chelonia mydas*) (a) Hiperplasia epidérmica con proyecciones papilares, (b) Hiperqueratosis moderada, (c) Proliferación moderada de fibroblastos en la dermis



Fuente: (Suárez et al., 2020).

Estrategias de Manejo y Tratamiento

El manejo clínico de la FP en tortugas marinas se centra en la extirpación quirúrgica de los tumores, procedimiento que busca aliviar la carga tumoral y mejorar la funcionalidad del animal. La cirugía láser es la técnica preferida en aproximadamente el 70 % de los casos debido a su mayor precisión y a la menor lesión de los tejidos circundantes, mientras que el bisturí convencional continúa utilizándose en los casos restantes (Perrault et al., 2021). No obstante, presenta una recidiva cercana al 60%, lo que limita su eficacia (Duffy et al., 2018).

La severidad de los tumores se clasifica generalmente en una escala de tres niveles, donde el grado 1 representa lesiones leves y el grado 3 corresponde a cuadros severos (Liceaga et al., 2021). Sin embargo, esta clasificación tradicional presenta limitaciones debido a la heterogeneidad morfológica de los tumores. Con el fin de mejorar la objetividad, se ha

desarrollado un sistema visual estandarizado basado en fotografías digitales que permite una evaluación más precisa y homogénea del crecimiento tumoral (Dentlinger et al., 2024)

La probabilidad de recuperación está inversamente relacionada con la gravedad de las lesiones: a mayor severidad, menor es la posibilidad de liberación y mayor la probabilidad de muerte natural o eutanasia (A. B. Silva et al., 2022). Esto se debe a los efectos sistémicos de la FP, que incluyen desnutrición, anemia crónica, desequilibrios fisiológicos y debilitamiento inmunológico, los cuales complican el pronóstico clínico (Arienzo, 2023). Los tratamientos suelen requerir hospitalizaciones prolongadas: las tortugas que logran recuperarse permanecen bajo cuidados veterinarios intensivos por más de 200 días, mientras que aquellas con enfermedad avanzada suelen fallecer o ser sometidas a eutanasia durante la primera semana tras su ingreso (Nash & Ryan, 2023).

La eutanasia se considera principalmente en casos donde los tumores comprometen órganos internos vitales o causan lesiones externas graves, especialmente en ojos o vías respiratorias, representando más de la mitad de las intervenciones de este tipo. En regiones con recursos limitados para la rehabilitación, su aplicación es más frecuente por razones logísticas y éticas (Manes et al., 2022).

La recurrencia tumoral posterior a la cirugía constituye uno de los principales desafíos del manejo clínico. La regresión espontánea de los tumores es un fenómeno poco común y escasamente documentado, lo que evidencia vacíos en el conocimiento sobre la respuesta inmunológica y virológica de la enfermedad (Monteiro et al., 2021). Se han documentado reapariciones de tumores en tortugas tratadas y liberadas, lo que subraya la importancia de realizar un seguimiento post-liberación a largo plazo (A. B. Silva et al., 2022). No obstante, algunos ejemplares han alcanzado la madurez sexual y logrado reproducirse exitosamente, demostrando que la recuperación funcional es posible con un manejo adecuado y programas de rehabilitación bien estructurados (Whilde et al., 2024).

Algunos protocolos experimentales incluyen el uso de medicamentos antivirales (como aciclovir) y agentes antineoplásicos (como 5-fluorouracilo y bleomicina). Sin embargo, su aplicación sigue siendo limitada debido a su eficacia variable, efectos adversos potenciales y restricciones de acceso en la mayoría de los centros de rehabilitación (Suárez et al., 2020).

En este contexto, las estrategias de manejo y tratamiento deben basarse en una evaluación integral de la severidad tumoral y considerar un enfoque multidimensional que combine cuidados clínicos intensivos, soporte nutricional, control de infecciones secundarias y monitoreo continuo para detectar recurrencias (Liceaga et al., 2021). Aunque la rehabilitación y liberación de ejemplares son posibles, el éxito del tratamiento depende en gran medida del estado clínico inicial y de la calidad del manejo veterinario.

Discusión

La fibropapilomatosis (FP) en tortugas marinas constituye un paradigma contemporáneo de enfermedad infecciosa multifactorial en fauna silvestre, en la que convergen factores virales, ambientales y antropogénicos que alteran el equilibrio ecológico de las poblaciones. Diversos estudios coinciden en que el *ChHV5*, agente etiológico de la FP, mantiene una relación de coevolución ancestral con *Chelonia mydas* que podría datar de más de ocho millones de años, sin manifestaciones clínicas significativas hasta las últimas décadas (Garcês & Pires, 2022). Sin embargo, los cambios climáticos, la contaminación costera y la degradación de hábitats han perturbado este equilibrio evolutivo, favoreciendo la reemergencia patológica con implicaciones ecológicas, sanitarias y de conservación (Reséndiz et al., 2022; Dujon et al., 2021).

El desarrollo y la expresión clínica del *ChHV5* dependen estrechamente de las condiciones ambientales que modulan la inmunocompetencia de las tortugas marinas. Estudios de Dujon et al. (2021) y Manes et al. (2022) demuestran que factores como la temperatura del agua y la eutrofización actúan como cofactores críticos, al facilitar la replicación viral y disminuir la eficacia inmunológica del hospedador. En Florida, por ejemplo, las tasas de prevalencia alcanzan entre 50 y 60 % a temperaturas cercanas a 26 °C, mientras que en regiones más templadas los valores son considerablemente menores (Manes et al., 2022). Este patrón se complementa con los hallazgos de Whilde et al. (2024) y Nash y Ryan (2023), quienes asocian la radiación ultravioleta (UVB) con un incremento en las mutaciones genéticas de los queratinocitos, potenciando los mecanismos oncogénicos del virus.

La contaminación costera constituye otro factor determinante en la epidemiología de la FP. Sustancias como los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y los bifenilos policlorados (PCB), reconocidas por su acción mutagénica y disruptora endocrina, se han detectado en altas concentraciones en tejidos de tortugas afectadas, especialmente en los casos graves (Albuquerque et al., 2021; Patrício et al., 2021). Estos compuestos alteran los mecanismos de apoptosis y respuesta inmune, prolongando la persistencia viral y favoreciendo la progresión neoplásica (Ackermann et al., 2012). En el mismo sentido, Manes et al. (2023) evidencian que la prevalencia de FP puede superar el 58 % en hábitats degradados de Brasil, en contraste con el 15 % reportado en áreas conservadas, confirmando la correlación entre degradación ambiental y riesgo infeccioso.

Los efectos sistémicos de la FP, descritos por Li y Chang (2020) y Perrault et al. (2021), incluyen anemia, hipoproteinemias y linfopenia, indicadores de enfermedad crónica que comprometen el metabolismo y la respuesta inmunitaria. Estas alteraciones, junto con infecciones bacterianas o micóticas secundarias, reducen drásticamente la tasa de supervivencia y la probabilidad de liberación exitosa tras la rehabilitación, estimada en alrededor del 23 % (De Carvalho et al., 2015; A. B. Silva et al., 2022). La recurrencia tumoral

postquirúrgica es frecuente, lo que sugiere una latencia viral persistente en los tejidos del hospedador (Monteiro et al., 2021).

La distribución geográfica de la FP refleja la interacción entre factores ambientales y presión antropogénica. En Hawái, la prevalencia actual se mantiene entre 20 y 30 %, tras haber alcanzado hasta 60 % en décadas anteriores, atribuida a la mejora ambiental y a la implementación de áreas marinas protegidas (Dentlinger et al., 2024). En contraste, en la Bahía de Akumal (México), la prevalencia se elevó de 4.23 % en 2014 a 53.85 % en 2018, coincidiendo con la eutrofización de las aguas y la proliferación de sargazo (Muñoz et al., 2022). Estas diferencias regionales confirman que las medidas de manejo ambiental tienen un impacto directo en la dinámica epidemiológica de la enfermedad.

En Ecuador, aunque los casos confirmados son recientes y limitados a tres individuos (Cárdenas & Arévalo, 2020), las condiciones costeras temperaturas elevadas, descargas urbanas y turismo intensivo podrían favorecer la expansión de la FP hacia nuevas zonas. Esto hace indispensable fortalecer los programas de vigilancia epidemiológica, así como estandarizar los protocolos de diagnóstico, ya que la falta de homogeneidad metodológica dificulta la comparación interregional de datos (Dupont et al., 2024).

En términos clínicos, el tratamiento de la FP se basa en la escisión quirúrgica de los tumores y en cuidados prolongados de soporte. La cirugía láser, utilizada en el 70 % de los casos, ofrece ventajas por su mayor precisión y menor daño tisular (Perrault et al., 2021). No obstante, la alta recurrencia tumoral y la ausencia de terapias antivirales eficaces limitan la recuperación total. Algunos autores han propuesto el uso experimental de aciclovir y 5-fluorouracilo como adyuvantes terapéuticos, aunque su aplicación clínica sigue siendo esporádica (Suárez et al., 2020). Duffy et al. (2018) demostraron que el 5-fluorouracilo (5-FU) como terapia adyuvante reduce la recurrencia de tumores oculares del 67% al 18% mediante su aplicación tópica al 1% durante ocho semanas. Aunque eficaz en lesiones superficiales, su efecto es limitado en tumores profundos o internos. Por ello, se proponen nuevos blancos terapéuticos basados en el perfil transcriptómico, incluyendo inhibidores de las vías Wnt, SHH, MAPK, EGFR y TGF- β , como vismodegib, para el desarrollo de tratamientos más específicos y menos invasivos. En este contexto, la prevención y mitigación de los factores predisponentes adquieren un papel más relevante que el tratamiento individual de los casos clínicos.

Desde una perspectiva ecológica y sanitaria, la FP debe ser entendida como un indicador biológico del deterioro ambiental. Su presencia refleja la sinergia entre contaminación, cambio climático y presión humana sobre los ecosistemas marinos (Garcês & Pires, 2022). La reducción de las poblaciones de tortugas marinas provoca efectos ecológicos en cascada, afectando la dinámica de los pastos marinos, la estabilidad de los arrecifes de coral y los servicios ecosistémicos asociados a la pesca y el turismo (E. Da Silva et al., 2019; Himpson et al., 2023).

Aunque el *ChHV5* no presenta evidencia de transmisión zoonótica directa, la manipulación de tortugas infectadas o el consumo ilegal de sus productos pueden representar un riesgo indirecto de exposición a patógenos concomitantes como *Salmonella* spp. o *Vibrio* spp. (Whilde et al., 2024; De Geer et al., 2022). Este vínculo sanitario y ambiental sustenta la necesidad de abordar la FP bajo el marco de Una Salud (One Health), integrando los ejes de conservación, salud pública y gestión ambiental (Cruz et al., 2024).

Así, la fibropapilomatosis en *Chelonia mydas* debe considerarse una enfermedad emergente impulsada por la degradación ambiental y el cambio climático. Su control requiere un enfoque interdisciplinario que combine la investigación virológica, la restauración de hábitats, la educación ambiental y la cooperación internacional. Las evidencias revisadas confirman que la sostenibilidad de las poblaciones de tortugas marinas depende no solo del tratamiento médico, sino también de la mitigación de los factores ambientales que facilitan la persistencia y transmisión del virus. En este sentido, la aplicación coordinada de estrategias basadas en el enfoque “Una Salud” representa la vía más efectiva para garantizar la conservación de la especie y la resiliencia de los ecosistemas marinos.

Conclusiones

La FP constituye una amenaza significativa para las tortugas marinas, especialmente *Chelonia mydas*, al comprometer su supervivencia y alterar su función ecológica dentro de los ecosistemas marinos. Los hallazgos recopilados confirman que esta enfermedad tiene un impacto multidimensional, afectando no solo la salud poblacional de las tortugas, sino también la biodiversidad marina, la estabilidad de los ecosistemas costeros y el bienestar de las comunidades humanas que dependen de ellos.

Entre los factores predisponentes más relevantes se identifican la contaminación costera, la eutrofización y el cambio climático, que actúan como catalizadores en la reactivación del *ChHV5* y en la proliferación de algas tóxicas. Estos elementos, junto con la degradación de hábitats y la acumulación de contaminantes orgánicos persistentes, intensifican la susceptibilidad inmunológica y favorecen la propagación de la enfermedad.

Las estrategias actuales de manejo se centran en la extirpación quirúrgica de los tumores, preferentemente mediante cirugía láser, complementada con cuidados veterinarios integrales que incluyen soporte nutricional, control de infecciones secundarias y rehabilitación prolongada. No obstante, la recurrencia tumoral, la variabilidad en la respuesta terapéutica y la limitada infraestructura en centros de rescate reflejan la necesidad de enfoques más eficaces y sostenibles.

Para mitigar el impacto de la FP, es fundamental implementar programas de vigilancia epidemiológica continua en *C. mydas*, empleando herramientas diagnósticas avanzadas como histopatología, inmunohistoquímica y PCR. Paralelamente, deben fortalecerse las políticas de conservación mediante la reducción de la contaminación costera, la restauración de hábitats y la creación de áreas marinas protegidas. Finalmente, la integración del enfoque “Una Salud” (One Health) que vincula la salud animal, ambiental y humana constituye la estrategia más efectiva para garantizar la conservación de las tortugas marinas y la resiliencia de los ecosistemas marinos frente a los desafíos actuales.

Referencias bibliográficas

- Ackermann, M., Koriabine, M., Hartmann-Fritsch, F., de Jong, P. J., Lewis, T. D., Schetle, N., Work, T. M., Dagenais, J., Balazs, G. H., & Leong, J.-A. C. (2012). The Genome of Chelonid Herpesvirus 5 Harbors Atypical Genes. *PLoS ONE*, 7(10), e46623. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0046623>
- Albuquerque, D., Willmer, I., Pereira, L., Rocha, R., Saint’Pierre, T., Baldassin, P., Scarelli, A., Tadeu, A., Correia, F., Saggioro, E., Lemos, L., Siciliano, S., & Hauser, R. (2021). Metal and Metalloid Contamination in Green Sea Turtles (*Chelonia mydas*) Found Stranded in Southeastern Brazil. *Frontiers in Marine Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.608253>
- Arienzo, M. (2023). Progress on the Impact of Persistent Pollutants on Marine Turtles: A Review. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(2), 266. <https://doi.org/10.3390/jmse11020266>
- Cardenas, D., & Arévalo, D. (2020). Conservación de tortugas marinas en peligro de extinción. *Noticias. Escuela Superior Politécnica Del Litoral*. <https://www.espol.edu.ec/en/noticias/espol-contribuye-la-conservacion-de-tortugas-marinas-en-peligro-de-extincion>
- Cruz, K., Gattamorta, M., Matushima, E., & Salvarani, F. (2024). Fibropapillomatosis: A Review of the Disease with Attention to the Situation Northern Coast of Brazil. *Animals*, 14(12). <https://doi.org/10.3390/ani14121809>
- Da Silva, E., De Farias, D., Da Costa, B., Da Boaviagem, A., Revorêdo, R., Rossi, S., Matushima, E., Hildebrand, J., De Lima, F., & Gavilan, S. (2019). Stranded Marine Turtles in Northeastern Brazil: Incidence and Spatial–Temporal Distribution of Fibropapillomatosis. *Chelonian Conservation and Biology*, 18(2), 249. <https://doi.org/10.2744/CCB-1359.1>
- De Carvalho, R. H., Lacerda, P. D., Da Silva Mendes, S., Barbosa, B. C., Paschoalini, M., Prezoto, F., & De Sousa, B. M. (2015). Marine debris ingestion by sea turtles (Testudines) on the Brazilian coast: an underestimated threat? *Marine Pollution Bulletin*, 101(2), 746–749. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.10.002>
- De Geer, Ch., Bourjea, J., Broderick, A., Dalleau, M., Fernandes, R., Harris, L., Inteca, G., Kiponda, F., Louro, C., Mortimer, J., Msangameno, D., Mwasi, L., Nel, R., Okemwa, G., Olendo, M., Pereira, M., Rees, A., Silva, I., Singh, S., ... Godley, B. (2022). Marine turtles of the African east coast: current knowledge and priorities for conservation and research. *Endangered Species Research*, 47, 297–331. <https://doi.org/10.3354/esr01180>

- Dentlinger, S., McDermid, K. J., Weyenberg, G., Jim, L. M. R., Rice, M. R., & Balazs, G. H. (2024). Four Decades of Green Turtle (*Chelonia mydas*) Strandings on Hawai'i Island (1983-2022): Causes and Trends. *Zoological Studies*, 62, e16. <https://doi.org/10.6620/ZS.2024.63-16>
- Duffy, D. J., Schnitzler, C., Karpinski, L., Thomas, R., Whilde, J., Eastman, C., Yang, C., Krstic, A., Rollinson, D., Zirkelbach, B., Yetsko, K., Burkhalter, B., & Martindale, M. Q. (2018). Sea turtle fibropapilloma tumors share genomic drivers and therapeutic vulnerabilities with human cancers. *Communications Biology*, 1(1), 63. <https://doi.org/10.1038/s42003-018-0059-x>
- Dujon, A., Schofield, G., Venegas, R., Thomas, F., & Ujvari, B. (2021). Sea Turtles in the Cancer Risk Landscape: A Global Meta-Analysis of Fibropapillomatosis Prevalence and Associated Risk Factors. *Pathogens*, 10(10), 1295. <https://doi.org/10.3390/pathogens10101295>
- Dupont, S., Bustamante, P., Duffy, D., Fort, J., Le Loc'h, G., Lelong, P., Chevallier, D., & Giraudeau, M. (2024). Future research avenues for the study of fibropapillomatosis in sea turtles. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 12. <https://doi.org/10.3389/fevo.2024.1372096>
- Ebani, V. V. (2023). Bacterial Infections in Sea Turtles. *Veterinary Sciences*, 10(5), 333. <https://doi.org/10.3390/vetsci10050333>
- Garcês, A., & Pires, I. (2022). Fibropapillomatosis on Sea Turtles, a Sentinel of Ecosystem Health? *The 4th International Electronic Conference on Environmental Research and Public Health—Climate Change and Health in a Broad Perspective*, 1. <https://doi.org/10.3390/ECERPH-4-13096>
- Himpson, K., Dixon, S., & Le Berre, T. (2023). Evaluation of sea turtle morbidity and mortality within the Indian Ocean from 12 years of data shows high prevalence of ghost net entanglement. *PLOS ONE*, 18(8), e0289167. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0289167>
- Jones, J. S., Porter, A., Muñoz, J., Alarcón, D., Galloway, T. S., Godley, B. J., Santillo, D., Vagg, J., & Lewis, C. (2021). Plastic contamination of a Galapagos Island (Ecuador) and the relative risks to native marine species. *Science of The Total Environment*, 789, 147704. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147704>
- Li, T.-H., & Chang, C.-C. (2020). The impact of fibropapillomatosis on clinical characteristics, blood gas, plasma biochemistry, and hematological profiles in juvenile green turtles (*Chelonia mydas*). *Bulletin of Marine Science*, 96(4), 723–734. <https://doi.org/10.5343/bms.2019.0120>

- Liceaga, M., Uribe, A., & Cuevas, E. (2021). Ecological Vulnerability of Adult Female Marine Turtles as Indicators of Opportunities for Regional Socioecosystem Management in the Southern Gulf of Mexico. *Sustainability*, 14(1), 184. <https://doi.org/10.3390/su14010184>
- Manes, C., Carthy, R. R., & Hull, V. (2023). A Coupled Human and Natural Systems Framework to Characterize Emerging Infectious Diseases-The Case of Fibropapillomatosis in Marine Turtles. *Animals: An Open Access Journal from MDPI*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/ani13091441>
- Manes, C., Pinton, D., Canestrelli, A., & Capua, I. (2022). Occurrence of Fibropapillomatosis in Green Turtles (*Chelonia mydas*) in Relation to Environmental Changes in Coastal Ecosystems in Texas and Florida: A Retrospective Study. *Animals*, 12(10), 1236. <https://doi.org/10.3390/ani12101236>
- Monteiro, J., Duarte, M., Amadou, K., Barbosa, C., El Bar, N., Madeira, F. M., Regalla, A., Duarte, A., Tavares, L., & Patrício, A. R. (2021). Fibropapillomatosis and the Chelonid Alphaherpesvirus 5 in Green Turtles from West Africa. *EcoHealth*, 18(2), 229–240. <https://doi.org/10.1007/s10393-021-01526-y>
- Muñoz, F., Labrada, V., Herrera, R., Work, T., González, E., Negrete, A., & Maldonado, G. (2022). Fibropapillomatosis dynamics in green sea turtles *Chelonia mydas* over 15 years of monitoring in Akumal Bay, Quintana Roo, Mexico. *Diseases of Aquatic Organisms*, 149, 133–143. <https://doi.org/10.3354/dao03669>
- Nash, A., & Ryan, E. J. (2023). Immunity in Sea Turtles: Review of a Host-Pathogen Arms Race Millions of Years in the Running. *Animals*, 13(4), 556. <https://doi.org/10.3390/ani13040556>
- Page, A. (2019). Fibropapillomatosis in Marine Turtles. In *Fowler's Zoo and Wild Animal Medicine Current Therapy, Volume 9* (Vol. 9, pp. 398–403). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-55228-8.00057-6>
- Patrício, A., Hawkes, L., Monsinjon, J., Godley, B., & Fuentes, M. (2021). Climate change and marine turtles: recent advances and future directions. *Endangered Species Research*, 44, 363–395. <https://doi.org/10.3354/esr01110>
- Perrault, J., Levin, M., Mott, C., Boverly, C., Bresette, M., Chabot, R., Gregory, C., Guertin, J., Hirsch, S., Ritchie, B., Weege, S., Welsh, R., Witherington, B., & Page-Karjian, A. (2021). Insights on Immune Function in Free-Ranging Green Sea Turtles (*Chelonia mydas*) with and without Fibropapillomatosis. *Animals*, 11(3), 861. <https://doi.org/10.3390/ani11030861>

- Reséndiz, E., Fernández, H., Espinoza, J., & Cedillo, C. (2022). Fibropapilomatosis en tortugas marinas: una visión de conjunto. *Revista de Investigaciones Marinas*, 42(1), 115–137. <http://hdl.handle.net/1834/42074>
- Robben, D. M., Palaniappan, P., Loganathan, A. L., & Subbiah, V. K. (2023). Increased Prevalence and New Evidence of Multi-Species Chelonid Herpesvirus 5 (ChHV5) Infection in the Sea Turtles of Mabul Island, Borneo. *Animals: An Open Access Journal from MDPI*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/ani13020290>
- Silva, A. B., Grajales, J. G., Nava, P. S., & Gómez, M. de L. R. (2022). What do we know about sea turtle fibropapillomatosis studies in the American continent? *Latin American Journal of Aquatic Research*, 50(3), 343–353. <https://doi.org/10.3856/vol50-issue3-fulltext-2787>
- Suárez, E., Martínez, I., Righini, N., Chamlaty, Y., Bello, A., & Ramos, A. (2020). Fibropapillomatosis in free-ranging green sea turtles (*Chelonia mydas*) off the central coast of Veracruz, Mexico. *Ciencias Marinas*, 46(2). <https://doi.org/10.7773/cm.v46i2.3043>
- Vanstreels, R. E. T., Durant, A., Santos, A. P., Santos, R. G., Sarmiento, A. M. S., Rossi, S., Setim, F. E., Gattamorta, M. A., Matushima, E. R., Mayorga, L. F. S. P., & Uhart, M. M. (2023). Exploring the relationship between environmental drivers and the manifestation of fibropapillomatosis in green turtles (*Chelonia mydas*) in eastern Brazil. *PLOS ONE*, 18(8), e0290312. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0290312>
- Vásquez, K. (2024). *Estudio ambispectivo de lesiones en tortugas marinas que ingresan al Parque Nacional Machalilla* [Tesis de Grado, Universidad Agraria del Ecuador]. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/VASQUEZ%20MU%C3%91OZ%20KARLA%20MISHELY.pdf>
- Wallace, B., & Broderick, A. (2024). *Chelonia mydas*. The IUCN Red List of Threatened Species 2025. In *IUCN Red List of Threatened Species*. <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2025-2.RLTS.T4615A285108125.en>
- Whilde, J., Mashkour, N., Koda, S. A., Eastman, C. B., Thompson, D., Burkhalter, B., Frandsen, H. R., Page, A., Blackburn, N. B., Jones, K., Ariel, E., Dupont, S. M., Wood, L., & Duffy, D. J. (2024). International overview of sea turtle fibropapillomatosis: a survey of expert opinions and trends. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fcell.2024.1445438>

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

A mis padres y a mi hermano, por ser luz, fuerza y refugio en cada paso.
Y a quienes me acompañaron en este camino universitario, gracias por su apoyo que hizo
más leve el trayecto y más grande este sueño cumplido.

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.