

EDITORIAL

InvestiGO

**Patógenos emergentes y
reemergentes en el Parque
Nacional Yasuní: Un enfoque
ecosistémico y de conservación**

AUTORES

ASTERIO DENIS BARBARU GRAJALES
FREDY PATRICIO ERAZO RODRIGUEZ
SANDRA ISABEL CASTAÑEDA CAGUANA
MARÍA AUGUSTA MORALES LEÓN

La salud del Yasuní define el futuro del planeta

ISBN: 978-9942-51-520-9

Patógenos emergentes y reemergentes en el Parque Nacional Yasuní: Un enfoque ecosistémico y de conservación

AUTORES:

**ASTERIO DENIS BARBARU GRAJALES
FREDY PATRICIO ERAZO RODRIGUEZ
SANDRA ISABEL CASTAÑEDA CAGUANA
MARÍA AUGUSTA MORALES LEÓN**

ISBN: 978-9942-51-520-9

EDITORIAL
InvestiGO

Este libro ha sido debidamente examinado y valorado en la modalidad doble par ciego con fin de garantizar la calidad científica del mismo.

©Publicaciones Editorial InvestiGo
Riobamba – Ecuador
Correo: publicaciones@grupoblir.com
<https://grupoblir.com/libros-investigo>
REPOSITORIO



Barbaru, A., Erazo, F., Castañeda, S., Morales, M. (2025) Patógenos emergentes y reemergentes en el parque nacional Yasuní: un enfoque ecosistémico y de conservación.
Editorial InvestiGo.

© Asterio Denis Barbaru Grajales
Fredy Patricio Erazo Rodriguez
Sandra Isabel Castañeda Caguana
María Augusta Morales León

ISBN: 978-9942-51-520-9

El copyright promueve la libertad de expresión, protege la diversidad de ideas y conocimiento, además apoya la libre expresión. Se prohíbe de manera rigurosa la producción o el almacenamiento de esta publicación, ya sea en su totalidad o en parte, está estrictamente prohibido por ley, incluyendo el diseño de la portada, así como su difusión a través de cualquiera de sus medios, ya sean electrónicos, mecánicos, ópticos, de grabación o incluso de fotocopia, sin permiso de los propietarios de los derechos de autor.

FILIACIONES DE LOS AUTORES

Asterio Denis Barbaru Grajales

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Correo Electrónico: asterio.barbaru@esPOCH.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2862-4558>

Fredy Patricio Erazo Rodriguez

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Correo Electrónico: fredy.erazo@esPOCH.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0259-7712>

Sandra Isabel Castañeda Caguana

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Correo Electrónico: sandra.castanieda@esPOCH.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6311-0560>

María Augusta Morales León

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Correo Electrónico: augusta.morales@esPOCH.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5900-149X>

EDITORIAL

InvestiGO

PRÓLOGO

El Parque Nacional Yasuní, corazón verde de la Amazonía ecuatoriana, es mucho más que una reserva natural: Es un símbolo de vida, diversidad y resistencia. Sus ríos, suelos y bosques han sido testigos de procesos ecológicos únicos durante millones de años. Hoy, ese equilibrio natural enfrenta múltiples desafíos, desde el cambio climático y la expansión petrolera, hasta el creciente contacto entre humanos y vida silvestre. Favorecido la aparición de enfermedades que no solo afectan a los animales o a las plantas, sino a humanos también.

Este libro nace de una necesidad urgente comprender cómo y por qué están apareciendo nuevos patógenos en ecosistemas como el Yasuní, y qué podemos hacer para prevenir sus impactos. A lo largo de estas páginas, se exploran de forma detallada las condiciones ecológicas del parque, los tipos de microorganismos que pueden causar enfermedades, los factores que los activan y las consecuencias en las comunidades que viven cerca.

Pero esta obra ofrece también herramientas prácticas, científicas y éticas para la conservación, el monitoreo ambiental, la prevención sanitaria y la participación comunitaria. Propone un enfoque llamado *Una Sola Salud*, que reconoce que la salud humana, animal y ambiental están profundamente interconectadas. Este libro está pensado para estudiantes, investigadores, profesionales y también para toda persona que ame la naturaleza y se preocupe por su futuro. Porque proteger al Yasuní no es solo conservar un bosque: Es cuidar una red de vida que nos sostiene a todos.

ÍNDICE

PRÓLOGO	i
ÍNDICE	ii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	2
1. ECOLOGÍA DEL PARQUE NACIONAL YASUNÍ	2
1.1 Ubicación geográfica y descripción ecosistémica	3
1.1.1 Tipos de ecosistemas	3
1.2 Clima, suelos, biodiversidad	4
1.3 Suelos y dinámica edáfica Actividades humanas e impactos ambientales	4
1.4 Características ambientales generales	5
1.5 Biodiversidad	5
1.5.1 Flora	6
1.5.2 Fauna	7
1.6 Función ecológica e interacciones tróficas	9
1.7 Amenazas ecológicas actuales	11
1.7.1 Expansión petrolera y fragmentación del hábitat	12
1.7.2 Cambio climático	13
1.7.3 Tráfico de fauna silvestre y presión antrópica	15
1.7.4 Introducción de especies exóticas y ganado	16
1.8 Importancia del Yasuní en estudios de patógenos	17
1.9 Conclusiones del capítulo	18
CAPÍTULO II	20
2. FUNDAMENTOS SOBRE PATÓGENOS Y ENFERMEDADES EMERGENTES	20
2.1 Patógenos como actores ecológicos	20
2.2 Definiciones: Patógenos, enfermedades zoonóticas, vectores	21

2.2.1	Patógenos	21
2.2.2	Enfermedades zoonóticas	21
2.2.3	Vectores	22
2.3	Clasificación general de patógenos	22
2.3.1	Virus	22
2.3.2	Bacterias	23
2.3.3	Hongos	23
2.3.4	Protozoarios	24
2.3.5	Helminchos y nematodos	24
2.4	Mecanismos de transmisión	24
2.4.1	Transmisión directa	25
2.4.2	Transmisión indirecta	25
2.4.3	Vectores biológicos	26
2.4.4	Reservorios naturales	27
2.5	Factores que favorecen la emergencia de enfermedades	27
2.5.1	Deforestación y fragmentación del hábitat	27
2.5.2	Cambio climático	28
2.5.3	Comercio de vida silvestre y turismo	28
2.5.4	Ganadería extensiva y frontera agropecuaria	28
2.6	Patógenos y biodiversidad: una relación bidireccional	28
2.6.1	Efecto de dilución	29
2.6.2	Teoría de los reservorios múltiples	29
2.7	Relevancia para la salud pública y conservación	30
2.7.1	Prevención de brotes y enfermedades zoonóticas	30
2.7.2	Protección de especies amenazadas y endémicas	31
2.7.3	Informar políticas de uso público y manejo del territorio	31
2.7.4	Implementación del enfoque One Health en áreas protegidas	32

2.8	Conclusiones del capítulo	33
CAPITULO III		35
3.	METODOLOGÍAS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE PATÓGENOS	35
3.1	Importancia del diagnóstico en contextos de alta diversidad	35
3.2	Muestreo en campo: Consideraciones ecológicas y sanitarias	36
3.3	Técnicas clásicas de identificación microbiana	36
3.4	Herramientas moleculares modernas	37
3.5	Técnicas inmunológicas y rápidas	37
3.6	Etapas del proceso de identificación	37
3.6.1	Planificación del muestreo	38
3.6.2	Recolección de muestras	39
3.6.3	Conservación y transporte	40
3.7	Métodos microbiológicos clásicos	41
3.7.1	Cultivo en medios selectivos o diferenciales	41
3.7.2	Aislamiento y purificación de cepas	42
3.7.3	Observación microscópica	43
3.7.4	Pruebas bioquímicas	43
3.8	Métodos moleculares y genómicos	44
3.8.1	PCR (Reacción en cadena de la polimerasa)	44
3.8.2	qPCR (PCR en tiempo real)	45
3.8.3	Secuenciación genética (Sanger / NGS)	46
3.8.4	Electroforesis en gel de agarosa	47
3.9	Otras herramientas complementarias	48
3.9.1	ELISA (Ensayo inmunoabsorbente ligado a enzimas)	48
3.9.2	Microscopía de fluorescencia y confocal	49
3.9.3	Cultivo celular	49
3.10	Bioseguridad y ética	50

3.10.1	Normas del MAATE y Comité de Ética Ambiental del Ecuador	50
3.10.2	Protocolos de bioseguridad	51
3.10.3	Ética en la interacción con comunidades locales	51
3.11	Estudios de caso relevantes	52
3.11.1	Caso 1: Aislamiento de <i>Phytophthora</i> sp. en raíces de árboles en áreas alteradas	52
3.11.2	Caso 2: Detección de <i>Trypanosoma cruzi</i> en heces de marsupiales silvestres mediante PCR anidada	53
3.11.3	Caso 3: Secuenciación metagenómica del suelo en zonas con distinta presión antrópica	54
3.12	Conclusiones del capítulo	55
CAPITULO IV		57
4.	PATÓGENOS EN FLORA SILVESTRE	57
4.1	Principales grupos de fitopatógenos	57
4.1.1	Hongos fitopatógenos	57
4.1.2	Bacterias fitopatógenas	58
4.1.3	Virus vegetales	58
4.1.4	Otros grupos potenciales	59
4.2	Síntomas comunes de enfermedades en plantas del Yasuní	59
4.2.1	Necrosis y manchas foliares	59
4.2.2	Muerte regresiva de ramas (dieback)	60
4.2.3	Pudrición de raíces y tallos	60
4.2.4	Clorosis generalizada	60
4.2.5	Tumores, excrecencias y agallas	61
4.2.6	Caída prematura de hojas y frutos	61
4.3	Importancia del diagnóstico diferencial	61
4.4	Mecanismos de infección y diseminación	62
4.4.1	Vías de ingreso del patógeno a la planta	62

4.4.2	Diseminación de los fitopatógenos	63
4.4.3	Factores ambientales que modulan la infección	64
4.5	Ejemplos Documentados en el Yasuní	64
4.5.1	Aislamiento de <i>Fusarium solani</i> en raíces de <i>Virola elongata</i>	65
4.5.2	Presencia de <i>Phytophthora palmivora</i> en palmas silvestres	65
4.5.3	Lesiones por <i>Colletotrichum</i> spp. en hojas de <i>Inga</i> spp.	66
4.5.4	Posible asociación de bacterias <i>Pseudomonas</i> con necrosis en <i>Piper</i> spp.	66
4.6	Impacto ecológico de los fitopatógenos	67
4.6.1	Alteración de la composición vegetal	67
4.6.2	Interrupción de interacciones ecológicas	67
4.6.3	Erosión genética y pérdida de diversidad intraespecífica	68
4.6.4	Retroalimentación con la microbiota del suelo	68
4.6.5	Influencia en el ciclo de nutrientes y carbono	68
4.6.6	Aceleración de la sucesión ecológica	69
4.6.7	Riesgo de transferencia a especies cultivadas o viceversa	69
4.7	Recomendaciones para su monitoreo	69
4.7.1	Establecer parcelas permanentes de observación fitosanitaria	70
4.7.2	Capacitar a técnicos en diagnóstico fitosanitario	70
4.7.3	Incluir análisis del suelo y del microambiente	70
4.7.4	Aplicar técnicas moleculares y microbiológicas	71
4.7.5	Implementar sistemas de alerta temprana en zonas sensibles	71
4.7.6	Recomendación transversal: Integración al manejo del parque	72
4.8	Conclusiones del capítulo	72
CAPITULO V		74
5.	PATÓGENOS EN FAUNA SILVESTRE	74
5.1	Principales grupos de patógenos en fauna	74
5.1.1	Virus	75

5.1.2	Bacterias	76
5.1.3	Protozoarios	77
5.1.4	Helminthos	78
5.2	Vectores y reservorios	79
5.2.1	Murciélagos (Orden: Chirptera)	80
5.2.2	Roedores (Orden: Rodentia)	80
5.2.3	Aves migratorias y residentes (Clase: Aves)	81
5.2.4	Insectos vectores	82
5.2.5	Otros mamíferos carnívoros y felinos	83
5.2.6	Relevancia para la vigilancia y conservación	83
5.3	Mecanismos de transmisión	84
5.3.1	Contacto directo	84
5.3.2	Vectores hematófagos	84
5.3.3	Vía oral-fecal	85
5.3.4	Transmisión área	85
5.3.5	Transmisión vertical y perinatal	86
5.3.6	Transmisión mecánica y ambiental	86
5.4	Casos documentados en Yasuní o Amazonia cercana	87
5.4.1	Detección de Trypanosoma Cruzi en marsupiales y murciélagos	87
5.4.2	Seroprevalencia de virus de rabia en murciélagos frugívoros	88
5.4.3	Presencia de Toxoplasma gondii en felinos silvestres	88
5.4.4	Infección por Leptospira en roedores y aguas superficiales	89
5.4.5	Brotos de Plasmodium en aves migratorias	89
5.5	Implicaciones ecológicas	89
5.5.1	Reducción poblacional y desequilibrio demográfico	90
5.5.2	Disminución de funciones ecológicas clave	90
5.5.3	Fragmentación genética y aislamiento de subpoblaciones	91

5.5.4	Alteración de relaciones tróficas y ecológicas	91
5.5.5	Retroalimentación con disturbios antrópicos	92
5.6	Riesgos zoonóticos	93
5.6.1	Factores que aumentan el riesgo zoonótico en el Yasuní.....	93
5.6.2	Patógenos con potencial zoonótico en el Yasuní	94
5.6.3	Grupos humanos más expuestos	95
5.6.4	Enfoques de prevención: el marco una salud	96
5.7	Recomendaciones de vigilancia y monitoreo	96
5.7.1	Implementación de programas de vigilancia veterinaria centinela	97
5.7.2	Captura controlada mediante redes de niebla y trampas Sherman	97
5.7.3	Aplicación de pruebas serológicas y moleculares	98
5.7.4	Desarrollo de una base de datos georreferenciada	98
5.7.5	Fomento de estudios ecológicos de enfermedades	99
5.7.6	Promoción de la vigilancia comunitaria participativa	99
5.7.7	Establecimiento de protocolos ante eventos sanitarios	100
5.8	Conclusiones del capítulo	100
CAPITULO VI.....		102
6.	PATÓGENOS EN EL SUELO Y AGUA	102
6.1	Composición microbiana del suelo amazónico	102
6.2	Patógenos en fuentes de agua superficial	103
6.3	Principales grupos de patógenos en aguas superficiales del Yasuní.....	104
6.3.1	Bacterias Entéricas Fecales (E. coli, Salmonella y otras)	104
6.3.2	Protozoarios patógenos (Giardia y Cryptosporidium)	105
6.3.3	Leptospiras (bacterias causantes de Leptospirosis)	106
6.3.4	Microbacterias ambientales (no Tuberculosas)	107
6.3.5	Estudios de casos documentados en la amazonia	107
6.3.6	Análisis de riesgo sanitario para fauna, humanos y ecosistemas	108

6.3.7	Consideraciones para el monitoreo microbiológico en el Yasuní	110
6.4	Vías de entrada y persistencia de patógenos	111
6.4.1	Aportes de fauna silvestre: excretas, secreciones y cadáveres	112
6.4.2	Contaminación antrópica: turismo, campamentos e infraestructura	113
6.4.3	Escorrentía superficial y transporte por lluvias	113
6.5	Biofilms: persistencia estructural en ambientes acuáticos	114
6.6	Factores ambientales que modulan la patogenicidad	115
6.6.1	Ph y su influencia en la actividad microbiana	115
6.6.2	Temperatura y su efecto en la proliferación de patógenos	115
6.6.3	Humedad y disponibilidad de agua	116
6.6.4	Materia orgánica y nutrientes	116
6.6.5	Interacciones microbianas: Competencia y simbiosis	117
6.6.6	Oxigenación y condiciones redox	117
6.6.7	Factores abióticos adicionales	117
6.7	Técnicas para la detección de patógenos edáficos y acuáticos	118
6.7.1	Cultivo en medios selectivos y diferenciales	118
6.7.2	Filtración y concentración de muestras ambientales	119
6.7.3	Técnicas de reacción en cadena de la polimerasa (PCR y qPCR)	120
6.7.4	Secuenciación genética (Sanger y NGS)	121
6.7.5	Análisis de metabolitos, endotoxinas y marcadores bioquímicos	122
6.7.6	Microcopia óptica, fluorescencia y confocal	123
6.8	Impacto ecológico y en la salud pública	124
6.8.1	Impacto en la salud de la fauna silvestre	124
6.8.2	Alteraciones ecológicas y pérdida de biodiversidad microbiana	125
6.8.3	Impacto en la salud de las plantas	125
6.8.4	Riesgo para la salud humana	126
6.8.5	Implicaciones para la conservación y manejo del parque	127

6.8.6	Enfoque de una salud (One Health)	127
6.9	Estudios de caso	128
6.9.1	Caso 1: Aislamiento de <i>Fusarium oxysporum</i> en suelos compactos del Yasuní	129
6.9.2	Caso 2: Presencia de <i>Escherichia coli</i> resistente a antibióticos en cuerpos de agua cercanos a zonas de ecoturismo	129
6.9.3	Caso 3: PCR positiva para <i>Leptospira interrogans</i> en aguas de baja corriente en áreas de alta actividad de roedores silvestres	130
6.9.4	Caso 4: Identificación de <i>Cryptococcus neoformans</i> en excrementos de aves de suelos ácidos bajo sombra densa	131
6.10	Estrategias de prevención y monitoreo	131
6.10.1	Monitoreo regular de calidad microbiológica del agua	132
6.10.2	Vigilancia microbiana en suelos y sedimentos	133
6.10.3	Diseño de bioindicadores locales	134
6.10.4	Control del acceso humano y rutas turísticas	134
6.10.5	Educación y sensibilización ambiental	135
6.10.6	Fortalecimiento de laboratorios regionales	135
6.10.7	Enfoque de una salud y vigilancia integrada	136
6.10.8	Uso de tecnologías emergentes para detección y seguimiento	137
6.11	Conclusiones del capítulo	138
CAPITULO VII		139
7.	CAMBIOS AMBIENTALES Y ENFERMEDADES EMERGENTES	139
7.1	Tipos de cambios ambientales relevantes en Yasuní	139
7.1.1	Cambio climático: alteraciones en el régimen hídrico y térmico	140
7.1.2	Transformación del uso del suelo: fragmentación y pérdida de hábitad	140
7.1.3	Introducción de especies exóticas y animales domésticos	141
7.1.4	Contaminación ambiental: hidrocarburos, metales pesados y residuos sólidos ..	141
7.1.5	Presión socio territorial y expansión de la huella humana	142
7.2	Dinámicas ecológicas de enfermedades emergentes	143

7.2.1	Actores ecológicos: Hospedadores, vectores y reservorios	143
7.2.2	Mecanismo de transmisión y rutas ecológicas	144
7.2.3	Factores de amplificación y puntos de inflexión ecológica	145
7.2.4	Patrones espacio-temporales de las enfermedades emergentes	146
7.2.5	Retroalimentación ecológica y evolución del patógeno	146
7.3	Casos de enfermedades emergentes documentadas en ecosistemas amazónicos	147
7.3.1	Leishmaniasis cutánea en áreas de deforestación (Amazonia peruana)	147
7.3.2	Aumento de toxoplasmosis en felinos y primates (Amazonia brasileña)	148
7.3.3	Brote de rabia silvestre transmitida por murciélagos (Amazonia ecuatoriana y brasileña)	149
7.3.4	Emergencia de <i>Phytophthora palmivora</i> en palmas nativas (Amazonia colombiana)	149
7.3.5	Casos de leptospirosis en comunidades amazónicas de Ecuador y Perú	150
7.3.6	Resurgimiento de malaria por <i>Plasmodium vivax</i> en zonas de colonización (Amazonia peruana y brasileña)	151
7.4	Mecanismo de respuesta ecosistémica y adaptación	151
7.4.1	Diversidad funcional como barrera natural	152
7.4.2	Regulación trófica y control natural de vectores	152
7.4.3	Inmunocompetencia poblacional genética	153
7.4.4	Respuestas fenológicas y comportamiento adaptativo	153
7.4.5	Microbiotas protectoras y simbiosis inmunomoduladora	154
7.5	Conclusiones del capítulo	155
CAPITULO VIII		156
8.	ESTRATEGIAS DE MONITOREO Y BIOSEGURIDAD	156
8.1	Principios del monitoreo ecológico de patógenos	156
8.1.1	Multinivel: Abordar matrices abióticas y bióticas en interacción	157
8.1.2	Continuo: Periodicidad sostenida y cobertura estacional	157
8.1.3	Estandarizado: Protocolos comparables y replicables	158

8.1.4	Participativo: Inclusión de actores locales y técnicos de campo	159
8.1.5	Adaptativo: Incorporación de nuevos datos y tecnologías	160
8.2	Métodos de monitoreo ambiental y biológico	161
8.2.1	Monitoreo en flora y fauna	161
8.2.2	Vigilancia vectorial	162
8.2.3	Monitoreo microbiológico	162
8.3	Protocolos de bioseguridad en campo	163
8.3.1	Para investigadores y técnicos	163
8.3.2	Para visitantes	165
8.3.3	Para comunidades locales	166
8.4	Sistema de alerta temprana	167
8.4.1	Registro automatizado de síntomas en flora y fauna	167
8.4.2	Detección de aumento de vectores en sitios clave	168
8.4.3	Plataforma digital para reportes georreferenciados	169
8.4.4	Comunicación directa con autoridades sanitarias y ambientales	169
8.5	Fortalecimiento de capacidades locales	170
8.5.1	Capacitación continua de guardaparques y técnicos en vigilancia epidemiológica ambiental	171
8.5.2	Creación de laboratorios móviles o convenios con universidades locales	172
8.5.3	Inclusión de prácticas de bioseguridad en currículos escolares rurales	173
8.5.4	Establecimiento de “comités de salud ecosistémica” en comunidades aledañas	173
8.6	Cooperación interinstitucional e internacional	174
8.6.1	Coordinación entre el MAATE, el MSP, el INIAP, universidades y ONGs	175
8.6.2	Participación en redes como One Health o EcoHealth	175
8.6.3	Intercambio de datos con proyectos internacionales de vigilancia zoonótica	176
8.6.4	Financiamiento compartido entre el sector público, cooperación y turismo responsable	176

8.7	Evaluación de riesgo y priorización	177
8.7.1	Establecimiento de matrices de riesgo ecológico por zona, especie y tipo de patógeno	178
8.7.2	Priorización de especies clave (centinelas, amenazadas o de valor ecológico) ...	179
8.7.3	Evaluación del impacto potencial sobre humanos, fauna y servicios ecosistémicos	180
8.8	Conclusiones del capítulo	180
CAPITULO IX		182
9.	ESTUDIOS DE CASO	182
9.1	Casos	183
9.1.1	Caso 1: Aislamiento de <i>Fusarium</i> spp. En raíces de árboles juveniles	183
9.1.2	Caso 2: Detección de <i>Trypanosoma cruzi</i> en marsupiales silvestres	184
9.1.3	Caso 3: Identificación de <i>Cryptococcus neoformans</i> en excreta de aves	185
9.1.4	Caso 4: Presencia de <i>Leptospira</i> spp. en cuerpos de agua estancados	186
9.1.5	Caso 5: Contaminación microbiana en cuerpos de agua cercanos a zonas turísticas.....	187
9.2	Conclusiones del capítulo	188
CONCLUSIONES GENERALES DEL LIBRO TÉCNICO: PATÓGENOS EN EL PARQUE NACIONAL YASUNÍ.....		190
GLOSARIO		191
BIBLIOGRAFÍA		192

INTRODUCCIÓN

Vivimos en un tiempo donde la naturaleza nos envía señales constantes. El surgimiento de enfermedades nuevas, la pérdida de especies, la contaminación del agua y del aire, son síntomas de un planeta que está tratando de adaptarse a los cambios que nosotros mismos hemos provocado. En este contexto, el Parque Nacional Yasuní se convierte en un espejo: En él podemos ver tanto la riqueza que aún queda como los riesgos que enfrentamos si no actuamos a tiempo.

Este libro busca acercarnos a una realidad compleja pero apasionante: La presencia de patógenos es decir, microorganismos que pueden causar enfermedades en uno de los lugares más biodiversos del mundo. ¿Por qué surgen? ¿Dónde se esconden? ¿Cómo se transmiten? ¿Qué papel juega el ser humano en su aparición? Estas son algunas de las preguntas que guían esta investigación.

El Yasuní es un laboratorio natural. En sus ríos, suelos, árboles y animales habitan virus, bacterias, hongos y protozoarios que, en condiciones normales, cumplen funciones clave dentro del ecosistema. Pero cuando alteramos ese equilibrio al talar bosques, construir carreteras o introducir especies ajenas muchos de esos organismos pueden transformarse en amenazas. Y lo más preocupante es que, en muchos casos, estos patógenos no distinguen entre humanos, animales silvestres o ganado.

A lo largo de este libro encontrarás estudios de caso reales, análisis científicos, explicaciones claras sobre los distintos tipos de patógenos y, sobre todo, propuestas para monitorearlos, prevenir su propagación y proteger tanto la biodiversidad del Yasuní como la salud de quienes dependen de ella.

Más que un tratado técnico, esta obra es también un llamado a la acción. Porque entender cómo funcionan los ecosistemas es el primer paso para cuidarlos. Y porque, al final del día, la salud del bosque es también nuestra salud.

CAPÍTULO I

1. ECOLOGÍA DEL PARQUE NACIONAL YASUNÍ

Parque Nacional Yasuní es uno de los ecosistemas más ricos y vitalmente activos del planeta. Su relevancia ecológica no sólo se refiere a la abundancia de especies que acoge, sino que también lo hace en los procesos complejos ecológicos que da soporte a éstas, y su función como refugio del conocimiento ancestral de los pueblos indígenas. Dentro de la estructura de Parque Nacional desde el año 1979 y declarado Reserva de la Biósfera por UNESCO en el año 1989, este lugar resulta fundamental en los esfuerzos de conservación internacional y es ejemplar, en su relación entre naturaleza y cultura (Stoessel & Scarpacci, 2022).

A nivel ecológico, el Yasuní se caracteriza por contar en su seno con la asociación en armonía de diversos ecosistemas que actúan a nivel integrado que permiten mantener, la circulación de nutriente, la polinización, la diseminación de semillas, la descomposición de la materia orgánica y el control biológico por parte de las especies. Estos procesos son posibles a causa de la impresionante cantidad de organismos desde pequeños microorganismos del suelo hasta grandes depredadores que actúan dentro de compartir redes ecológicas (Hernández Rentería, 2020).

El parque también tiene otra funcionalidad, de regulación climática y de estabilidad hidrológica a nivel regional. Los bosques tropicales del Yasuní funcionan como depósitos de carbono, tambores térmicos, reguladores del ciclo del agua, y en absoluto, desde una perspectiva propia, si no, también desde dimensiones a escala continental. Su integridad ecológica que afecta directamente a la resiliencia del ecosistema en relación con el cambio climático y otras interferencias antrópicas (Ramsés Hernández & Silva Andrade, 2024).

A junto de su inmenso valor biológico, el Yasuní es un territorio habitado ancestralmente. En sus aguas y tierras viven los Waorani y pueblos en aislamiento voluntario como los Tagaeri y Taromenane, cuya existencia está estrechamente unida al equilibrio del propio medio ambiente. Su presencia no sólo enriquece el atractivo cultural del parque, sino que de manera más importante aporta conocimientos ecológicos antiguos de gran interés en el manejo de la biodiversidad de manera sostenible (Bass y otros, 2010).

1.1 Ubicación geográfica y descripción ecosistémica

El Parque Nacional Yasuní se encuentra en la Amazonía nororiental ecuatoriano, siendo más específicos en la provincia de Orellana. Su área superficial de unos 9 823 km², extendiéndose por las cuencas de los ríos Napo, Tiputini, Yasuní y Curaray originando una matriz hidrológica que es decir de fundamental importancia para la configuración de la conectividad ecológica en la región. Dada su ubicación en el cruce de continentes entre los Andes y la cuenca baja amazónica le confiere una remarcable biogeografía, de especies provenientes de lugar y linaje evolutivos diversos (Nieto & Zambrano, 2021).

El paisaje del parque es relativamente plano con leves ondulaciones que generan de ellos hábitats diferenciados dependiendo de su altura y cercanía a cuerpos de agua. Esta topografía ofrece las condiciones ideales para el crecimiento continuo de la vegetación y permanencia de ciclos biológicos en todo el año.

1.1.1 Tipos de ecosistemas

En el interior del parque se pueden observar varios tipos de ecosistemas que conviven en permanente relación de interacción. Entre estos van:

Bosques tropicales de tierra firme húmedos: Que exhiben terrenos bien drenados y una flor de alta densidad y diversidad. Estos bosques son hábitat de una gran parte de especies endémicas y poseen porción de carbono.

Bosques de várzea o pantanosos: Sufriendo inundaciones periódicas tienen una dinámica ecológica tan especial donde muchas especies han evolucionado adaptaciones específicas a las alturas fluctuaciones del agua.

Zonas de pantanosas, humedales: Que funcionan como purificadoras naturales y territorialidad de reproducción para anfibios y reptiles y peces.

Ríos, quebradas y lagunas: Que no solo suponen una unidad biológica, sino que también proporcionan nutrientes fundamentales para nutrir el sistema ecológico al completo (Darquea Bustillos, 2019).

1.2 Clima, suelos, biodiversidad

El Parque Nacional Yasuní se orienta en la zona de Influencia de clima ecuatorial cálido-húmedo propio de la zona de la Amazonia occidental. La situación geográfica dentro de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) le imprime características climáticas estable, con bajos valores de fluctuación térmica y alta humedad atmosférica durante el año completo. La temperatura media anual estriba en los 24 y 27°C de media, con poca fluctuación estacional, adecuado para albergar un clima térmico estable para el crecimiento de la vida orgánica (Larrea, 2017).

Las lluvias superan los 3 000 mm activos en todo el año, repartidos de manera relativamente homogénea en los meses. Toda esta disponibilidad hídrica garantiza mantenimiento del suelo saturado y ayuda en la verdadera formación de un bosque, tropical siempreverde, de densa arboleda (Lasso & Morales Betancourt, 2019) . Como resultado, el elevado nivel de humedad relativa y la gran cantidad de radiación solar producen una alta productividad primaria capaz mantenerse y sostener a cadenas tróficas muy ricas y complejas.

1.3 Suelos y dinámica edáfica Actividades humanas e impactos ambientales

Los suelos del Parque Nacional Yasuní presentan características típicas de los ecosistemas tropicales húmedos, ya que, domina el rango de suelos aluviales con texturas franco-arcillosas y pH ácidos (4.5-5,5). La intensa lluvia al que lo someten favorece la lixiviación intensa, mismo que, arrastran nutrientes a horizontes más bajos, disminuyendo la fertilidad superficial del suelo (Bass y otros, 2010).

Sin embargo, esta escasa disponibilidad de nutrientes es cogido por una intensa biodigestión en la superficie del suelo. La rápida descomposición de la materia orgánica, logrado mediante la acción húmeda de hongos, bacterias y macrofauna del suelo, garantiza una vía de reciclaje eficiente de nutrientes para las plantas en un sistema cerrado y dinámico.

En las partes más bajas y con mayor probabilidad de ser inundadas, aparecen suelos hidromórficos con condiciones anóxicas. Estos ambientes propician la existencia de microorganismos anaerobios específicos, algunos con un riesgo biológico, en caso de alterarse significativamente el ecosistema. Por lo tanto, la dinámica edáfica del Yasuní está

directamente relacionada con su régimen hídrico y de procesos ecológicos que albergan su biodiversidad.

1.4 Características ambientales generales

Las condiciones ambientales del Parque Nacional Yasuní son producto de la unión de numerosos factores físicos y biológicos que forman un sistema ecológico muy complejo. El relieve plano mayoritaria, con leves ondulaciones permite la formación de diversos ecosistemas, entre ellos, bosques de tierra firme, áreas de várzea o de inundación estacional. Esta diversidad espacial hace posible que se despliegue una riqueza ecológica y funcional muy elevada (Uriarte y otros, 2004).

El parque se singulariza por la cobertura vegetal continuada que este formado por un dosel modo estratificado a las suspender el microclima y ofrecer sombrío, humedad y refugio a una amplia diversidad de especies. La estructural vertical del bosque crea condiciones ecológicas distintas y así permite habitársela a especies con demandas ecológicas distintas.

1.5 Biodiversidad

El Parque Nacional de Yasuní, cubre más de un millón de hectáreas de bosque tropical húmedo, una de las más antiguas y estables respetando el equilibrio estabilidad ecológico. Científicos reconocen al parque como un “punto caliente” (hotspot) de biodiversidad, no solo por la riqueza de especies, sino por los procesos evolutivos que ha mantenido y fomentado el parque durante la historia (López & Vargas, 2021).

Este ecosistema cuenta con una arteria única de interacción entre componentes climáticos, geológicos y biológicos que han dado origen a los más excelentes pico de endemismo (Bass y otros, 2010) . Además, tiene una diversa red de microhábitats producidos por variedades de suelos, pendientes, cursos fluviales, quebradas y zona pantanosa tratándose de un hábitat altamente especializado con relación a especies vegetales y animales.

Asimismo, su valor ecológico sirve para la regulación climática regional que captura el carbono y oferta el agua dulce. Conjuntamente, es una potencial fuente de recursos genéticos, alimentarios y regulatorios farmacológicos.

1.5.1 Flora

El Yasuní es conocido por contar con una de las más ricas y superpobladas floras de la tierra. La disposición ecológica vertical del bosque, complejidad del espacio e historicidad del aislamiento, han permitido la aparición de diversas poblaciones endémicas con especiales características adaptativas. Esta riqueza botánica, además lo que alimenta la diversidad animal, es protagonista de los ciclos ecológicos y bioquímicos.

Diversidad de especies

- Se han encontrado más de 2.200 especies de plantas vasculares, aunque las estimaciones prevén más debido al bajo grado de exploración en el área de ciertas zonas.
- Cada hectárea puede soportar hasta 600 especies de árboles por sobre de 10 cm, lo que ubica a la reserva como una de las mayoridades densidades arbóreas del mundo (Reyes Puig & Ríos Alvear, 2015).

Géneros dominantes y adaptaciones

- Género común: *Virola*, *Iriarteia*, *Eschweilera*, *Inga*, *Pouteria*, *Protium*.
- Muchas de ellas han desarrollado rasgos adaptativos a suelos anegaderos, ácidos o pobremente fertilizadores, con raíces aéreas, hojas leñosas o metabolismo CAM (Reyes Puig & Ríos Alvear, 2015).

Estructura del bosque

- **Dosel superior:** Con árboles que alcanzan entre 30 y 40 metros, que forman una cobertura casi continua.
- **Subdosel e intermedios:** Ricos en especies arbustivas y jóvenes.
- **Sotobosque:** Hábitat de helechos, bejucos, palmas pequeñas, hongos y especies herbáceas adaptadas a condiciones de baja luz.
- **Epífitas:** Destacada presencia de bromelias, musgos y orquídeas (muchas aún no descritas), que retienen humedad y nutrientes, formando microecosistemas suspendidos.
- **Lianas y bejucos:** Ofrecen conectividad vertical para la fauna arbórea como primates, aves e insectos (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2012).

Importancia ecológica y bioquímica

- Colaboración en el almacenamiento de carbono y regulación del microclima.
- Provisión de hábitats complejos y pasillos biológicos.
- Fuente de sustancias bioactivas con efecto antiinflamatorio, antimicrobiano, antitumoral.

Dichas especies algunos de ella tienen un uso tradicional en entre comunidades indígenas, que conoce su propiedad medicinales y alimentarias (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2012).

1.5.2 Fauna

La fauna del Yasuní es auténtica, continente por continente, océano por pequeño cuerpo de agua, país por país, misma geografía y por esa razón es recinto de la biodiversidad continental más rica del planeta, donde su belleza y complejidad opera a un ritmo fabuloso (Cadena & Brito, 2016). Empareja con especies icónicas, raras y en riesgo de extinción, más de las cuales tienen hábitats restringidos o dependen todo de ciclos de vida altamente dependiente de condiciones ambientales en particular. Esta riqueza al mismo tiempo es una exquisita red de relaciones ecológicas que sostiene el equilibrio del medio ambiente.

Mamíferos

- Más de 204 especies registradas, lo que representa una de las mayores diversidades de este grupo en toda la cuenca amazónica.

Grandes depredadores:

- *Panthera onca* (jaguar): Especie de control poblacional herbívoros.
- *Puma concolor* y *Leopardus pardalis* (ocelote): Depredo secundario.

Ungulados:

- *Tapirus terrestris* (tapir amazónico): Esencial para la dispersión de semillas.

Especies acuáticas:

- *Inia geoffrensis* (delfín rosado): Habitante emblemático de los ríos amazónicos.

Murciélagos:

- Diversos géneros cumplen roles ecológicos críticos como polinizadores, dispersores y controladores biológicos.

Primates:

- Amplia gama de especies, incluyendo monos aulladores, capuchinos y tamarinos, que utilizan el dosel y el subdosel como vía de desplazamiento y alimentación.

Aves

- Más de 610 tan solo especies, representa más del 33% sobre el total del país.
- Contiene especies residentes y migratorias, y muchas endémicas, con nicho ecológico muy especializado.

Especies destacadas:

- *Opisthocomus hoazin* (hoatzín): Ave folívora única, considerada un fósil viviente.
- *Ara chloropterus* (guacamayo rojo-verde): Especie de gran valor ornamental y ecológico.
- Diversas especies de tucanes, colibríes, rapaces y aves insectívoras.

La riqueza avifaunística está fuertemente ligada a la integridad del hábitat y a la disponibilidad de alimento, como frutas, néctar e insectos.

Anfibios y reptiles

- Pertenecen cuanto menos hasta 150 especies descritas, endémicas y de áreas de distribución muy restringida.
- Venenosas ranas (*Dendrobates*, *Epipedobates*) contaminadas con bioactivas toxinas.
- Serpientes arbóreas como *Bothriopsis bilineata*.
- *Eunectes murinus* (anaconda), uno de los ofidios más grandes del mundo.
- *Melanosuchus niger* (caimán negro), especie clave en humedales amazónicos.

Estos vertebrados de sangre fría cumplen roles como depredadores y presas intermedias, participando en el flujo energético del ecosistema.

Insectos e invertebrados

- Se estima que en una sola hectárea habita más de 100 000 especies de artrópodos.
- Se incluyen escarabajos, mariposas, abejas, mosquitos, arañas, hormigas, grillos algunas de las muchas especies aun sin describir científicamente.

Funciones ecológicas esenciales:

- Polinización de plantas con flores, especialmente orquídeas y bromelias.
- Descomposición de materia orgánica, contribuyendo al reciclaje de nutrientes.
- Control biológico: muchas especies predadoras regulan las poblaciones de insectos fitófagos.

1.6 Función ecológica e interacciones tróficas

El funcionamiento ecológico del Parque Nacional Yasuní se basa en una impresionante red biológica en la que participan entrelazados múltiples niveles tróficos y simbióticos. Esta red asegura el flujo constante de energía y la ciclicidad de la materia, manteniendo a la oferta del ecosistema estabilidad y productividad en un ambiente naturalmente deficiente de nutrientes.

Lugar fundamental para este sistema es la polinización, un proceso elemental para la reproducción de la flora tropical. Este proceso implica a una amplia variedad de polinizadores especializados, como insectos, aves y murciélagos cuya actividad relación no incorpora solo con la perpetuación genética de las plantas, sino con la organización de la diversidad vegetal (León Yáñez y otros, 2000).

De igual valor es la dispersión de semillas, factor que ayuda al mantenimiento del mosaico ecológico del bosque. Mejorando la disponibilidad y movilidad de las semillas, contribuyen aves frugívoras, primates, roedores y ungulados en este proceso, transportando las semillas a áreas distintas del bosque y promoviendo la regeneración natural. También participan en la dispersión secundaria otras especies de insectos y mamíferos de tiene

tamaño reducido que las entierran y posteriormente se germinan en condiciones favorables (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2012).

Suelos amazónicos de baja fertilidad mineral, el reciclaje de nutrientes refiere un papel fundamental. Este proceso está regulado por una diversa comunidad de descomponedores: Gusanos de compost, hongos saprófitos, lombrices, termitas y otros invertebrados descomponen las proteínas en forma química digestible de las plantas. En este sentido, los hongos de grupo *Basidiomycota*, destacan por su capacidad de degradación de lignina y otras moléculas complejas. En medio tiempo, las micorrizas, asociaciones simbióticas entre raíces de las plantas y los hongos, incrementan la eficiencia en la absorción de fósforo, nitrógeno, y agua, y aportan resistencia a las plantas contra el estrés ambiental (Menéndez Guerrero y otros, 2022).

La biológica fijación de nitrógeno por bacteria del género *Rhizabium* en simbiosis con leguminosas nativas aporta combustible a su estera con compuesto de nitrógeno esencial. Estas interacciones, aunque inapreciables a simple vista, soportan una importante parte de la productividad primaria para el ecosistema y modulan indirectamente, la composición florística de la dinámica sucesional del bosque (Nobre & al, 2022).

Por otro lado, las interacciones tróficas de orden reguladores mantienen en el equilibrio funcional del ecosistema. Los lirófagos como jaguar (*Panthera onca*) y puma (*Puma concolor*) ejercen un control top - down sobre las poblaciones herbívoras calando el sobrepastoreo y promoviendo la regeneración de la flora. La detección de aves insectívoras, reptiles, anfibios y murciélagos tienen funciones similares como para controlar las poblaciones de insectos fitófagos de los cuales algunos pueden constituirse como plagas si no se controla mediante el control biológico natural (Ministerio del Ambiente del Ecuador , 2016).

En el microambiente del suelo, se desarrolla una gran multitud de microorganismos latentes, en armonía ecológica. Sin embargo, ciertos hongos fitopatógenos como *Fusarium spp*, *Phytophthora spp* y *Pythium spp* los puede activar frente a condiciones de estrés como la compactación del suelo, cambio en las condiciones de agua o deforestación selectiva. Su emergencia no se trata sólo de una peligrosa amenaza para la regeneración natural porque también marcarse una degradación de los mecanismos autoreguladores del ecosistema (Lasso y otros, 2010).

La resiliencia ecológica del Yasuni viene predeterminada, en última instancia, por la salud de sus interacciones tróficas y simbióticas. El desprendimiento de cualquier parte de esta red puede tener inversión en cascada y afecta la estabilidad y funcionalidad del todo del sistema. La preservación de parientes que se interactúan implica más que la conservación de las especies, exige de manera más profunda la salvaguardia de la arquitectura ecológica que da origen a los procesos vitales que hacen vida amazónica (Zhao y otros, 2019).

A continuación, se muestra un diagrama de la red trófica del ecosistema amazónico, los principales lazos alimenticios entre productores, consumidores y descomponedores del Parque Nacional Yasuní.

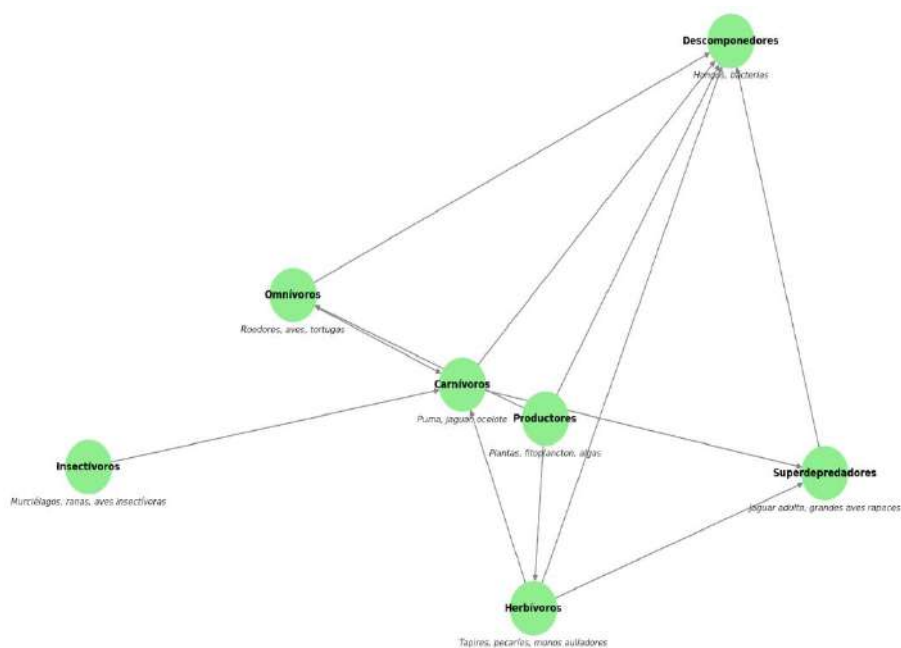


Figura 1. Red trófica del ecosistema amazónico

Fuente: (Zhao y otros, 2019).

1.7 Amenazas ecológicas actuales

Aunque desde el 2000, el Parque Nacional Yasuní se encuentra declarada área protegida y fue declarado por la UNESCO como Reserva de Biósfera, hoy en día el Parque está siendo debilitado mediante actuaciones adversas que ponen en peligro su integridad ecosistémica (Anderson & May, 2020). Estas amenazas además de amenazar la diversidad biológica del parque alteran las dinámicas ecológicas que rigen su función como uno de los sistemas naturales más complejos y resilientes de la tierra.

Entre las principales amenazas se encuentran:

1.7.1 Expansión petrolera y fragmentación del hábitat

A pesar de la salvaguarda legal que le protege al Parque Nacional Yasuní, las actividades propias de la extractiva petrolera son una de las mayores amenazas para la integridad ecológica del parque. La apertura de bloques de explotación, como bloques 31 y 43 (ITT: Ishpingo-Tambococha-Tiputini) ha significado la creación de infraestructura que fragmenta enormes áreas de bosque primal y juega una interferencia muy grave en su funcionamiento ecológico (Cueva & Jaramillo, 2020).

Principales impactos de la expansión petrolera

a) División del hábitat

- Apertura de sendas, plataformas y ductos que dividen el bosque continuo.
- Pérdida de la conectividad ecológica y aislamiento de poblaciones de flora y fauna.
- Interrupción del flujo genético y disminución de la biodiversidad biológica (Herrera Feijoo, 2024).

b) Bordes de efecto

- Alteración de las microclimáticas (temperatura, humedad) de los confines del bosque.
- Alteración de la estructura del suelo y pérdida de cobertura vegetal.
- Aumento de especies oportunistas o consideradas invasoras que puedan desplazar a las nativas.
- Presencia de especies que actúan como vectores de enfermedades (Herrera Feijoo, 2024).

c) Contaminación de suelo y agua

- Derrames de crudo y escape de agua de formación que cambia la composición química de los fluidos.
- Pérdida de microorganismos benéficos responsables del reciclaje de nutrientes.
- Crece las bacterias patógenas o resistentes contaminando la salud del ecosistema.

- Aumento de la turbidez, metales pesados, y la carga biológica en cuerpos de agua cercanos, impactando rango de fauna acuática, así como hojas con comunidad humana (Herrera Feijoo, 2024).

Efectos indirectos adicionales

a) Acceso humano a zonas remotas

- Entrada de maquinaria, vehículos y funcionarios no residente.
- Aumento de la persecución furtiva de la caza, tala ilegal y extracción no autorizada de recursos.
- Mayor presión sobre especies amenazadas y pérdida acelerada de cobertura boscosa (Herrera Feijoo, 2024).

b) Disminución de la resiliencia ecológica

- Ecosistemas más vulnerables al cambio climático y a la propagación de patógenos.
- Alteración de procesos ecológicos muy importantes como diseminación de semillas, polinización y control de poblaciones (Herrera Feijoo, 2024).

1.7.2 Cambio climático

El cambio climático es un riesgo encubierto y de grandes dimensiones al medio ambiente del Parque Nacional Yasuní. Su impacto no es siempre inmediato ni visible, sino que se hace sentir en su desarrollo progresivo, cambiando las condiciones ambientales que conserva al sitio totalmente de la alta biodiversidad de ecosistema amazónico.

Alteraciones en el clima regional

- Incremento en la frecuencia e intensidad de eventos extremos, como sequías prolongadas o lluvias intensas.
- Fuerte aumento de la temperatura media anual.
- Cambios en el patrón de la distribución y estacionalidad de las precipitaciones (Ramírez Barahona & Eguiarte, 2020).

Impactos ecológicos sobre la biodiversidad

- **Alguna fenología cambiada:** Los ciclos reproductivos, de florecimiento, fructificación y migración de muchos individuos vegetales y animales pueden adelgazarse, cerrarse o caerse desajustados, generando organismos dependientes de unos con otros.
- **Disminución de recursos:** Las variaciones en la estacionalidad influirán sobre la provisión de recursos de agua y alimento, causando estrés fisiológico y reduciendo la capacidad adaptativa de ciertas especies.
- **Reestructuración trófica:** Especies sensibles al cambio climático tienden a disminuir o desplazarse, favoreciendo la expansión de especies oportunistas. Esto altera el equilibrio ecológico e incrementa la posibilidad de brotes epidémicos en especies previamente no vulnerables (Ramírez Barahona & Eguiarte, 2020).

Incremento de enfermedades y vectores

a) Vectores beneficiados por el calor y la humedad:

- Mosquitos (transmisores de dengue, fiebre amarilla, malaria aviar).
- Flebótomos (*leishmaniasis*).
- Triatominos (*tripanosomiasis*).
- Garrapatas (enfermedades zoonóticas emergentes) (Prime, 2024).

b) Patógenos favorecidos por condiciones microclimáticas cambiantes:

- Hongos fitopatógenos como *Fusarium spp.* o *Colletotrichum spp.* encuentran condiciones óptimas para su desarrollo con el aumento de la humedad relativa y las temperaturas mínimas nocturnas.
- La expansión de su rango ecológico compromete la salud de especies vegetales clave, en especial plántulas y árboles jóvenes (Prime, 2024).

Alteración de procesos edáficos y microbianos

- Se intensifican sequías con bajo desempeño biológico del suelo y descansos en procesos de descomposición y con tanto daño a las comunidades microbianas beneficiarias dependientes.

- Fugas y Anoxia generan entornos propicios para el campo oculto de microorganismos anaeróbicos patogénicos, de este modo causando perturbaciones en el equilibrio microbiano y dificultando su recuperación natural para el ecosistema.
- El microbiota de suelo, indispensable para el reciclo de nutrientes decayendo indirectamente la productividad vegetal y la resistencia del bosque a las perturbaciones (Prime, 2024).

1.7.3 Tráfico de fauna silvestre y presión antrópica

El tráfico ilegal de flora y fauna representa una de las amenazas críticas, si bien por lo general infravaloradas para la biodiversidad del Parque Nacional Yasuní. Esta antigua Biodiversidad, en su mayoría sostenida por Redes clandestinas que se emocionan a nivel nacional e internacional, tiene impactos a largo plazo tanto sobre las especies directamente afectadas como sobre la salud ecosistémica completa (Hofstede & Segarra, 2018).

Extracción y comercio ilegal de especies

- En el Yasuní, especies como aves, tortugas, monos, serpientes y pequeños felinos son capturadas para su venta como mascotas o con fines rituales.
- Esta actividad rompe el equilibrio natural del ecosistema, afecta a las poblaciones silvestres y empobrece su diversidad genética.
- Los animales extraídos sufren un alto nivel de estrés, lo que debilita su salud y reduce sus posibilidades de sobrevivir fuera de su entorno natural (Arrova Gonzales y otros, 2020).

Riesgos sanitarios y propagación de enfermedades

- En el proceso de captura y traslado, los animales enfrentan condiciones insalubres y contacto con especies ajenas a su entorno.
- Esto facilita la aparición de enfermedades como salmonelosis o leptospirosis, que pueden transmitirse a las personas.
- Si son liberados, estos animales pueden propagar patógenos y afectar tanto al ecosistema como a las comunidades cercanas (Chaves & Koenraadt, 2010).

Presión humana creciente y bioinseguridad

Más allá del tráfico ilegal, la creciente presencia humana en el Yasuní también representa una amenaza:

- Asentamientos informales, turismo sin control y tránsito por zonas sensibles alteran el equilibrio del ecosistema y aumentan los riesgos sanitarios.
- Sin medidas de bioseguridad, los visitantes pueden transmitir enfermedades humanas a la fauna silvestre (Espinosa, 2013).

1.7.4 Introducción de especies exóticas y ganado

Los fundamentos de la entrada de especies exóticas y ganado doméstico al Parque Nacional Yasuní constituyen una amenaza creciente al equilibrio ecológico (Eugenio y otros, 2024). A continuación, se describen los impactos principales de esta problemática:

Especies exóticas: Invasores silenciosos

a) Origen:

Pueden llegar accidentalmente (por transporte, comercio o escapes) o ser introducidas intencionalmente por razones económicas o recreativas.

b) Ejemplos reportados en la región:

- *Panicum maximum* (gramínea forrajera): altera la vegetación nativa.
- Tilapia (*Oreochromis niloticus*): introducida en cuerpos de agua artificiales, compite con peces nativos.
- Rata parda (*Rattus norvegicus*): presente en campamentos, es vector de enfermedades.

c) Impactos ecológicos:

- Desplazo de especies nativas y alteración del hábitat.
- Pérdida de biodiversidad funcional.
- Introducción de patógenos emergentes (Cisneros Heredia, 2020).

Ganado doméstico: Competencia y riesgo sanitario

a) *Animales más comunes:* bovinos y porcinos.

b) *Efectos en el ecosistema:*

- Compiten con la fauna por recursos como alimento, agua y espacio.
- Sus excretas modifican la química del suelo y del agua, favoreciendo microorganismos patógenos.

c) *Reservorios de enfermedades zoonóticas:*

- *Brucella spp.* (brucelosis)
- *Leptospira spp.* (leptospirosis)
- *Mycobacterium bovis* (tuberculosis bovina)
- Helmintos gastrointestinales diversos (Cisneros Heredia, 2020).

Interfaz agroecológica: Un punto crítico de transmisión

a) *En zonas limítrofes entre el parque y áreas humanas*

- Se han documentado casos de transmisión de enfermedades del ganado a la fauna silvestre.
- Ungulados y carnívoros oportunistas entran en contacto con animales infectados o sus restos.

b) *Consecuencias:*

- Incremento del riesgo de brotes zoonóticos.
- Contaminación cruzada entre sistemas naturales y productivos.
- Dificultades para la recuperación de especies sensibles (De la Torre & Snowdon, 2020).

1.8 Importancia del Yasuní en estudios de patógenos

Desde el puesto microbiano, el parque estimula bacterias, virus, hongos y protozoarios que habitan el suelo, el agua, la vegetación y la fauna silvestre. Aunque son muchos los que forman el equilibrio ecológico, algunos están listos para activarse como agentes

infecciosos ante cambios ambientales, como la transformación del entorno o el aumento de temperatura y humedad (Vásquez & Ortega, 2020).

La chance de encontrar hogareñas de varias familias de mamíferos, aves y reptiles, incluidos conocido reservorios como murciélagos, primates y roedores, permiten analizar complejas delineaciones de transmisión de enfermedades. Pero en este contexto, el spillover salto de patógenos entre especies se vuelve más probable, sobre todo en zonas donde crece la presión humana a través del turismo, actividades extractivas o la expansión de asentamientos (González & Ramírez, 2021).

Además, la estabilidad climática del Yasuní brinda el monitoreo continuo de la presencia de patógenos a lo largo del año sin tener que suspender durante la etapa estacional propia de otros ecosistemas. Esto permite detectar oportunamente biorreguladores como *Leptospira*, *Trypanosoma* o *Fusarium* con implicaciones a la vez para la conservación ambiental, como para la salud pública (Cano & Pérez, 2021).

1.9 Conclusiones del capítulo

El Parque Nacional Yasuní es uno de los ecosistemas más complejos y valiosos del mundo no solo en términos de biodiversidad, sino en cuanto a su función ecológica como regulador y marco biológico, así como protector contra enfermedades y crisis climáticas. El enfoque del capítulo desarrollado ha mostrado que la biodiversidad debe ser vista como una red funcional compuesto por cada organismo desde microorganismos hasta grandes vertebrados, siendo un rol interseccionalidad interdependiente, ya que, la alteración de estas provoca la inestabilidad de este y en su capacidad de regenerarse.

Por ello, el conocimiento de la dimensión microbiana del parque requiere un interés muy especial. Los microorganismos no son simples componentes pasivos sino actores fundamentales en Procesos de ecosistemas de descomposición y evolución. Sin embargo, cuando están bajo estrés ambiental, pueden convertirse en agentes patógenos que deberán combatir tanto la fauna como la salud humana.

Los cambios ambientales, como el avance petrolero, la deforestación y el cambio climático, han intensificado la exposición a estos riesgos. La fragmentación del hábitat y, especialmente, las interacciones humanos fauna han inducido factores favorables para la

generación de enfermedades y abren los espacios para la transición hacia enfoques proactivos, multidisciplinaria y ecológicos de la gestión de recursos naturales.

Por ende, proteger el Yasuní es más que conservar sus recursos naturales; es asimismo la defensa de un sistema que mantiene la vida sirviéndole más allá de sus fronteras geográficas. Mejorar la investigación, monitoreo y gestión participativa será crucial para seguir siendo un pilar de salud ecosistémica y de futuro planetario este patrimonio natural.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS SOBRE PATÓGENOS Y ENFERMEDADES EMERGENTES

La enfermedad en los ecosistemas naturales significa una señal de desequilibrio entre los seres vivos y su entorno, la mayoría de las veces causada por organismos biológicos que se llaman patógenos. Se engloban a virus, bacterias, hongos, protozoarios y helmintos. Todos ellos, con la capacidad de dañar a sus huéspedes. Sin embargo, su función no está restringida al ámbito médico, veterinario, ya su participación es decisiva en el ámbito de la regulación poblacional, dinámica trófica y los procesos evolutivos. Su presencia más que negativa, es parte de la armonía ecológica que mantiene la funcionalidad de los ecosistemas (Patz y otros, 2004).

El Parque Nacional Yasuní, con sus niveles extremadamente altos de biodiversidad, será uno de los escenarios perfectos para el estudio de los patógenos debido a la alta complejidad de sus interacciones ecológicas. En este entramado las condiciones ambientales estables y la intensa interrelación entre especies generan un sistema dinámico en el que los patógenos pueden ser reguladores o nuevas perturbaciones potenciales buscando el balance cuando el equilibrio se altera (Keesing y otros, 2006) . La identificación de estos agentes es estratégica no solo para preservar la biodiversidad, sino para prevenir brotes zoonóticos que dan en el clavo en la salud humana y animal.

A diferencia de ecosistemas simplificados, el Yasuní cuenta con redes ecológica enredadas que, en algunos casos gracias al efecto dilución, pueden controlar propagación de enfermedades. Sin embargo, la intervención humana por la fragmentación del hábitat, el cambio climático o introducción de especies foráneas puede desencadenar y aconsejar la emergencia y dispersión de patógenos elevando la posibilidad de contagios cruzados de fauna silvestre, ganado y poblaciones humanas (Gottdenker y otros, 2014). Por todo esto, el Yasuní se convierte en un área de especial focus para el monitoreo de la emergencia de enfermedades nuevos.

2.1 Patógenos como actores ecológicos

Tradicionalmente vistos como agentes de enfermedad que deben borrarse, los patógenos comienzan a crecer como parte funcional de los ecosistemas. Como reguladores poblacionales, modificadores de interacciones tróficas y fuerza impulsada por la selección

natural desde una visión ecológico y evolutiva, estos organismos funcionan. En ambientes tanto o más complejos como el del Parque Nacional Yasuní, su acción frenaría la dominancia de algunas especies, permitiese la regeneración forestal o favoreciese la biodiversidad por mecanismos como el control natural de densidades o la dispersión indirecta de especies (Buck & Ripple, 2017).

Junto a ello, las interacciones entre portadores y hospedadores dependen de procesos coevolutivos particularmente las características inmunológicas, conductuales y fisiológicas entre ambas (Jankowiak y otros, 2025) . Cuando los organismos (gestan) estrategias de resistencia o tolerancia, los patógenos (optimizan) mecanismos de evasión inmunitaria y también reflejan ciclos de vida más efectivos. Esta interacción continua, ayuda a la dinámica evolutiva de los ecosistemas, y hace pasar a los patógenos no sólo como trastorno sanitario sino como actores clave en la configuración de la biodiversidad y la estabilidad ecológica.

2.2 Definiciones: Patógenos, enfermedades zoonóticas, vectores

A continuación, se detalla cada uno:

2.2.1 *Patógenos*

Es todo aquello que es capaz de producir enfermedad en un huésped. Este equipo cobija una amplia gama de entidades como virus, bacterias, hongos, protozoarios y helmintos. Su acción está activada cuando con su presencia afectan el normal funcionamiento de los tejidos o sistemas del cuerpo del ser afectado, dando lugar a una respuesta inmunológica (Toapanta, 2023).

2.2.2 *Enfermedades zoonóticas*

Son aquellas que saltan de un animal a las personas de forma natural. Este tipo de enfermedades pueden aparecer en especies silvestres o domésticas y ser provocadas por uno diversos tipos de patógenos. La zoonosis es una interfaz crítica entre salud ambiental animal y humana de gran impacto a escala en todo el mundo por su capacidad de provocar enfermedades que constituyen epidemias y pandemias (Barrat Charlaix & Neher, 2024). Su emergencia es casi siempre relacionada con cambios en el uso del suelo, pérdida de hábitat,

tráfico de fauna y mayor contacto humano-animal, sobre todo en áreas de gran diversidad biológica como la Amazonía.

2.2.3 Vectores

Son seres que transportan y transmiten patógenos entre hospederos sin verse necesariamente afectados por ellos. También, los vectores son artrópodos como mosquitos, garrapatas, pulgas o flebótomos, que explora como intermediarios para el ciclo de vida del agente infeccioso (Uhart y otros, 2012) . La presencia, abundancia y conducta de estos vectores están profundamente controlado por factores ecológicas como el clima, disponibilidad de hábitat o la presencia de hospedador.

2.3 Clasificación general de patógenos

El parque ecológico del Yasuní es hogar a un altísimo número de organismos patógenos, los cuales están rápidamente relacionados con la complejidad ecológica del territorio. Estos microorganismos son taxonómica y filogenéticamente compuestos por grupos de agentes biológicos diferentes, cada uno encerrando características únicas en morfología, mecanismo de infección y vías de transmisión (Alberts y otros, 2002) . Los principales tipos de patógenos que pueden encontrarse en el ecosistema del Yasuní son:

2.3.1 Virus

Son entidades biológicas acelulares compuestas por material genético, ADN o ARN, y por una cápside proteica con o sin envoltura lipídica. Dado que carecen de metabolismo propio se liberan de células vivas para replicarse y por eso lo que lo convierte en parásitos obligados (Janeway y otros, 2001). En el Yasuní ha sido reportado su aparato, en diversas especies silvestres, muchas de las cuales están potencialmente zoonóticas.

Se han aislado herpesvirus de los primates de especies del género *Saguinus* y *Ateles*, asociados a inmunodepresión y lesiones sistémicas. De igual forma, hantavirus se han encontrado en roedores del género *Oryzomys* con riesgo de poseer transmisión hacia el hombre por maniobras de contacto con heces contaminadas (Woolhouse & Gowtage Sequeria, 2005). Se registra circulación de flavivirus cuyo agente probablemente cause la fiebre amarilla, transmitido por los mosquitos *Haemagogus*, versátil sobre primates y humanos en áreas de borde.

2.3.2 Bacterias

Los microorganismos procariotas bacterias son componentes e indispensables para la estructura ecológica, pero cuentan al mismo tiempo con factores de virulencia que hacen de ambos patógenos auxiliares y/o hospedadores primarios (Guzmán D. y otros, 2024). Allí el Yasuní, se ha encontrado una elevada diversidad bacteriana con virulencia ecológica y sanitaria.

Leptospira spp. Es la causa de la leptospirosis, se transmite por orina y tiene una duración de varios meses en aguas inactivas, a donde preponderantemente se encuentra en los ambientes húmedos con alta densidad de roedores. *Mycobacterium bovis*, causante de la tuberculosis silvestre puede infectar tanto a fauna silvestre (tapires, felinos) como a rumiantes. Por otra parte, bacterias entericas tipo *Salmonella* y *Escherichia coli*, aunque parte del microbiota intestinal normal pueden comportarse como agentes patógenos ante condiciones de contaminación ambiental (Proaño Pérez y otros, 2011).

2.3.3 Hongos

Los hongos, eucariotas pertenecientes a filos *Ascomycota* y *Basidiomycota*, tienen una diversidad multifacética de funciones en el ecosistema amazónico: La descomposición, establecimiento de relaciones simbióticas o patógenas. Su presencia en el Yasuní está muy registrada tanto en plantas como en animales.

En el entorno vegetal, especies como *Fusarium oxysporum* y *Phytophthora palmivora* causan enfermedades radiculares y vasculares que afectan la regeneración forestal. En fauna y humanos encontrado *Cryptococcus neoformans* en heces de aves, con riesgo de infecciones neurológicas en inmunosuprimidos. *Aspergillus fumigatus* también se ha obtenido en suelos modificado que constituyen un riesgo hídrico respiratorio (Rajtar y otros, 2023). A nivel ecológico, sobresalen, los micorrízicos, esenciales para que el suelo se encuentre en buen estado de salud y tenga resistencia al efecto de patógenos de la vegetación.

2.3.4 Protozoarios

Organismos monocelulares eucariotas de alto ciclo de vida que deben medios alternados de hospedaje y vector. Varios protozoarios de gran relevancia médica y ecológica han sido descritos en el Yasuní.

Trypanosoma cruzi causante de la enfermedad de Chagas se ha encontrado en heces de marsupiales (*Didelphis marsupialis*) y murciélagos y como vectores triatominos del género *Rhodnius*. Múltiples especies vertebradas son infectadas por *Toxoplasma gondii*, transmitido por felinos, afectada sistémica o neurológica. En aves Se encuentran *Plasmodium spp.* causan malaria aviar, potencialmente letal a poblaciones con flujo de especulación (Pinto y otros, 2015).

2.3.5 Helmintos y nematodos

Los gusanos parásitos llamados helmintos consisten en nematodos, cestodos y trematodos. Respecto a esta propagación en el Yasuní, se ha lamentado en especies de mamíferos carnívoros, omnívoros, así, algunas especies de domesticados muy próximos a áreas protegidas.

Destaca *Baylisascaris procyonis*, un nematodo de mapaches que puede causar encefalitis severa en humanos o primates si actúan como hospedadores accidentales. *Ancylostoma spp.* (gusanos ganchudos) y *Strongyloides spp.* son comunes en suelos húmedos, penetrando por la piel o a través del tracto digestivo (Graeff Teixeira y otros, 2016). Su propagación es favorecida por humedad orgánica en descomposición y bajas condiciones sanitarias.

2.4 Mecanismos de transmisión

La manera en la que los patógenos se pueden transferir en un sistema epidemiológico puede determinar cuán bien pueden ser persiste, expandirse y adaptarse. La transmisión va, más allá de que implica la transmisión de agente infeccioso de un nido a otro, abarca acción con elementos físicos, biológicos y ambientales del habitat (Guzmán D. A. y otros, 2024). En un ecosistema tan complejo e inclusivo como el del Parque Nacional Yasuní, estos caminos de demora son de alta complejidad, múltiples que interactúan favorecidos por la abundancia de especies.

Conocer los mecanismos de transmisión es tenso y planeación de estrategias de vigilancia epidemiológica, conservación de fauna silvestre y prevención de enfermedades zoonóticas. A continuación, se señalan los modos primarios de transmisión detectados en ambientes amazónicos, con ejemplos contextualizados al Yasuní y sus implicancias ecológicas y sanitarias.

2.4.1 Transmisión directa

La transmisión directa, es decir la transmisión directa se produce cuando un patógeno se transmite de un organismo a otro sin los intermedios de vectores ni superficies inanimadas. Este tipo de transmisión aporta al contacto físico cercano, el intercambio de fluidos corporales (saliva, sangre, secreciones mucosas o genitales) las mordeduras, las heridas y el respiro de los aerosoles infecciosos. Su aparición es más probable en especies gregarias o territorial con elevada interacción entre individuos.

En el Yasuní se conocen casos de transmisión directa en primates neotropicales como *Ateles belzebuth* (mono araña) y *Saimiri sciureus* (mono ardilla), donde comportamientos como el acicalamiento, el juego, la crianza conjunta o la agresión física fomentan el imán al virus como herpesvirus y bacterias como *Salmonella* (Ramos Grijalva y otros, 2024). El virus de la rabia se transmite por mordedura o intercambio salival en el curso de conductas sexuales en colonias apretadas de murciélagos frugívoros e insectívoros. Entre aves salvajes, la transmisión por cloaca, regurgitación o secreciones respiratorias también contribuye a la circulación de patógenos.

Este sistema de transmisión tiene un especial significado en ausencia de enfermedades emergentes con potencial zoonótico. Cuando el contacto entre fauna silvestre, humanos y animales domésticos, por ejemplo, en zonas de ecoturismo, investigación o explotación extractiva.

2.4.2 Transmisión indirecta

La transmisión indirecta implicaría el empleo de un agente inanimado como vehículo del patógeno entre hospedadores. Por otro lado, este agente puede transmitirse con cualquier tipo de medio: Agua, suelo, alimentos contaminados, secreciones secas, fómites (objetos inertes) o el propio aire cuando el agente se aerosoliza. En ambientes tropicales como el

Yasuní, donde la humedad, el clima es cálido y está presente materia orgánica alrededor, este tipo de transmisión se aprovecha especialmente.

Los cuerpos de agua de origen natural dentro del parque, quebradas, charcas, arroyuelos se comportan como depósitos temporales de bacterias como *Leptospira spp.*, las cuales pueden superar con facilidad semanas desde que son despachadas de la orina de animales infectados. Además, el contacto con el hospedero tiene su fecha a través de mucosas o microlesiones de la piel. Por su parte el suelo amazónico rico en materia orgánica es un ambiente perfecto para hongos patógenos como *Fusarium spp.*, *Cryptococcus* e *Histoplasma* que pueden ser infecciosos por inhalación de esporas, también en zonas manipuladas por la presencia humana o movimientos de fauna (Abad Gallardo, 2020).

También, de manera indirecta por el consumo de alimentos contaminados, un fenómeno peligroso entre las aves, reptiles y primates. Es en aquellas áreas donde coexisten fauna silvestre y ganado productos donde la transmisión fecal-oral de brotes enterohemorrágicos de *Escherichia coli* o *Campylobacter jejuni* es un hecho grave, a dos bandos, tanto para la salud animal como para las poblaciones humanas locales.

Un factor importante de este tipo de transmisión es la capacidad por parte de algunos agentes patógenos para formar estructuras rígidas como esporas (*Clostridium spp.*) o quistes (*Giardia spp.*), que les capacitan a sobrevivir durante largos periodos en el ambiente poniendo así en alto su sentido epidemiológico.

2.4.3 Vectores biológicos

Son organismos que tienen un rol activo en la transmisión de patógenos que causan, llevando a cabo su propagación a diferentes hospederos. A menudo, el agente infeccioso completa parte de su ciclo de vida dentro del vector, convirtiéndolo en un componente indispensable del proceso epidemiológico.

En el Parque Nacional Yasuní los vectores morenos son insectos hematófagos mosquitos (*Anopheles*, *Aedes*), flebótomos (*Lutzomyia*) chinches, y garrapatas. Estos insectos son responsables de la transmisión de patógenos como *Plasmodium spp.* (malaria aviar), flavivirus como el dengue o la fiebre amarilla, y *Leishmania spp.*, agente causal de la leishmaniasis cutánea (Miller y otros, 2021). La presencia y abundancia de vectores en el

Yasuní dependen de muchos factores ecológicos como son la temperatura, la humedad, la altura y existencia de criaderos acuáticos.

2.4.4 Reservorios naturales

Son organismos o entornos capaces de mantener la presencia permanente de patógenos sin enfermedad grave en el hospedero, sirviendo como centros de infección latente en el ecosistema. En el Parque Nacional Yasuní, animales silvestres mamíferos como murciélagos frugívoros y hematófagos albergan virus como rabdovirus, coronavirus y henipavirustales, donde existen conveniencias, permanencia y difusión de esos virus debido a su prolongada existencia, la defensa de movilidad, y su genuina conducta social. También hay evidencia de que roedores *Oryzomys* y *Proechimys* que juegan este rol con bacterias *Leptospira spp.* y hantavirus, mientras que aves migratorias, reptiles y anfibios han sido vinculados con la persistencia de diversos patógenos bacterianos, virales y fúngicos (Rivera Herrera, 2021).

2.5 Factores que favorecen la emergencia de enfermedades

El fenómeno de la emergencia de enfermedades infecciosas en conexiones o ecosistemas que son biodiversos como el Parque Nacional Yasuní está siendo desencadenado por transformaciones ambientales y sociales que cambian las relaciones entre anfitriones, patógenos y su medio ambiente (Pandit, 2020) . A continuación, se presentan los principales elementos que influyen en estos:

2.5.1 Deforestación y fragmentación del hábitat

La pérdida de cobertura vegetal por tala, apertura de vías o expansión agrícola fragmenta los ecosistemas y crea zonas de borde ecológico. Esta modifica microclimas, disminuye la biodiversidad y favorece el nido a especies oportunista o pionera roedora, murciélago e insectos vectores, mismas que son los reservorios de patógenos. También se incrementa el intercambio entre especies animales silvestres, humanos y animales domésticos elevando el riesgo de transmisión cruzada, y eventos de *spillover*, documentados con rabia, fiebre amarilla, leptospirosis (Zimmer, 2019).

2.5.2 Cambio climático

La alteración en la temperatura, humedad, y el régimen de precipitación cambia la distribución geográfica de los vectores *Anopheles*, *Aedes* y *Lutzomyia*, ampliando su distribución a nuevas áreas del bosque. El estrés térmico debilita la inmunidad de los hospedados, sobre todo ectotermos como reptiles y anfibios (Heredia y otros, 2021). A la vez, las temperaturas y humedad acomodan la reproducción de bacterias y hongos patógenos en el entorno, acelerando la cantidad de carga infecciosa de suelos, cuerpos de agua, y vegetación.

2.5.3 Comercio de vida silvestre y turismo

El comercio de especies también sobre fauna silvestre aves reptiles monos el tráfico crea contacto próximo y artífice entre las especies que no comparten hábitats naturales, lo que incrementa la aparición del patógeno. De esa manera el manejo a ambientes de estrés y hacinamiento estimula la aparición de enfermedades zoonóticas (Guynup, 2023) . Es importante destacar que el turismo no autorizado, sin protocolos de bioseguridad contamina devueltas de patógenos hacia fauna silvestre, poniendo en peligro especies vulnerables e inmunológicamente inexperta.

2.5.4 Ganadería extensiva y frontera agropecuaria

La extensión de la ganadería en zonas de amortiguación del Yasuní crea nuevas interfaces ecológicas. El ganado puede llevar agentes como *Brucella abortus*, *Mycobacterium bovis* y parásitos intestinales siendo efectuado a través del agua, heces o contacto directo. Los patógenos endémicos del bosque pueden infectar al ganado a su vez (Scimago Institutions Rankings, 2020). Asimismo, el uso excesivo de antibióticos y antiparasitarios propicia la resistencia microbiana en el ambiente, siendo un preocupante mensaje cada vez más grande para la salud pública y la conservación.

2.6 Patógenos y biodiversidad: Una relación bidireccional

La relación entre la biodiversidad y la propagación de enfermedades infecciosas es compleja y bidireccional. Por un lado, la biodiversidad influye en la transmisión de patógenos, afectando su propagación y persistencia; por otro, las enfermedades pueden alterar la estructura y funcionamiento de los ecosistemas. Esta dinámica es particularmente

evidente en áreas como el Parque Nacional Yasuní, donde la alta biodiversidad puede actuar tanto como barrera natural frente a las enfermedades como un factor que favorezca su aparición.

En ecosistemas con gran diversidad, las interacciones entre especies afectan directamente los ciclos de vida de los patógenos. Dos teorías clave explican esta relación: el efecto de dilución, que sugiere que la alta biodiversidad puede reducir la transmisión de enfermedades, y la teoría de los reservorios múltiples, que implica que algunos patógenos pueden mantenerse en el ecosistema sin causar brotes evidentes, lo que representa un riesgo latente (Civitello y otros, 2015).

2.6.1 Efecto de dilución

Se basa en la idea de que los ecosistemas con mayor diversidad biológica reducen la probabilidad de transmisión de patógenos al dispersar el riesgo entre múltiples especies hospedadoras, muchas de las cuales no son competentes para transmitir la enfermedad. Esto limita la propagación de patógenos y, en muchos casos, disminuye la probabilidad de que el ciclo de transmisión se mantenga.

En el Yasuní, este fenómeno se observa en enfermedades como la leishmaniasis cutánea, donde la presencia de mamíferos no competentes, como armadillos y tamandúas, reduce el contacto entre los vectores *Lutzomyia spp.* y hospedadores eficientes como roedores. De manera similar, en la malaria aviar, muchas aves no son hospedadoras del parásito *Plasmodium spp.*, lo que interrumpe la eficacia del ciclo de transmisión en mosquitos (Ferraguti y otros, 2021).

Este efecto también se da a nivel microbiano, en suelos donde los patógenos vegetales enfrentan competencia por recursos con organismos beneficiosos. La pérdida de esta biodiversidad edáfica puede favorecer la proliferación de hongos patógenos, como *Fusarium*.

2.6.2 Teoría de los reservorios múltiples

Sostiene que, en ecosistemas biodiversos, ciertos patógenos pueden permanecer latentes en varias especies sin causar brotes visibles, lo que representa un riesgo potencial. Estos reservorios naturales permiten que los patógenos circulen y se mantengan activos durante

largos períodos sin provocar infecciones evidentes, y cualquier alteración en el equilibrio del ecosistema podría desencadenar un brote.

En el caso del Yasuní, algunos ejemplos incluyen el *Trypanosoma cruzi*, responsable de la enfermedad de Chagas, que se mantiene en diversas especies de mamíferos, murciélagos y roedores sin causar síntomas clínicos. Del mismo modo, coronavirus encontrados en murciélagos frugívoros pueden mantenerse en el ambiente y generar nuevas variantes con potencial zoonótico. Igualmente, *Leptospira spp.* se encuentra en animales como roedores y tapires, excretándose en el medio ambiente sin provocar enfermedades en los hospedadores (Torres Castro, 2017).

Este fenómeno de reservorios múltiples complica las estrategias de control, ya que erradicar un patógeno requiere intervenir sobre varias especies al mismo tiempo, lo cual es extremadamente difícil en ecosistemas protegidos como el Yasuní.

2.7 Relevancia para la salud pública y conservación

Estudiar los patógenos presentes en ecosistemas como el del Parque Nacional Yasuní es crucial no solo para prever brotes infecciosos, sino también para proteger las especies en peligro que pueden ser especialmente vulnerables a ciertas enfermedades (Levi y otros, 2016). Este tipo de investigación permite desarrollar estrategias de manejo para minimizar riesgos, como el contacto entre fauna silvestre y humanos, y garantizar la conservación de la biodiversidad en un entorno tan complejo.

Además, el monitoreo de los patógenos ayuda a informar las políticas de manejo relacionadas con el turismo, los investigadores y las comunidades locales, permitiendo gestionar de manera más eficaz las actividades humanas en el área.

2.7.1 Prevención de brotes y enfermedades zoonóticas

- **Emergencia de enfermedades:** Las enfermedades infecciosas originadas en reservorios silvestres están aumentando, especialmente aquellas transmitidas de animales a humanos, como el SARS-CoV-2, el virus del Ébola y la fiebre amarilla.
- **Riesgo en el Yasuní:** El Parque Nacional Yasuní, con su alta biodiversidad y proximidad a actividades humanas (como el turismo y la exploración), es un lugar propenso para la propagación de patógenos de animales a humanos (*spillover*).

- **Estudio y monitoreo:** El estudio de los patógenos en la fauna silvestre, sus vectores y reservorios ayuda a identificar riesgos y prevenir brotes.

Ejemplos de prevención:

- **Trypanosoma cruzi:** Detectar este parásito en roedores y marsupiales permite tomar medidas preventivas en áreas donde hay contacto con humanos.
- **Dengue y fiebre amarilla:** El monitoreo de mosquitos ayuda a orientar campañas de vacunación y control de vectores.
- **Parásitos zoonóticos:** Identificar parásitos como *Strongyloides* y *Ascaris* en áreas compartidas por fauna y humanos permite implementar medidas sanitarias efectivas (Marzal, 2015).

2.7.2 Protección de especies amenazadas y endémicas

Algunas especies, especialmente aquellas con poblaciones pequeñas o ciclos reproductivos lentos, son más vulnerables a los patógenos. En el Yasuní, varias especies que figuran en la lista de amenaza de la UICN podrían estar en riesgo debido a infecciones (Valenzuela Sánchez & Medina Vogel, 2014). Entre ellas se encuentran:

- **Jaguar (*Panthera onca*):** Vulnerable al moquillo canino, transmitido por perros domésticos o animales salvajes infectados.
- **Mono araña de cabeza marrón (*Ateles fusciceps*):** Afectado por virus respiratorios, herpesvirus y bacterias intestinales.
- **Tapir amazónico (*Tapirus terrestris*):** Expuesto a enfermedades bacterianas y parasitarias como la leptospirosis y la brucelosis.

El monitoreo de salud de estas especies es clave para identificar infecciones a tiempo, aplicar medidas preventivas, y desarrollar estrategias de conservación tanto en el hábitat natural como en centros de rescate. Además, ayuda a establecer protocolos sanitarios en proyectos de reintroducción y manejo de áreas protegidas del parque.

2.7.3 Informar políticas de uso público y manejo del territorio

El manejo de visitantes, investigadores, personal técnico y comunidades locales dentro del Yasuní debe basarse en directrices claras que se fundamenten en datos científicos (Lirussi y otros, 2021). Algunas de las acciones clave incluyen:

- **Regulación del acceso a áreas sensibles:** Establecer normas para el acceso a zonas de alto riesgo, como durante la temporada de lluvias o cuando los vectores migran.
- **Normas de manejo de fauna:** Crear reglas sobre el transporte, manejo y liberación de animales, reduciendo el riesgo de transmisión de patógenos.
- **Protocolos de higiene y desinfección:** Imponer medidas de vacunación y desinfección para visitantes e investigadores.
- **Control de especies exóticas y animales domésticos:** Regular la presencia de especies no nativas que puedan introducir nuevas enfermedades.

2.7.4 Implementación del enfoque One Health en áreas protegidas

El enfoque **One Health** (Una Salud) promueve una visión integral que destaca la interconexión entre seres humanos, animales y el medio ambiente (Alarcón Becerra y otros, 2023). Mismo que implica:

- **Colaboración interdisciplinaria:** Facilitar el trabajo conjunto entre ecólogos, veterinarios, médicos, epidemiólogos y las comunidades locales.
- **Vigilancia integrada:** Crear sistemas de monitoreo que integren datos sobre biodiversidad, salud animal, enfermedades humanas y cambios ambientales.
- **Educación y participación:** Empoderar a las comunidades locales mediante programas educativos sobre salud y conservación del entorno.
- **Redes de alerta temprana:** Establecer mecanismos de detección de brotes de enfermedades en áreas vulnerables del parque.

El Yasuní, por su alta biodiversidad y su función como refugio ecológico, debe ser considerado un área prioritaria para la investigación de patógenos y la vigilancia sanitaria. Estudiar sus patógenos no es solo una cuestión académica, sino una estrategia clave para:

- Anticipar amenazas sanitarias.
- Proteger especies en peligro.
- Desarrollar políticas públicas basadas en ciencia.
- Promover una gestión del territorio más eficiente.

De este modo, el Yasuní ofrece un ejemplo clave de cómo la salud pública y la conservación pueden trabajar juntas hacia un modelo sostenible e integral.

2.8 Conclusiones del capítulo

Este capítulo ha examinado en profundidad la ecología de los patógenos y su papel fundamental en los ecosistemas naturales, destacando cómo, a pesar de ser componentes esenciales, a menudo son pasados por alto. En el contexto del Parque Nacional Yasuní, una de las áreas más biodiversas del planeta, comprender el papel de los patógenos se vuelve crucial no solo para la ciencia, sino también para la ecología, la salud pública y la gestión de la naturaleza.

Los patógenos no son elementos ajenos al equilibrio ecológico, sino que interactúan con sus hospedadores y modulan las dinámicas de las poblaciones animales y vegetales. Estas interacciones son necesarias para el mantenimiento de la estabilidad ecológica. Sin embargo, cuando las actividades humanas alteran el entorno, como en el caso de la deforestación o el cambio climático, el equilibrio se ve afectado, y los patógenos pueden convertirse en amenazas significativas para la salud pública y la conservación de las especies.

Una de las enseñanzas clave de este capítulo es que el potencial patogénico de un microorganismo no es algo estático, sino que depende de las condiciones ecológicas, inmunológicas y evolutivas del entorno en el que se encuentra. En el Yasuní, muchos patógenos como bacterias, hongos y virus viven de manera latente en el ecosistema sin causar efectos negativos visibles. Sin embargo, cambios en el ambiente, como el desplazamiento de especies o el estrés ecológico, pueden activar su virulencia, transformándolos en agentes causantes de enfermedades. El capítulo también ha permitido clasificar a los principales grupos de patógenos presentes en el Yasuní, incluyendo virus, bacterias, hongos, protozoarios y helmintos. En el Yasuní, los patógenos no solo se transmiten por contacto directo, sino que también pueden dispersarse a través de vías indirectas como el agua, el aire o los alimentos, además de utilizar vectores biológicos especializados.

Además, se han identificado diversos factores ecológicos y humanos que favorecen la emergencia y reemergencia de enfermedades. La deforestación, por ejemplo, incrementa el contacto entre fauna silvestre y humana, lo que facilita el *spillover*. El cambio climático altera los patrones geográficos de los vectores, mientras que la expansión de la frontera

agropecuaria y el comercio de fauna silvestre introducen nuevos patógenos en el ecosistema.

Por último, el enfoque One Health se presenta como el modelo más adecuado para abordar la complejidad sanitaria del Yasuní. Este enfoque integrador, que reconoce la interdependencia entre la salud humana, animal y ambiental, permite una gestión preventiva en lugar de reactiva. La idea no es solo tratar enfermedades, sino evitar que surjan, manteniendo un equilibrio ecológico que reduzca la presión humana y fortalezca los sistemas de vigilancia.

CAPITULO III

3. METODOLOGÍAS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE PATÓGENOS

La identificación de patógenos en ecosistemas biodiversos como el Parque Nacional Yasuní es un desafío esencial para comprender la diversidad microbiana y su rol en el ecosistema. Este proceso no solo permite diferenciar entre microorganismos comensales, simbioses, oportunistas y patógenos verdaderos, sino también establecer vínculos entre estos agentes infecciosos y los factores ecológicos que influyen en su distribución y virulencia (Quiroz Castañeda, 2018) . Además, una vigilancia activa puede detectar patógenos emergentes o reemergentes antes de que provoquen brotes epidémicos.

En un entorno tan biodiverso como el Yasuní, donde existen muchas especies aún no descritas, los microorganismos habitan en la fauna silvestre, suelos, cuerpos de agua, vegetación e incluso el aire. Estos organismos tienen diferentes grados de patogenicidad y potencial zoonótico, lo que hace que su identificación sea un reto metodológico (Rojas Herrera R. y otros, 2011) . Para abordar este desafío, es necesario combinar herramientas tradicionales y modernas, tanto en campo como en laboratorio.

3.1 Importancia del diagnóstico en contextos de alta diversidad

El diagnóstico de patógenos en ecosistemas complejos como el Parque Nacional Yasuní es esencial, aunque desafiante. A diferencia de entornos más estandarizados, donde los patógenos están mejor definidos, el Yasuní alberga una gran diversidad microbiana aún no caracterizada, lo que requiere enfoques flexibles y específicos para su identificación (Monsalve Buriticá, 2013). La detección temprana de patógenos es fundamental para:

- **Detectar patógenos en especies amenazadas:** Identificar infecciones en fauna y flora vulnerable para aplicar medidas de conservación.
- **Identificar agentes zoonóticos:** Detectar patógenos que puedan transmitirse a humanos o ganado, evitando riesgos para la salud pública.
- **Comprender la ecología microbiana:** Estudiar reservorios, vectores y factores ecológicos que afectan la propagación y virulencia de enfermedades.

3.2 Muestreo en campo: Consideraciones ecológicas y sanitarias

El muestreo en campo es fundamental para la identificación de patógenos, y su diseño debe tener en cuenta diversos factores ecológicos y sanitarios (Bermúdez C y otros, 2023). Los aspectos clave incluyen:

- **Selección de matrices:** Agua, suelo, tejidos animales, vegetales, heces, aire, entre otros.
- **Frecuencia de muestreo:** Considerar la estacionalidad, ciclos reproductivos y eventos climáticos.
- **Protocolos de bioseguridad:** Uso de equipos de protección personal (EPP) y manejo seguro de fauna.
- **Georreferenciación y variables ecológicas:** Registrar temperatura, humedad y presencia de vectores en los puntos de muestreo.

El muestreo puede ser pasivo (recolección ambiental) o activo (captura y manejo de organismos vivos), siempre respetando las normativas éticas y legales.

3.3 Técnicas clásicas de identificación microbiana

Las técnicas tradicionales siguen siendo esenciales, especialmente en laboratorios básicos o cuando se necesita aislar microorganismos para estudios posteriores (Blanco Meneses, 2024). Algunas de las principales incluyen:

- **Cultivo en medios selectivos y diferenciales:** Como agar MacConkey y Sabouraud.
- **Tinciones microbiológicas:** Como Gram y Ziehl-Neelsen.
- **Pruebas bioquímicas:** Para identificar características específicas de bacterias o hongos.
- **Aislamiento de hongos:** Usando medios como PDA o CMA.
- **Hemocultivos y coprocultivos:** Para bacterias entéricas o hemoparásitos.

Aunque más lentas que las técnicas moleculares, estas metodologías siguen siendo útiles para observar la morfología y el crecimiento de los microorganismos, facilitando la identificación de nuevas especies.

3.4 Herramientas moleculares modernas

Las técnicas moleculares han revolucionado la identificación de patógenos, especialmente en ecosistemas complejos como el Yasuní (Escofei Crespo y otros, 2006). Algunas de las herramientas más utilizadas incluyen:

- **PCR:** Amplificación de secuencias específicas de ADN.
- **qPCR (PCR en tiempo real):** Mide la carga microbiana en tiempo real.
- **Secuenciación de genes:** Como 16S rRNA para bacterias y ITS para hongos.
- **Metagenómica:** Estudio del ADN total en una muestra, sin necesidad de cultivo.
- **Electroforesis y análisis genético:** Compara cepas y obtiene información filogenética.

3.5 Técnicas inmunológicas y rápidas

En ciertos contextos, es esencial contar con métodos rápidos, portátiles y accesibles para detectar patógenos de manera in situ (Balsalobre Arenas & Alarcón Cavero, 2017) . Algunas de las técnicas más utilizadas incluyen:

- **ELISA:** Detección de antígenos o anticuerpos específicos.
- **Tiras reactivas de inmunocromatografía:** Útiles para detectar antígenos virales o bacterianos en el campo.
- **LAMP:** Técnica molecular rápida que no necesita termociclador.
- **Biosensores microbianos:** Sensores que detectan metabolitos o genes de resistencia.

Estas metodologías son especialmente efectivas en programas de vigilancia comunitaria, estudios participativos con las poblaciones locales o en la respuesta ante alertas sanitarias.

3.6 Etapas del proceso de identificación

La identificación precisa de patógenos en entornos complejos como el Parque Nacional Yasuní requiere un enfoque riguroso, planificado y multidisciplinario. La biodiversidad única del parque implica una amplia variedad de microorganismos asociados a diferentes hospedadores y matrices ambientales, lo que hace que el proceso de identificación no se limite solo a análisis de laboratorio. Este proceso abarca desde la planificación del muestreo hasta la conservación y transporte de las muestras, siempre con un enfoque en protocolos éticos, sanitarios y científicos (Bautista y otros, 2011).

Cada fase del proceso está interrelacionada y debe ser abordada con metodologías específicas, tomando en cuenta los riesgos y objetivos de la investigación. Las tres etapas clave del proceso son:

3.6.1 Planificación del muestreo

Una planificación adecuada es fundamental para asegurar que los resultados sean representativos y confiables. Un diseño incorrecto puede generar errores de interpretación, contaminación de las muestras o una pérdida significativa de recursos. En un ecosistema complejo como el del Yasuní, es crucial incorporar criterios ecológicos, epidemiológicos y logísticos en cada etapa del proceso (Moreno y otros, 2012).

a) Definir el tipo de muestra

La primera decisión en la planificación es determinar qué tipo de muestra se va a recolectar, de acuerdo con los objetivos del estudio. Las principales matrices para considerar incluyen:

- Vegetal: Tejidos con signos visibles de enfermedad, como manchas, clorosis, necrosis o deformaciones.
- Animal: Muestras de excretas, plumas, pelo, saliva, sangre o tejidos post mortem (siempre bajo autorización).
- Suelo: Muestras rizosféricas o de distintas profundidades, incluyendo zonas de hojarasca.
- Agua: Muestras de cuerpos de agua estancados o corrientes, como ríos, quebradas, charcas y bromelias.
- Aire: Captura de bioaerosoles usando filtros o placas de sedimentación abiertas.

b) Georreferenciación del sitio

Es esencial registrar cada punto de muestreo utilizando coordenadas GPS y anotar detalles como altitud, pendiente, tipo de cobertura vegetal y cercanía a fuentes de perturbación (como vías, campamentos o cuerpos de agua). Esta información es crucial para vincular la presencia de patógenos con variables espaciales y ambientales.

c) Determinación de condiciones climáticas y estacionales

La actividad microbiana varía con factores climáticos como la temperatura, la humedad, la radiación solar y la precipitación. Por esta razón, es recomendable realizar muestreos en diferentes épocas del año, comparando las temporadas seca y lluviosa, o en momentos críticos como después de inundaciones, brotes de enfermedades o alteraciones antrópicas recientes.

3.6.2 Recolección de muestras

Es una fase crucial en la identificación de patógenos, que debe realizarse bajo estrictos principios de bioseguridad, ética y control de calidad. Un procedimiento incorrecto puede llevar a la contaminación cruzada o la pérdida de validez en los resultados.

a) Uso de equipos estériles y bioseguridad

Para garantizar la calidad y precisión de las muestras, es vital utilizar equipos estériles como guantes, pinzas y recipientes adecuados. Se recomienda:

- Materiales descartables o autoclavados para evitar contaminación.
- Trabajo en áreas limpias para minimizar el contacto con superficies externas.
- Etiquetado claro: Cada muestra debe ser identificada con un código único, fecha, hora y el nombre del recolector.

Los investigadores deben usar equipos de protección personal (EPP), incluidos guantes, mascarillas, gafas protectoras y ropa de campo desinfectable.

b) Consideraciones específicas por tipo de muestra

Cada tipo de muestra requiere un enfoque especial:

- Animales: Se deben usar métodos no invasivos como la recolección de heces frescas o muestras de ambientes frecuentados por los animales. Solo con autorización y bajo protocolos éticos, se pueden realizar necropsias de individuos muertos.
- Vegetales: Se deben tomar muestras de hojas, tallos, frutos o raíces con síntomas de infección. También es recomendable recolectar tejidos asintomáticos como controles negativos.

- Suelo: Se deben recolectar entre 50 y 100 g de suelo por punto, separando muestras rizosféricas (cerca de las raíces) de las no rizosféricas. Estas deben almacenarse en bolsas ziplock o tubos etiquetados.
- Agua: Se debe recolectar en envases estériles (vidrio o plástico) y transportar refrigerados. Es importante medir parámetros como temperatura, pH y turbidez en el lugar.
- Aire: Se puede capturar bioaerosoles mediante sedimentación (placas abiertas), muestreadores de alto volumen o filtros de aspiración (Sánchez Romero y otros, 2019).

3.6.3 Conservación y transporte

Una vez recolectadas, las muestras deben ser conservadas adecuadamente para mantener la viabilidad de los microorganismos y evitar contaminación.

a) Refrigeración (4 °C)

Este es el método estándar para bacterias, hongos y protozoarios. Algunas recomendaciones incluyen:

- Transporte en hielera con acumuladores de frío.
- Evitar el congelamiento de bacterias para no dañarlas.
- Limitar el tiempo entre recolección y procesamiento a menos de 48 horas (Martínez y otros, 2012).

b) Preservación de ARN para virus

Para virus con genoma ARN, es necesario preservarlos adecuadamente, usando:

- Soluciones estabilizantes de ARN, como TRIzol o RNA Later.
- Crioviales a -80 °C o almacenamiento en nitrógeno líquido en campo (Somoza & Torá, 2009).

c) Control de contaminación cruzada

Para evitar contaminación, se deben seguir prácticas rigurosas:

- Separar muestras por tipo y por individuo.

- Usar un conjunto de guantes por muestra.
- Incluir controles negativos para verificar la ausencia de contaminación en el transporte.

d) Cadena de custodia

Es fundamental documentar cada paso del proceso, desde la recolección hasta el análisis final en el laboratorio, para asegurar la trazabilidad de las muestras.

3.7 Métodos microbiológicos clásicos

En el monitoreo de patógenos en ecosistemas naturales como el Parque Nacional Yasuní, las técnicas microbiológicas tradicionales siguen siendo esenciales. A pesar de la disponibilidad de herramientas moleculares avanzadas, métodos como el cultivo, aislamiento, tinción, observación microscópica y pruebas bioquímicas siguen siendo ampliamente utilizados. Estos métodos no solo se aplican como una primera etapa en el diagnóstico, sino también para confirmar los resultados o para conservar cepas para estudios posteriores (Moreno y otros, 2012).

Su principal ventaja radica en su bajo costo y la facilidad con la que se pueden utilizar en laboratorios con infraestructura básica. Estos métodos proporcionan valiosa información sobre las características morfológicas y fisiológicas de los microorganismos, siendo especialmente útiles en regiones tropicales, como el Yasuní, donde el acceso a tecnologías avanzadas puede estar limitado.

3.7.1 Cultivo en medios selectivos o diferenciales

El aislamiento de microorganismos en medios de cultivo es una de las primeras etapas para su caracterización. Este proceso permite obtener colonias individuales a partir de muestras complejas, facilitando su posterior identificación a nivel morfológico, bioquímico o genético (Pinzón Gutiérrez & Bustamante Buitrago, 2009).

Tipos de medios usados en el Yasuní:

- **PDA (Papa Dextrosa Agar):** Medio general para aislar hongos filamentosos y levaduras. Favorece el crecimiento de géneros como *Fusarium*, *Aspergillus* y

Colletotrichum, comunes en material vegetal en descomposición o con síntomas fitopatológicos.

- **TSA (Trypticase Soy Agar):** Medio no selectivo y rico utilizado para cultivar bacterias heterótrofas, especialmente en muestras de agua, suelo y tejidos animales.
- **MacConkey Agar:** Medio selectivo para bacterias Gram negativas y diferencial para bacterias fermentadoras de lactosa, como *Escherichia coli*, *Salmonella* y *Klebsiella*, que tienen potencial zoonótico.
- **Sabouraud Dextrosa Agar:** Diseñado para hongos patógenos humanos, especialmente dermatofitos, y algunos saprófitos ambientales.
- **Czapek Dox Agar:** Medio que permite estudiar la capacidad metabólica de hongos, como la producción de pigmentos o esporas en condiciones controladas (Gonzalez Pedraza y otros, 2014).

3.7.2 *Aislamiento y purificación de cepas*

Una vez que se ha sembrado la muestra, es necesario purificar el crecimiento microbiano para evitar interferencias entre especies diferentes y obtener cultivos axénicos (puros). Esto se logra mediante técnicas de siembra en placas de Petri.

a) *Rayado en placas*

Este método consiste en distribuir la muestra utilizando un asa estéril, reduciendo progresivamente la cantidad de inóculo. De esta forma, se obtienen colonias aisladas que pueden ser seleccionadas para subcultivos.

b) *Subcultivo*

Las colonias aisladas se transfieren a medios nuevos para confirmar su pureza y promover su crecimiento bajo condiciones controladas. En el caso de los hongos, se seleccionan fragmentos de micelio activo con esporulación visible.

c) *Tinciones diferenciales*

- **Tinción de Gram:** Permite distinguir entre bacterias Gram positivas (pared gruesa, color púrpura) y Gram negativas (pared delgada, color rosa). Esta distinción es útil para establecer el género presunto de las bacterias.

- **Azul de lactofenol:** Utilizado en hongos para observar sus estructuras reproductivas (como conidios y esporangios) y para diferenciar géneros micóticos a través de la observación de hifas septadas o no septadas (López Jácome y otros, 2014).

3.7.3 *Observación microscópica*

Los siguientes criterios son comúnmente evaluados (Lezcano y otros, 2012).

a) *Morfología colonial*

Antes de observar al microscopio, se examinan las colonias en el medio sólido. Las características observadas incluyen:

- Forma: Circular, irregular, filamentosa.
- Elevación: Plana, convexa, umbonada.
- Borde: Entero, lobulado, filamentoso.
- Color y textura: Presencia de pigmentos difusibles.

Aunque estas características no son exclusivas, ayudan a diferenciar géneros bacterianos (como *Pseudomonas* frente a *Bacillus*) y tipos de hongos (como el blanco algodonoso en *Fusarium*, verde en *Penicillium* y negro en *Aspergillus niger*).

b) *Morfología celular y fúngica*

- Bacterias: Se observan formas como bacilos, cocos y espirilos, que pueden estar dispuestos en cadenas, pares o racimos, lo que ayuda en la identificación inicial.
- Hongos: Se examinan estructuras como esporas, conidióforos, vesículas, clamidosporas y la forma de las hifas (ramificadas, septadas o no).

La observación se realiza con preparaciones húmedas o fijas, utilizando aumentos de hasta 1000x (con inmersión en aceite).

3.7.4 *Pruebas bioquímicas*

Son esenciales para evaluar el perfil metabólico de las cepas microbianas, ayudando a diferenciar especies con fenotipos similares. Aunque son más comunes en bacterias, también pueden aplicarse a algunos hongos a través de la producción de enzimas o metabolitos específicos (Lata de Hernández, 1995).

a) *Pruebas básicas*

- **Catalasa:** Detecta la producción de la enzima catalasa, lo que provoca burbujas al contacto con peróxido de hidrógeno. Esta prueba ayuda a diferenciar *Staphylococcus* (positivos) de *Streptococcus* (negativos).
- **Oxidasa:** Identifica la enzima citocromo c oxidasa. Es positiva en *Pseudomonas* y negativa en enterobacterias.
- **Fermentación de azúcares:** Evalúa la capacidad de fermentar carbohidratos como glucosa, lactosa y sacarosa, con la producción de ácido y/o gas. Se realiza en caldos de fermentación o tubos con campana de Durham.

b) *Pruebas API y sistemas comerciales*

Existen sistemas comerciales como API 20E (para enterobacterias), API Candida, o API Coryne, que permiten realizar múltiples pruebas bioquímicas a la vez, en un formato miniaturizado, acelerando el proceso de identificación hasta el nivel de especie.

3.8 Métodos moleculares y genómicos

Las técnicas moleculares y genómicas han revolucionado el campo de la microbiología, especialmente en entornos como el Parque Nacional Yasuní, donde la diversidad microbiana es extremadamente alta. Estas herramientas permiten la detección de microorganismos que no pueden ser cultivados, la diferenciación de especies muy similares entre sí, y la realización de análisis filogenéticos detallados.

A diferencia de los métodos tradicionales que se basan en el cultivo y la observación fenotípica, los métodos moleculares se enfocan en el análisis del material genético (ADN o ARN) de los microorganismos, lo que permite estudiar incluso aquellos que no crecen en condiciones de laboratorio (Escofet Crespo y otros, 2006). Además, facilitan la creación de bases de datos de referencia que son fundamentales para el monitoreo, conservación y diagnóstico de patógenos.

3.8.1 PCR (*Reacción en cadena de la polimerasa*)

Es una técnica esencial en biología molecular, que amplifica regiones específicas de ADN o ARN. Mediante ciclos de temperatura controlada, se generan millones de copias de un

fragmento genético, lo que permite su detección incluso en cantidades mínimas (Uribe Vélez, 2009).

Aplicaciones en el Yasuní:

- **Hongos fitopatógenos:** Se amplifica la región ITS, un marcador genético estándar para identificar hongos como *Fusarium*, *Colletotrichum* y *Phytophthora*.
- **Bacterias ambientales o zoonóticas:** El gen 16S rRNA permite identificar bacterias y clasificarlas hasta el nivel de especie, útil para detectar *Leptospira*, *Mycobacterium*, *Brucella* y otras bacterias de relevancia ecológica y sanitaria.
- **Parásitos protozoarios o helmintos:** Se amplifican regiones como el gen COI para diferenciar especies de *Trypanosoma*, *Toxoplasma* y nematodos gastrointestinales.

Ventajas:

- Alta sensibilidad y especificidad.
- Capacidad para detectar infecciones tempranas o subclínicas.
- Requiere pequeñas cantidades de muestra.

Limitaciones:

- Necesita un termociclador y reactivos específicos.
- No distingue entre microorganismos vivos o muertos.

3.8.2 qPCR (PCR en tiempo real)

Es una versión avanzada de la PCR convencional que permite monitorear la amplificación del ADN en tiempo real, utilizando sondas fluorescentes o intercalantes (Rubio y otros, 2019).

Ventajas en contextos ambientales:

- **Cuantificación de la carga microbiana:** Mide el número de copias de un gen específico.

- Comparación entre sitios de muestreo: Ayuda a evaluar las diferencias en la abundancia relativa de un patógeno.
- Aplicaciones en estudios de dinámica poblacional: Permite analizar la población microbiana en suelos, agua o tejidos.

Desventajas:

- Costos elevados.
- Requiere equipo especializado (termociclador con capacidad de fluorescencia).

3.8.3 Secuenciación genética (Sanger / NGS)

Permite determinar el orden exacto de los nucleótidos (A, T, C, G) en un fragmento de ADN (López de Heredia, 2016).

Se distinguen dos enfoques principales:

a) Secuenciación Sanger (tradicional)

- Ideal para identificar una sola especie o cepa a partir de un producto de PCR.
- Comúnmente usada para confirmar la identidad de aislamientos puros y para construir árboles filogenéticos.

b) Secuenciación de nueva generación (NGS)

- Permite secuenciar miles o millones de fragmentos simultáneamente, proporcionando una visión completa del microbioma presente en muestras de suelo, agua, tejidos o aire.
- Usada en estudios de *metabarcoding*, amplificando regiones universales como 16S rRNA o ITS para analizar comunidades microbianas.

Aplicaciones en el Yasuní:

- Estudio de la diversidad bacteriana del suelo en áreas afectadas por hidrocarburos.
- Comparación de microbiomas intestinales en distintas especies de mamíferos.
- Evaluación del impacto del turismo en el microbioma aéreo del bosque.

Ventajas:

- Identificación precisa de microorganismos.
- Detección de organismos no cultivables.
- Construcción de bases de datos genéticos útiles para la conservación.

Limitaciones:

- Alto costo.
- Requiere infraestructura bioinformática y capacidad para el análisis de grandes volúmenes de datos.

3.8.4 Electroforesis en gel de agarosa

Es una técnica simple utilizada para visualizar los productos de PCR, permitiendo evaluar su tamaño y pureza. Funciona mediante la migración del ADN cargado negativamente a través de un gel de agarosa bajo una corriente eléctrica. (Escofet Crespo y otros, 2006).

Procedimiento:

- Los productos de PCR se cargan en los pozos del gel junto con un marcador de peso molecular.
- Se aplica voltaje durante 30–60 minutos.
- El gel se tiñe con bromuro de etidio o SYBR Safe y se visualiza bajo luz UV.

Interpretación:

- Banda del tamaño esperado: Confirma que la amplificación fue exitosa.
- Múltiples bandas: Pueden indicar contaminación o productos inespecíficos.
- Bandas débiles o ausentes: Sugerencia de inhibición en la PCR o degradación del ADN.

Usos en el Yasuní:

- Confirmación de la presencia o ausencia de genes patogénicos.
- Comparación de variantes genéticas entre muestras.
- Apoyo a otras técnicas como RAPD, AFLP o análisis de transcripción.

3.9 Otras herramientas complementarias

Existen herramientas complementarias que ofrecen apoyo en diagnóstico, validación de resultados o monitoreo de infecciones, especialmente al evaluar la respuesta inmunológica de los hospederos, observar estructuras en tejidos específicos o mantener cepas virales viables para análisis más detallados (López y otros, 1999).

3.9.1 ELISA (*Ensayo inmunoabsorbente ligado a enzimas*)

Es una técnica inmunológica utilizada para detectar antígenos virales, bacterianos o fúngicos, así como los anticuerpos generados por el hospedero en respuesta a infecciones (Agudelo y otros, 2005).

Tipos de ELISA:

- **Directo:** Detecta antígenos específicos.
- **Indirecto:** Detecta anticuerpos generados contra un patógeno.
- **Sandwich:** Aumenta la sensibilidad usando dos anticuerpos.
- **Competitivo:** Ideal para muestras complejas con bajo nivel de antígeno.

Aplicaciones en el Yasuní:

- Detección de anticuerpos contra virus zoonóticos en murciélagos, roedores y primates.
- Evaluación de la seroprevalencia de leptospirosis.
- Diagnóstico de enfermedades virales en aves.

Ventajas:

- Alta sensibilidad.
- Económico y escalable.
- Ideal para muestras no frescas.

Limitaciones:

- Requiere anticuerpos o antígenos estandarizados.
- No distingue entre infecciones activas o pasadas.

3.9.2 Microscopía de fluorescencia y confocal

La microscopía de fluorescencia permite observar estructuras celulares y moléculas específicas usando tintes fluorescentes, mientras que la microscopía confocal mejora la resolución mediante un sistema láser, ideal para estudios tridimensionales (Rodríguez Martínez, 2011).

Aplicaciones en el Yasuní:

- Visualización de hongos endofíticos en tejidos vegetales.
- Detección de protozoarios en tejidos animales.
- Estudio de la colonización microbiana en especies vegetales endémicas.

Ventajas:

- Alta resolución y especificidad.
- Posibilidad de estudio in situ y en tiempo real.

Limitaciones:

- Requiere equipamiento especializado.
- Sensible a la fotodegradación.

3.9.3 Cultivo celular

Permite mantener células animales vivas en laboratorio para evaluar su interacción con patógenos, como los virus, que no pueden ser cultivados por medios tradicionales (Rivera Tapia y otros, 2020).

Aplicaciones en el Yasuní:

- Aislamiento de virus de muestras animales (sangre, saliva, tejido pulmonar).
- Estudio de virus emergentes no caracterizados.

Ventajas:

- Permite la replicación de virus no cultivables.
- Base para estudios de neutralización y patogenicidad.

Limitaciones:

- Requiere infraestructura especializada.
- Riesgo de contaminación y bajo rendimiento en campo.

3.10 Bioseguridad y ética

En la identificación de patógenos en ecosistemas sensibles como el Parque Nacional Yasuní, es esencial cumplir con normas de bioseguridad y principios éticos. Estas directrices no solo protegen la salud de los investigadores y las comunidades humanas, sino que también respetan la fauna, flora, sistemas ecológicos y culturas locales.

Dado que muchas actividades incluyen el manejo de muestras biológicas infecciosas, la manipulación de fauna y la interacción con territorios indígenas, es crucial seguir las regulaciones nacionales, como las del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), así como las recomendaciones internacionales sobre bioética ambiental y sanitaria (Rodríguez González y otros, 2009).

3.10.1 Normas del MAATE y Comité de Ética Ambiental del Ecuador

El MAATE regula las actividades científicas en áreas protegidas y asegura que todas las investigaciones se realicen de manera responsable y respetuosa (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), 2022).

Permisos de investigación:

- Requiere autorización para actividades que involucren ingreso a áreas protegidas, colecta de muestras, manipulación de fauna o flora, y la interacción con comunidades.
- Solicitud de permiso debe incluir: Objetivo del estudio, plan de muestreo, cronograma, protocolo de bioseguridad, y si aplica, protocolo ético en colaboración con comunidades locales.

Comité de Ética Ambiental:

- Para estudios que impliquen aspectos sensibles, como la manipulación de fauna o el uso de datos comunitarios, se debe contar con la evaluación de un comité de ética ambiental.

3.10.2 Protocolos de bioseguridad

La bioseguridad es esencial para minimizar los riesgos de exposición a agentes infecciosos (Ministerio de la Presidencia, 2004).

Niveles de bioseguridad:

- **BSL-1:** Microorganismos no patógenos.
- **BSL-2:** Patógenos que causan enfermedades leves, manejables con precauciones estándar.
- **BSL-3 y BSL-4:** Reservados para microorganismos de alto riesgo zoonótico (generalmente no permitidos en campo abierto).

Protocolos de desinfección:

- Limpieza de equipos con soluciones como hipoclorito de sodio o etanol.
- Uso de EPP (equipo de protección personal): guantes, mascarillas, botas, ropa impermeable.
- Desinfección de vehículos y equipo al entrar o salir de las zonas de muestreo.

Gestión de residuos biológicos:

- Residuos peligrosos deben ser transportados y eliminados de manera segura (incineración o autoclave).

3.10.3 Ética en la interacción con comunidades locales

El Yasuní alberga pueblos indígenas como los Waorani, y grupos en aislamiento voluntario, por lo que las investigaciones en sus territorios deben cumplir con principios éticos estrictos (Narváez Collaguazo, 2024).

Consentimiento informado previo:

- CIPLE (Consentimiento informado libre, previo y esclarecido) debe ser obtenido de las autoridades legítimas de las comunidades antes de recolectar datos o muestras.
- Transparencia sobre los objetivos del estudio, los riesgos y beneficios, y los derechos de la comunidad.

Protección de datos culturales y de salud:

- Confidencialidad y uso ético de la información sobre salud o el uso de plantas medicinales.
- Devolución de resultados en formatos comprensibles para la comunidad.

No interferencia en la vida tradicional:

- Las actividades científicas no deben alterar las prácticas culturales de las comunidades, y se deben implementar rutas de muestreo alternativas, especialmente en áreas con pueblos en aislamiento.

3.11 Estudios de caso relevantes

Para ilustrar cómo se aplican las metodologías microbiológicas, moleculares y éticas descritas en este capítulo, se presentan tres estudios de caso representativos (Soto Plancarte y otros, 2017) . Estos estudios reflejan situaciones reales o plausibles dentro del Parque Nacional Yasuní y muestran cómo el uso combinado de herramientas técnicas y protocolos normativos contribuye a:

- Identificación de patógenos en diferentes escenarios.
- Evaluación de las implicaciones ecológicas de los patógenos identificados.
- Generación de información clave para la conservación y la salud ambiental.

Estos casos destacan también el Yasuní como un laboratorio natural valioso para la investigación en microbiología ambiental y epidemiología de enfermedades emergentes.

3.11.1 Caso 1: Aislamiento de *Phytophthora* sp. en raíces de árboles en áreas alteradas

Contexto y justificación:

Durante un estudio sobre salud forestal, se observaron síntomas de decaimiento en árboles jóvenes de *Iriartea deltoidea* y *Euterpe precatoria* en áreas afectadas por actividades petroleras (Martínez y otros, 2010).

Metodología empleada:

- **Muestreo dirigido:** Recolección de raíces sintomáticas y suelos rizosféricos de árboles enfermos y controles.
- **Aislamiento microbiológico:** Cultivo en medio V8 agar.
- **Observación microscópica:** Colonias con micelio ceniciento y esporas características de *Phytophthora*.
- **Confirmación molecular:** PCR con primers específicos para la región ITS.

Resultados e implicaciones:

- Se encontró correlación entre la presencia del patógeno y la alteración del suelo debido a la infraestructura petrolera, lo que favorece el establecimiento del hongo.

Valor científico:

Este estudio demuestra cómo la combinación de técnicas microbiológicas clásicas y moleculares permite identificar fitopatógenos y resalta la importancia de monitorear enfermedades fúngicas en zonas de alta intervención humana.

3.11.2 Caso 2: Detección de *Trypanosoma cruzi* en heces de marsupiales silvestres mediante PCR anidada**Contexto y justificación:**

Se investigó el posible rol de las zarigüeyas como reservorios de *Trypanosoma cruzi*, causante de la enfermedad de Chagas, debido a su proximidad a zonas rurales (Ferrer, 2015).

Metodología empleada:

- **Muestreo no invasivo:** Recolección de heces frescas.
- **Extracción de ADN fecal:** Uso de columnas de sílica.
- **PCR anidada:** Amplificación de la región kDNA de *T. cruzi*.
- **Electroforesis:** Verificación de la presencia de bandas características.

Resultados e implicaciones:

- El 35% de las muestras fueron positivas, confirmando la circulación de *T. cruzi* en marsupiales del Yasuní.

Medidas recomendadas:

- Educación comunitaria sobre los riesgos de *Chagas* y control de triatominos en áreas cercanas al parque.

Valor científico:

Este estudio resalta cómo la PCR anidada puede detectar infecciones subclínicas, proporcionando datos clave para la vigilancia de enfermedades zoonóticas en ecosistemas selváticos.

3.11.3 Caso 3: Secuenciación metagenómica del suelo en zonas con distinta presión antrópica**Contexto y justificación:**

Se evaluaron los efectos de la actividad humana sobre la estructura microbiana del suelo en tres áreas del Yasuní: bosque primario prístino, borde de camino petrolero y zona agrícola (Sierra & Stallings, 2020).

Metodología empleada:

- **Muestreo estandarizado de suelo:** 0-10 cm de profundidad, con control de humedad y pH.
- **Extracción de ADN ambiental:** Usando kits especializados.
- **Secuenciación masiva:** Gen 16S rRNA para bacterias con la plataforma Illumina MiSeq.
- **Análisis bioinformático:** Clasificación taxonómica con bases de datos SILVA.

Resultados principales:

- En la zona prístina predominan géneros beneficiosos como *Rhizobium*, mientras que en áreas alteradas aumentan las bacterias patógenas, como *Klebsiella pneumoniae* y *Pseudomonas aeruginosa*.
- Se detectaron genes de resistencia a antibióticos, más comunes en el entorno agrícola.

Implicaciones ecológicas y sanitarias:

- La alteración del suelo impacta no solo la vegetación, sino también la comunidad microbiana, lo que podría repercutir en la salud de plantas, animales y humanos.

Valor científico:

Este estudio demuestra cómo la metagenómica ayuda a evaluar cambios en la ecología microbiana y resalta la emergencia de patógenos debido a la presión humana en ecosistemas naturales.

3.12 Conclusiones del capítulo

La identificación de patógenos en un ecosistema tan diverso y dinámico como el Parque Nacional Yasuní plantea una serie de desafíos técnicos y metodológicos, que requieren un enfoque multidisciplinario. La complejidad biológica y ecológica del parque, sumada a la presencia de muchas especies aún no descritas, hace que las estrategias para detectar y estudiar los patógenos deben ser adaptativas y rigurosas, siempre respetando los principios de bioseguridad y ética ambiental.

A lo largo del capítulo, se ha destacado la necesidad de combinar técnicas microbiológicas tradicionales con herramientas moleculares y genómicas para abordar el estudio de los patógenos de manera integral. Estas metodologías, lejos de ser excluyentes, deben complementarse según el tipo de muestra, el microorganismo de interés, las características del entorno y los objetivos de la investigación.

El uso de tecnologías avanzadas ha permitido cambiar la manera en que los investigadores estudian las enfermedades infecciosas en este tipo de ecosistemas. Así, no solo se identifican los microorganismos presentes, sino que también se observa cómo estos afectan la salud del ecosistema y si tienen potencial para generar brotes o alterar el equilibrio

ecológico. Es fundamental, por tanto, no solo reconocer los patógenos, sino también entender sus interacciones dentro del sistema más amplio de biodiversidad y salud ecosistémica.

La combinación de métodos clásicos y avanzados de diagnóstico ha demostrado ser esencial para la vigilancia sanitaria en áreas naturales. Este enfoque multidisciplinario ha abierto nuevas perspectivas en la conservación y protección de la biodiversidad del Yasuní, asegurando que las investigaciones sobre patógenos no solo sean relevantes desde el punto de vista científico, sino también para la salud pública y el bienestar de los ecosistemas que alberga.

CAPITULO IV

4. PATÓGENOS EN FLORA SILVESTRE

La vegetación del Parque Nacional Yasuní es un componente clave de la biodiversidad amazónica, aportando a la estabilidad del ecosistema. Sin embargo, la rica diversidad de plantas del parque está expuesta a diversas amenazas patológicas. Diversos microorganismos, incluyendo bacterias, hongos y virus, pueden afectar tanto a grandes árboles como a plantas más pequeñas, epífitas y hierbas (Guzman y otros, 2009). Estos patógenos tienen el potencial de alterar el equilibrio ecológico, afectando procesos esenciales como la sucesión vegetal, la captura de carbono y la regeneración natural del bosque.

Aunque el estudio de los patógenos vegetales en ambientes naturales como el Yasuní es un campo todavía emergente, su importancia es crucial para la conservación de especies locales y la prevención de enfermedades. Estos estudios permiten identificar posibles brotes vinculados a factores como el cambio climático o la intervención humana, proporcionando así información vital para el manejo y la protección de la flora amazónica.

4.1 Principales grupos de fitopatógenos

En el contexto del Parque Nacional Yasuní, los fitopatógenos (microorganismos que causan enfermedades en plantas) presentan un desafío significativo para la conservación de la flora y el monitoreo ambiental. La vasta biodiversidad vegetal del parque alberga una amplia gama de microorganismos que, a pesar de ser poco conocidos, tienen un impacto potencial sobre la salud de las plantas, la regeneración del bosque y la dinámica ecológica (Belezaca Pinargote y otros, 2011).

4.1.1 Hongos fitopatógenos

Los hongos son los patógenos más comunes en plantas tropicales, y su presencia en el Yasuní no es una excepción. Estos organismos pueden causar diversos daños a las plantas, desde marchitamientos hasta podredumbres radiculares (Belezaca Pinargote y otros, 2011). A continuación, se describen algunos géneros relevantes:

- ***Fusarium spp***: Causante de marchitamientos al colonizar el sistema vascular de las plantas, afectando el flujo de agua y nutrientes. *Fusarium solani* se ha aislado en plántulas de *Virola elongata*, especialmente en áreas con suelos compactados.
- ***Phytophthora spp***: Aunque es un aniceto, se clasifica comúnmente junto con los hongos debido a sus características patológicas. Causa podredumbre radicular, favorecida por suelos encharcados. En el Yasuní, *Phytophthora palmivora* afecta a palmas como *Iriartea deltoidea* en áreas ribereñas.
- ***Colletotrichum spp***: Responsables de antracnosis, manifestada por manchas oscuras en hojas, frutos o tallos. *Colletotrichum gloeosporioides* se ha observado en *Inga spp.*, especialmente en zonas de bordes de bosque con alta exposición al sol.
- ***Marasmiellus spp***: Asociado con la pudrición radicular en ambientes con alta humedad y acumulación de hojarasca. Afecta tanto a árboles como a epífitas en el suelo del Yasuní.

4.1.2 Bacterias fitopatógenas

Aunque menos estudiadas en la flora silvestre, las bacterias también son responsables de importantes daños en plantas. Estas bacterias se infiltran en los tejidos vegetales a través de estomas o heridas y producen compuestos que inducen necrosis y otras alteraciones en las plantas (Gasparotto, 2022). Entre las especies relevantes están:

- ***Xanthomonas spp***: Causante de manchas foliares que eventualmente se convierten en necrosis. En el Yasuní, se ha observado este patrón en especies arbustivas del sotobosque, particularmente después de lluvias intensas.
- ***Pseudomonas syringae***: Responsable de diversas infecciones en plantas, incluyendo el anillamiento de tallos y exudados viscosos. Ha sido identificado en especies como *Piper spp*, especialmente en áreas intervenidas por la actividad humana.

4.1.3 Virus vegetales

Los virus en plantas son agentes subcelulares cuya detección es desafiante, especialmente en el campo, donde los síntomas a menudo no son evidentes. En el Yasuní, aunque no se han registrado casos concluyentes, los virus podrían estar presentes de manera latente, transmitidos principalmente por vectores como áfidos, trips y escarabajos (Bustos Meza y otros, 2024). Algunos ejemplos incluyen:

- **Begomovirus (familia Geminiviridae):** Asociado con mosaicos foliares en plantas del sotobosque.
- **Potyvirus:** Causa distorsión foliar y reducción del crecimiento en diversas plantas herbáceas y monocotiledóneas.

La detección de estos virus generalmente requiere métodos moleculares avanzados como la RT-PCR.

4.1.4 Otros grupos potenciales

En el Yasuní, podrían existir otros fitopatógenos menos documentados que también afectan la salud de las plantas. Estos incluyen:

- **Nematodos fitoparásitos:** Estos organismos microscópicos, como *Meloidogyne spp.* y *Radopholus spp.*, son difíciles de detectar en etapas tempranas. Pueden causar agallas y deformaciones radiculares, especialmente en suelos alterados (Bustos Meza y otros, 2024).
- **Fitoplasmas y bacterias fastidiosas:** Agentes como *Candidatus Phytoplasma* y *Xylella fastidiosa*, que son transmitidos por insectos vectores, pueden inducir marchitamientos crónicos y otros síntomas en plantas tropicales (Lara Posadas & Núñez Sánchez, 2015).

4.2 Síntomas comunes de enfermedades en plantas del Yasuní

El reconocimiento temprano de los síntomas de enfermedades en las plantas es fundamental para el monitoreo de la salud de los ecosistemas y la conservación en el Parque Nacional Yasuní (Guzman y otros, 2009). En este entorno, donde la humedad, la biodiversidad y las condiciones ambientales varían constantemente, los síntomas de enfermedades pueden ser fácilmente confundidos con respuestas a factores no infecciosos.

4.2.1 Necrosis y manchas foliares

Se caracteriza por manchas de tejido muerto que comienzan como áreas amarillentas y se expanden a zonas de color marrón o negro. Este síntoma es frecuente en el Yasuní, especialmente en plantas del sotobosque y en zonas de borde donde los tejidos están expuestos a la humedad o a daños mecánicos (Cotes Prado y otros, 2018).

Patógenos involucrados:

- *Colletotrichum spp.*: Causa antracnosis en hojas de *Inga spp.*
- *Pseudomonas syringae*: Causa necrosis foliar con apariencia de "quemaduras".
- *Xanthomonas spp.*: Produce manchas húmedas que se secan, con bordes amarillentos.

4.2.2 Muerte regresiva de ramas (dieback)

Es el síntoma en el que las ramas de las plantas comienzan a secarse desde el extremo distal hacia la base. Este fenómeno se observa comúnmente en plantas jóvenes en áreas donde se altera el suelo o el entorno (Rodríguez Gaviria & Cayón, 2008).

Causas comunes:

- *Fusarium spp.*: Causa marchitez vascular y muerte de ramas.
- *Phytophthora spp.*: Afecta el cuello del tallo y las raíces, comprometiendo el suministro de agua.
- *Bacterias pseudomonádicas*: Causan colapso rápido de tejidos en tallos tiernos.

4.2.3 Pudrición de raíces y tallos

Es uno de los síntomas más graves, ya que afecta directamente la capacidad de las plantas para absorber agua y nutrientes. Se observa especialmente en zonas ribereñas y en áreas con drenaje deficiente (López Casallas y otros, 2020).

Agentes causales:

- *Phytophthora palmivora*: Causa podredumbre de las raíces y base de las palmas.
- *Fusarium solani*: Produce necrosis del tejido cortical.
- *Marasmiellus spp.*: Afecta las raíces superficiales en ambientes húmedos.

4.2.4 Clorosis generalizada

Se presenta cuando las hojas pierden su color verde, normalmente debido a la descomposición de la clorofila. Aunque puede ser causada por deficiencias de nutrientes, también es común en plantas infectadas por fitoplasmas, virus o bacterias (Martínez y otros, 2014).

Posibles causantes:

- *Fitoplasmas*: Provocan clorosis y retraso en la floración.
- *Virus (Potyvirus, Begomovirus)*: Causan mosaicos y pérdida de color.
- *Bacterias endófitas*: Alteran la síntesis de pigmentos.

4.2.5 Tumores, excrecencias y agallas

La formación de tumores, agallas y excrecencias en las plantas es un síntoma de infecciones bacterianas o la respuesta de las plantas a fitoplasmas o nematodos (Velásquez Valle y otros, 2001).

Causas frecuentes:

- *Agrobacterium tumefaciens*: Provoca la formación de tumores en la base del tallo.
- *Fitoplasmas* o *Nematodos*: Causan deformaciones radiculares y malformaciones en diversas partes de la planta.

4.2.6 Caída prematura de hojas y frutos

La caída prematura de hojas y frutos puede ser el resultado de infecciones que afectan los tejidos de inserción o respuestas sistémicas al estrés inducido por patógenos (Mestizo y otros, 2012).

Infecciones comunes:

- *Colletotrichum spp.*: Provoca antracnosis, lo que lleva a la caída rápida de las hojas.
- *Fusarium spp.*: Induce marchitez sistémica que puede culminar en defoliación.
- *Infecciones virales*: Provocan el aborto o caída de frutos inmaduros.

4.3 Importancia del diagnóstico diferencial

Es crucial entender que muchos de los síntomas descritos (Pérez Acevedo y otros, 2017). Pueden tener causas no infecciosas, tales como:

- Exceso o falta de agua.
- Deficiencias nutricionales (por ejemplo, nitrógeno, magnesio, zinc).
- Compactación del suelo o falta de luz.

- Daños mecánicos causados por fauna o actividad humana.

Para evitar errores en el diagnóstico, se recomienda utilizar técnicas confirmatorias, tales como:

- Aislamiento de patógenos en medios selectivos.
- Observación microscópica de estructuras infecciosas.
- Tinciones específicas como Gram o azul de lactofenol.
- PCR para identificación molecular.

Esta comprensión permite tomar decisiones más informadas y contribuir a la salud y conservación de las especies vegetales en el Yasuní.

4.4 Mecanismos de infección y diseminación

Comprender cómo los fitopatógenos infectan y se propagan dentro del Parque Nacional Yasuní es clave para diseñar estrategias eficaces de monitoreo y prevención de enfermedades. Dado el ecosistema denso y diverso de este parque, las condiciones son ideales para que muchos patógenos prosperen y se movilicen rápidamente (Massena Reis & Lopes Olivares, 2006).

4.4.1 Vías de ingreso del patógeno a la planta

Para que un patógeno cause una infección, debe superar las barreras naturales de la planta, como la epidermis y las estructuras internas. Estas vías de ingreso incluyen tanto métodos pasivos, como las estomas, como activos, donde el patógeno descompone los tejidos vegetales para penetrar (Cassel y otros, 2023).

- **Estomas:** Son aberturas naturales en la epidermis de las hojas que permiten la entrada de bacterias y hongos. En el Yasuní, se ha observado que las lluvias prolongadas favorecen la entrada de patógenos a través de estos poros, lo que aumenta el riesgo de infección, especialmente en especies del sotobosque.
- **Heridas mecánicas:** Las lesiones causadas por herbívoros, caídas de ramas o tránsito humano facilitan la entrada de patógenos como *Colletotrichum spp.*, *Fusarium spp.*, y bacterias oportunistas. En áreas de tránsito, como senderos turísticos, se ha documentado este tipo de daño.

- **Hidatodos y lenticelas:** Estas estructuras permiten el intercambio de gases y la exudación de agua, sirviendo como una vía para que los patógenos penetren sin necesidad de dañar las células vegetales.
- **Raíces:** Los patógenos del suelo como *Phytophthora spp.* y *Fusarium spp.* ingresan a través de raíces lesionadas o tejidos radicales, siendo favorecidos por suelos saturados o compactados.

4.4.2 Diseminación de los fitopatógenos

Una vez que el patógeno ha infectado una planta, su diseminación a otras plantas cercanas puede ocurrir por medios bióticos o abióticos. Esta fase es crucial para la propagación del patógeno en el ecosistema (Rhoden y otros, 2019).

- **Lluvia y salpicaduras:** Las gotas de lluvia o el goteo de las copas de los árboles pueden transferir esporas y bacterias de una planta infectada a otra. Este es un mecanismo importante de dispersión para patógenos como *Colletotrichum spp.* y *Phytophthora spp.*
- **Viento y corrientes de aire:** Esporas ligeras y resistentes a la desecación, como las de *Marasmiellus spp.* y *Alternaria*, pueden ser transportadas por el viento a distancias considerables.
- **Insectos vectores:** Los insectos fitófagos, como los áfidos y trips, juegan un papel crucial en la transmisión de virus y bacterias entre plantas. En el Yasuní, estos insectos facilitan la propagación de *Potyvirus*, *Tospovirus* y fitoplasmas.
- **Movimiento del agua:** El agua superficial o subsuperficial también es un medio de dispersión de patógenos en el suelo, como en el caso de *Phytophthora palmivora*, cuyas zoosporas pueden ser transportadas por el agua y colonizar nuevas raíces.
- **Actividades humanas:** Las herramientas contaminadas, el transporte de tierra o plantas, y el paso de personas a través de áreas de muestreo pueden facilitar la introducción de patógenos de un área a otra, lo que se convierte en un riesgo creciente con el aumento del ecoturismo (Belezaca Pinargote y otros, 2018).

4.4.3 Factores ambientales que modulan la infección

Los factores ambientales desempeñan un papel clave en la eficacia de los mecanismos de infección y propagación. En el Yasuní, la combinación de clima, características del suelo y otros elementos naturales influye considerablemente en la dinámica de las enfermedades (Mora Urpí y otros, 2008).

- **Humedad y temperatura:** Las condiciones de alta humedad y temperaturas moderadas del Yasuní favorecen la actividad de los patógenos. La alta humedad facilita la germinación de esporas y el movimiento de zoosporas, mientras que las temperaturas constantes entre 24 y 27°C favorecen la proliferación de bacterias y hongos.
- **Luz solar y apertura del dosel:** Las áreas más soleadas del bosque, como los bordes de senderos o claros, tienen mayor exposición a patógenos debido a la presencia de tejido joven y heridas en las plantas. La mayor exposición al sol también afecta la duración del rocío, lo que influye en la infección estomática.
- **Suelos:** La compactación del suelo, su capacidad de retención de agua y la composición microbiana son factores cruciales en la persistencia de patógenos edáficos. En áreas alteradas, como las zonas de suelos ácidos y mal aireados, los patógenos como *Fusarium solani* prosperan, afectando las plantas.

4.5 Ejemplos Documentados en el Yasuní

El estudio de fitopatógenos en el Parque Nacional Yasuní está en sus primeras fases debido a la complejidad ecológica del sistema, el difícil acceso a muchas zonas del parque y la infraestructura limitada para investigación microbiológica en campo. Sin embargo, varios proyectos recientes han permitido documentar la presencia de patógenos vegetales, establecer relaciones entre síntomas visibles y condiciones ambientales, y proporcionar información valiosa para la conservación de la flora amazónica (Belezaca Pinargote y otros, 2018).

A continuación, se describen algunos estudios representativos que ejemplifican la presencia de fitopatógenos en distintas especies vegetales dentro y alrededor del Yasuní.

4.5.1 *Aislamiento de Fusarium solani en raíces de Virola elongata*

Contexto:

Durante un estudio sobre la regeneración forestal cerca del sendero Tiputini, se observó una alta mortalidad en plántulas de *Virola elongata*, una especie arbórea típica del Yasuní. Los síntomas observados fueron marchitamiento progresivo, clorosis y colapso de los tallos (Reséndiz Martínez y otros, 2024).

Metodología:

- **Muestreo:** Recolección de raíces afectadas y suelos.
- **Aislamiento microbiológico:** Siembra en medio PDA con antibióticos.
- **Identificación:** Microscopía y tinción azul de lactofenol, seguida de PCR para confirmar *Fusarium solani*.

Resultados:

Se halló una correlación entre la compactación del suelo, el estrés hídrico y la proliferación del hongo. Las áreas de mayor impacto fueron las más afectadas por el tránsito humano.

4.5.2 *Presencia de Phytophthora palmivora en palmas silvestres*

Contexto:

En áreas ribereñas del río Tiputini, se detectaron síntomas de pudrición basal y clorosis en *Iriartea deltoidea*, una palma endémica de la región (Martínez L y otros, 2010).

Metodología:

- **Muestreo:** Recolección de muestras de raíces y tallos afectados.
- **Aislamiento microbiológico:** Cultivo en medio PARP, específico para oomicetos.
- **Confirmación molecular:** PCR de genes *Cox II* y *ITS*.

Resultados:

La detección de *Phytophthora palmivora* subraya el riesgo de que este patógeno, originario de cultivos cercanos, afecte a las palmas nativas. La escorrentía del agua parece haber facilitado su dispersión.

4.5.3 Lesiones por *Colletotrichum* spp. en hojas de *Inga* spp.

Contexto:

En áreas de transición entre el bosque primario y el secundario, se observaron manchas oscuras y necrosis en hojas de *Inga* spp., un género del sotobosque (Martínez y otros, 2010).

Metodología:

- **Muestreo:** Aislamiento de muestras de hojas afectadas en medio PDA.
- **Identificación:** Observación de conidios, seguida de PCR específica para *Colletotrichum gloeosporioides*.

Resultados:

La correlación entre la exposición solar y la susceptibilidad a la infección sugiere que las perturbaciones ambientales aumentan la vulnerabilidad de estas plantas a la antracnosis.

4.5.4 Posible asociación de bacterias *Pseudomonas* con necrosis en *Piper* spp.

Contexto:

En parcelas de regeneración natural en el flanco norte del Yasuní, se observó necrosis en las plántulas de *Piper aduncum* (López Cardona & Castaño Zapata, 2012).

Metodología:

- **Muestreo:** Recolección de muestras de tallos afectados.
- **Aislamiento microbiológico:** Cultivo en agar nutritivo, con observación de colonias fluorescentes.
- **Identificación:** Pruebas bioquímicas y PCR para identificar *Pseudomonas syringae*.

Resultados:

El hallazgo de esta bacteria en plantas nativas sugiere que podría ser una especie nativa oportunista o una introducción reciente facilitada por actividades humanas. Este hallazgo requiere mayor investigación para comprender mejor su origen.

4.6 Impacto ecológico de los fitopatógenos

Los fitopatógenos no solo afectan la salud de las plantas individuales, sino que también tienen impactos significativos a nivel poblacional, comunitario y ecosistémico.

En este ecosistema, los fitopatógenos pueden actuar como reguladores naturales, pero cuando las condiciones se alteran por factores como el cambio climático o la intervención humana, los desequilibrios pueden generar brotes epidémicos que amenazan la diversidad vegetal y la resiliencia del bosque (Gomes Leite y otros, 2020). Este apartado describe los impactos ecológicos que los fitopatógenos tienen en el Yasuní, centrando la atención en la alteración de la composición de especies, las interacciones ecológicas, la dinámica del suelo y la conservación genética de la flora.

4.6.1 *Alteración de la composición vegetal*

Los patógenos pueden modificar la abundancia y la dominancia de especies vegetales. La muerte diferencial de individuos o especies favorece a aquellas más resistentes, lo que cambia la estructura y composición del bosque (Gilbert, 2002).

Ejemplos:

- Un brote de *Fusarium solani* en *Virola elongata* podría reducir la población de esta especie, permitiendo que otras, menos susceptibles, ocupen su lugar.
- En zonas donde *Phytophthora palmivora* afecta a palmas como *Iriartea deltoidea*, se pueden generar vacíos en el dosel, que pueden ser colonizados por especies pioneras.

4.6.2 *Interrupción de interacciones ecológicas*

Las plantas desempeñan un papel central en las redes tróficas y simbióticas del ecosistema. Cuando los patógenos reducen la población de una especie vegetal, se interrumpen múltiples interacciones bióticas, como (Rodríguez y otros, 2000):

- **Polinización:** Plantas enfermas producen menos flores, lo que afecta a los polinizadores.
- **Dispersión de semillas:** La menor producción de frutos afecta a los frugívoros.
- **Cobertura y refugio:** La defoliación o muerte de plantas expone a animales pequeños, alterando patrones de depredación.

4.6.3 Erosión genética y pérdida de diversidad intraespecífica

La infección recurrente de una especie vegetal puede limitar su capacidad de regenerarse, lo que reduce la variabilidad genética. Esto puede llevar a cuellos de botella genéticos, afectando la adaptabilidad de la población.

Ejemplo:

- En áreas del Yasuní donde se ha documentado la acción de *Colletotrichum spp.* sobre especies de *Inga*, la diversidad genética local podría verse afectada, dificultando la adaptación a nuevos estresores.

4.6.4 Retroalimentación con la microbiota del suelo

Los fitopatógenos no solo afectan a las plantas, sino que también alteran el microbioma del suelo, lo que puede crear ciclos de retroalimentación que favorezcan nuevas infecciones (Ferrer Sánchez y otros, 2022).

Mecanismos involucrados:

- Liberación de exudados radiculares que alteran la composición del microbioma rizosférico.
- Acumulación de estructuras de resistencia en el suelo, como las clamidosporas de *Fusarium*.
- Reducción de mutualismos beneficiosos como las micorrizas, debido a la necrosis radicular.

4.6.5 Influencia en el ciclo de nutrientes y carbono

La muerte prematura de plantas altera el flujo de biomasa en el ecosistema, reduciendo la eficiencia fotosintética y la acumulación de biomasa (Ferrer Sánchez y otros, 2022). La descomposición de tejidos enfermos:

- Aumenta la carga de materia orgánica muerta.
- Modifica las tasas de mineralización y liberación de nitrógeno.
- Incrementa las emisiones de CO₂.

Los fitopatógenos, por lo tanto, pueden alterar el balance de carbono del bosque, lo que afecta su capacidad como sumidero de carbono, especialmente en escenarios de cambio climático.

4.6.6 *Aceleración de la sucesión ecológica*

La eliminación selectiva de especies vegetales por enfermedades puede acelerar la sucesión secundaria. Las especies pioneras, que son generalmente de rápido crecimiento, pueden ocupar rápidamente los espacios liberados. Sin embargo, este proceso podría llevar a una simplificación ecológica si el reemplazo se compone solo de unas pocas especies oportunistas, lo que reduce la diversidad funcional.

4.6.7 *Riesgo de transferencia a especies cultivadas o viceversa*

En áreas de amortiguamiento del Yasuní, donde coexisten especies silvestres y cultivos tradicionales, existe un riesgo de intercambio de patógenos entre la flora nativa y las plantas cultivadas (Guerrero y otros, 2020).

Ejemplos:

- *Phytophthora palmivora*, que afecta al cacao, también puede infectar palmas silvestres.
- *Ralstonia solanacearum*, que afecta a solanáceas, puede impactar plantas nativas si se introduce en zonas de alta humedad.

4.7 *Recomendaciones para su monitoreo*

El monitoreo de fitopatógenos en ecosistemas naturales como el Parque Nacional Yasuní presenta desafíos tanto logísticos como conceptuales. A diferencia de los sistemas agrícolas, donde los cultivos son homogéneos y pueden ser controlados con agroquímicos, los ecosistemas naturales requieren enfoques más preventivos, no invasivos y adaptados a la complejidad del entorno. Los fitopatógenos, aunque son parte natural de estos ecosistemas, pueden desequilibrarlos si las condiciones ecológicas cambian (Guzman y otros, 2009) . A continuación, se ofrecen recomendaciones clave para fortalecer la vigilancia y evaluación de enfermedades vegetales en el Yasuní.

4.7.1 Establecer parcelas permanentes de observación fitosanitaria

Las parcelas permanentes son esenciales para monitorear la dinámica de los patógenos y los síntomas a lo largo del tiempo (Chinchilla & Orozco, 2011).

Recomendaciones:

- Seleccionar tres tipos de sitios contrastantes: bosque prístino, borde de senderos o áreas turísticas, y zonas en recuperación.
- Definir parcelas de 20 x 20 m o 50 x 50 m y georreferenciarlas.
- Identificar todas las especies vegetales presentes en las parcelas, registrando síntomas visibles y características del entorno.
- Establecer un protocolo de muestreo estacional (al menos dos veces al año).
- Estas parcelas pueden ser gestionadas por instituciones académicas, personal del MAATE y estaciones de investigación.

4.7.2 Capacitar a técnicos en diagnóstico fitosanitario

La capacitación es clave para reconocer enfermedades y evitar que los síntomas se confundan con factores abióticos (Guzman y otros, 2009).

Propuestas de capacitación:

- Cursos cortos dirigidos a técnicos, guardaparques y estudiantes, enfocándose en:
- Reconocimiento de síntomas y toma de muestras sin contaminación.
- Aislamiento de hongos y bacterias.
- Uso de kits diagnósticos rápidos.
- Incluir entrenamiento en bioseguridad y ética ambiental, especialmente cuando se trabajen con especies protegidas o en territorios indígenas.

4.7.3 Incluir análisis del suelo y del microambiente

Varios patógenos dependen del suelo y las condiciones microclimáticas para infectar y propagarse (Chauca Pozo y otros, 2016).

Variables recomendadas para monitoreo:

Suelo:

- pH, conductividad, textura, humedad.
- Exudados, olores anormales y descomposición de raíces.

Microambiente:

- Temperatura, humedad relativa y radiación solar.
- Presencia de agua estancada o compactación del suelo.
- Correlacionar estos datos con la aparición de síntomas ayuda a predecir zonas de alto riesgo.

4.7.4 Aplicar técnicas moleculares y microbiológicas

La identificación precisa de patógenos no siempre es posible solo con observación visual. Las técnicas moleculares y microbiológicas permiten detectar infecciones en fases tempranas o en tejidos sin síntomas visibles (Chauca Pozo y otros, 2016).

Herramientas recomendadas:

- PCR convencional o en tiempo real (qPCR).
- Amplificación del gen ITS (hongos) y 16S rRNA (bacterias).
- Cultivos en medios selectivos como PDA y MacConkey.
- Secuenciación Sanger o metagenómica para microbiomas del suelo.
Las muestras deben ser manejadas con cuidado para evitar contaminación cruzada y almacenadas adecuadamente.

4.7.5 Implementar sistemas de alerta temprana en zonas sensibles

El Yasuní recibe miles de visitantes anualmente, lo que puede facilitar la entrada y dispersión de patógenos. Establecer un sistema de alerta temprana es clave para reaccionar rápidamente ante brotes (Chauca Pozo y otros, 2016).

Componentes del sistema:

- Registro de síntomas por guías, investigadores y guardaparques.
 - Notificación rápida a través de una aplicación móvil o formato físico.
 - Monitoreo intensivo en zonas de mayor riesgo: senderos turísticos, áreas de campamento.
 - Un cuadro básico de patógenos prioritarios con procedimientos de actuación.
- Este sistema puede integrarse con redes de ciencia ciudadana y conservación tropical.

4.7.6 Recomendación transversal: Integración al manejo del parque

Toda la información generada por el monitoreo fitopatológico debe ser integrada en los planes de manejo del parque.

Acciones recomendadas:

- Evaluar la necesidad de cerrar temporalmente senderos con focos de enfermedades.
- Implementar medidas de bioseguridad obligatoria para los visitantes.
- Delimitar zonas de exclusión ecológica para evitar la propagación de patógenos.
- Compartir los datos con instituciones clave como el MAATE, universidades y ONGs (Chauca Pozo y otros, 2016).

4.8 Conclusiones del capítulo

El estudio de los fitopatógenos en la flora silvestre del Parque Nacional Yasuní revela una dimensión crítica de la salud ecosistémica en uno de los ecosistemas más biodiversos del planeta. Los fitopatógenos, que incluyen hongos, bacterias, virus y oomicetos, desempeñan un papel activo en la regulación del equilibrio ecológico. Aunque forman parte natural de este ecosistema, su impacto puede intensificarse por factores como el cambio climático y la intervención humana, lo que subraya la necesidad de comprender su biología, ecología y mecanismos de dispersión para diseñar estrategias preventivas efectivas.

Diversas especies patógenas, como *Fusarium solani*, *Phytophthora palmivora* y *Colletotrichum gloeosporioides*, afectan una amplia gama de plantas del Yasuní, lo que demuestra que los sistemas naturales también enfrentan riesgos fitopatológicos. Estos patógenos, aunque conocidos por su impacto en cultivos comerciales, tienen un comportamiento impredecible en los ecosistemas naturales. Los síntomas en las plantas,

tales como necrosis, clorosis o caída prematura de hojas, son señales tempranas de alerta que deben ser adecuadamente diagnosticadas para anticipar brotes y establecer alertas sanitarias.

La propagación de los fitopatógenos en el Yasuní es facilitada por las condiciones ambientales del ecosistema, con alta humedad, lluvias constantes, viento, insectos vectores y la intervención humana. Estas condiciones favorecen la rápida diseminación de las infecciones, lo que destaca la importancia de implementar medidas de bioseguridad y monitoreo activo. Los efectos de los fitopatógenos van más allá de la planta afectada, ya que alteran la composición floral, interrumpen relaciones ecológicas y modifican la dinámica del suelo, lo que afecta la estabilidad y funcionalidad del ecosistema a largo plazo.

Para mejorar la vigilancia y prevención de enfermedades vegetales en el Yasuní, es esencial establecer parcelas permanentes de observación, capacitar a personal local en el reconocimiento de síntomas y aplicar técnicas moleculares para la identificación precisa de patógenos. Además, se deben integrar análisis del microambiente y del suelo en los protocolos de monitoreo, y desarrollar sistemas de alerta temprana en zonas sensibles. La inclusión de la salud vegetal en los programas de conservación es crucial para la prevención de la pérdida de especies, la conservación genética y la resiliencia del ecosistema, garantizando que el Yasuní siga siendo un santuario de biodiversidad.

CAPITULO V

5. PATÓGENOS EN FAUNA SILVESTRE

El Parque Nacional Yasuní, en la Amazonía ecuatoriana, es uno de los lugares con mayor diversidad de animales en el mundo. Allí conviven cientos de especies que interactúan con diversos patógenos, algunos exclusivos de la región y otros que pueden afectar también a los humanos. Por eso, es vital entender estas relaciones desde la visión One Health, que conecta la salud de los animales, las personas y el ambiente (Marzal, 2015).

Estos patógenos forman parte natural del ecosistema, pero factores como el cambio climático, la pérdida de hábitat y la actividad humana pueden alterar su comportamiento, causando brotes de enfermedades y afectando la biodiversidad. La reciente aparición de enfermedades como el COVID-19 muestra la importancia de monitorear los agentes infecciosos que provienen de la fauna silvestre.

Para ello, se usan técnicas que combinan el muestreo cuidadoso de animales, análisis moleculares y protocolos éticos, siempre respetando la fauna y las comunidades locales. Este capítulo explora los principales patógenos, sus vectores, cómo se transmiten, y las implicaciones para la salud del ecosistema, además de proponer estrategias de vigilancia (Monsalve Buriticá, 2013).

Nuestro objetivo es ofrecer una guía actualizada que ayude a conservar la biodiversidad del Yasuní y a prevenir riesgos sanitarios, aportando información útil para biólogos, veterinarios, autoridades y gestores ambientales (Monsalve Buriticá, 2013).

5.1 Principales grupos de patógenos en fauna

Los animales silvestres del Parque Nacional Yasuní coexisten con una amplia diversidad de patógenos naturales, muchos de los cuales mantienen relaciones ecológicas históricas y funcionales con sus hospedadores. No obstante, ciertos agentes patógenos pueden manifestarse como enfermedades emergentes o reemergentes, especialmente cuando se altera el equilibrio ecológico. La clasificación de estos patógenos según su naturaleza biológica facilita la comprensión de sus mecanismos de infección, persistencia y transmisión en el ecosistema selvático (Marzal, 2015).

En esta sección se describen los principales grupos de patógenos presentes o con alta probabilidad de circulación en la fauna del Yasuní, categorizados en virus, bacterias, protozoarios y helmintos. La información proporcionada incluye ejemplos representativos, hospedadores asociados y su relevancia zoonótica, fundamentada en estudios regionales, extrapolaciones ecológicas y literatura científica actualizada.

5.1.1 *Virus*

Los virus son organismos acelulares formados por material genético ya sea ADN o ARN y una cubierta proteica llamada cápside. Para reproducirse, necesitan infectar células vivas. En la fauna silvestre tropical, varios virus han estado relacionados con enfermedades agudas, debilitamiento del sistema inmunológico o incluso transmisión a los humanos (Do Rosário Casseb y otros, 2013) . En la región del Yasuní, estudios han identificado o sugerido la presencia de distintos virus, entre ellos:

a) *Herpesvirus*

Los herpesvirus son virus de ADN que se encuentran en todo el mundo y se caracterizan por poder permanecer latentes en el organismo, para luego reactivarse cuando el hospedador está bajo estrés. En mamíferos silvestres del Yasuní, en especial en primates como los del género *Saimiri* y *Cebus*, se han encontrado anticuerpos contra el *Herpesvirus simiae* también llamado virus B.

- **Importancia:** Aunque suelen no causar síntomas en sus hospedadores naturales, estos virus pueden debilitar el sistema inmunológico o provocar lesiones en la piel, y en individuos jóvenes o con salud comprometida, causar enfermedades más graves.
- **Riesgo para humanos:** Existe la posibilidad de que, bajo ciertas circunstancias, estos virus se transmitan a las personas que manipulan estos primates, lo que podría derivar en consecuencias serias para la salud (Monsalve Buriticá, 2013).

b) *Hantavirus*

Los hantavirus son virus con material genético ARN segmentado, que se asocian principalmente con roedores de los géneros *Oryzomys* y *Zygodontomys*, especies comunes en los ambientes húmedos de la Amazonía. Estos virus se replican en las células de los riñones y se eliminan a través de la orina de los animales infectados.

Su importancia radica en que causan el síndrome pulmonar por hantavirus (HPS), una enfermedad emergente en América que puede ser grave en humanos. Aunque no existen estudios específicos en el Yasuní, la alta concentración de roedores y las condiciones ambientales sugieren que estos virus podrían estar presentes en la zona (Monsalve Buriticá, 2013).

c) *Rabia silvestre*

La rabia es una enfermedad viral zoonótica y fatal, provocada por virus del género *Lyssavirus*, que afecta el sistema nervioso central. En el Yasuní, se ha encontrado en murciélagos frugívoros (familia *Phyllostomidae*) y murciélagos insectívoros (familia *Vespertilionidae*).

La transmisión se produce generalmente por mordeduras o por contacto directo con la saliva de animales infectados. Desde el punto de vista sanitario, la presencia de anticuerpos en murciélagos capturados en zonas cercanas a áreas agrícolas indica que estos animales han estado en contacto con el virus, lo que resalta un posible riesgo de contagio en esas áreas (Marzal, 2015).

5.1.2 Bacterias

Las bacterias son microorganismos muy pequeños, sin núcleo definido, que pueden vivir en los animales silvestres de diferentes formas: Algunas conviven sin causar daño, otras aportan beneficios, y algunas pueden enfermarlos. En los ecosistemas tropicales, muchas bacterias habitan en animales sin que estos muestren síntomas, pero cuando las condiciones son favorables, pueden provocar brotes de enfermedades.

a) *Leptospira spp.*

Este tipo de bacteria es responsable de la leptospirosis, una enfermedad que afecta a varios mamíferos como roedores, marsupiales y carnívoros.

- **Cómo se transmite:** A través de la orina de animales infectados, que contamina el agua y el suelo.
- **Síntomas en los animales:** Muchas veces no se notan, aunque pueden aparecer fiebre, ictericia (color amarillento) o daño en los riñones.

- **Por qué es importante:** Las personas pueden infectarse al caminar por zonas inundadas contaminadas, lo que representa un riesgo para comunidades y turistas.

b) *Mycobacterium spp.*

Este grupo incluye bacterias que causan tuberculosis en animales silvestres, especialmente en especies como pecaríes, pumas y jaguares.

- **Cómo se detecta:** Mediante exámenes post mortem o pruebas específicas en animales vivos.
- **Qué efectos tiene:** La tuberculosis puede provocar daños en los pulmones, pérdida de peso y, en casos graves, la muerte.

c) *Salmonella spp.*

Estas bacterias se encuentran en aves acuáticas, reptiles y pequeños mamíferos, y pueden causar problemas intestinales, infecciones graves o incluso abortos.

- **Cómo se transmite:** Por ingestión de materia fecal contaminada o contacto con objetos sucios.
- **Por qué importa para la salud:** Es una de las infecciones bacterianas más comunes que pueden pasar a los humanos, sobre todo al manipular animales o sus ambientes (Monsalve Buriticá, 2013).

5.1.3 Protozoarios

Los protozoarios son organismos unicelulares con núcleo definido, muchos de los cuales actúan como parásitos dentro de otros seres vivos y tienen ciclos de vida bastante complejos. En la región amazónica, tres géneros de protozoarios son especialmente importantes debido a su impacto en la salud de los animales y, en algunos casos, de las personas.

a) *Trypanosoma cruzi*

Este parásito es responsable de la enfermedad de Chagas y se transmite principalmente por insectos conocidos como triatominos. En la Amazonía, se ha encontrado ADN de *T. cruzi*

en las heces de animales como la zarigüeya (*Didelphis marsupialis*) y ciertos murciélagos insectívoros, lo que indica que este parásito circula en el ecosistema del Yasuní.

- En los animales, la infección suele durar mucho tiempo y no siempre provoca síntomas visibles, pero puede reducir su esperanza de vida y su capacidad para reproducirse.
- Cuando los insectos vectores entran en contacto con personas, especialmente en zonas agrícolas cercanas a la selva, existe riesgo de transmisión a humanos (Ceballos, 2010).

b) *Toxoplasma gondii*

Este parásito necesita a los felinos para completar su ciclo, pero también infecta a otros animales como roedores, aves y mamíferos.

- La infección ocurre cuando se consume carne con quistes o agua contaminada.
- En la fauna silvestre, *T. gondii* puede causar problemas como abortos o alteraciones en el sistema nervioso y el comportamiento, lo que a su vez afecta cómo se relacionan estos animales con su entorno y con sus depredadores (Schweigmann y otros, 1999).

c) *Plasmodium spp.*

Estos protozoarios son los causantes de la malaria en aves y se transmiten a través de mosquitos del género *Culex*. En la Amazonía, afectan principalmente a aves paseriformes, provocando anemia, debilidad e incluso la muerte.

- Las aves migratorias pueden transportar el parásito a diferentes regiones, contribuyendo a la dispersión de la enfermedad y afectando varios ecosistemas (Ceballos, 2010).

5.1.4 *Helmintos*

Los helmintos son gusanos parásitos que afectan a distintos animales silvestres, principalmente en sus sistemas digestivo, respiratorio y circulatorio. Estos parásitos suelen

encontrarse en lugares húmedos donde hay mucha concentración de animales (Schweigmann y otros, 1999).

a) *Nematodos (como Baylisascaris procyonis)*

Este tipo de nematodo es común en carnívoros como mapaches, coatíes y tayras. Lo particular de este parásito es que sus huevos son muy resistentes y pueden sobrevivir bastante tiempo en el ambiente. Cuando las larvas migran hacia el sistema nervioso de los animales, pueden causar daños neurológicos severos. Además, este nematodo puede infectar a las personas si accidentalmente ingieren sus huevos, lo que puede provocar enfermedades serias conocidas como larva migrans visceral o neural.

b) *Cestodos y trematodos*

Entre los cestodos, las especies del género *Taenia* se encuentran en carnívoros y omnívoros del área del Yasuní. Estos parásitos pueden causar problemas como mala absorción de nutrientes y deficiencias nutricionales. Por otro lado, los trematodos, que suelen afectar al hígado o intestinos, se encuentran especialmente en aves acuáticas, como los patos, que se alimentan en humedales contaminados. Estas condiciones favorecen la permanencia y propagación de estos parásitos (Angulo Silva, 2000).

5.2 Vectores y reservorios

El éxito de muchos patógenos en la fauna silvestre está estrechamente ligado a la presencia de vectores eficaces y reservorios que mantienen activos sus ciclos de transmisión. En el Parque Nacional Yasuní, la increíble diversidad de animales incluye especies clave que cumplen estos roles, lo que facilita la permanencia, dispersión y, en algunos casos, la transmisión a humanos de diferentes agentes infecciosos. Por eso, entender qué vectores y reservorios existen y cómo se relacionan con los patógenos detectados es fundamental para crear sistemas efectivos de vigilancia, evaluar riesgos y prevenir enfermedades emergentes (Cassel y otros, 2013).

En esta sección se analizan los principales grupos de vertebrados e invertebrados que actúan como reservorios y vectores en el ecosistema amazónico del Yasuní. Para cada grupo, se describen los patógenos que transportan, su ecología, las vías por las que transmiten las infecciones y su importancia para la salud pública.

5.2.1 Murciélagos (*Orden: Chirptera*)

En el Parque Nacional Yasuní, los murciélagos son una de las especies más numerosas y variadas. Se han identificado más de 90 tipos distintos, lo que demuestra su gran diversidad y adaptación a distintos ambientes. Gracias a su capacidad para volar largas distancias, vivir muchos años, convivir en grupos y habitar diferentes ecosistemas, estos animales juegan un papel importante en la naturaleza pero también en la salud humana.

Enfermedades

Aunque muchas veces se les asocia con mitos o temores, los murciélagos pueden portar varios microorganismos que causan enfermedades, sin que ellos mismos se enfermen. Entre los más destacados están:

- **Virus de la rabia:** Algunos murciélagos frugívoros e insectívoros han mostrado señales de haber estado expuestos al virus, aunque sin presentar síntomas.
- **Coronavirus y paramixovirus:** Se han encontrado en especies amazónicas, y podrían representar un riesgo si hay contacto frecuente con personas.
- **Trypanosoma cruzi:** El parásito que causa la enfermedad de Chagas ha sido detectado en sus excrementos mediante pruebas de laboratorio (Corrêa Scheffer y otros, 2014).

¿Por qué es importante entender su rol?

- **Reservorios silenciosos:** Los murciélagos pueden mantener estos virus en circulación sin que haya brotes visibles de enfermedad, ya que muchas veces no se enferman gravemente.
- **Transportadores naturales:** Como vuelan grandes distancias, pueden llevar estos patógenos de un lugar a otro, conectando selvas, cultivos y zonas habitadas por personas (Corrêa Scheffer y otros, 2014).

5.2.2 Roedores (*Orden: Rodentia*)

Los roedores constituyen un grupo ecológicamente dominante y funcionalmente diverso en el Parque Nacional Yasuní. Géneros como *Oryzomys*, *Zygodontomys*, *Proechimys* y

Cuniculus cumplen un papel clave como hospedadores y reservorios naturales de diversos agentes infecciosos.

Patógenos asociados:

- **Hantavirus:** Vinculado a roedores sigmodontinos; se transmite por inhalación de aerosoles contaminados con orina o heces.
- **Leptospira spp.:** Eliminada a través de la orina, contamina cuerpos de agua y facilita su propagación.
- **Toxoplasma gondii** y **Trypanosoma cruzi:** Presentes en tejidos, con los roedores actuando como hospedadores intermedios en sus ciclos biológicos (Cassel y otros, 2013).

Consideraciones ecológicas relevantes:

- Su estrecho contacto con el suelo y fuentes hídricas incrementa el riesgo de transmisión por vías oral-fecal o percutánea.
- Además, su alta tasa reproductiva asegura la persistencia de una población susceptible, favoreciendo la circulación continua de estos patógenos.

5.2.3 Aves migratorias y residentes (Clase: Aves)

El Parque Nacional Yasuní es uno de los lugares con mayor diversidad de aves del planeta, con más de 600 especies entre residentes y migratorias. Estas aves no solo embellecen el paisaje y mantienen el equilibrio ecológico, sino que también pueden ser portadoras y dispersoras de ciertos microorganismos, algunos de los cuales pueden causar enfermedades.

¿Qué tipo de patógenos pueden transportar?

- *Plasmodium* spp.: Es el parásito que causa la malaria en aves, y se transmite a través de picaduras de mosquitos del tipo *Culex*.
- *Salmonella* spp. y *Campylobacter* spp.: Bacterias que se eliminan en las heces de las aves y que pueden contaminar el suelo o el agua.
- *Toxoplasma gondii*: Un parásito que algunas aves pueden adquirir al beber agua contaminada y que las convierte en portadoras sin presentar síntomas.

¿Por qué es importante esto?

- Las aves acuáticas pueden llevar huevos de parásitos de un ecosistema a otro, actuando como puentes biológicos entre distintos ambientes.
- Algunas aves que se alimentan de granos o insectos pueden ayudarnos a detectar la presencia de ciertas enfermedades en el ambiente, funcionando como “centinelas” naturales para la salud del ecosistema (Medina Vogel, 2010).

5.2.4 Insectos vectores

El Yasuní ofrece un ambiente ideal para insectos que se alimentan de sangre, como mosquitos, flebotominos, triatominos y garrapatas. Estos pequeños vectores pueden transmitir enfermedades que afectan tanto a los animales de la selva como a las personas, por lo que es clave identificarlos y vigilarlos.

Mosquitos:

- *Culex* puede causar malaria en aves.
- *Aedes*, conocidos por transmitir dengue, zika y chikungunya, podrían representar un riesgo si se establecen en la zona.
- *Anopheles darlingi* es el principal vector de la malaria humana en la Amazonía.

Flebotominos (moscas de la arena):

Transmiten leishmaniasis cutánea, una enfermedad que daña la piel. Son más comunes donde el bosque ha sido alterado.

Triatominos (chinchas besuconas):

Pueden transmitir la enfermedad de Chagas. Viven escondidos en el suelo, entre troncos y nidos.

Garrapatas:

Pueden portar bacterias y parásitos que afectan a mamíferos y aves, y suelen encontrarse en animales silvestres (Cassel y otros, 2013).

5.2.5 Otros mamíferos carnívoros y felinos

Los grandes carnívoros como jaguares (*Panthera onca*), ocelotes (*Leopardus pardalis*) y tayras (*Eira barbara*) pueden ser depredadores, vectores mecánicos y hospedadores definitivos de algunos parásitos.

Causas comunes de patógenos:

- *Toxoplasma gondii*: Los felinos son el único hospedador definitivo excretando ooquistes en las heces.
- *Mycobacterium bovis*: Infecciones subclínicas de tuberculosis; riesgo ecológico en áreas con contacto humano o bovino.

El monitoreo de este tipo de especies es difícil, pero imprescindible, porque además de ser reguladores tróficos tienen un potencial como centinelas sanitarios de ecosistemas perturbados (Medina Vogel, 2010).

5.2.6 Relevancia para la vigilancia y conservación

Conocer los agentes vectores y reservorios básicos del biotopo da la capacidad de:

- Establecer prioridades sobre los esfuerzos de muestreo y análisis de laboratorio.
- Delimitar zonas de riesgo ecológico-sanitario en el parque.
- Aprender la dinámica multiespecies de los patógenos, identificando puntos críticos de intervención.
- Elaborar protocolos de bioseguridad de investigadores, ecoturistas y comunidades aledañas.

Haciendo referencia a los vectores -tolemaicos, los cuales, manejando sobre su generalmente pequeños porte, menor ser de movilidad, conlleva técnicas particulares de captura, trampas de luz, trampas CDC, aspiradores mosquiteros, mientras que ámbito de los reservorios es necesario que se monitoreen mediante redes de niebla, trampas Sherman, o análisis indirectos - huellas, heces, cámara trampa (Medina Vogel, 2010).

5.3 Mecanismos de transmisión

En el Parque Nacional Yasuní, los patógenos se transmiten de formas tan diversas como la vida que habita el bosque. El clima cálido-húmedo, la densa vegetación y la alta biodiversidad favorecen rutas de contagio directas, indirectas y mediadas por vectores, muchas con riesgo zoonótico. Comprender estos mecanismos permite identificar cómo los patógenos circulan entre animales y, en algunos casos, llegan a los humanos. Este conocimiento es clave para mapear riesgos y orientar acciones en salud ambiental. A continuación, se presentan las principales vías de transmisión observadas o inferidas en el Yasuní, con ejemplos representativo (Gutiérrez López, 2018).

5.3.1 *Contacto directo*

Es una de las formas más comunes en que se transmiten enfermedades entre animales, ya sea de la misma especie o entre distintas que comparten espacio. Ocurre cuando hay contacto físico directo, como peleas, apareamiento o cuidado de crías.

Algunos ejemplos comunes:

- **Mordeduras y arañazos**, como cuando un animal con rabia muerde a otro.
- **Lambidas o contacto de mucosas**, por ejemplo, entre primates que se acicalan.
- **Durante el parto o el apareamiento**, cuando microbios como *Toxoplasma gondii* pueden pasar de madre a cría o entre parejas.

¿Qué influye?

Cuanto más sociables o numerosos sean los animales (como los murciélagos que viven en grandes colonias), más fácil es que se contagien entre ellos. En cambio, los animales solitarios suelen tener menos riesgo por esta vía (Acha & Szyfres, 2001).

5.3.2 *Vectores hematófagos*

Los vectores biológicos son principalmente artrópodos que, al alimentarse de animales infectados, capturan y transmiten enfermedades a otros. Esto es clave para muchos virus, parásitos y bacterias.

En Yasuní, los más importantes son:

- Mosquitos (*Culex*, *Anopheles*), que transmiten malaria, arbovirus y filarias.
- Triatominos, que contagian el parásito de la enfermedad de Chagas.
- Flebotominos, responsables de la leishmaniasis.
- Garrapatas, que transmiten bacterias y parásitos a aves y mamíferos.

Estos vectores dependen del ambiente para sobrevivir y reproducirse, por lo que la transmisión de enfermedades está ligada a las condiciones ecológicas. Además, funcionan como un puente que conecta diferentes especies, facilitando la propagación de infecciones (Calero Torralbo, 2011).

5.3.3 *Vía oral-fecal*

La transmisión oral-fecal sucede cuando consumimos agua, alimentos o tierra contaminados con heces que contienen formas activas del patógeno, como ooquistes, quistes o bacterias. Por ejemplo, el *Toxoplasma gondii* se transmite por ooquistes que los felinos liberan en el ambiente; *Leptospira* llega a través de la orina de roedores y puede entrar por heridas; y bacterias como *Salmonella* o *E. coli* se encuentran en aves, reptiles y pequeños mamíferos.

En la Amazonía, la humedad y las charcas temporales facilitan la acumulación de estos patógenos, poniendo en riesgo a animales que se alimentan del suelo, como pavas, tinamús y roedores (Arria y otros, 2005).

5.3.4 *Transmisión área*

Aunque en lugares húmedos como el Yasuní es menos común, algunas bacterias y virus se transmiten por aerosoles respiratorios, como los que se generan al estornudar o por polvo de nidos contaminados.

Por ejemplo: El virus de la influenza aviar, que afecta a aves migratorias; las bacterias que causan tuberculosis (*Mycobacterium bovis* y *M. avium*), presentes en madrigueras húmedas; y *Coxiella burnetii*, responsable de la fiebre Q, que puede hallarse en polvo de excrementos o restos de placenta.

La alta humedad reduce el tiempo que estas partículas quedan suspendidas en el aire, pero el riesgo persiste en espacios cerrados como cuevas o madrigueras (Gutiérrez López, 2018).

5.3.5 Transmisión vertical y perinatal

Algunos patógenos pueden pasar de la madre a la cría durante el embarazo, el parto o la lactancia. Esto es especialmente común en animales que cuidan a sus crías por mucho tiempo, como primates y felinos.

Entre estos patógenos están *Toxoplasma gondii*, que puede causar abortos o problemas en los recién nacidos; ciertos herpesvirus y retrovirus en murciélagos y primates; y *Leptospira*, que infecta a través de la placenta o la leche.

Esta transmisión ayuda a que los patógenos sigan presentes en poblaciones aisladas y afecta la salud y supervivencia de las crías, impactando el crecimiento y la estructura de las poblaciones (Calero Torralbo, 2011).

5.3.6 Transmisión mecánica y ambiental

Algunos patógenos se contagian al tocar superficies, objetos o materiales contaminados, sin necesidad de un insecto o animal que los transporte. Esto es común en bacterias resistentes y parásitos que pueden sobrevivir en el ambiente por un tiempo.

¿Cómo ocurre esto?

- Al contacto con restos de heces, piel, cadáveres o secreciones contaminadas.
- Usando nidos o madrigueras que antes ocuparon animales infectados.
- A través de insectos como moscas o cucarachas, que pueden llevar patógenos en su cuerpo sin ser parte del ciclo de vida de estos (Calero Torralbo, 2011).

En el Yasuní

El clima cálido y húmedo facilita que algunos patógenos, como esporas o huevos de parásitos, sobrevivan más tiempo fuera del huésped.

Las cosas no son tan simples

En la naturaleza del Yasuní, estos mecanismos no funcionan por separado. Muchos patógenos usan varias formas de contagio según el animal, la etapa en que estén y las condiciones del ambiente.

Un ejemplo

Trypanosoma cruzi puede transmitirse por la picadura de un insecto, por comer insectos infectados o incluso de madre a hijo durante el embarazo, dependiendo del caso. Aunque esta variedad de caminos dificulta controlar la enfermedad, conocerlos bien permite encontrar mejores formas de prevención (Arria y otros, 2005).

5.4 Casos documentados en Yasuní o Amazonia cercana

Aunque aún hay pocos estudios sobre enfermedades en la fauna silvestre del Parque Nacional Yasuní, investigaciones recientes en zonas cercanas de la Amazonía muestran qué tipos de agentes infecciosos podrían estar presentes allí. Estos trabajos, realizados por universidades ecuatorianas, estaciones científicas y colaboraciones internacionales, han encontrado virus, bacterias y parásitos que afectan a mamíferos, aves y murciélagos. En esta sección, presentamos los casos más importantes, organizados por tipo de patógeno, animal afectado y lugar. También incluimos observaciones sobre el entorno, posibles riesgos y recomendaciones para mejorar la vigilancia de la fauna en Yasuní y áreas similares (Schweigmann y otros, 1999).

5.4.1 Detección de *Trypanosoma Cruzii* en marsupiales y murciélagos

Un estudio piloto realizado en el límite nororiental del Yasuní por investigadores de la Universidad San Francisco de Quito y el Instituto de Microbiología de la PUCE encontró ADN de *Trypanosoma cruzi* el parásito causante de la enfermedad de Chagas en las heces de zarigüeyas comunes (*Didelphis marsupialis*) y murciélagos insectívoros.

Para esto, recolectaron heces frescas usando trampas Sherman y redes de niebla, sin afectar a los animales. Luego, extrajeron el ADN y amplificaron un gen específico mediante PCR anidada, confirmando la presencia del parásito con técnicas de laboratorio como electroforesis y secuenciación (Solís y otros, 2012). Los resultados mostraron que el 17.6 % de las zarigüeyas analizadas estaban infectadas, y también se detectó *T. cruzi* en dos especies de murciélagos del género *Myotis*.

Este parásito tiene un ciclo de vida complejo que incluye insectos vectores, animales silvestres y, a veces, humanos. Las zarigüeyas actúan como reservorios principales, mientras que los murciélagos parecen ser vectores emergentes. La presencia activa del

parásito cerca del parque nacional sugiere un riesgo sanitario silencioso, especialmente donde humanos y fauna silvestre conviven (Solís y otros, 2012).

5.4.2 Seroprevalencia de virus de rabia en murciélagos frugívoros

Durante seis años, la Estación Científica Yasuní (PUCE) junto al Instituto Nacional de Investigación en Salud Pública (INSPI) estudiaron más de 300 murciélagos atrapados en redes de niebla. Entre las especies analizadas estaban *Artibeus jamaicensis*, *Carollia perspicillata* y *Desmodus rotundus* (que se alimenta de sangre).

Para detectar rabia, usaron pruebas de anticuerpos y análisis genéticos en glándulas salivales y cerebro. Encontraron que entre el 3 % y 12 % de los murciélagos tenían evidencia de rabia, aunque ninguno mostró síntomas de la enfermedad.

Esto demuestra que la rabia está presente en murciélagos del Yasuní, sin causarles daño visible, y que estos animales pueden ser un reservorio natural con riesgo para humanos, especialmente en zonas agrícolas. Por eso, es fundamental educar a las comunidades y mantener una vigilancia veterinaria constante (Vera da Costa, 2011).

5.4.3 Presencia de *Toxoplasma gondii* en felinos silvestres

Aunque no se han capturado felinos silvestres para análisis sanitarios en el Yasuní, estudios indirectos como necropsias de presas, análisis de heces y pruebas moleculares en carroña muestran que *Toxoplasma gondii*, un parásito común en ecosistemas tropicales está presente y activo.

Se han encontrado ooquistes en heces cerca de las rutas que usan jaguares y pumas, y se han detectado anticuerpos en muestras de sangre tomadas en la estación Tiputini. Además, investigaciones similares en felinos de Perú y Colombia revelan que entre el 40 % y 60 % están infectados.

Este parásito usa a los felinos como hospedadores definitivos, lo que confirma que el ciclo de vida se mantiene vivo en la zona. Las presas, como roedores, marsupiales y aves, son hospedadores intermediarios, y la infección puede cambiar su comportamiento, afectando así la cadena de depredación en el ecosistema (Schweigmann y otros, 1999).

5.4.4 Infección por *Leptospira* en roedores y aguas superficiales

En el borde norte del parque y en las comunidades cercanas, se ha detectado la presencia de bacterias *Leptospira spp.* en riñones de roedores (*Oryzomys megacephalus* y *Zygodontomys brevicauda*) atrapados con trampas, así como en agua de charcas usadas por estos animales y por pecaríes, gracias a pruebas de PCR. Se encontró ADN de *Leptospira interrogans* serovar *Icterohaemorrhagiae* en el 8 % de los roedores estudiados, y también en aguas estancadas tras lluvias intensas.

Esto es importante porque la leptospirosis es una enfermedad que vuelve a aparecer en zonas tropicales con mal drenaje y contacto cercano entre personas y animales. Por eso, usar agua contaminada de ríos o charcas, para beber o bañarse, puede ser un riesgo para la salud de estas comunidades (Solís y otros, 2012).

5.4.5 Brotes de *Plasmodium* en aves migratorias

Investigadores de la Universidad Estatal Amazónica (UEA) estudiaron aves migratorias y locales cerca del Yasuní para detectar la presencia de malaria aviar. Encontraron *Plasmodium relictum* en 12 especies, especialmente en *Myiarchus ferox* y *Turdus ignobilis*. Las aves jóvenes infectadas mostraron signos de anemia leve y pérdida de peso.

Estos hallazgos confirman que la malaria aviar está activa en la Amazonía oriental, transmitida principalmente por mosquitos *Culex*. Además, las aves migratorias pueden traer nuevas variantes del parásito o ayudar a esparcir las ya existentes hacia otras zonas del continente (Vera da Costa, 2011).

5.5 Implicaciones ecológicas

Los patógenos que afectan a la fauna silvestre del Yasuní no solo ponen en riesgo la salud de cada animal, sino que también generan consecuencias más amplias en el equilibrio ecológico. Al alterar el tamaño de las poblaciones, romper relaciones entre especies o modificar procesos naturales, estos agentes pueden desencadenar efectos en cadena difíciles de revertir. En un ecosistema tan conectado como el Yasuní, su aparición o reaparición no debe verse como un hecho aislado, sino como una pieza clave que da forma al funcionamiento del entorno.

Este apartado explora cinco formas en que los patógenos impactan el ecosistema: Disminución de poblaciones animales, Pérdida de funciones ecológicas clave, Interrupción del flujo genético, Alteraciones en las cadenas alimenticias, e interacción con actividades humanas (Suzán Azpiri y otros, 2000).

5.5.1 Reducción poblacional y desequilibrio demográfico

Los patógenos pueden reducir el número de animales silvestres al causar enfermedades que afectan su salud, reproducción o supervivencia. A veces esto ocurre rápidamente, como en brotes epidémicos; otras veces, de forma más lenta, mediante infecciones crónicas.

En el Yasuní, por ejemplo:

- El parásito *Toxoplasma gondii* puede afectar a felinos como ocelotes y jaguares, reduciendo la cantidad de crías y su capacidad para reproducirse, especialmente en zonas donde ya son escasos.
- En aves migratorias jóvenes, el *Plasmodium* (similar al que causa la malaria) puede provocar anemia severa, disminuyendo sus posibilidades de sobrevivir y mantenerse en la zona (Suzán Azpiri, 2014).

¿Por qué es preocupante?

- Las especies que se reproducen lentamente o tienen pocas crías son más vulnerables.
- Estas enfermedades pueden reducir la diversidad genética, haciendo a las poblaciones menos resistentes al cambio.
- En casos extremos, pueden desaparecer de ciertas áreas, sobre todo si son especies muy especializadas o con distribución limitada.

5.5.2 Disminución de funciones ecológicas clave

Cada animal en la selva amazónica cumple un papel vital: unos polinizan flores, otros dispersan semillas, controlan plagas o ayudan a reciclar nutrientes. Pero cuando una enfermedad los afecta, su función se debilita y todo el ecosistema lo resiente.

Por ejemplo:

- Si murciélagos o monos frugívoros están enfermos, se mueven menos y dispersan menos semillas, afectando la regeneración del bosque.
- Aves que suelen polinizar pierden eficacia si están debilitadas por parásitos.
- Depredadores como los pumas, al enfermar, cazan menos, lo que permite que plagas como roedores o insectos se multipliquen sin control (Marzal, 2015).

Estos cambios, aunque parezcan pequeños, pueden desatar desequilibrios mayores: bosques que no se regeneran, presas que se vuelven plaga, y cadenas alimenticias que se rompen. La salud de la fauna es, en realidad, la salud de toda la selva.

5.5.3 Fragmentación genética y aislamiento de subpoblaciones

Algunos patógenos no solo afectan la cantidad de animales, sino que también cambian su comportamiento, reduciendo su capacidad para moverse, relacionarse o dispersarse. Esto puede causar un aislamiento funcional, donde grupos quedan separados y se reduce el intercambio genético.

Entre las causas están:

- Patógenos que dificultan el movimiento o debilitan a los animales, como la leptospirosis en mamíferos semiacuáticos.
- Enfermedades que afectan el apareamiento o provocan rechazo social, como el herpes virus en primates.
- Infecciones que alteran la migración, como la malaria en aves que viajan largas distancias.

Las consecuencias incluyen:

- Mayor diferencia genética entre grupos aislados.
- Riesgo más alto de endogamia y pérdida de diversidad genética.
- Menor capacidad para adaptarse a cambios futuros (Jaramillo Carrión M. I., 2019).

5.5.4 Alteración de relaciones tróficas y ecológicas

En el complejo ecosistema amazónico, las relaciones entre las especies como la depredación, la competencia, el mutualismo y el parasitismo están muy equilibradas. Pero

cuando surge una enfermedad o empeora, puede romper ese balance, afectando cómo se distribuyen los individuos y la energía en la cadena alimentaria.

Por ejemplo:

- Si una enfermedad afecta a pequeños mamíferos que comen frutas, puede aumentar la competencia por esos frutos entre aves y primates, y alterar el ciclo natural de las plantas.
- Si los depredadores enfermos desaparecen, sus presas pueden crecer en exceso y sobreexplotar las plantas, generando un efecto en cadena.
- La muerte de polinizadores contaminados puede impedir que las plantas se fertilicen correctamente.

Estos cambios no solo afectan el bosque en sí, sino también el microhábitat, modificando la presencia de hongos, bacterias del suelo y artrópodos (Jaramillo Carrión M. I., 2019).

5.5.5 Retroalimentación con disturbios antrópicos

La presión humana sobre el Yasuní como la expansión petrolera, el turismo descontrolado, el cambio climático o la agricultura cercana facilita la propagación de enfermedades al romper las barreras naturales que normalmente las contienen.

Por ejemplo:

- La deforestación crea bordes donde humanos, animales y vectores entran en contacto más frecuente.
- Los caminos y ductos permiten que especies que transmiten enfermedades se muevan y contacten nuevas poblaciones.
- El cambio climático cambia dónde pueden vivir los vectores, extendiendo enfermedades como la malaria y la leishmaniasis.

Esta combinación de actividades humanas y enfermedades puede causar cambios bruscos en el ecosistema, donde algunas especies desaparecen y otras, más resistentes, dominan, poniendo en riesgo el equilibrio natural del Yasuní (Jaramillo Carrión M. I., 2019).

5.6 Riesgos zoonóticos

La zoonosis es el conjunto de enfermedades que se transmiten de animales a humanos, ya sea de forma directa o indirecta. A lo largo de la historia, estas enfermedades han causado pandemias graves, como la peste bubónica y el COVID-19. En lugares tan biodiversos como el Parque Nacional Yasuní, donde conviven muchas especies en un ambiente ideal para que los patógenos crezcan, el riesgo de contagio es alto, especialmente cuando aumentan los encuentros entre personas y animales (Daszak y otros, 2000).

En este apartado se explican los factores que aumentan ese riesgo en el Yasuní, se mencionan los patógenos que pueden afectar la salud humana, y se analizan las situaciones y personas más vulnerables. Además, se proponen acciones de prevención y vigilancia basadas en el enfoque Una Salud (One Health) (Sánchez y otros, 2022).

5.6.1 Factores que aumentan el riesgo zoonótico en el Yasuní

Aunque es un área protegida, el Yasuní no está libre de presiones antrópicas que perturban el equilibrio natural y originan zoonosis (Monsalve B y otros, 2009). Entre los factores más indicantes se encuentran:

a. Ampliación de la frontera agrícola y ganadera

Zonas periféricas al parque han sido colonizar por el hombre, dando lugar a mosaicos de agricultura, pastos y trozos de selva, donde roedores, murciélagos y aves silvestres se encuentran con animales domésticos y humanos. Ese solapamiento ecológico facilita la transmisión de los patógenos como *Leptospira* y *Salmonella*.

b. Actividad petrolera y construcción de obra civil

La destrucción de bosques, alejamiento de poblaciones e industrialización de la región también aumenta el movimiento de pobladores, maquinaria y desechos, que da lugar a un mayor punto de interacción humanos y fauna. Además, los desechos biológicos pueden atraer especies sinantrópicas como zarigüeyas o roedores, puentes biológicos para virus y bacterias zoonóticas.

c. *Turismo ecológico no controlado*

Aunque el turismo de naturaleza puede ser un instrumento de conservación el desierto él solo es un riesgo. El contacto cercano con animales silvestres, la manipulación de heces o restos y el ingreso a áreas de alta densidad faunística, colocan a guías, visitantes y trabajadores enfermos de rabia, leptospirosis, toxoplasmosis o malaria.

d. *Climático alterado*

Los cambios en sistemas de patrones de precipitación, temperatura y humedad están cambiando la distribución de vectores como mosquitos, triatominos y flebótomos. Esto podría extender la zona geográfica de enfermedades transmitidas por vectores de la leishmaniasis o el virus del Nilo Occidental, aumentando su presencia donde anteriormente era rara.

5.6.2 Patógenos con potencial zoonótico en el Yasuní

Muchos estudios han reportado la presencia o riesgo potencial de patógenos zoonóticos en la zona del Yasuní y su entorno. Luego pueden ver a continuación los más destacados:

a. *Leptospira interrogans*

- Hospedadores silvestres: Roedores, zarigüeyas, marsupiales, murciélagos.
- Transmisión: Tocarse con agua o suelo contaminado con orina infectada.
- Síntomas en humanos: Fiebre, ictericia, insuficiencia renal; tiene potencial de muerte.
- Situaciones de riesgo: Viaje en vehículos por zonas inundadas, toma de muestras sin protección.

b. *Rabia virus (Lyssavirus)*

- Reservorios: Murciélagos frugívoros e insectívoros.
- Contagio: Mordedura, contacto con saliva infectada.
- Relevancia: Enfermedad 100 % mortal sin tratamiento; en murciélagos amazónicos.

c. *Trypanosoma cruzi*

- Reservorios: Zarigüeyas, murciélagos, armadillos.
- Vectores: Triatominos.

- Zoonosis: Enfermedad de Chagas; puede dañar el corazón, el sistema digestivo y nervioso.
- Riesgo: Casas de madera o de madera y paja cerca de bosques o en estaciones de campo.

d. Toxoplasma gondii

- Reservorios definitivos: Felinos silvestres.
- Hospedadores intermedios: Roedores, aves, monos.
- Transmisión humana: Consumo de agua infectada, contacto con suelos o carnes infectadas.
- Poblaciones de alto riesgo: Embarazo, inmunosuprimidos.

e. Plasmodium spp.

- Vectores: Mosquitos *Anopheles* y *Culex*.
- Transmisión: Transmisión vectorial picadura.
- Zoonosis posible: En el área de bordes agrícolas donde conviven humanos, aves y mosquitos (Rodríguez Ferri & Calvo Sáez, 2020).

5.6.3 Grupos humanos más expuestos

No toda la población humana está igualmente expuesta a los patógenos zoonóticos, dentro del contexto del Yasuní. Los grupos más afectados tienen mayor contacto con fauna y sus heces.

a. Comunidades indígenas y colonos ribereños

- Comen carne de caza (monos, perezosos, roedores) cruda a menudo.
- Residen sobre cuerpos de agua sin o con bajo grado de potabilización.
- Convivencia próxima a animales silvestres o sinantrópicos (zarigüeyas, ratas).

b. Investigadores y técnicos de investigación

- Bajo riesgo de exposición a heces, tejidos, fluidos y vectores durante el trabajo de muestreo.
- Riesgo de pinchazos, mordeduras o aerosoles en necropsias o manejo animal.
- Acceso a zonas inaccesibles a servicios médicos de emergencia.

c. *Turistas y operadores ecoturísticos*

- Accidental maniobra de restos orgánicos, contacto con murciélagos en refugios, baños en ríos sin tratamiento sanitario.
- No vacunado o desconocimiento de normas básicas de bioseguridad (Echeverría Valencia, 2021).

5.6.4 Enfoques de prevención: el marco una salud

El modelo One Health consiste en las tres interconexas salud humana, animal, ambiente. En el ámbito amazónico esto significa que la vigilancia de zoonosis debe estar incluida dentro de la gestión de fauna y territorio. Algunas de las acciones a realizar son:

- Serológico y molecular monitoreo en especies centinela (murciélagos, roedores, zarigüeyas).
- Crear protocolos de bioseguridad en estaciones científicas, senderos turísticos y campamentos.
- Capacitación en uso del equipo de protección personal (EPP), recogida y transporte seguro de muestras.
- Campañas comunitarias sobre riesgos zoonóticos y prácticas de caza, pesca y consumo de agua seguras.
- Mapeo participativo de zonas vulnerables, correlacionando saberes científicos saberos tradicionales (Sánchez y otros, 2022).

5.7 Recomendaciones de vigilancia y monitoreo

La conservación real de la fauna silvestre del Parque Nacional Yasuní no solo se trata de estudiar su diversidad biológica sino también de desarrollar un sistema de vigilancia sanitaria integral. En un ecosistema de alta biodiversidad y creciente presión antrópica el seguimiento de patógenos y enfermedades en vida salvaje es imprescindible para la prevención de brotes, zoonosis y mantenimiento del equilibrio ecológico (Estepa Becerra y otros, 2022).

Este aparte contiene una serie de recomendaciones técnicas y estratégicas para fortalecer la capacidad de vigilancia epidemiológica en fauna silvestre del Yasuní. Las propuestas están enfocadas en el enfoque Una Salud (One Health) y están pensadas en función de los

recursos disponibles, de la diversidad de actores involucrados y de la necesidad de actuar de manera preventiva y coordinada.

5.7.1 Implementación de programas de vigilancia veterinaria centinela

El empleo de especies centinela permite anticiparse a los cambios en la circulación de patógenos antes de que se manifiesten efectos visibles a nivel poblacional o humano. Se tratan de especies elegidas por su ecología, susceptible o participante en la cadena epidemiológica.

Recomendaciones:

- Realizar monitoreo programático de:
- Murciélagos frugívoros e insectívoros: Reservorios de rabia, coronavirus, *Trypanosoma spp.*
- Roedores selvagens: Transmisores de *Leptospira*, *Salmonella*, hantavirus.
- Zarigüeyas y armadillos: Marcadores de transmisión de *T. cruzi*.
- Aves migratorias: Transmisoras de malaria aviar, *Campylobacter* y virus entéricos.
- Priorizar métodos no invasivos o mínimamente invasivos (recolección de heces, pelo, orine, hisopados bucales).
- Caracterizar infecciones estacionales realizando muestreos estacionales para identificar picos de infección asociados con el clima, reproducción o migración (Suzán Azpiri y otros, 2000).

5.7.2 Captura controlada mediante redes de niebla y trampas Sherman

El empleo de procedimientos estándar de captura es crucial para obtener uñas biológicas ética, segura y representativamente.

Aspectos técnicos:

- Nuevas redes de niebla para aves y murciélagos con contabilización cada 15 minutos.
- Trampas Sherman o Tomahawk para conejos y roedores pequeños, con cebado estandarizado y activación nocturna.
- Protocolos de captura deben ser aprobados por Comité de Ética de la Investigación en Animales (CEIA) y cumplir con directrices de MAATE.

Bioseguridad:

- Uso obligatorio de guantes, mascarillas y ropa de desecho.
- Desinfección de equipos entre usos.
- Formación de personal en manejo de fauna y primeros auxilios biológicos (Marzal, 2015).

5.7.3 Aplicación de pruebas serológicas y moleculares

La detección en etapas tempranas de patógenos necesita el instrumento diagnóstico, sensibilidad, específica y transportable.

Métodos recomendados:

- PCR convencional o qPCR *Trypanosoma*, *Leptospira*, *Plasmodium*, virus ARN y ADN.
- ELISA para la detección de anticuerpos anti-rabia, anti-coronavirus, anti *T. gondii*, anti-hantavirus.
- Pruebas Western blot e inmunocromatográficas para validación en el campo.

Características físicas:

- Crear alianzas con laboratorios calibrados (INSPI, PUCE, UEA).
- Aplicar kits portátiles de análisis en campo para realizar los análisis previos.
- Asegurar la cadena de frío desde recolección hasta el análisis (Estepa Becerra y otros, 2022).

5.7.4 Desarrollo de una base de datos georreferenciada

Dado a conocer sobre distribución espacio temporal de patógenos permite determinar localizaciones críticos y modelos de riesgo emergentes.

Componentes recomendados:

- Módulo de registro de capturas (especie, edad, sexo, coordenadas GPS, síntomas).
- Laboratory results module (type of test, detected agent, infectious load).

- Módulo ambiental (clima, uso del suelo, cerca de cuerpos de agua o habitados humanos).

Ventajas:

- Muestra de focos epidemiológicos.
- Servicio de apoyo a la toma de decisiones en vigilancia y conservación.
- Interoperabilidad con las plataformas nacionales e internacionales (WISOE, OIE-WAHIS) (Suzán Azpiri y otros, 2000).

5.7.5 Fomento de estudios ecológicos de enfermedades

Conocer la dinámica de los patógenos no es suficiente con su detección, requiere el estudio de su ecología, vectores, hospedadores y ciclo de vida.

Estrategias:

- Unir proyectos de tesis de pregrado y postgrado sobre la ecología de enfermedades silvestres.
- Adicionar variables sanitarias en estudios de biodiversidad y monitoreo de fauna.
- Promover estudios longitudinales sobre la interacción clima, fauna, patógenos (Marzal, 2015).

5.7.6 Promoción de la vigilancia comunitaria participativa

Las comunidades indígenas y colonos ribereños son observadores habituales del bosque y pueden actuar como activadores importantes en la detección de eventos atípicos (mortalidad masiva, alteraciones de comportamiento, emergencia de nuevos vectores).

Propuestas:

- Liderar y capacitar líderes comunitarios y guías locales en síntomas de enfermedades en animales.
- Repartir material visual de signos clínicos y protocolos de notificación.
- Crear mecanismos de comunicación con técnicos del MAATE y estaciones científicas (Estepa Becerra y otros, 2022).

5.7.7 *Establecimiento de protocolos ante eventos sanitarios*

En caso de identificación de patógenos de alto impacto se debe de tener confiabilidad protocolos de respuesta oportuna, inclusive que cuenten con aislamiento, muestreo, desinfección y coordinación interinstitucional.

Claves:

- Kit de embalaje (trampas, EPP, conservadores, desinfectantes).
- Listado de contactos para notificación rápida (autoridades ambientales, sanitarias, académicas).
- Manual de buenas prácticas en manipulación de fauna afección o muerta (Estepa Becerra y otros, 2022).

5.8 Conclusiones del capítulo

El Parque Nacional Yasuní no solo es un símbolo de biodiversidad, sino también un ecosistema vivo en el que cada especie cumple una función vital. Este capítulo ha mostrado que los animales silvestres, además de ser parte esencial del equilibrio ecológico, también juegan un papel activo en la transmisión y mantenimiento de enfermedades. Muchos de ellos, como los murciélagos, roedores, aves y felinos, pueden portar patógenos que afectan tanto al ambiente como a la salud humana, muchas veces sin que nos demos cuenta.

Hoy en día, el contacto entre personas y fauna silvestre es cada vez más frecuente debido a la expansión agrícola, la actividad petrolera y el turismo sin control. Esto aumenta el riesgo de que enfermedades pasen de animales a humanos. Sin embargo, este riesgo puede prevenirse si actuamos con responsabilidad: mejorando la vigilancia sanitaria, promoviendo la educación en salud en las comunidades locales y aplicando protocolos de bioseguridad en todas las actividades humanas dentro del parque.

El enfoque Una Salud, que reconoce que la salud humana, la salud animal y la del ambiente están profundamente conectadas, se vuelve esencial en este contexto. Aplicarlo en el Yasuní significa trabajar juntos: científicos, comunidades, autoridades y sectores públicos deben unirse para prevenir enfermedades, proteger la biodiversidad y cuidar el bienestar de todos.

A pesar de los avances, aún hay mucho por conocer. Faltan datos a largo plazo, conexiones entre la salud de plantas y animales, y modelos que nos ayuden a anticipar brotes. Resolver estas brechas requiere más investigación, alianzas entre instituciones y, sobre todo, valorar el conocimiento local.

CAPITULO VI

6. PATÓGENOS EN EL SUELO Y AGUA

El suelo y el agua del Parque Nacional Yasuní son vitales para la vida en la Amazonía ecuatoriana. Además de sustentar plantas y animales, contienen comunidades microbianas que incluyen microorganismos que pueden causar enfermedades. Por eso, debemos ver el suelo y el agua como base de la biodiversidad, pero también como posibles reservorios de microorganismos que, bajo ciertas condiciones, pueden representar un riesgo para la salud y el ambiente (Villàs, 1995).

Factores como el cambio de uso del suelo, el aumento del turismo, la fragmentación de hábitats y el cambio climático están alterando estas comunidades microbianas. Esto hace que el Yasuní, con su gran riqueza natural, sea especialmente vulnerable a la aparición de patógenos. Por eso es fundamental monitorear la microbiología del suelo y el agua para detectar riesgos a tiempo, entender su impacto y proteger tanto el ecosistema como a las personas y animales que dependen de él.

Este capítulo explora quiénes son esos microorganismos, cómo llegan y permanecen en el suelo y el agua, qué los hace peligrosos, cómo detectarlos y qué impacto tienen. También presenta casos del Yasuní y propone formas de prevenir y controlar estos riesgos, buscando cuidar la naturaleza y la salud de todos.

6.1 Composición microbiana del suelo amazónico

El suelo del Parque Nacional Yasuní, en medio de la Amazonía, es mucho más que tierra; es un mundo lleno de vida microscópica que cumple roles esenciales para el equilibrio del bosque. En él viven bacterias, hongos, protozoarios y helmintos que ayudan a descomponer la materia orgánica, formar humus, fijar nitrógeno y liberar nutrientes, todo en un ambiente ácido, húmedo y cubierto por una frondosa vegetación (Prevati y otros, 2013).

Entre las bacterias, encontramos *Bacillus*, que protegen a las plantas; *Pseudomonas*, que las ayudan a crecer; *Clostridium*, que viven sin oxígeno y pueden afectar la salud; y actinobacterias, que descomponen materia y producen antibióticos naturales (Castillo Monroy & Maestre, 2011). Los hongos, como *Fusarium* y *Aspergillus*, pueden dañar

plantas o causar infecciones, mientras que *Penicillium* y *Cryptococcus* sobreviven en suelos ácidos o contaminados. También hay protozoarios como *Acanthamoeba* y *Naegleria*, que pueden afectar animales y personas, y helmintos como *Ascaris* y *Strongyloides*, que completan parte de su ciclo en el suelo y representan un riesgo en áreas con mucha fauna (Previati y otros, 2013).

Conocer y cuidar esta comunidad invisible es vital para mantener la salud del ecosistema y de quienes viven en él. Hoy, gracias a tecnologías como la metagenómica, podemos descubrir este fascinante mundo microscópico y usar ese conocimiento para proteger el Yasuní y toda su riqueza natural.

6.2 Patógenos en fuentes de agua superficial

El Parque Nacional Yasuní, en la Amazonía ecuatoriana, es uno de los lugares más biodiversos del planeta. Sus ríos y lagunas forman una red compleja con aguas muy diferentes: las “igapó” son oscuras y ricas en materia vegetal descompuesta, mientras que las “várzea” son turbias y cargadas de sedimentos andinos (UNESCO, 2024).

Estos cuerpos de agua recorren bosques húmedos que albergan cientos de especies de aves, reptiles y mamíferos como el delfín rosado y el manatí amazónico. El agua y la fauna interactúan constantemente, creando ecosistemas acuáticos ricos y naturales (DISCOVER, 2017).

Aunque los ríos y lagunas del Yasuní tienen buena calidad física y química, desde el punto de vista microbiológico no son completamente seguras. La fauna silvestre puede transportar patógenos que llegan al agua con la lluvia, y las comunidades cercanas, al usar estas aguas para beber y lavar, aumentan el riesgo de contaminación fecal.

Estudios han detectado bacterias como *Escherichia coli* en el río Napo dentro del parque, lo que muestra que la contaminación puede venir tanto de humanos como de animales. Esto indica que, aunque el lugar esté lejos de ciudades, el agua puede contener microorganismos dañinos (Brewster & Coronel Tapia, 2012).

Los microorganismos que viven aquí están adaptados a un ambiente ácido, con mucha materia orgánica y calor constante. Algunos, como ciertas micobacterias, se desarrollan gracias a la descomposición natural de hojas. Además, el clima cálido y lluvioso favorece

la supervivencia de patógenos intestinales, especialmente si el agua no se trata antes de usarse (Zulu y otros, 2021).

En resumen, el Yasuní es un ecosistema vivo y complejo donde conviven microorganismos propios y posibles agentes patógenos, influenciados tanto por la naturaleza como por la actividad humana.

6.3 Principales grupos de patógenos en aguas superficiales del Yasuní

En el Parque Nacional Yasuní, diversos patógenos pueden encontrarse en las fuentes de agua superficial, según estudios hidro-microbiológicos y el conocimiento del ecosistema amazónico. Entre los más importantes están:

- **Bacterias fecales**, como *Escherichia coli*, *Salmonella* y *Shigella*, que indican contaminación reciente y pueden causar enfermedades intestinales.
- **Protozoarios intestinales**, como *Giardia* y *Cryptosporidium*, que son muy resistentes en el agua y pueden provocar brotes de infecciones digestivas.
- **Leptospira**, un tipo de bacteria que causa leptospirosis, capaz de sobrevivir en aguas estancadas contaminadas con orina de animales.
- **Micobacterias ambientales**, que se encuentran en agua y suelo, y representan un riesgo especial para personas con el sistema inmunológico debilitado (Rocha y otros, 2022).

Cada uno de estos patógenos tiene formas distintas de aparecer, mantenerse en el ambiente y transmitirse, lo que es clave para cuidar y tratar el agua en zonas tan biodiversas como Yasuní (Solarte y otros, 2006).

6.3.1 Bacterias Entéricas Fecales (*E. coli*, *Salmonella* y otras)

Las bacterias fecales, como *Escherichia coli* y coliformes, son señales claras de contaminación en ríos y lagos, pues normalmente viven en los intestinos de animales de sangre caliente. En Ecuador, la norma INEN 1108:2020 exige que el agua para consumo esté libre de estas bacterias (límite de <1,1 NMP/100 mL) porque pueden causar enfermedades, incluso en pequeñas cantidades (Sánchez Aroca & Guangasig Toapanta, 2023).

En el Parque Nacional Yasuní, esta contaminación viene principalmente de las heces de animales silvestres, que la lluvia arrastra hacia los cuerpos de agua. También afecta la presencia humana cuando no se gestionan bien las aguas residuales en campamentos o asentamientos (Carvajal, 2025).

Un estudio nacional encontró *E. coli* en casi una cuarta parte de las fuentes rurales con niños pequeños, mostrando que el problema sigue vigente, especialmente donde no hay tratamiento adecuado. En el río Napo, dentro del Yasuní, también se detectó contaminación en algunos puntos, incluso en áreas protegidas (Brewster & Coronel Tapia, 2012).

Además, bacterias como *Salmonella* y *Shigella* pueden sobrevivir en el agua y causar enfermedades graves, poniendo en riesgo la salud humana y la fauna local. Por eso, es crucial monitorear la calidad del agua para prevenir enfermedades y proteger el ecosistema, ya que la contaminación aumenta cuando hay actividades humanas cerca (Sánchez Aroca & Guangasig Toapanta, 2023).

6.3.2 Protozoarios patógenos (*Giardia* y *Cryptosporidium*)

Protozoarios como *Giardia duodenalis* y *Cryptosporidium parvum/hominis* pueden causar enfermedades cuando las personas consumen agua sin tratamiento. Estos parásitos producen quistes resistentes que sobreviven mucho tiempo en el agua y no se eliminan fácilmente con cloro (Sánchez Aroca & Guangasig Toapanta, 2023).

En la Amazonía, estos microorganismos están presentes porque animales silvestres desde roedores hasta primates los portan y los liberan en sus heces. Durante la temporada de lluvias, estos quistes llegan a ríos y lagunas, fuentes de agua para muchas comunidades, lo que aumenta el riesgo de contagio.

La giardiasis es común en zonas amazónicas con poco acceso a saneamiento. Por ejemplo, en la Amazonía brasileña, cerca del 17.8 % de los niños estudiados presentaron la infección de *Gardia* (Calegar y otros, 2022), cifra mucho mayor que en otras regiones. Además, hay personas con síntomas y otras sin ellos, lo que sugiere una transmisión continua.

Aunque *Cryptosporidium* se ha estudiado menos, se han registrado brotes importantes. En 2018, en una aldea rural de Guayana Francesa, 51 personas se enfermaron tras consumir

agua del río. Esto demuestra que incluso comunidades aisladas están en riesgo si no tienen acceso a agua segura (Köster y otros, 2021).

En zonas como el Parque Nacional Yasuní, es posible encontrar estos parásitos en pequeñas cantidades, pero la gran variedad de animales, incluidos murciélagos, podría facilitar su propagación (Silva de Souza y otros, 2024).

Desde la salud pública, la presencia de estos protozoarios en el agua es preocupante. *Giardia* puede causar diarreas prolongadas, desnutrición y retraso en el crecimiento infantil. *Cryptosporidium* puede provocar diarreas severas, peligrosas para niños y personas con defensas bajas. Por eso, es esencial incluir su detección en los controles de calidad del agua, especialmente en regiones tan vulnerables como la Amazonía (Silva de Souza y otros, 2024).

6.3.3 *Leptospiras (bacterias causantes de Leptospirosis)*

Las leptospiras son bacterias en forma de espiral que causan la leptospirosis, una enfermedad que afecta a personas y animales, especialmente en zonas húmedas como la Amazonía. En lugares como el Parque Nacional Yasuní, estas bacterias están muy relacionadas con el agua y sus ecosistemas (Masiero Salvarani y otros, 2025).

Animales silvestres, como roedores y primates, pueden portar estas bacterias sin enfermarse, liberándolas al agua a través de su orina. Así, las personas y otros animales se infectan al beber o tener contacto con aguas contaminadas, especialmente si tienen heridas.

En la Amazonía, el contacto frecuente con el agua y la convivencia cercana entre animales silvestres, domésticos y humanos aumentan el riesgo de contagio. Estudios muestran que muchas personas y animales tienen contacto con la bacteria *Leptospira* en 24 %, y el agua es el principal medio de transmisión (Rocha Albuquerque y otros, 2022).

Además, se han descubierto nuevas especies de leptospiras en la región, mostrando la gran diversidad de estas bacterias. En humanos, la leptospirosis puede variar desde síntomas leves hasta enfermedades graves que afectan el hígado y los riñones.

Las lluvias e inundaciones movilizan las bacterias hacia ríos y lagunas, poniendo en riesgo a quienes viven cerca o trabajan en estas aguas. Por eso, en Yasuní es fundamental

fortalecer la vigilancia en animales y educar a la comunidad para evitar el contacto con aguas estancadas y prevenir la enfermedad (Matthias y otros, 2008).

6.3.4 *Microbacterias ambientales (no Tuberculosas)*

Las micobacterias ambientales son bacterias que viven en agua y suelo, descomponiendo materia orgánica sin causar daño, pero que en ciertas condiciones pueden infectar animales y personas.

En el Yasuní, la abundante materia orgánica y los ácidos naturales crean un ambiente ideal para que estas bacterias crezcan, especialmente en ríos y cochas. Algunas especies comunes son *Mycobacterium avium*, *M. marinum* y *M. ulcerans*, presentes incluso en sistemas de agua potable (Zulu y otros, 2021).

Ecológicamente, pueden causar enfermedades crónicas en fauna silvestre, afectando la salud de peces, anfibios y reptiles. En humanos, son patógenos oportunistas que entran por inhalación o heridas, causando infecciones pulmonares o en la piel, sobre todo en personas con defensas bajas (Honda y otros, 2018).

Su presencia indica que la calidad del agua en el Yasuní no es óptima, lo que puede representar un riesgo para quienes están en contacto frecuente con estas aguas. Además, son resistentes a desinfectantes y medicamentos, lo que dificulta su control (CFSPH, 2020) . Aunque de baja virulencia, estas micobacterias son importantes para entender la salud ambiental y los posibles riesgos para humanos y animales en la región.

6.3.5 *Estudios de casos documentados en la amazonia*

Los riesgos mencionados anteriormente no se tratan de situaciones hipotéticas. Varios estudios y reportes en la Amazonía ecuatoriana y alrededor de ella han mostrado la existencia real de patógenos entéricos y sus impactos sobre la salud pública. A continuación, hay casos ejemplares que dan cuenta del letrado del problema:

Brotes de *Cryptosporidium* en comunidades aisladas

En marzo de 2018, en Maripasoula (Amazonía francesa), 51 personas, en su mayoría niños, se enfermaron por consumir agua de río contaminada con materia fecal. Este brote evidencia cómo la falta de acceso a agua segura y tratamientos básicos, como filtración o desinfección, impacta la salud en zonas remotas (Menu y otros, 2022).

Alta prevalencia de *Giardia* en la región amazónica

En Perú, Brasil y Ecuador, la infección por *Giardia* sigue siendo común en zonas rurales. En Brasil, casi un 20 % de la población estudiada tenía giardiasis, cifra mayor que la media nacional. En Ecuador, estos parásitos causan diarreas crónicas y desnutrición, especialmente en niños, debido al consumo de agua no tratada (Calegar y otros, 2022).

Contaminación fecal en fuentes de agua del Yasuní y la Amazonía ecuatoriana

Estudios muestran que muchas fuentes de agua en la región están contaminadas con bacterias como *E. coli*, indicador de contaminación fecal. Cerca del 20 % de la población consume agua contaminada, sobre todo en zonas amazónicas y andinas. Incluso en áreas protegidas como el Parque Nacional Yasuní, la contaminación persiste, probablemente por actividades humanas como ganadería y extracción petrolera (Sánchez Aroca & Guangasig Toapanta, 2023).

Leptospirosis en fauna y humanos

En la Amazonía occidental, la leptospirosis afecta tanto a personas como a animales domésticos, especialmente tras inundaciones. En Perú y Brasil se han reportado brotes vinculados al contacto con agua contaminada por orina de roedores. Esta enfermedad representa un riesgo serio, aunque a menudo no se diagnostica por falta de recursos en zonas rurales (Sohn Hausner y otros, 2023).

6.3.6 Análisis de riesgo sanitario para fauna, humanos y ecosistemas

La presencia de patógenos en el agua de los ríos y quebradas del Parque Nacional Yasuní representa un peligro serio, no solo para las personas que viven y trabajan allí, sino también para los animales y el equilibrio natural del ecosistema.

Riesgos para las personas

El agua de los ríos y quebradas del Yasuní está contaminada con bacterias, virus y otros microorganismos que pueden causar enfermedades graves en las comunidades indígenas, colonos, guardaparques y científicos que dependen de ella. Enfermedades como fiebre tifoidea, diarreas severas y leptospirosis son comunes y pueden afectar órganos vitales. Además, el contacto con agua contaminada puede provocar infecciones en la piel y los ojos, especialmente preocupantes donde hay poco acceso a atención médica. Estas enfermedades contribuyen a problemas de desnutrición y anemia en la región (Masiero Salvarani y otros, 2025).

Impacto en la fauna silvestre

Los animales del Yasuní también sufren por esta contaminación. Mamíferos acuáticos como nutrias y delfines pueden enfermarse por parásitos, mientras que venados y primates son vulnerables a infecciones como la leptospirosis, lo que debilita sus poblaciones. Aves y reptiles pueden transmitir estos patógenos, afectando la supervivencia de sus crías y poniendo en peligro el equilibrio natural del ecosistema (Egan y otros, 2024).

Consecuencias para el ecosistema

La contaminación refleja problemas mayores, como residuos humanos y ganaderos que causan eutrofización y reducen el oxígeno en el agua, dañando especies sensibles. Además, la presencia de bacterias resistentes y patógenos exóticos amenaza procesos vitales como la regeneración del bosque, afectando la salud y estabilidad de todo el ecosistema (Masiero Salvarani y otros, 2025).

La presencia constante de patógenos en el agua, por un lado, favorece la aparición de microorganismos más resistentes, capaces de intercambiar genes con otras bacterias y volverse más difíciles de controlar. Por otro lado, algunos microbios aprovechan el exceso de materia orgánica para multiplicarse, lo que afecta el equilibrio natural y desplaza a especies beneficiosas. En consecuencia, no solo se deteriora la calidad del agua, sino que también se altera la biodiversidad y el funcionamiento del ecosistema acuático (Zulu y otros, 2021).

6.3.7 Consideraciones para el monitoreo microbiológico en el Yasuní

En el corazón del Parque Nacional Yasuní, uno de los lugares más biodiversos del planeta, el agua lo une todo: Comunidades, animales y naturaleza. Pero esa misma agua, tan vital, puede volverse peligrosa cuando está contaminada por bacterias, virus o parásitos. Y lo grave es que no distingue entre humanos y animales: Afecta a todos por igual.

a) Indicadores bacterianos básicos

Usamos *Escherichia coli* y coliformes termotolerantes como señales de contaminación fecal. Con métodos como el Número Más Probable o filtración por membrana, podemos medirlos incluso con kits de campo. Si encontramos *E. coli*, que por ley debe estar ausente, se activa una alerta para revisar más a fondo. Además, incluir enterococos fecales aporta mayor seguridad en ambientes tropicales (Sánchez Aroca & Guangasig Toapanta, 2023).

b) Revisión de parásitos críticos

Giardia y *Cryptosporidium* son comunes en zonas húmedas, por lo que conviene muestrear lagunas y pozos en épocas de lluvia y de sequía. Estos análisis (microscopía o PCR) requieren laboratorio, pero bastaría con hacerlo una vez al año para entender variaciones estacionales. También vale la pena buscar *Leptospira* en aguas estancadas mediante PCR, así identificamos “puntos calientes” y prevenimos brotes (Sánchez Aroca & Guangasig Toapanta, 2023).

c) Enfoque de una salud

No basta con medir el agua: Hay que unir datos de fauna y de comunidades cercanas. Tomar muestras a roedores o murciélagos ayuda a saber si patógenos circulan en la naturaleza. Al mismo tiempo, coordinar con el sistema de salud local para ver si aumentan los casos de diarrea o leptospirosis en poblaciones ribereñas. Conectando estos datos, podemos relacionar, por ejemplo, lluvias fuertes con picos de *Giardia* en personas (Sánchez Aroca & Guangasig Toapanta, 2023).

d) Tecnologías modernas y colaboración

Con aliados académicos, podemos usar PCR multiplex o secuenciación (metagenómica) para buscar varios patógenos a la vez. Aunque es avanzado, ofrece una visión completa de qué microorganismos habitan en ciertas lagunas. Además, entrenar a guardaparques y comunidades en toma de muestras y pruebas rápidas (tiras reactivas, kits portátiles) garantiza que el monitoreo sea sostenible en el tiempo (Sánchez Aroca & Guangasig Toapanta, 2023).

e) Frecuencia y atención a la estabilidad

Lo ideal es muestrear cada tres meses en puntos clave: fuentes de agua, desembocaduras y lagunas representativas. Así cubrimos estación húmeda y seca. Si ocurre una inundación o hay vertidos por actividades cercanas, realizamos muestreos adicionales para no quedarnos con datos incompletos (Sánchez Aroca & Guangasig Toapanta, 2023).

f) Actuar según los resultados

Detectar patógenos no sirve si no tomamos acciones. Si aparece *E. coli* en áreas de campamentos, reforzamos el tratamiento de agua (hervido, filtros, cloro) y mejoramos letrinas o sistemas de desagüe. Para comunidades indígenas, los datos pueden respaldar proyectos de agua potable y saneamiento con apoyo de ONG o el Estado. Si hallamos alta presencia de leptospirosis en roedores cerca de zonas turísticas, sugerimos campañas de vacunación a mascotas y control de roedores (Carvajal, 2025).

6.4 Vías de entrada y persistencia de patógenos

El Parque Nacional Yasuní es uno de los lugares con mayor biodiversidad del planeta. Su clima húmedo, suelos ácidos con mucha materia orgánica y una densa red de ríos y quebradas crean un ambiente muy especial, pero también vulnerable. Estas condiciones favorecen la entrada y permanencia de microorganismos patógenos, como bacterias, virus, protozoos, helmintos y hongos.

Estos organismos llegan al suelo y al agua por distintas vías: algunas naturales, como la lluvia o los animales silvestres, y otras causadas por la actividad humana, como el vertido

de aguas residuales o el impacto del turismo y la extracción de recursos (Solarte y otros, 2006).

La presencia de estos patógenos no es casual. Factores como la humedad constante, el calor, la sombra del bosque y la abundante materia orgánica crean el ambiente perfecto para que sobrevivan y se multipliquen.

Por eso, entender cómo entran y cómo se mantienen en el ecosistema es clave. Esta información permite evaluar los riesgos que representan para la salud de los seres humanos, los animales y las plantas, y es fundamental para diseñar estrategias de monitoreo y prevención que ayuden a proteger un entorno tan frágil y valioso como el Yasuní.

6.4.1 Aportes de fauna silvestre: Excretas, secreciones y cadáveres

En un ecosistema tan diverso como el Parque Nacional Yasuní, los animales silvestres mamíferos, aves, reptiles y anfibios son una de las principales vías por las que los microorganismos llegan al ambiente. Esto ocurre cuando eliminan heces, orina, secreciones o cuando sus cuerpos se descomponen tras morir (Gallego Jaramillo y otros, 2014).

Las heces pueden contener bacterias como *Escherichia coli* y *Salmonella*, además de parásitos como *Giardia* o *Cryptosporidium*. La orina, por su parte, puede liberar bacterias como *Leptospira*, que causa la leptospirosis. También las secreciones, aunque menos comunes, pueden portar virus y bacterias. Cuando un animal muere, su cuerpo en descomposición libera una mezcla de hongos, bacterias y parásitos al suelo y al agua (Ostfeld R., 2009).

Estudios en la Amazonía han confirmado que muchos de estos animales actúan como reservorios de enfermedades que pueden transmitirse a otras especies. Cuando defecan u orinan cerca de ríos o sobre suelos húmedos, los microorganismos se filtran al entorno. Debido a la gran cantidad de fauna en las zonas ribereñas del Yasuní, estos microorganismos se liberan de forma constante, incluso sin la presencia humana (Menu y otros, 2022) . Así, el suelo y el agua se convierten en puntos de contacto con esta microbiota silvestre, cuyo impacto depende de cuántos microorganismos hay, si existen especies susceptibles cerca y de las condiciones del ambiente (Souza Freitas y otros, 2024).

6.4.2 Contaminación antrópica: Turismo, campamentos e infraestructura

Aunque el Parque Nacional Yasuní es un área protegida, no está libre de la presencia humana. Dentro y alrededor del parque hay campamentos científicos, centros turísticos, comunidades indígenas y zonas donde se realizan actividades como la agricultura, la ganadería y la extracción petrolera (Costa de Oliveira y otros, 2020) . Estas actividades pueden traer consigo la introducción de bacterias y otros microorganismos dañinos, principalmente por:

- La descarga directa de aguas residuales sin un tratamiento adecuado.
- La mala gestión de residuos, como restos de comida, que favorecen el crecimiento de microbios.
- El contacto con ropa, calzado o herramientas contaminadas con microorganismos de otros lugares.

Según Sánchez Aroca & Guangasig Toapanta (2023), más del 40 % de las fuentes de agua en comunidades rurales de Ecuador están contaminadas con microorganismos. En el Yasuní, el mal manejo de excretas cerca de ríos o lagos por parte de visitantes o personal sin acceso a saneamiento es una forma común en que bacterias resistentes, parásitos intestinales y virus pueden entrar en el agua.

Además, cada vez que se abre un nuevo sendero o se crean zonas para acampar o infraestructura turística, se generan puntos de contacto entre las personas y la vida silvestre (Calegar y otros, 2022). Esto aumenta el riesgo de que se propaguen enfermedades a lugares donde antes no existían, afectando el equilibrio natural. Este problema es aún mayor en ecosistemas como el Yasuní, donde el calor y la humedad ayudan a que los microorganismos dañinos sobrevivan más tiempo (Jaramillo Carrión M., 2019).

6.4.3 Escorrentía superficial y transporte por lluvias

En los ecosistemas tropicales, como el Parque Nacional Yasuní, la escorrentía superficial provocada por las lluvias es una de las principales formas en que los patógenos del suelo llegan a los cuerpos de agua. En esta zona, donde llueve más de 3.000 mm al año, las

lluvias intensas llevan con frecuencia partículas, materia orgánica y microorganismos hacia ríos, quebradas y cochas (SCIMAGO INSTITUTIONS RANKINGS, 1992).

Este proceso arrastra heces de animales silvestres desde el sotobosque, mueve sedimentos contaminados con bacterias, quistes de protozoarios y esporas fúngicas, y también introduce directamente estos patógenos en el agua, que es utilizada por la fauna y por las comunidades locales para diversas actividades.

Varios estudios muestran que después de lluvias fuertes, la cantidad de microorganismos como *Escherichia coli*, coliformes, *Giardia* y *Cryptosporidium* aumenta notablemente en el agua superficial. Los quistes de estos protozoarios son especialmente resistentes y pueden viajar largas distancias sin perder su capacidad de infectar (Salvarani y otros, 2025).

Además, en áreas turísticas o con centros de investigación, la escorrentía puede transportar contaminantes humanos, un fenómeno llamado “contaminación por bordes”. La geografía compleja del Yasuní, con su sistema de drenaje natural, hace que este proceso sea aún más fuerte, aumentando los riesgos para la salud, la fauna y el ecosistema en estas zonas tan sensibles (Morales Mora y otros, 2022).

6.5 Biofilms: Persistencia estructural en ambientes acuáticos

Cuando los patógenos entran al agua, no desaparecen ni se diluyen de inmediato. En lugar de eso, se agrupan formando comunidades llamadas biofilms, que se adhieren a superficies como rocas, raíces o restos orgánicos sumergidos. Estos biofilms están compuestos por bacterias, hongos y otros microorganismos, todos protegidos dentro de una sustancia pegajosa llamada matriz extracelular.

Esta matriz actúa como un escudo que protege a los microorganismos de condiciones difíciles, como cambios de temperatura, pH, radiación UV y productos desinfectantes. Gracias a esta defensa, muchos patógenos pueden sobrevivir mucho tiempo y seguir siendo infecciosos.

En lugares muy húmedos como el Parque Nacional Yasuní, los biofilms están en todas partes y se forman rápido sobre cualquier superficie mojada o sumergida. Se sabe que bacterias como *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Mycobacterium*, *Pseudomonas* y *Leptospira*,

así como hongos del género *Fusarium*, pueden vivir y persistir dentro de estos biofilms (Libório Veríssimo y otros, 2021).

Por eso, los biofilms actúan como reservorios donde los patógenos permanecen hasta que se liberan nuevamente en el agua, iniciando nuevos ciclos de infección. Estudiar estos biofilms en el Yasuní es fundamental para entender cómo se transmiten las enfermedades a través del contacto con agua contaminada.

6.6 Factores ambientales que modulan la patogenicidad

La capacidad de los microorganismos en el suelo y agua del Parque Nacional Yasuní para causar enfermedades no es fija, sino que cambia según las condiciones ambientales. Factores como el pH, la temperatura, la humedad, el oxígeno disponible y los nutrientes influyen directamente en su comportamiento. Además, la interacción con otros microorganismos y la presencia de materia orgánica también afectan su potencial para ser dañinos. Entender cómo estas variables impactan la patogenicidad es fundamental para evaluar los riesgos sanitarios y para crear estrategias efectivas de monitoreo y control, especialmente en un lugar tan biodiverso como el Yasuní (Inieta Albentosa y otros, 2008).

6.6.1 Ph y su influencia en la actividad microbiana

El pH del suelo y del agua es un factor determinante que directamente influye en la supervivencia, multiplicación y virulencia de los microorganismos. En suelos ácidos, condición predominante en la región amazónica, se ha observado una disminución global de la actividad microbiana. Pese a todo, algunos patógenos como las *Fuserio* y *Cryptococcus* han demostrado la capacidad de adaptarse y sobrevivir en estos ambientes hostiles. Varios trabajos demuestran que la actividad deshidrogenasa empleada como criterio de actividad microbiológica del suelo se sitúa en sus valores máximos en condiciones próximas a la neutralidad, disminuyendo de forma importante tanto en medios ácidos como en medios alcalinos (Zúñiga & Ramos Vásquez, 2008).

6.6.2 Temperatura y su efecto en la proliferación de patógenos

La temperatura es un factor muy importante a la hora de determinar las tasas de crecimiento microbiano y expresión de factores de virulencia. En el Parque Nacional Yasuní, las altas temperaturas y relativamente constantes generan condiciones favorables

para el crecimiento de las bacterias mesófilas y termófilas, tales como *Escherichia coli* y *Salmonella spp.* Los estudios de laboratorio han encontrado que la actividad microbiana en suelos tiene sus máximos a los 27,5 °C para la producción de CO₂, y a los 37 °C para la actividad deshidrogenasa. Estas condiciones térmicas generan a la vez una mayor actividad metabólica microbiana y pueden hacer más virulentos a ciertos patógenos, aumentando el riesgo de transmisión e infecciones en ecosistemas frágiles (Ramos Vásquez & Zúñiga Dávila, 2008).

6.6.3 Humedad y disponibilidad de agua

La humedad es un factor ambiental determinante que afecta directamente la supervivencia, movilidad y dispersión de los patógenos. En suelos con elevada humedad se facilita la movilización de microorganismos por los poros del suelo más fuertemente, aunque la formación de biofilms, estructuras multicelulares que ofrecen protección frente a supuestos adversos ambientales y aumentan la resistencia de bacterias y hongos. Por el contrario, durante periodos de sequía, ciertos patógenos pueden inducir estados de latencia o esporulación, manteniéndose en estado de persistencia hasta que se restablezcan las condiciones favorables. Igualmente, la humedad determina la disponibilidad de oxígeno en el suelo, con lo que se favorece la formación de microambientes anaeróbicos donde se multiplican bacterias estrictamente anaerobias, como las del género *Clostridium* (Villàs, 1995).

6.6.4 Materia orgánica y nutrientes

Existe carbono y energía para los microorganismos, entre ellos diferentes patógenos, en los niveles de material orgánicos del suelo y del agua. En el Parque Nacional Yasuní, gracias a la alta densidad de vegetación y continuo proceso de descomposición de residuos orgánicos, se crea un ambiente edáfico e hídrico con alto contenido de nutrientes que permite el desarrollo de bacterias heterótrofas. Sin embargo, un exceso en la disponibilidad de materia orgánica puede influenciar la agresión y malformación de la estructura y funcionalidad de la comunidad microbiana, favoreciendo la opción de muestras de oportunistas y patógenos que perturben la estabilidad del sistema ecológico (Ramos Vásquez & Zúñiga Dávila, 2008).

6.6.5 Interacciones microbianas: Competencia y simbiosis

Las interacciones interespecíficas entre microorganismos desempeñan un relevo importante en la regulación de la patogenicidad y de la dinámica de las asociaciones microbianas. La lucha por nutrientes y espacio puede funcionar como otro mecanismo natural de control biológico previniendo el desarrollo de agentes patógenos por una acción inhibidora de exclusión competitiva. Por el contrario, ciertas relaciones simbióticas o comensales pueden aumentar la virulencia y la resistencia de los patógenos en contra de condiciones ambientales desfavorables y antimicrobianas. Por ejemplo, la diseminación de bacterias comunidades competitivas puede reducir el crecimiento de patógenos hongos vegetales, donde, por otra parte, formaciones de asociaciones microbianas específicas puede promover la formación de biofilms mixtos, otorgando mayor resistencia a desinfectantes y antibióticos (Iniasta Albentosa y otros, 2008).

6.6.6 Oxigenación y condiciones redox

La disponibilidad de oxígeno en el suelo y en el agua es un elemento muy importante en la configuración metabólica de las comunidades microbianas. En ambientes bien oxigenados, son más los microorganismos aerobios obligados, cuya actividad metabólica se fundamenta en la respiración aeróbica. Por el contrario, en condiciones anaeróbicas frecuentes en suelos húmedos o con baja porosidad son dominantes las bacterias anaerobias estrictas y facultativas, especializadas en fermentación o en otros procesos de respiración anaeróbica. Estos cambios en el ambiente redox no solo influirán en la presencia de comunidades microbianas, sino que también pueden modular la expresión de genes asociados a la virulencia, influyendo directamente y promover la capacidad de los patógenos para establecer infecciones y enfermedades (Iniasta Albentosa y otros, 2008).

6.6.7 Factores abióticos adicionales

Otros factores ambientales, como la radiación solar, la salinidad, y metales pesados, también son verdaderos determinantes de la patogenicidad de dichos microorganismos. La radiación ultravioleta (UV), por ejemplo, puede causar el daño estructural a los microorganismos en su base (ADN) entre otras acciones del daño orgánico, por lo tanto, afecta su capacidad de replicación y reduciendo su viabilidad ambiental. Por el otro lado, concentraciones altas de salinidad pueden inducir estrés osmótico que inhibe la

supervivencia de algunos seres, pero existen cepas halo tolerantes que se pueden adaptar y mantener su virulencia. Además, la presencia de metales pesados como el cadmio, plomo y mercurio puede actuar como presión selectiva favoreciendo la expresión de genes involucrados en resistencia a metales y a factores de virulencia incrementando así el riesgo sanitario de este microorganismo en ambientes contaminados (Iniesta Albentosa y otros, 2008).

6.7 Técnicas para la detección de patógenos edáficos y acuáticos

La detección precisa de patógenos en suelos y agua de cuerpos de ecosistemas de los trópicos, como en el Parque Nacional Yasuní, es un problema de campo multidisciplinar que requiere la combinación de metodologías microbiológicas clásicas con tecnologías moleculares de punta. Por la complejidad propia de las matrices ambientales y la gran diversidad microbiana, los métodos utilizados deben ser adecuados a las características ecológicas y con ajustes de las restricciones logísticas propias del trabajo en zonas aisladas. Aquí se presentan las técnicas de mayor importancia para la identificación de patógenos en suelos y aguas superficiales, enfatizándose sus principios científicos, aplicaciones, ventajas y limitaciones, teniendo como particular atención su idoneidad en estudios amazónicos (Gonzalez Pedraza y otros, 2014).

6.7.1 Cultivo en medios selectivos y diferenciales

Aunque hoy existen métodos moleculares avanzados, el cultivo microbiológico sigue siendo clave para detectar y aislar bacterias y hongos presentes en el suelo y el agua. Si bien no todos los microorganismos pueden crecer en laboratorio, esta técnica permite obtener cepas puras, lo que facilita su análisis físico, químico y genético.

¿Para qué se usa?

- Detectar coliformes fecales y totales (*E. coli*, *Enterobacter spp.*), usando medios como EMB o MacConkey.
- Aislar *Salmonella spp.* con medios específicos como XLD o SS.
- Identificar hongos del suelo que afectan plantas (*Fusarium*, *Aspergillus*, *Phytophthora*) usando medios como PDA, SNA o V8.
- Estudiar bacterias del suelo, incluyendo actinobacterias, en medios como TSA, R2A o King's B.

¿Por qué sigue siendo útil?

- Es económica.
- Permite trabajar con microorganismos vivos.
- Sirve para probar sensibilidad a antibióticos y antifúngicos.

¿Qué limitaciones tiene?

- Toma tiempo: Entre 2 y 7 días para que crezcan los microorganismos.
- No detecta concentraciones muy bajas.
- No identifica microbios que están vivos, pero no pueden cultivarse (VBNC).

En lugares como el Parque Nacional Yasuní, esta técnica puede usarse en campo con incubadoras portátiles, siendo muy útil para monitorear bacterias dañinas, hongos del suelo y microbios resistentes en zonas afectadas por la actividad humana o cambios ambientales (Gonzalez Pedraza y otros, 2014).

6.7.2 Filtración y concentración de muestras ambientales

En cuerpos de agua limpios, como lagunas o quebradas en buen estado, encontrar patógenos no es fácil. Al haber tan pocos microorganismos, es necesario recolectar grandes volúmenes de agua (entre 1 y 10 litros) y concentrarlos antes del análisis. Esto permite mejorar la sensibilidad y aumentar las probabilidades de detección, especialmente si se trata de microbios difíciles de cultivar.

Los métodos más comunes para este proceso son la filtración con membranas y la centrifugación diferencial. El procedimiento básico incluye:

- Filtrar el agua con membranas muy finas (0,45 μm para bacterias 1,2 μm para protozoos como *Giardia* y *Cryptosporidium*).
- Recuperar el material atrapado usando una solución tampón como PBS.
- Analizarlo luego por cultivo o técnicas moleculares como PCR o qPCR.

¿Por qué usar este método?

- Mejora notablemente la capacidad de detección.
- Funciona para bacterias, virus y protozoos.

- Es compatible con distintos métodos de análisis.

¿Qué hay que considerar?

- Se requiere cuidado para evitar contaminación entre muestras.
- Si el agua está muy turbia o tiene residuos orgánicos, los filtros pueden obstruirse y disminuir la eficiencia.

En lugares como el Parque Nacional Yasuní, esta técnica es clave para detectar protozoos intestinales como *Giardia* y *Cryptosporidium*. Aunque en zonas conservadas su presencia suele ser baja, puede aumentar cerca de asentamientos humanos o áreas con mucha fauna. Por eso, concentrar las muestras es un paso esencial para cuidar la salud ambiental en estos ecosistemas (Ríos Tobón y otros, 2017).

6.7.3 Técnicas de reacción en cadena de la polimerasa (PCR y qPCR)

La reacción en cadena de la polimerasa (PCR) es una técnica molecular que permite la detección específica de fragmentos de ADN o ARN específicos de distintos patógenos sin necesidad de que sea viable el microorganismo. Su alta sensata especificidad se la convierte en un instrumento relevante para el diagnóstico ambiental. La reacción de la PCR en tiempo real (qPCR) utiliza sondas fluorescentes para detectar cantidad nita precisa del número de copias del gen objetivo para una mayor capacidad para determinar carga microbiana en medios ambiente.

Marcadores moleculares usados comúnmente:

- **16S rRNA:** Región muy conservada usada para identificar y clasificar filogenéticamente bacterias.
- **ITS (Internal Transcribed Spacer):** Gen marcador para la detección e identificación de hongos.
- **Genes de especificidad de patogenicidad o función:**
- **iNVA:** Detección de *Salmonella spp.*

- **uIDA:** Asociado con *Escherichia coli*.
- **IIPL32:** Marcador para cepas patógenas de *Leptospira spp.*
- **gDH (Glutamato deshidrogenasa):** Utilizado en el diagnóstico de *Giardia spp.*

Beneficios:

- Alta sensibilidad y especificidad.
- Capacidad para detectar microorganismos viable y no viable.
- Tiempo de respuesta rápido (en 4 - 6 horas a partir de ADN/ARN extraído).

Limitaciones:

- Se necesita, equipo especializado, infraestructura de laboratorio.
- Sensible a falsos positivos por contaminación cruzada de ADN.
- No brinda información directa sobre la viabilidad o actividad metabólica del patógeno.

En el contexto amazónico del Parque Nacional Yasuní la realización de PCR tradicional y qPCR se puede hacer en laboratorios locales adecuados como los de la PUCE-Amazonía o el INSPI, en la provincia de Orellana. Estas técnicas son muy útiles para confirmar la existencia de los agentes patógenos difíciles de aislar mediante métodos convencionales, como por ejemplo *Leptospira spp.*, *Cryptosporidium spp.* y micobacterias no tuberculosas, a partir de muestras recogidas in situ (Gonzalez Pedraza y otros, 2014).

6.7.4 Secuenciación genética (Sanger y NGS)

La secuenciación de ADN nos permite identificar con precisión a los microorganismos, comparando fragmentos de su material genético con bases de datos. Hoy en día, es una herramienta clave en microbiología ambiental, útil tanto para reconocer especies específicas como para entender comunidades microbianas complejas (Escofet Crespo y otros, 2006).

La secuenciación Sanger, más tradicional, se emplea para organismos individuales, mientras que la secuenciación masiva (NGS) permite analizar muchas especies a la vez, incluso en muestras de suelo o agua.

¿Para qué se usa?

- Detectar hongos patógenos a través del marcador ITS.
- Estudiar suelos ricos en microorganismos.
- Identificar genes de resistencia a antibióticos en el ambiente.

¿Qué ventajas ofrece?

- Identificación precisa hasta el nivel de especie.
- Detecta microbios que no pueden cultivarse en laboratorio.
- Describe cómo se organizan las comunidades microbianas.

¿Y sus límites?

- Costos más altos que las técnicas tradicionales.
- Requiere conocimientos en bioinformática.
- No distingue si un microorganismo está vivo o muerto.

En la Amazonía, por ejemplo, se ha usado esta tecnología para detectar bacterias resistentes y medir el impacto humano en ríos y suelos. En lugares como el Parque Nacional Yasuní, también podría ayudar a crear mapas microbianos para monitorear el entorno a largo plazo (Salvarani y otros, 2025).

6.7.5 *Análisis de metabolitos, endotoxinas y marcadores bioquímicos*

En lugar de recurrir siempre a los cultivos tradicionales de microorganismos, hoy en día es posible detectar su presencia mediante ciertos compuestos químicos que actúan como señales indirectas. Estos biomarcadores permiten una respuesta más rápida frente a posibles riesgos biológicos. Algunos de los más importantes son:

- **Endotoxinas:** Proviene de bacterias Gram-negativas y, cuando aparecen en cuerpos de agua, pueden señalar contaminación fecal o exceso de materia orgánica.
- **Micotoxinas:** Como las aflatoxinas y fumonisinas, producidas por hongos como *Aspergillus* y *Fusarium*. Estas sustancias pueden llegar al suelo agrícola y representar un riesgo para la salud y los alimentos.
- **ATP microbiano:** Es una molécula presente en todos los seres vivos. Su medición en muestras ambientales indica que hay microorganismos activos en el lugar.

Para analizarlos se utilizan equipos especializados como espectrofotómetros, cromatógrafos (HPLC) o luminómetros. Aunque estos métodos no identifican directamente a los microorganismos, permiten detectar su actividad, lo que los convierte en aliados clave para proteger ecosistemas frágiles como el Parque Nacional Yasuní (Dreher & Podratzki, 1988).

6.7.6 Microcopia óptica, fluorescencia y confocal

La microscopía sigue siendo una herramienta clave para analizar muestras del ambiente, especialmente en lugares como el Parque Nacional Yasuní. Nos permite ver la estructura de los microorganismos y reconocer distintos patógenos, complementando los métodos moleculares y químicos.

Entre sus usos más importantes están:

- Detectar quistes y ooquistes de protozoarios intestinales como *Giardia* y *Cryptosporidium* usando tinciones específicas, como la ácido-resistente modificada o Ziehl-Neelsen.
- Observar partes de hongos, como hifas y esporas, con colorantes especiales como azul de lactofenol o calcofluor white, ideal para microscopía de fluorescencia.
- Estudiar biofilms, que son comunidades de microorganismos pegados a raíces, suelo o sedimentos, y entender cómo se organizan y se relacionan con su entorno.

Además, cuando se combina con técnicas inmunológicas, como la inmunofluorescencia, la microscopía ayuda a distinguir patógenos específicos dentro de la microbiota ambiental, mejorando su diagnóstico. En el Yasuní, esta técnica se usa mucho en laboratorios de campo e institucionales para analizar muestras de plantas, agua y sedimentos. Es un

método accesible y efectivo para conocer la diversidad microbiana y vigilar patógenos en el ambiente (Dreher & Podratzki, 1988).

6.8 Impacto ecológico y en la salud pública

En el Parque Nacional Yasuní, los microorganismos patógenos presentes en el suelo y en el agua, aunque forman parte natural del ecosistema, pueden afectar de manera importante la salud de las especies que viven allí, incluyendo a las personas (Patz y otros, 2004).

La conexión entre la salud del ambiente, de los animales y de las personas es especialmente importante aquí, debido a tres razones: La gran diversidad de vida, la fuerte interrelación entre los distintos ecosistemas y la creciente interacción de las personas con la naturaleza ya sea por sus actividades diarias, el turismo o la expansión humana.

Este texto aborda, desde una visión completa y multidisciplinaria, los impactos que estos patógenos generan en el suelo y el agua del Yasuní, destacando cómo se transmiten, cómo afectan a la fauna silvestre y qué riesgos representan para las comunidades humanas cercanas o dentro del parque (Solarte y otros, 2006).

6.8.1 Impacto en la salud de la fauna silvestre

El suelo y el agua son espacios donde muchas especies animales se relacionan constantemente, ya sea para alimentarse, beber, anidar o regular su temperatura. Sin embargo, en estos lugares también habitan microorganismos peligrosos como *Leptospira*, *Toxoplasma* y *Salmonella*, que pueden causar desde enfermedades leves hasta la muerte en la fauna silvestre (Suzán Azpiri y otros, 2000).

Mamíferos como pecaríes, capibaras y nutrias gigantes están especialmente expuestos a estas bacterias porque pasan mucho tiempo en suelos húmedos y cuerpos de agua. Estas infecciones pueden causarles graves problemas de salud, desde septicemia hasta dificultades reproductivas y debilidad, lo que los hace más vulnerables a depredadores o condiciones adversas.

En el caso de los anfibios y reptiles, aunque en Yasuní no se han visto grandes brotes últimamente, el clima cálido y húmedo puede favorecer patógenos que dañan su piel, un

órgano vital para su respiración y equilibrio hídrico. Esto puede llevar a la muerte de grandes grupos.

Los primates como monos aulladores y capuchinos también enfrentan riesgos. Algunos parásitos pueden debilitarlos poco a poco, afectando su sistema inmune y su capacidad para reproducirse. Pero el daño no es solo para ellos: La pérdida o debilitamiento de una especie puede afectar todo el ecosistema, alterando procesos importantes como la dispersión de semillas o el control de insectos. Por eso, entender cómo se mueven estos patógenos en la naturaleza y cómo afectan a los animales es clave para proteger la salud de todo el ecosistema (Corriale y otros, 2013).

6.8.2 Alteraciones ecológicas y pérdida de biodiversidad microbiana

Cuando ciertos patógenos crecen en exceso, pueden alterar las comunidades naturales de microbios en el suelo y el agua, afectando funciones clave del ecosistema. Por ejemplo, hongos como *Fusarium* o *Phytophthora* pueden desplazar a los hongos micorrízicos, que son aliados importantes de las plantas para absorber nutrientes, lo que perjudica su salud y crecimiento.

Algo parecido sucede con bacterias como *Pseudomonas aeruginosa*, que suelen proliferar en ambientes alterados o con mucha materia orgánica. Estas bacterias pueden reemplazar a otros microbios esenciales para procesos como el ciclo del nitrógeno y del carbono. Este desequilibrio, llamado disbiosis ambiental, reduce la fertilidad del suelo y su capacidad para recuperarse tras cambios o daños.

En los cuerpos de agua, estos cambios microbianos también pueden causar eutrofización, incluso sin exceso de nutrientes. Cuando las bacterias oportunistas se multiplican, disminuye el oxígeno disponible, afectando a peces, insectos y organismos fotosintéticos. En resumen, estos desequilibrios amenazan la salud y estabilidad de los ecosistemas, tanto en tierra como en el agua (Moya Freire & Guerra Naranjo, 2024).

6.8.3 Impacto en la salud de las plantas

En lo profundo del Parque Nacional Yasuní, un lugar donde la vida está en cada rincón, hay amenazas invisibles que afectan a sus plantas. Algunos hongos y microorganismos del suelo, como *Fusarium oxysporum* y *Phytophthora palmivora*, normalmente conviven sin

problemas. Pero cuando el equilibrio del bosque se rompe, estos organismos pueden volverse dañinos.

Cambios como la compactación del suelo, alteraciones en el drenaje o la pérdida de la cubierta vegetal hacen que estas enfermedades aparezcan. Las plantas enferman: árboles jóvenes se marchitan, las raíces se pudren y las hojas muestran manchas que terminan cayendo antes de tiempo.

Cada planta en Yasuní tiene un papel importante. Cuando mueren, el microclima cambia, los insectos polinizadores tienen menos alimento, y la dispersión de semillas se interrumpe. Así, una pequeña amenaza puede provocar grandes cambios en uno de los ecosistemas más ricos y frágiles del mundo (Armas Chugcho y otros, 2021).

6.8.4 Riesgo para la salud humana

Aunque gran parte del Parque Nacional Yasuní está protegido oficialmente y no se permite la ocupación humana, en la realidad muchas personas viven o pasan por allí. Comunidades indígenas, pobladores ribereños, turistas, investigadores y trabajadores petroleros forman parte del día a día, y todos están expuestos a riesgos de salud por el contacto con el agua y el suelo (Suzán Azpiri y otros, 2000).

En un lugar tan húmedo y lleno de vida como el Yasuní, el agua y la tierra son fundamentales, pero también pueden ser fuentes de enfermedades si están contaminadas. La gente se expone principalmente por:

- Beber agua sin tratar directamente de ríos, quebradas o pozos, común en lugares sin servicios básicos.
- Tocando agua o tierra contaminada al pescar, cultivar o caminar descalzo en áreas húmedas.
- Respirando aire con bacterias o esporas, sobre todo en lugares cerrados y húmedos (Myers & Patz, 2009).

Estas exposiciones provocan enfermedades frecuentes, como:

- Infecciones intestinales causadas por bacterias que generan diarrea, fiebre y deshidratación.

- Leptospirosis, que se contagia por agua con orina de animales y puede ser grave si no se trata.
- Infecciones por protozoos que causan diarreas prolongadas, especialmente en niños.
- Problemas en la piel por contacto constante con suelos húmedos.

En las comunidades indígenas, donde el uso de agua sin tratamiento es diario y el acceso a salud es limitado, estas enfermedades se mantienen presentes. Esto no solo afecta la salud inmediata, sino que también contribuye a la desnutrición, anemia y a un sistema inmunológico debilitado en los niños.

Esta realidad, a menudo aceptada como normal, muestra una desigualdad sanitaria profunda. La belleza y riqueza natural del Yasuní contrastan con la vulnerabilidad de quienes lo habitan, recordándonos la urgencia de asegurar agua limpia, educación sanitaria y atención médica para estas comunidades (Myers & Patz, 2009).

6.8.5 Implicaciones para la conservación y manejo del parque

No se puede separar el monitoreo de patógenos en el suelo y el agua de los objetivos de conservación. Cuando estos recursos se dañan, los ecosistemas se debilitan y los servicios que nos brindan como limpiar el agua, regular el clima, almacenar carbono o ayudar a la polinización también se ven afectados.

Con el cambio climático, las temperaturas suben, las lluvias son más impredecibles y las estaciones cambian, lo que puede permitir que algunos microorganismos se extiendan a nuevos lugares o se vuelvan más agresivos. Por eso, es vital incluir el monitoreo de patógenos como parte del manejo de las áreas protegidas, para cuidar la biodiversidad y el bienestar de las comunidades que dependen de estos ecosistemas (Cornejo Rivas & Ávila Salem, 2024).

6.8.6 Enfoque de una salud (One Health)

El enfoque de “Una Salud” es especialmente importante en el Parque Nacional Yasuní, donde todo en la naturaleza está conectado: El suelo, el agua, los animales, las plantas y las personas. Aquí, no se puede entender la salud de unos sin considerar la de los otros, porque forman un mismo sistema (Cornejo Rivas & Ávila Salem, 2024).

En el Yasuní, varios patógenos como *Leptospira*, *Giardia* y *Cryptosporidium* circulan fácilmente entre animales, personas y el ambiente. Estos microorganismos no conocen fronteras: viven en el agua, en animales silvestres, en el ganado y en las personas, y se mueven entre ellos sin problemas.

Aplicar “Una Salud” significa ver el bosque, los ríos y las comunidades como un todo. Implica:

- Observar juntos lo que pasa en la naturaleza, en los animales y en las personas para detectar problemas a tiempo.
- Educar a la gente del lugar y a quienes visitan, no solo para prevenir enfermedades, sino también para cuidar el entorno que nos sostiene.
- Trabajar en equipo, uniendo autoridades, científicos y líderes comunitarios, para crear sistemas de vigilancia que funcionen de forma continua y conectada.

Este enfoque no solo ayuda a evitar enfermedades, sino que también fortalece la relación entre las personas y la naturaleza. Entender que lo que afecta al bosque también afecta a quienes viven en él es clave para proteger este valioso ecosistema y asegurar un futuro saludable para todos (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2016).

6.9 Estudios de caso

Los estudios de caso nos ayudan a entender, de forma clara y concreta, cómo la presencia y permanencia de patógenos en el suelo y el agua pueden afectar la salud, el equilibrio ecológico y los esfuerzos de conservación en lugares tan valiosos como el Parque Nacional Yasuní. Gracias a investigaciones recientes y a experiencias documentadas tanto dentro del parque como en zonas amazónicas cercanas, hoy contamos con una visión más clara sobre cómo se comportan estos microorganismos, qué condiciones favorecen su aparición y qué retos plantean para el manejo sostenible de estos ecosistemas (Morand & Lajaunie, 2021).

A continuación, se presentan cuatro estudios de caso que reflejan el papel que juegan los patógenos ambientales en la Amazonía, y cómo su presencia puede influir en la vida, la biodiversidad y las decisiones que tomamos para protegerla:

6.9.1 Caso 1: Aislamiento de *Fusarium oxysporum* en suelos compactos del Yasuní

En un estudio realizado por la Universidad San Francisco de Quito (2022) en el Parque Nacional Yasuní, se investigó cómo la actividad humana afecta la vida del suelo. Se tomaron muestras en tres áreas: senderos muy transitados, zonas con poca intervención y bosques intactos.

Se encontró que el hongo *Fusarium oxysporum*, que puede enfermar a las plantas, estaba mucho más presente en los suelos compactados de los senderos. Este hongo fue identificado cultivando las muestras y confirmando su ADN. Este organismo causa daños en las plantas, especialmente cuando estas están estresadas. La compactación y el mal drenaje del suelo en las zonas transitadas crean un ambiente ideal para que el hongo crezca y afecte a las plantas.

Como resultado, las plantas jóvenes en estas áreas mostraron signos claros de estrés, como hojas amarillas y raíces dañadas. Esto nos indica que, aunque la presencia humana no toque directamente a las plantas, sí altera el suelo de forma que facilita la proliferación de hongos dañinos, lo que dificulta que el bosque se regenere y crezca saludablemente (Andrade Medina & al., 2022).

6.9.2 Caso 2: Presencia de *Escherichia coli* resistente a antibióticos en cuerpos de agua cercanos a zonas de ecoturismo

En 2023, el Instituto Nacional de Salud Pública de Ecuador (INSP), junto con la Universidad Estatal Amazónica, llevó a cabo un estudio en el Parque Nacional Yasuní para investigar la presencia de bacterias *Escherichia coli* resistentes a antibióticos en el agua de quebradas cercanas a centros de visitantes y estaciones de campo.

Para esto, se tomaron muestras de agua en botellas estériles y se cultivaron en un medio especial con antibióticos para identificar las bacterias resistentes. También se realizaron pruebas para saber a cuáles antibióticos eran resistentes y se analizaron los genes responsables de esta resistencia, como *blaCTX-M* y *qnrB*.

Los resultados mostraron que, en un 27 % de las muestras con *E. coli*, las bacterias eran resistentes a al menos tres tipos diferentes de antibióticos. Esta resistencia se encontró en mayor concentración cerca de asentamientos temporales, como campamentos de

ecoturismo, lo que indica que la contaminación probablemente proviene de actividades humanas (López Cuevas y otros, 2009).

Este hallazgo es importante porque la presencia y dispersión de bacterias resistentes en ambientes naturales no solo representa un peligro para la salud humana, sino también para los animales que dependen de esas fuentes de agua. Además, estas bacterias pueden compartir sus genes de resistencia con otros microorganismos, lo que podría cambiar el equilibrio natural de la microbiota acuática y afectar la salud del ecosistema (Instituto Nacional de Salud Pública (INSP), 2023).

6.9.3 Caso 3: PCR positiva para *Leptospira interrogans* en aguas de baja corriente en áreas de alta actividad de roedores silvestres

En 2021, la Fundación Biodiversidad Amazónica, junto con los laboratorios del INSPI-Orellana, realizó un estudio para monitorear la presencia de *Leptospira interrogans* en el agua de pequeñas quebradas estancadas dentro del parque nacional. Este proyecto se enfocó especialmente en lugares donde se había visto mucha actividad de roedores, como las especies *Proechimys* y *Oryzomys* (Sánchez Lerma y otros, 2021).

Para detectar esta bacteria, se utilizaron técnicas de PCR en tiempo real que buscan un gen específico llamado *lipL32*, presente solo en las leptospiros que causan enfermedad. Las muestras positivas provinieron de sitios donde la fauna transita con frecuencia, en charcas con hojas acumuladas y zonas con vegetación densa.

Los resultados mostraron que, de 45 muestras analizadas, 7 (correspondientes al 15,5 %) contenían *L. interrogans*. Además, todas las detecciones ocurrieron en la temporada de lluvias, entre marzo y abril, lo que indica que el riesgo de encontrar esta bacteria aumenta en esos meses.

Este hallazgo es importante porque indica un posible riesgo de contagio para las personas que trabajan o visitan el parque, como investigadores, ecoturistas y el personal de campo, al entrar en contacto con aguas contaminadas. También implica que mamíferos medianos como sajinos, coatíes y pumas, que beben de estas fuentes, podrían estar involucrados en la cadena de transmisión como hospedadores secundarios, ayudando a mantener la bacteria en el ambiente (Fundación Biodiversidad Amazónica, 2021).

6.9.4 Caso 4: Identificación de *Cryptococcus neoformans* en excrementos de aves de suelos ácidos bajo sombra densa

En un estudio sobre la diversidad microbiana en el sotobosque amazónico (Real y otros, 2020), se logró aislar el hongo patógeno *Cryptococcus neoformans* a partir de suelos ricos en materia orgánica, con un pH ácido (entre 4,5 y 5,2) y donde se encontraban excrementos de aves frugívoras como tucanes y cotingas.

El hongo fue cultivado en medio Niger Seed Agar y confirmado mediante pruebas específicas, como la detección de ureasa, la observación de su cápsula polisacárida con tinta china, y la secuenciación del ITS, una técnica molecular. Aunque *C. neoformans* se asocia comúnmente con excretas de palomas, este hallazgo demuestra que también puede encontrarse en ambientes selváticos donde se acumula el guano de aves.

¿Por qué es importante este hallazgo?

Aunque no se reportaron casos de enfermedad, la presencia de este hongo en la naturaleza puede representar un riesgo, especialmente para personas con el sistema inmunológico debilitado. Estas personas podrían infectarse al inhalar aerosoles con esporas secas que provienen del suelo.

¿Qué recomendamos?

- Evitar alterar innecesariamente el suelo en lugares donde frecuentan aves, para no dispersar las esporas.
- Realizar monitoreos en zonas de camping que tengan sombra húmeda y una capa densa de hojarasca, ya que son ambientes donde el hongo puede persistir fácilmente.

6.10 Estrategias de prevención y monitoreo

La creciente evidencia sobre la presencia de patógenos en el suelo y las fuentes de agua del Parque Nacional Yasuní resalta la urgente necesidad de implementar estrategias integradas de prevención y monitoreo. Estas estrategias deben adoptar un enfoque multiescalar, adaptativo y participativo, que contemple las características ecológicas particulares del ecosistema amazónico, su elevada biodiversidad y la compleja interacción con diversos

actores humanos, entre ellos investigadores, comunidades indígenas, turistas y operadores logísticos (Ríos Tobón y otros, 2017).

En este apartado, se plantean líneas estratégicas fundamentales para establecer un sistema de vigilancia ecológica y sanitaria eficaz, orientado hacia el diagnóstico temprano, la gestión integral de riesgos, la conservación de la salud ecosistémica y el fortalecimiento de las capacidades locales.

6.10.1 Monitoreo regular de calidad microbiológica del agua

Es fundamental realizar un monitoreo sistemático y constante de las fuentes de agua superficiales y subterráneas dentro y alrededor del parque, con el fin de detectar oportunamente la presencia de patógenos fecales, bacterias resistentes y protozoarios que puedan comprometer la salud pública y el equilibrio ecológico (Sánchez Aroca & Guangasig Toapanta, 2023).

Parámetros clave a evaluar:

- *Escherichia coli* y coliformes fecales, indicadores de contaminación reciente por materia fecal.
- Bacterias patógenas como *Salmonella* spp., *Enterococcus* spp. y *Pseudomonas aeruginosa*, especialmente en zonas de alto riesgo.
- Quistes de *Giardia lamblia* y ooquistes de *Cryptosporidium* spp., identificados mediante técnicas de filtración y microscopía de fluorescencia.
- *Leptospira interrogans*, detectada por métodos moleculares como PCR en tiempo real, garantizando rapidez y precisión.

Frecuencia de monitoreo recomendada:

- En áreas con alta afluencia turística o próximas a las riberas, se sugiere realizar muestreos trimestrales para mantener un control continuo.
- Durante la temporada de lluvias o ante eventos extraordinarios (inundaciones, derrames), se debe incrementar la frecuencia a muestreos mensuales o bimestrales, facilitando la detección temprana de alteraciones en la calidad del agua (World Health Organization, 2023).

Este monitoreo constante es esencial para preservar la salud de los visitantes y la integridad del ecosistema del parque.

6.10.2 Vigilancia microbiana en suelos y sedimentos

Para evaluar correctamente los suelos, es fundamental considerar la presencia de patógenos que afectan tanto a las plantas (fitopatógenos) como a los animales y humanos (zoonóticos). Esto es especialmente importante en lugares donde el suelo presenta condiciones como alta humedad, compactación o acumulación de materia orgánica, ya que estas favorecen la proliferación de microorganismos dañinos (Jaramillo Carrión M. I., 2019).

Métodos recomendados para el análisis:

- **Cultivo en medios selectivos:** Se utilizan medios específicos para aislar y cultivar hongos patógenos como *Fusarium*, *Aspergillus* y *Phytophthora*, permitiendo su identificación y cuantificación.
- **Detección molecular:** A través de técnicas de biología molecular se pueden identificar con mayor precisión los microorganismos presentes, mediante el análisis de genes característicos, como ITS para hongos, 16S rRNA para bacterias y lipL32 para leptospirosis.
- **Análisis metagenómico:** Este método permite estudiar de forma integral todo el microbioma del suelo, identificando no solo los patógenos conocidos, sino también aquellos que no pueden cultivarse fácilmente en laboratorio.

Dónde enfocar la vigilancia:

- En áreas con alta intervención humana, como senderos o campamentos, donde la actividad puede favorecer la dispersión de microorganismos.
- En zonas con drenaje lento o donde se acumula agua, condiciones que facilitan el crecimiento de patógenos.
- En lugares donde la fauna y las personas interactúan frecuentemente, pues estos espacios son clave para la transmisión de enfermedades zoonóticas.

6.10.3 Diseño de bioindicadores locales

Como no siempre es posible hacer análisis detallados al instante, es útil contar con bioindicadores funcionales que nos alerten sobre cambios en la salud microbiana de los ecosistemas.

Algunos ejemplos son:

- La proporción entre actinobacterias y coliformes, que nos da pistas sobre el equilibrio microbiano.
- La presencia frecuente de *Pseudomonas spp.*, que puede indicar que el ecosistema está sufriendo algún tipo de estrés o alteración.
- La diversidad de hongos saprófitos, que nos ayuda a entender si el suelo está estable y saludable.

Estos bioindicadores pueden ser parte de protocolos de monitoreo en los que la comunidad participe activamente. Además, se pueden usar kits portátiles o pruebas con lectura colorimétrica para hacer análisis rápidos directamente en el campo, facilitando la toma de decisiones oportunas para el cuidado del medio ambiente (Pérez Díaz & Rodríguez Rodríguez, 2020).

6.10.4 Control del acceso humano y rutas turísticas

Para evitar la entrada de patógenos exóticos y la expansión de microorganismos resistentes en ecosistemas delicados, es fundamental contar con un sistema estricto que controle el impacto de las actividades humanas.

Algunas medidas clave para lograrlo son:

- Limitar el acceso a zonas húmedas o encharcadas, asegurando que quienes ingresen cumplan con las normas de bioseguridad.
- Colocar pasarelas elevadas en las áreas donde hay mayor tránsito, para proteger el suelo y evitar su compactación.
- Desinfectar las botas, herramientas y equipos antes de entrar a las áreas más sensibles.

- Seguir protocolos claros y obligatorios para el manejo de excretas humanas y residuos durante el trabajo en campo.

Estas medidas ya se han puesto en práctica con éxito en reservas biológicas muy cuidadas, como Tiputini en Ecuador y Tambopata en Perú, donde han contribuido significativamente a proteger las comunidades microbianas del suelo, esenciales para el equilibrio de estos ecosistemas (Jaramillo Carrión M. I., 2019).

6.10.5 Educación y sensibilización ambiental

Es muy importante que todas las personas involucradas las comunidades que viven en la zona, los turistas que la visitan, los investigadores y los guías reciban capacitación para manejar de manera sostenible los patógenos que existen en el ambiente. La educación debe enfocarse en tres puntos fundamentales:

- Entender qué son los patógenos oportunistas y zoonóticos, y cómo pueden afectar la salud de las personas y del entorno.
- Reconocer los riesgos de enfermarse por el contacto con aguas o suelos contaminados.
- Adoptar buenas prácticas de higiene cuando se trabaja o se visita la naturaleza, y seguir los protocolos básicos de saneamiento.

Para que esta información llegue de manera clara y útil, se recomienda crear materiales como manuales, infografías y talleres que sean bilingües en español y en las lenguas originarias, como el Waotodedo, y que estén adaptados a la realidad cultural y ambiental de la Amazonía. Así, todos podrán aprender y actuar de forma responsable para proteger la salud y el equilibrio del ecosistema (Jaramillo Carrión M. I., 2019).

6.10.6 Fortalecimiento de laboratorios regionales

La Amazonía ecuatoriana, que incluye provincias como Orellana, Sucumbíos y Pastaza, enfrenta grandes desafíos para detectar rápido enfermedades y otros problemas de salud. La distancia con los laboratorios especializados, que están en las ciudades, hace que los diagnósticos se demoren, afectando tanto a las personas como al valioso entorno natural.

Para cambiar esto, es clave desarrollar capacidades diagnósticas directamente en la región. Así, se podrá actuar rápido ante brotes y acercar la ciencia y la tecnología a quienes más lo necesitan.

Para lograrlo, se proponen tres acciones principales:

- **Equipar laboratorios locales:** Universidades como la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (sede Amazonía) y la Universidad Estatal Amazónica pueden ser centros de diagnóstico, siempre que tengan equipos como termocicladores, cabinas de bioseguridad y microscopios de fluorescencia para hacer análisis avanzados sin enviar las muestras lejos.
- **Capacitar al personal local:** Formar a técnicos y profesionales en técnicas como PCR, metagenómica y pruebas rápidas es fundamental para que estén preparados y respondan con eficacia en emergencias.
- **Fomentar el trabajo en equipo:** Crear alianzas entre universidades, el INSPI y el Ministerio del Ambiente permitirá coordinar mejores esfuerzos, compartir recursos y fortalecer la vigilancia en la Amazonía (Pérez Díaz & Rodríguez Rodríguez, 2020).

Invertir en ciencia y tecnología en la Amazonía no es solo mejorar laboratorios; es también reconocer el papel de las comunidades, proteger la naturaleza y construir un futuro más justo y saludable para todos.

6.10.7 Enfoque de una salud y vigilancia integrada

Para prevenir brotes de enfermedades, no basta con analizar el agua o el suelo por separado. Es fundamental entender cómo se relacionan el ambiente, los animales y las personas. Por eso, el enfoque Una Salud propone una mirada integrada que permita identificar riesgos y actuar a tiempo.

Este enfoque se basa en tres pilares clave:

- **Salud ambiental:** Observando la presencia de patógenos en cuerpos de agua o suelos que pueden ser fuentes de contagio.
- **Salud animal:** Vigilando especies silvestres como roedores que pueden portar enfermedades sin mostrar síntomas.

- **Salud humana:** Siguiendo de cerca a las comunidades que viven cerca de estos ecosistemas, muchas veces en situaciones vulnerables.

Para lograr esta coordinación se necesita trabajo conjunto y herramientas prácticas, como Sistemas de Información Geográfica (SIG), fichas de monitoreo adaptadas y alertas tempranas basadas en el clima o cambios en el entorno.

Un ejemplo exitoso de este enfoque es el Programa LeptoAmazonia (Brasil, 2022), que combinó el análisis del agua, el estudio de roedores y el registro de casos en personas para detectar focos de leptospirosis. Esta estrategia permitió identificar zonas de riesgo y actuar con mayor efectividad, protegiendo tanto a las personas como al medio ambiente (Jaramillo Carrión M. I., 2019).

6.10.8 Uso de tecnologías emergentes para detección y seguimiento

En los últimos años, la ciencia y la tecnología han desarrollado herramientas sorprendentes que nos permiten ver, casi en tiempo real, lo que pasa en la naturaleza. Gracias a estas innovaciones, ahora es posible detectar problemas más rápido y tomar decisiones más acertadas para cuidar ecosistemas tan valiosos como el Parque Nacional Yasuní.

Algunas de estas herramientas incluyen:

- **qPCR portátil:** Detecta patógenos directamente en el lugar, sin necesidad de llevar muestras a un laboratorio. En menos de dos horas, entrega resultados confiables, lo que permite actuar con rapidez frente a posibles riesgos.
- **Metagenómica ambiental:** Analiza el ADN presente en el ambiente y revela la diversidad de microorganismos, incluso de aquellos que no se pueden cultivar. Así se obtiene una imagen mucho más completa de la vida que habita en el agua o el suelo.
- **Sensores conectados a internet (IoT):** Miden constantemente la calidad del agua como su temperatura, pH o niveles de contaminantes y envían los datos al instante, lo que ayuda a tomar decisiones informadas al momento.

Gracias a estas tecnologías, y al trabajo conjunto con universidades e instituciones públicas, hoy tenemos mejores herramientas para anticiparnos a los problemas y proteger con mayor precisión uno de los lugares más ricos en vida del planeta (Pérez Díaz & Rodríguez Rodríguez, 2020).

6.11 Conclusiones del capítulo

El suelo y el agua del Parque Nacional Yasuní son el hogar de muchos microorganismos, algunos de los cuales pueden causar enfermedades en personas, animales y plantas. Normalmente, estos organismos ayudan a mantener el equilibrio natural, pero cuando el turismo descontrolado, la contaminación o el cambio de uso del suelo alteran ese equilibrio, el riesgo de infecciones aumenta. El clima cálido y húmedo del Yasuní mantiene activos a estos microorganismos todo el año. Patógenos como *Fusarium*, *Leptospira*, *Cryptococcus* y bacterias resistentes a antibióticos han sido encontrados incluso en zonas naturales, y su propagación crece con la presencia humana.

Esto pone en riesgo la salud de todos quienes viven o visitan el parque, especialmente si no cuentan con información o servicios adecuados. Por eso es vital prevenir, monitorear el suelo y el agua, mejorar los diagnósticos, y aplicar normas de bioseguridad. Además, es fundamental unir la ciencia con el conocimiento de las comunidades locales. Cuidar el Yasuní es cuidar la salud del planeta, de los animales y de las personas, porque todo está conectado.

CAPITULO VII

7. CAMBIOS AMBIENTALES Y ENFERMEDADES EMERGENTES

El Parque Nacional Yasuní, en la Amazonía ecuatoriana, es uno de los lugares con mayor biodiversidad del planeta. Allí conviven muchas especies en equilibrio, pero hoy este ecosistema enfrenta serias amenazas causadas por la actividad humana, como la construcción de carreteras, la deforestación y el cambio climático (Gutiérrez, 2020).

Estos cambios no solo dañan los árboles y ríos, sino que también alteran procesos invisibles que mantienen la vida, aumentando la aparición y propagación de enfermedades nuevas o que llegan a zonas donde antes no existían (Jones y otros, 2008). Enfermedades como el dengue, la fiebre amarilla y el mal de Chagas, que siempre coexistieron con la naturaleza, ahora encuentran condiciones favorables para expandirse (Morand, 2020).

El Yasuní se ha convertido en un espacio donde se observa cómo el avance humano y el calentamiento global permiten que mosquitos y otros vectores lleguen a nuevos lugares (Aguirre y otros, 2012). Además, la pérdida de animales y su desplazamiento hacia áreas humanas aumenta el riesgo de contagios entre fauna y personas (Finer y otros, 2014).

Entender estos cambios requiere integrar el clima, la fauna, la vegetación y la vida de las comunidades locales, para monitorear y prevenir riesgos sanitarios. Proteger el Yasuní no es solo conservar un bosque, sino cuidar la salud y el futuro de quienes dependen de él (Altizer y otros, 2013). Este capítulo explora estas relaciones entre el ambiente y la salud, y plantea estrategias para enfrentar los retos en este lugar único.

7.1 Tipos de cambios ambientales relevantes en Yasuní

El Parque Nacional Yasuní, reconocido por su inmensa biodiversidad y su importancia ecológica a nivel mundial, no está exento de amenazas. A pesar de su categoría de protección y su aparente aislamiento en la Amazonía ecuatoriana, este territorio enfrenta múltiples formas de cambio ambiental que ponen en riesgo su equilibrio natural y el bienestar de quienes dependen de él (Jaramillo Carrión M. I., 2019).

Estos cambios no suceden de manera aislada. Se entrelazan y se potencian entre sí, afectando no solo el entorno físico y biológico, sino también a las comunidades humanas

que habitan o interactúan con el parque. Entender qué tipo de transformaciones están ocurriendo y cómo se relacionan entre ellas es clave para anticipar sus consecuencias: Desde la salud de los organismos vivos y la aparición de nuevas enfermedades, hasta las alteraciones en el funcionamiento de los ecosistemas.

7.1.1 Cambio climático: Alteraciones en el régimen hídrico y térmico

El cambio climático, aunque a veces parezca algo lejano, ya está afectando directamente al Parque Nacional Yasuní. Este lugar, famoso por su clima tropical húmedo y su gran biodiversidad, está enfrentando cambios importantes.

Los datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) muestran que, entre 1981 y 2020, la temperatura media anual en la región oriental de Ecuador subió cerca de 0,7 °C. Además, las lluvias son cada vez más irregulares e impredecibles. Aunque estos cambios parecen pequeños, tienen un impacto fuerte en el delicado equilibrio de la selva (INAMHI, 2022).

Por eso, las plantas florecen en diferentes momentos, algunos animales cambian sus ciclos de reproducción y los insectos que transmiten enfermedades encuentran nuevas formas de expandirse. También se han vuelto más comunes las sequías y las inundaciones, que dañan seriamente los ecosistemas.

Por ejemplo, una sequía prolongada puede secar los charcos donde muchas especies beben y se reproducen. Esto reduce la calidad del agua y permite que bacterias y protozoarios resistentes, como *Cryptosporidium*, crezcan, poniendo en riesgo tanto a la fauna como a las comunidades humanas cercanas. Estos cambios nos alertan sobre la urgencia de actuar con responsabilidad para proteger estos ecosistemas y las vidas que dependen de ellos.

7.1.2 Transformación del uso del suelo: Fragmentación y pérdida de hábitad

Aunque el Parque Nacional Yasuní es un área protegida, no ha escapado al impacto de actividades humanas que, con el tiempo, han fragmentado sus ecosistemas y cambiado el uso del suelo, especialmente en sus bordes. Estas afectaciones incluyen la apertura de caminos petroleros y líneas sísmicas, la creación y expansión de campamentos, y el avance de la agricultura en las zonas cercanas.

Según Finer y otros, (2014) más del 65 % de la producción petrolera en la Amazonía ecuatoriana se realiza dentro o cerca de áreas protegidas. Aunque muchas veces estos cambios no se notan a simple vista, alteran el paisaje natural, modifican los hábitats y crean bordes donde crecen especies oportunistas, algunas de las cuales pueden ser vectores de enfermedades.

Cuando un ecosistema se fragmenta, las poblaciones de animales quedan aisladas, lo que reduce el intercambio genético y afecta las cadenas alimenticias que mantienen el bosque vivo. Además, al disminuir el espacio disponible, algunos patógenos se ven obligados a buscar nuevos hábitats o a acercarse a las comunidades humanas, aumentando el riesgo de transmisión de enfermedades y poniendo en peligro tanto la salud humana como la del ecosistema.

7.1.3 Introducción de especies exóticas y animales domésticos

La invasión a la biota del continente por especies que no son nativas, métodos naturales o por el hombre, representa una amenaza mayor a los ecosistemas frágiles como el Yasuní. Es el caso de animales domésticos, como perros, cerdos, gallinas y ganado menor que entran a las áreas protegidas provenientes de las comunidades o campamentos cercanos.

Emiten también un rol posible de funcionar como un puente entre la fauna silvestre y humanos, configurando en una transmisión de enfermedad que podría afectar a la fauna silvestre y humanas, como es el caso de la Leptospirosis, la toxoplasmosis, u la brucelosis (Salazar Bravo y otros, 2023) . Además, estas especies, las pueden llevar también patógenos que antes no existían en la zona, o que hacían en mayor porcentaje de enfermedades en el medio ambiente por los desechos que ellos hacen.

En cuanto a las plantas se trata de la introducción de plantas ornamentales o de cultivo en las áreas de amortiguamiento lo que ha permitido la llegada de hongos que atacan a las plantas nativas como *Colletotrichum* y *Alternaria*. Estos hongos pueden infectar las plantas tanto por contacto directo como a través de la dispersión de esporas en el aire.

7.1.4 Contaminación ambiental: hidrocarburos, metales pesados y residuos salidos

La actividad petrolera en y alrededor del Yasuní deja una huella ambiental patente, contaminando el suelo, el agua y el ser vivo que habita en estos ecosistemas. La

contaminación por hidrocarburos y sus derivados es sumamente preocupante porque transforma la microbiota del terreno, modifica la capacidad del suelo para absorber agua y permite que florezcan organismos microscópicos que la resiste pasivamente a los tratamientos usuales.

Investigaciones actuales (Valenzuela y otros, 2023) han demostrado la presencia de bacterias multirresistentes en suelos contaminados no sólo ocasionando bajos riesgos para el delicado equilibrio natural, sino también a las poblaciones inmediatas centenarias de afectaciones a la salud de estas. A esto se suma los metales pesados como el plomo y el mercurio que afectan el sistema inmunológico de los animales silvestres y que pueden acumularse a lo largo de la cadena alimenticia elevando el daño a los organismos que viven en la zona.

En aeropuertos y aeródromos, por ejemplo, el manejo inadecuado de los residuos sólidos esas lamentables montañas colindantes; plásticos, textil, aguas negras en campamentos turísticos y científicos crea ecosistemas propicios para la multiplicación de bacterias patógenas, hongos y de parásitos intestinales, infectando tanto el suelo como las fuentes cercanas de agua.

7.1.5 Presión socio territorial y expansión de la huella humana

Uno de los cambios ambientales que menos se habla es el aumento de la presión socio territorial del Yasuní. El aumento demográfico en las cercanías, el crecimiento de las comunidades y el boom del ecoturismo están tratando de forma constante los recursos naturales del parque.

Este mayor contacto interracial con el medio ambiente natural conlleva también importantes riesgos, como la posibilidad de introducir enfermedades transmisiones de humano a humano, mayor contacto entre el hombre y animales de la vida salvaje, y cambios en el comportamiento de algunas especies. Por ejemplo, se han encontrado casos en los que los monos capuchinos (*Cebus albifrons*) han cambiado sus rutas alimentarias en busca de áreas con basura humana desechada, exponiéndose a microorganismo a los que no tienen inmune, y con los cuales no tienen defensas naturales (González y otros, 2020).

Además, los visitantes no siguen protocolos de bioseguridad adecuados, potencializando la propagación de enfermedades respiratorias, de la piel o gastrointestinales, y corrompen tanto el ecosistema como las comunidades locales que dependen de ella.

7.2 Dinámicas ecológicas de enfermedades emergentes

Las enfermedades emergentes no son sucesos aislados ni por casualidad. Su emergencia está relacionada con desempeños muy complejos de tipo ecológico que involucran a varios participantes: patógenos, vectores, hospedadores y el contexto físico y biológico que los rodea. En el Parque Nacional Yasuní que alguna de las regiones con mayor biodiversidad del planeta, estas conexiones se fortalecen aún más. Todo esto se debe a que hay mucha diversidad de especies que pueden estar involucradas en los ciclos de infección, a que hay un constante intercambio entre diferentes ecosistemas y a que la actividad humana va generando una mayor presión sobre el ecosistema (Gutiérrez, 2020).

Para poder organizar estos acontecimientos con mentalidad eco-epidemiológica, en la que los patógenos no se perciban sólo como causantes de enfermedades, sino como componentes activos de un sistema dinámico y adaptable a su entorno. A continuación, revisaremos los componentes que enmarcan la dinámica ecológica de las enfermedades emergentes en el Yasuní: quiénes juegan, cómo circulan, qué los potencia y cuáles son sus patrones en el espacio y en el tiempo.

7.2.1 Actores ecológicos: Hospedadores, vectores y reservorios

En la Amazonía, muchos patógenos necesitan pasar por varias especies para completar su ciclo de vida, un proceso llamado polihospedaje. Esto ocurre con virus, protozoarios y parásitos que usan diferentes animales como hospedadores en distintas etapas.

Animales silvestres como roedores, murciélagos, monos y aves migratorias funcionan como reservorios naturales de estos patógenos, que en ocasiones pueden infectar a las personas. Por ejemplo, en el Yasuní se encuentran casos como:

- *Trypanosoma cruzi*, responsable de la enfermedad de Chagas, presente en marsupiales como la zarigüeya y en musarañas insectívoras.
- La bacteria *Leptospira*, que se libera en la orina de mamíferos como roedores, pecaríes y carnívoros, contaminando el ambiente.

- El parásito *Toxoplasma gondii*, que encuentra su hogar definitivo en felinos silvestres, como el ocelote (Salomón y otros, 2015).

Además, insectos que se alimentan de sangre, como mosquitos, triatominos y flebotominos, son vitales para la transmisión de estas enfermedades. Su número y actividad dependen del clima, la humedad, los lugares donde se reproducen y la presencia de animales que les sirven de alimento.

Estos insectos se ven afectados cuando el ambiente cambia. Por ejemplo, al fragmentarse el hábitat natural, puede aumentar la población de *Lutzomyia* spp., transmisores de la leishmaniasis, porque pierden a sus depredadores y los hospedadores quedan en áreas más pequeñas (Salomón y otros, 2015).

7.2.2 Mecanismo de transmisión y rutas ecológicas

En el Parque Nacional Yasuní, un lugar lleno de vida y diversidad, la manera en que se transmiten las enfermedades es muy compleja. No es solo un simple contagio, sino un proceso donde intervienen muchas especies y el entorno que comparten. Algunas enfermedades se transmiten de forma directa, cuando los animales o las personas están en contacto cercano, como ocurre con la rabia o el herpesvirus. Pero también existen contagios indirectos, que pueden darse al beber agua contaminada, al tocar el suelo con bacterias o hongos, o por medio de insectos como los mosquitos, que transmiten enfermedades como la malaria o el dengue.

Lo interesante es que estas formas de transmisión no actúan por separado. Están conectadas en una red donde los virus, bacterias y parásitos conviven con la naturaleza. Por ejemplo, un mosquito puede picar a un animal silvestre infectado y después a una persona, creando un puente entre el mundo natural y las comunidades humanas. Además, algunas enfermedades pueden pasar de madre a cría o contagiarse a través de objetos o lugares contaminados, lo que facilita su propagación en todo el ecosistema.

Este proceso refleja la profunda conexión que existe entre la salud de los seres vivos y la salud del ambiente. Cuidar los ecosistemas como el Yasuní no solo protege a las especies que ahí habitan, sino que también es clave para prevenir enfermedades que pueden afectar a las comunidades cercanas. Por eso, entender cómo se transmiten las enfermedades en

este entorno nos ayuda a valorar y respetar la biodiversidad, y a buscar formas de convivencia más armoniosas entre la naturaleza y el ser humano (Medina Vogel, 2010).

7.2.3 Factores de amplificación y puntos de inflexión ecológica

Algunos factores actúan como “amplificadores” que permiten que enfermedades silenciosas o poco visibles se conviertan en problemas importantes para la salud humana y animal. Estos factores modifican el entorno natural o social, facilitando la propagación de enfermedades.

Entre los más importantes están:

- **Cambios estacionales:** Durante la temporada de lluvias, el agua estancada favorece la aparición de mosquitos y otros insectos que transmiten enfermedades. Además, el agua puede transportar virus y los suelos húmedos permiten que crezcan hongos, aumentando las infecciones.
- **Alteración del hábitat:** Cuando se talan bosques o se construyen carreteras, se fragmenta el hábitat natural. Esto beneficia a ciertas especies que, adaptadas a estos cambios, pueden llevar virus o parásitos que infectan a otros animales y a las personas.
- **Invasión de especies:** La presencia de animales domésticos cerca de áreas naturales puede facilitar que las enfermedades que antes solo afectaban a la fauna silvestre lleguen a los humanos.
- **Eventos climáticos extremos:** Inundaciones y lluvias fuertes pueden arrastrar microorganismos desde sus reservorios naturales hasta zonas donde vive la gente. Por ejemplo, se han registrado casos de leptospirosis y hepatitis E tras estos eventos en comunidades amazónicas (Ko y otros, 2009).

Estos momentos rompen el equilibrio ecológico y convierten una amenaza silenciosa en un riesgo real para la salud pública, mostrando cómo los cambios en el ambiente afectan directamente la aparición de enfermedades.

7.2.4 *Patrones espacio-temporales de las enfermedades emergentes*

En un lugar tan diverso y cambiante como el Yasuní, las enfermedades emergentes no siguen un patrón fijo. Su aparición depende de la interacción compleja entre el clima, los organismos vivos y la actividad humana. Sin embargo, hay algunos comportamientos que se repiten y ayudan a entender mejor cómo funcionan estas enfermedades.

Por un lado, muchas enfermedades aumentan durante la temporada de lluvias, cuando la humedad y la temperatura suben, y con ello, la actividad de distintos organismos. Esto crea un ambiente ideal para que algunos patógenos, como *Leptospira* spp., se desarrollen en charcas y aguas estancadas.

Además, los lugares donde se cruzan diferentes tipos de ecosistemas como bosques, humedales y riberas suelen tener más vectores y animales que pueden hospedar enfermedades. Este cruce facilita el contacto entre ellos y, por tanto, aumenta el riesgo de contagio. También, los caminos, ríos y accesos abiertos por el ser humano no solo cambian el entorno, sino que actúan como rutas que permiten a animales infectados o vectores moverse y expandir las enfermedades a nuevas áreas.

Finalmente, estudios con imágenes satelitales muestran que en la Amazonía occidental los brotes de enfermedades como la leishmaniasis, malaria y toxoplasmosis suelen darse en zonas donde el bosque conservado se mezcla con áreas intervenidas por el hombre (Barcellos & Sabroza, 2001). Esto confirma que la salud, el ambiente y las actividades humanas están estrechamente conectados y deben analizarse juntos.

7.2.5 *Retroalimentación ecológica y evolución del patógeno*

La dinámica de las enfermedades emergentes también está influenciada por procesos evolutivos que pueden alterar la virulencia, la transmisibilidad y la resistencia de los patógenos. En ecosistemas altamente biodiversos, como el Parque Nacional Yasuní, la presión de selección puede favorecer diversas adaptaciones evolutivas, tales como:

- Patógenos con un rango más amplio de hospedadores.
- Cepas con mayor tolerancia a condiciones ambientales extremas.
- Mecanismos de transmisión más eficientes, incluyendo vectores mejor adaptados o quistes con mayor durabilidad (Rueda y otros, 2014).

Además, la interacción constante con otros microorganismos como bacterias comensales, virus bacteriófagos y hongos endófitos puede modular la patogenicidad del agente infeccioso. Estas interacciones, conocidas como relaciones microbianas sinérgicas o antagónicas, pueden amplificar o inhibir el potencial patógeno, influyendo directamente en la dinámica de la infección.

7.3 Casos de enfermedades emergentes documentadas en ecosistemas amazónicos

La región amazónica, con su enorme riqueza natural, su compleja red de ecosistemas y una biodiversidad única en el mundo, enfrenta hoy una creciente presión por parte de las actividades humanas. Esta combinación de factores la convierte en un lugar especialmente vulnerable para la aparición de enfermedades nuevas, muchas de las cuales provienen de animales silvestres o afectan directamente a las plantas y a las personas que habitan en ella (Katsuragawa y otros, 2008).

Aunque varios de estos casos no se han registrado dentro del Parque Nacional Yasuní, la cercanía geográfica y las similitudes en el entorno hacen que estos eventos sean importantes para considerar en los esfuerzos de vigilancia y prevención dentro del parque.

En este apartado se recopilan ejemplos de enfermedades emergentes detectadas en diferentes zonas de la Amazonía incluyendo territorios de Ecuador, Brasil, Perú y Colombia. Estos casos muestran cómo los cambios en el ambiente, como la deforestación, la expansión de los asentamientos humanos o la pérdida del equilibrio ecológico, están estrechamente relacionados con la aparición de patógenos que afectan tanto a la vida silvestre como a las comunidades locales. Entender esta relación nos ayuda a reflexionar sobre la importancia de conservar estos ecosistemas y proteger la salud de quienes dependen de ellos.

7.3.1 *Leishmaniasis cutánea en áreas de deforestación (Amazonia peruana)*

La leishmaniasis cutánea es una enfermedad que ha aumentado en la Amazonía debido a los cambios en el entorno natural. Estudios en Perú muestran que esta enfermedad es más común en áreas recién deforestadas o fragmentadas, donde actividades como la tala, cultivos ilegales y minería informal alteran el ecosistema (Quispe & al, 2014).

Esta enfermedad es causada por parásitos del género *Leishmania*, que se transmiten mediante la picadura de insectos llamados flebótomos (*Lutzomyia*). Cuando el hábitat se modifica, estos insectos aumentan y también crecen las poblaciones de animales como roedores y marsupiales, que actúan como reservorios del parásito, facilitando la propagación.

En el Parque Nacional Yasuní, la apertura de caminos para la industria petrolera o un ecoturismo mal planificado pueden crear condiciones similares, favoreciendo la presencia de vectores y reservorios. Por eso, es vital mantener vigilancia entomológica cerca de senderos, campamentos y áreas intervenidas, para detectar a tiempo posibles brotes y proteger tanto a las comunidades locales como a los visitantes.

7.3.2 Aumento de toxoplasmosis en felinos y primates (Amazonia brasileña)

La toxoplasmosis es una enfermedad causada por el parásito *Toxoplasma gondii*, que puede afectar tanto a animales como a personas. En la Amazonía brasileña, donde muchos ecosistemas han sido alterados por la actividad humana, se ha observado un aumento preocupante de esta infección en felinos silvestres y primates. Un estudio de Mendes- (Oliveira y otros, 2017) encontró altos niveles de exposición al parásito en ocelotes y monos capuchinos, sobre todo en áreas naturales fragmentadas del estado de Pará. Esto sugiere que el parásito podría estar propagándose a través del agua contaminada o del consumo de presas infectadas.

El problema se origina en los ooquistes, una forma resistente del parásito que los felinos eliminan en sus heces. En zonas degradadas, las lluvias pueden arrastrar estos ooquistes hacia ríos y quebradas, facilitando su llegada a otros animales y personas, especialmente si se consume agua sin tratar (Woolhouse & Gowtage Sequeria, 2005).

¿Por qué debería preocuparnos en el Yasuní?

En el Parque Nacional Yasuní, la presencia de comunidades, campamentos y animales domésticos cerca de fuentes de agua podría generar una situación similar. Por eso, es clave establecer un sistema de vigilancia que permita detectar el parásito en animales silvestres mediante pruebas serológicas y en el agua a través de análisis moleculares. Estas acciones

no solo protegerían a la fauna y los ecosistemas, sino también a las personas que conviven con ellos. Cuidar el equilibrio ambiental es también cuidar nuestra salud.

7.3.3 Brote de rabia silvestre transmitida por murciélagos (*Amazonia ecuatoriana y brasileña*)

En distintas zonas de la Amazonía, como en comunidades indígenas de Brasil, Perú y Ecuador, se han registrado casos de rabia humana provocada por murciélagos hematófagos del género *Desmodus*. Uno de los brotes más graves ocurrió en 2011, en la comunidad shuar de Morona Santiago, Ecuador, donde más de diez personas fallecieron. Este hecho dejó al descubierto la falta de campañas de vacunación y la escasa vigilancia sanitaria en regiones remotas y de difícil acceso (Ministerio de Salud Pública del Ecuador, 2012).

La rabia no aparece de forma aislada. Con frecuencia, está relacionada con la transformación de los ecosistemas. La deforestación y la pérdida de presas naturales obligan a los murciélagos a buscar alimento en animales domésticos o incluso en humanos, lo que aumenta el riesgo de contagio.

¿Qué podemos aprender de esto para el caso del Yasuní?

- **Primero**, es fundamental llevar vacunas a las zonas donde las personas conviven con la fauna silvestre.
- **Segundo**, se deben hacer estudios de campo que permitan detectar el virus a tiempo. Para ello, es necesario capturar murciélagos frugívoros e insectívoros con redes de niebla y analizar si son portadores.

Proteger la salud en territorios tan biodiversos como el Yasuní no solo implica actuar ante el riesgo, sino también entender y respetar los delicados equilibrios que permiten la vida en estos ecosistemas.

7.3.4 Emergencia de *Phytophthora palmivora* en palmas nativas (*Amazonia colombiana*)

Phytophthora palmivora es un patógeno muy agresivo que causa podredumbre en tallos y raíces de palmas como *Iriarte deltoidea* y *Astrocaryum murumuru*. Se ha detectado en zonas de la Amazonía colombiana, especialmente donde el suelo ha sido alterado por

actividades agroforestales. Estas condiciones, junto con el exceso de humedad y la pérdida de hongos beneficiosos del suelo, crean un ambiente ideal para su desarrollo (Marzal, 2015).

El daño no se limita a las plantas: también afecta el sotobosque, reduce los frutos disponibles para aves frugívoras y rompe los ciclos naturales de dispersión de semillas. Además, en áreas donde hay cultivos de palma aceitera cerca de bosques, el hongo ha logrado infectar especies silvestres, lo que representa un riesgo ecológico serio.

¿Podría llegar al Yasuní?

Dado que el Parque Nacional Yasuní comparte características similares con las zonas afectadas, el patógeno podría establecerse allí, sobre todo en áreas alteradas como los senderos turísticos. Por eso, es clave mantener una vigilancia constante, mediante muestreos de raíces y análisis moleculares como la secuenciación ITS, para detectar a tiempo la presencia de este hongo y proteger así la biodiversidad del parque.

7.3.5 Casos de leptospirosis en comunidades amazónicas de Ecuador y Perú

La leptospirosis es una enfermedad causada por bacterias del género *Leptospira* que ha vuelto a aparecer con fuerza en zonas tropicales húmedas. En la Amazonía ecuatoriana, especialmente en comunidades indígenas y mestizas de Pastaza y Orellana, más del 20 % de las personas se han contagiado. Esto ocurre principalmente porque están en contacto con aguas estancadas contaminadas por la orina de roedores y animales domésticos (Salazar & Zenteno Cuevas, 2020).

Las lluvias intensas, la falta de servicios básicos adecuados y la cercanía con animales aumentan el riesgo de infección. Además, los síntomas de la leptospirosis se parecen a los de otras fiebres comunes en la región, lo que dificulta un diagnóstico rápido y correcto.

En lugares como el Parque Nacional Yasuní, donde llegan turistas y científicos, los campamentos sin las medidas sanitarias necesarias pueden convertirse en focos temporales de contagio. Por eso, es vital contar con pruebas rápidas para detectar la enfermedad a tiempo y realizar campañas educativas que ayuden a la gente a entender los riesgos de exponerse a aguas contaminadas.

7.3.6 Resurgimiento de malaria por *Plasmodium vivax* en zonas de colonización (Amazonia peruana y brasileña)

La malaria, una enfermedad que siempre ha estado presente en la Amazonía, está reapareciendo en algunas zonas debido a la expansión de la agricultura, la minería ilegal y el movimiento de personas. El parásito *Plasmodium vivax*, transmitido por el mosquito *Anopheles darlingi*, es ahora el principal causante de estos casos, con brotes reportados en comunidades rurales de Loreto (Perú) y Amazonas (Brasil) (Monsalve B y otros, 2009).

Los cambios en el uso del suelo, como la creación de charcos artificiales, pozos de minería y áreas deforestadas donde se acumula agua estancada, crean ambientes ideales para que los mosquitos se reproduzcan. Además, la llegada de personas infectadas y la falta de atención médica adecuada dificultan el control de la enfermedad.

Aunque en el Parque Nacional Yasuní la malaria no es común actualmente, un aumento del turismo ecológico o la llegada de proyectos extractivos podrían hacer que reaparezca. Por eso, es fundamental mantener una vigilancia constante de los mosquitos y contar con sistemas de alerta temprana que permitan prevenir y controlar cualquier brote a tiempo.

7.4 Mecanismo de respuesta ecosistémica y adaptación

La aparición de enfermedades en ecosistemas tan complejos como el Parque Nacional Yasuní no es solo una señal de peligro o desequilibrio. También nos brinda una oportunidad para comprender cómo estos ecosistemas reaccionan, se adaptan y encuentran formas de enfrentar cambios.

Estos procesos son clave para entender la resiliencia de ambientes con alta biodiversidad, donde las condiciones naturales o la actividad humana modifican constantemente las relaciones entre los seres vivos, los patógenos y su entorno (Pulla y otros, 2015).

La resiliencia ecológica es la capacidad de un ecosistema para resistir perturbaciones y reorganizarse sin perder su esencia ni su funcionamiento. En el Yasuní, esta capacidad se refleja en procesos biológicos y físicos que ayudan a controlar las enfermedades, mantener bajo control a los patógenos y restaurar el equilibrio tras una alteración importante.

A continuación, veremos los principales mecanismos de respuesta y adaptación que se han observado en ecosistemas amazónicos tropicales, con especial atención a su aplicación en el Parque Nacional Yasuní.

7.4.1 *Diversidad funcional como barrera natural*

Una de las claves para que los ecosistemas tropicales resistan mejor las enfermedades es la diversidad funcional. Esto significa que hay muchas especies que, aunque cumplen roles similares en la naturaleza, reaccionan de forma distinta ante las amenazas del entorno. Esta diversidad funciona como una barrera natural, ya que dificulta que los patógenos se propaguen con facilidad, al disminuir las oportunidades de infección y transmisión.

Esta idea se conoce como el efecto de dilución, y plantea que cuando hay más biodiversidad, las enfermedades tanto en plantas como en animales tienen menos probabilidades de extenderse. Esto se debe a que muchas especies presentes no son buenas hospedadoras o simplemente no se infectan con facilidad, lo que rompe el ciclo de contagio. Un ejemplo claro es el Parque Nacional Yasuní, donde la enorme cantidad de árboles y animales crea un entorno que podría limitar la aparición de brotes epidémicos (Ostfeld & Keesing, 2012).

Algo similar ocurre en comunidades de roedores con muchas especies distintas: se ha observado que el parásito *Trypanosoma cruzi* (causante del mal de Chagas) es menos común cuando hay más diversidad. Esto se debe a que no todos los roedores permiten que el parásito complete su ciclo, lo que reduce las posibilidades de que se propague de forma masiva (Cavia y otros, 2019).

7.4.2 *Regulación trófica y control natural de vectores*

La estructura trófica de un ecosistema influye directamente en cómo se comportan las poblaciones de vectores y patógenos. Cuando un ecosistema cuenta con varios niveles tróficos bien definidos, los depredadores y parásitos naturales de estos vectores ayudan a controlar su número, lo que reduce la posibilidad de que se transmitan enfermedades (World Health Organization (WHO), 2004).

En el Yasuní, por ejemplo, diferentes especies como anfibios, aves que se alimentan de insectos, murciélagos y reptiles juegan un papel importante en mantener bajo control a

mosquitos, flebótomos y otros artrópodos que actúan como vectores. Por eso, proteger estas especies es esencial para conservar el equilibrio natural y evitar brotes de enfermedades.

Un estudio realizado por Chaves y otros, (2020) en la Amazonía peruana encontró que en zonas donde hay muchas aves insectívoras, la cantidad de *Lutzomyia spp.* un tipo de mosquito que transmite la leishmaniasis es menor, lo que reduce el riesgo de esta enfermedad (Chaves y otros, 2020). Este mismo efecto podría estar ocurriendo en áreas similares del Yasuní, lo que destaca la importancia de cuidar la biodiversidad para mantener la salud tanto del ecosistema como de las personas.

7.4.3 Inmunocompetencia poblacional genética

Las poblaciones silvestres que están constantemente expuestas a la presencia de patógenos pueden desarrollar lo que se conoce como inmunocompetencia poblacional, es decir, una capacidad colectiva para defenderse de las enfermedades gracias a procesos naturales de selección. Esto se refleja en adaptaciones del sistema inmunológico, cambios en el comportamiento y una flexibilidad genética que les permite ser más tolerantes o resistentes a las infecciones.

Un buen ejemplo se encuentra en los primates de la Amazonía, donde se han descubierto variantes genéticas que les brindan cierta resistencia parcial a parásitos como *Toxoplasma gondii* y *Plasmodium brasilianum*. Estas adaptaciones son resultado de una convivencia prolongada y una evolución conjunta con estos patógenos (Mendes Oliveira y otros, 2018).

En el caso del Yasuní, resulta muy importante realizar un seguimiento genético de especies clave, como los monos aulladores y los murciélagos frugívoros. Esto nos ayuda a entender cómo estas poblaciones se adaptan a enfermedades nuevas y emergentes, información vital para diseñar estrategias de conservación que protejan tanto su diversidad genética como su salud poblacional.

7.4.4 Respuestas fenológicas y comportamiento adaptativo

Algunas especies modifican su comportamiento o su ciclo de vida para reducir el riesgo de enfermarse. Estas adaptaciones pueden manifestarse de diferentes formas, como cambiar sus horarios de actividad para evitar las horas en que los vectores (como mosquitos) son

más activos, elegir hábitats donde la probabilidad de contagio sea menor, o incluso ajustar sus hábitos reproductivos según la presencia de enfermedades en el ambiente (Delgado & Alonso, 1994).

Este tipo de respuestas, conocidas como comportamientos de evitación de enfermedades, se han registrado en animales tan variados como mamíferos, aves e insectos sociales. Un ejemplo interesante ocurre en el Yasuní, donde grupos de monos capuchinos evitan acercarse a cuerpos de agua estancados durante la temporada de lluvias. Esto parece ser una forma de protegerse, ya que esas aguas pueden estar contaminadas con patógenos que causan enfermedades.

7.4.5 Microbiotas protectoras y simbiosis inmunomoduladora

Uno de los mecanismos más efectivos que tienen los seres vivos para defenderse de los patógenos del ambiente es la colaboración con microbiotas beneficiosas. Estas comunidades de microorganismos habitan en lugares clave como la piel, los intestinos, las raíces o las hojas, y no solo actúan como una barrera física, sino que también ayudan a fortalecer el sistema inmunológico. Lo logran compitiendo con los patógenos por espacio y recursos, produciendo sustancias antimicrobianas o activando las defensas naturales del organismo.

En el bosque del Yasuní, por ejemplo, se ha observado que hongos del género *Trichoderma* y bacterias del tipo *Pseudomonas* presentes en las raíces de las plantas reducen infecciones causadas por patógenos como *Phytophthora palmivora* (Peña Varón y otros, 2021). De forma similar, en las ranas amazónicas, ciertas bacterias que viven en su piel producen compuestos antifúngicos que las protegen frente al hongo *Batrachochytrium dendrobatidis*, una seria amenaza para su supervivencia.

Estos ejemplos muestran que la relación entre organismos y sus microbiotas no es casual, sino una estrategia natural de protección. Comprenderla abre oportunidades valiosas para la biotecnología y la conservación de especies.

Regeneración ecológica post-brote

Tras un brote infeccioso severo, los ecosistemas tropicales tienen la capacidad de regenerarse poco a poco. En este proceso, las especies que resultaron más afectadas son

reemplazadas por otras más resistentes o que toleran mejor las condiciones adversas. Aunque esta recuperación puede tomar años o incluso décadas, dependiendo de la gravedad del daño, permite que el ecosistema siga funcionando de manera adecuada (García Peña y otros, 2019).

Un buen ejemplo de esto ocurre en el sotobosque de zonas dañadas por *Fusarium oxysporum*. Allí, las plantas menos susceptibles consiguen establecerse y, con ello, ayudan a restaurar el equilibrio del microambiente alrededor de las raíces, lo que favorece la recuperación general del lugar.

7.5 Conclusiones del capítulo

Este capítulo revela cómo los cambios ambientales en el Parque Nacional Yasuní están estrechamente ligados a la aparición de enfermedades que afectan a personas, animales y plantas. No se trata solo de un tema de salud, sino del reflejo de un ecosistema en desequilibrio. La fragmentación del hábitat, el cambio climático, la contaminación y el aumento del contacto humano con la fauna están rompiendo los ciclos naturales y facilitando que antiguos microorganismos se conviertan en amenazas.

Las enfermedades emergentes, como la malaria o la leishmaniasis, no son invasores externos, sino parte del ecosistema. Pero cuando las condiciones cambian, estos patógenos encuentran nuevas oportunidades para propagarse. Por eso, las zonas de borde, los caminos y los asentamientos cercanos al parque son puntos críticos de riesgo.

A pesar de los desafíos, Yasuní cuenta con mecanismos naturales de defensa: su biodiversidad, las relaciones simbióticas entre especies y su capacidad de regenerarse. Sin embargo, estas defensas dependen de que el ecosistema se mantenga sano y funcional.

La solución no pasa solo por el sector salud. Proteger la salud en Yasuní implica cuidar el equilibrio del ambiente. Bajo el enfoque “Una Salud”, se propone monitorear el ecosistema, restaurar áreas degradadas, capacitar a las comunidades locales y aplicar protocolos sanitarios en todas las actividades humanas.

En definitiva, cuidar Yasuní es una forma de cuidarnos a todos. Su salud es un termómetro del planeta y una barrera natural frente a futuras pandemias. La clave está en actuar antes, con conocimiento, coordinación y respeto por la naturaleza.

CAPITULO VIII

8. ESTRATEGIAS DE MONITOREO Y BIOSEGURIDAD

El monitoreo y la bioseguridad en el Parque Nacional Yasuní son mucho más que simples protocolos; son acciones clave para cuidar uno de los ecosistemas más biodiversos y delicados del planeta. No solo buscan proteger la salud humana y animal, sino también conservar el bosque y apoyar una investigación responsable (Mora Garcés, 2011).

Yasuní, en pleno corazón de la Amazonía, tiene condiciones ideales para que microorganismos prosperen, lo que puede representar riesgos cuando se altera su equilibrio natural. Por eso, es vital diseñar estrategias que detecten tempranamente amenazas, rastreen patógenos en el agua, suelo y aire, y evalúen qué especies pueden verse afectadas (Andrade Mendoza, 2009).

Estas estrategias combinan tecnología avanzada con trabajo de campo y requieren protocolos de bioseguridad adaptados a la realidad del bosque y respetuosos de las comunidades indígenas y locales, quienes son aliados esenciales para la vigilancia y protección del parque (Vargas y otros, 2020).

Este capítulo propone un enfoque integral que protege la salud de todos los que interactúan en Yasuní, reduce riesgos ecológicos y promueve una convivencia sostenible entre las personas y la biodiversidad. Así, la riqueza natural del parque se convierte en una defensa frente a las amenazas sanitarias actuales y futuras (Mora Garcés, 2011).

8.1 Principios del monitoreo ecológico de patógenos

El monitoreo ecológico de patógenos es una herramienta fundamental para prevenir brotes infecciosos, entender cómo se comportan los microorganismos y proteger la salud del ecosistema en el Parque Nacional Yasuní. Como los patógenos no son estáticos ni iguales en todas partes, es necesario que su vigilancia se base en principios que aseguren que la información sea representativa, constante, precisa y útil (Cardoso Ferreira y otros, 2024).

En lugares tan biodiversos y delicados como el Yasuní, estos principios cobran aún más importancia, ya que las condiciones ambientales, sociales y biológicas están siempre

cambiando. Por eso, es clave contar con un sistema de monitoreo que se adapte a esta complejidad y que brinde datos confiables para apoyar decisiones acertadas.

A continuación, se presentan y explican los cinco principios fundamentales que deben guiar un sistema de monitoreo ecológico de patógenos efectivo y adecuado al contexto, para que realmente cumpla su propósito.

8.1.1 *Multinivel: Abordar matrices abióticas y bióticas en interacción*

Monitorear la salud de un ecosistema tan complejo como el Parque Nacional Yasuní requiere un enfoque que observe varios niveles a la vez: Suelo, agua, aire, plantas, animales y personas. Solo así podemos entender qué está pasando realmente.

No se trata solo de buscar enfermedades visibles, sino también de prestar atención a detalles menos evidentes que afectan el equilibrio natural. Por ejemplo, el suelo alberga microorganismos que pueden causar enfermedades; el agua puede transmitir bacterias y protozoarios; las plantas pueden enfermar por hongos patógenos; y los animales, a través de sus excretas, pueden revelar enfermedades que podrían afectar a otras especies, incluyendo a los humanos. Además, las personas pueden ser tanto víctimas como transmisores involuntarios de estos microorganismos (Aguirre & al, 2020).

Lo más importante es entender cómo estos elementos se relacionan: un cambio en el suelo puede afectar a las plantas, y la llegada de personas puede facilitar la propagación de enfermedades. En resumen, observar el ecosistema en todos sus niveles nos ayuda a detectar riesgos a tiempo, entender cómo se transmiten las enfermedades y tomar decisiones responsables para proteger un lugar tan vital como Yasuní.

8.1.2 *Continuo: Periodicidad sostenida y cobertura estacional*

El monitoreo ambiental en ecosistemas tropicales, como el Parque Nacional Yasuní, no puede ser algo puntual ni esporádico. Debe realizarse de manera constante y planificada, incorporando el paso del tiempo como un factor clave. En lugares tan ricos y diversos como el Yasuní, donde la lluvia, la temperatura y la humedad cambian marcadamente entre estaciones, estos factores influyen directamente en la actividad de microorganismos, vectores (como los insectos) y animales que pueden actuar como hospedadores de enfermedades.

Por eso, un buen sistema de monitoreo necesita seguir algunas pautas esenciales:

- **Realizarse al menos cada tres meses**, para registrar los cambios que se dan con la llegada de las lluvias o de la sequía. Esto permite entender cómo responde la vida microscópica a estas variaciones naturales.
- **Mantener una observación a largo plazo** en puntos fijos del ecosistema. Solo así es posible detectar patrones, ciclos o señales tempranas de que algo está cambiando en la salud ambiental del lugar.
- **Activar alertas tempranas** cuando ocurren fenómenos extremos, como inundaciones, que pueden liberar patógenos desde zonas profundas y sin oxígeno, llevándolos hacia ríos, lagunas o charcas que están en contacto con personas y animales (Hernández Castán y otros, 2023).

Este tipo de monitoreo no solo ayuda a cuidar el equilibrio del ecosistema, sino que también mejora nuestra capacidad de actuar rápidamente ante riesgos emergentes. Detectar a tiempo un cambio en la composición de microorganismos, la aparición de un nuevo vector o el regreso de una enfermedad del pasado puede marcar la diferencia entre la prevención y una emergencia.

Un ejemplo concreto: Durante la temporada de lluvias, se ha detectado la presencia de *Leptospira* una bacteria peligrosa en aguas estancadas del Yasuní. Gracias a este hallazgo, se han podido emitir advertencias sanitarias dirigidas a los campamentos y al personal investigador en la zona, reduciendo significativamente el riesgo de contagio.

8.1.3 Estandarizado: Protocolos comparables y replicables

Para que los datos tengan verdadero valor, deben ser comparables entre lugares, instituciones y momentos. Esto mejora la calidad de la información y ayuda a tomar mejores decisiones que van más allá de lo local. La clave es estandarizar: seguir un mismo procedimiento para recolectar, conservar, analizar e interpretar las muestras. Primero, hay que definir cómo se tomarán las muestras, qué herramientas usar, dónde exactamente y en qué condiciones. Luego, es vital conservarlas correctamente para evitar alteraciones, cuidando temperatura, transporte y la cadena de custodia (FAO-OIE-WHO, 2021).

En el laboratorio, se aplican técnicas validadas, desde métodos clásicos hasta tecnologías avanzadas como PCR o secuenciación. Todos deben usar procedimientos equivalentes para que los resultados sean comparables.

Finalmente, los datos se registran con formatos comunes, usando las mismas unidades y criterios claros para su interpretación. Con este proceso estandarizado, las bases de datos pueden comunicarse, se obtienen líneas base confiables y los resultados se pueden aplicar a escalas mayores. En resumen, estandarizar es construir conocimiento sólido y útil para enfrentar retos complejos (FAO-OIE-WHO, 2021).

8.1.4 Participativo: Inclusión de actores locales y técnicos de campo

El monitoreo ambiental no debería ser una tarea exclusiva de laboratorios lejanos o de técnicos que visitan brevemente el territorio. En un lugar tan vasto y biodiverso como el Yasuní, es indispensable que quienes viven y trabajan allí todos los días sean parte activa del cuidado y vigilancia del entorno. Por eso, un enfoque participativo no solo es útil, sino esencial para lograr una cobertura real, garantizar que el sistema se sostenga en el tiempo y, sobre todo, que las personas se sientan parte del proceso.

Este tipo de monitoreo invita a colaborar a distintos actores que, desde su experiencia y conocimiento del territorio, pueden aportar de forma valiosa:

- **Guardaparques y personal del MAATE**, que conocen cada sendero, cada río, cada sonido del bosque, y están presentes de forma constante.
- **Comunidades indígenas o campesinas**, sobre todo en zonas cercanas a las áreas protegidas o en territorios donde han vivido por generaciones, cuidando la selva como parte de su vida diaria.
- **Investigadores y técnicos ambientales**, que desde sus estaciones de trabajo en el campo hacen seguimiento a cambios en la biodiversidad y el clima (Kruk y otros, 2015).
- **Universidades y organizaciones locales**, que pueden ayudar a entender mejor los datos, a interpretarlos y convertirlos en acciones concretas.

Pero participar no significa solo ayudar a tomar muestras. También implica compartir los resultados con todos los involucrados: Contar lo que se ha encontrado, explicar qué

significa y decidir juntos qué hacer. Esto puede lograrse con informes sencillos, reuniones en comunidad, materiales visuales como infografías o incluso talleres de formación.

Por ejemplo, se podría capacitar a integrantes de la comunidad Kichwa para recolectar muestras de agua en época de lluvias y anotar si notan síntomas como diarrea en personas o animales. Esta información, aunque parezca simple, puede ser clave para detectar a tiempo un problema ambiental o de salud, y al mismo tiempo fortalece el conocimiento y el rol de la comunidad en la protección del territorio.

En definitiva, cuando el monitoreo se construye desde el territorio y con las personas, no solo se vigila mejor el ambiente: También se fortalece el vínculo entre la naturaleza y quienes la habitan.

8.1.5 Adaptativo: Incorporación de nuevos datos y tecnologías

En un lugar tan especial y lleno de vida como el Parque Nacional Yasuní, los sistemas de monitoreo deben ser flexibles y capaces de adaptarse a los cambios. Esto quiere decir que deben ir evolucionando, aprendiendo constantemente y usando nuevas tecnologías para cuidar mejor la naturaleza.

Hoy en día, contamos con herramientas como equipos portátiles que detectan microorganismos en el campo como qPCR portátil, sensores de calidad de agua, drones para vigilancia aérea, o plataformas de eDNA (ADN ambiental), drones que capturan imágenes desde el aire, sensores que miden la calidad del agua al instante, y métodos que identifican especies sin necesidad de atraparlas. También es importante actualizar cómo hacemos el monitoreo, especialmente cuando ocurren eventos como incendios o la llegada de especies invasoras, ajustando lo que medimos y con qué frecuencia (Bardosh, 2020).

Además, con mapas digitales podemos visualizar mejor dónde están los riesgos y tomar decisiones más rápidas y acertadas. Todo esto funciona mejor si la información se gestiona en tiempo real, para que las autoridades puedan actuar a tiempo. En resumen, un sistema de monitoreo adaptativo no solo observa, sino que aprende, responde y protege activamente este valioso ecosistema.

8.2 Métodos de monitoreo ambiental y biológico

Vigilar la presencia de patógenos en un ecosistema tan complejo y diverso como el Parque Nacional Yasuní no es tarea sencilla. Se necesita un enfoque amplio, que combine la experiencia de la observación ecológica tradicional con el apoyo de tecnologías modernas capaces de detectar con precisión a los microorganismos que podrían afectar la salud del ambiente y de las especies que lo habitan (Butterworth y otros, 2001).

A través de distintas herramientas, es posible identificar patógenos, reconocer los vectores que los transmiten, evaluar el estado de salud de la flora y fauna, y, sobre todo, generar información clave para tomar decisiones acertadas en favor de la conservación y la gestión del ecosistema.

En este capítulo se exploran tres líneas metodológicas esenciales, pensadas para adaptarse a las condiciones únicas de la selva húmeda del Yasuní: el monitoreo de flora y fauna, la vigilancia de vectores y el análisis microbiológico del entorno. Juntas, estas estrategias permiten mirar el ecosistema de forma más completa, ayudándonos a entender cómo se comportan los patógenos en este entorno y cómo podemos actuar para protegerlo.

8.2.1 Monitoreo en flora y fauna

Muchas especies no muestran síntomas claros cuando están enfermas, por lo que es necesario observar detalles en su comportamiento y signos visibles. Además, se usan métodos indirectos para recolectar datos sin afectar a los organismos.

Salud de las plantas: Con más de 3.000 especies, las plantas del Yasuní pueden verse afectadas por hongos, bacterias y virus. Se identifican señales como manchas oscuras, hojas amarillas o bultos en los tallos. Estas observaciones se hacen en áreas específicas, tomando fotos y muestras para análisis (Burton & Jr., 2015).

Muestras de animales sin molestarlos: Para animales difíciles de capturar, se recolectan rastros como heces, pelos, plumas o saliva, que ayudan a detectar parásitos, virus o bacterias. También se recoge orina en trampas especiales. Es importante registrar dónde, cuándo y bajo qué condiciones se recolectan estas muestras (Burton A. C., 2015).

Tecnología para observar sin intervenir: Las cámaras trampa y grabadores acústicos permiten vigilar a los animales y escuchar el bosque sin estar presentes. Cambios en el comportamiento o en los sonidos pueden alertar sobre problemas de salud en la fauna (Burton A. C., 2015). Estas técnicas combinadas ofrecen una visión completa para proteger este valioso ecosistema.

8.2.2 Vigilancia vectorial

En los ecosistemas tropicales húmedos como el Parque Nacional Yasuní, los vectores biológicos son esenciales para entender la transmisión de enfermedades que afectan a personas y animales. Identificar qué vectores hay, cómo se comportan y qué microorganismos portan es clave para prevenir estos riesgos (Peterson & al, 2020).

Los principales vectores en esta región son mosquitos, flebótomos, garrapatas y triatominos, que pueden transmitir virus, bacterias y parásitos. Para estudiarlos, se usan trampas específicas: luz ultravioleta para mosquitos y flebótomos, redes de niebla para murciélagos, y trampas CDC o BG-Sentinel para mosquitos *Aedes*, responsables de enfermedades como dengue o Zika. Estas trampas se colocan en sitios estratégicos que consideran el ambiente local para obtener datos representativos.

Una vez capturados, los vectores se identifican y cuentan para estimar su densidad y riesgo de transmisión. Estos datos se relacionan con variables climáticas para entender cómo el ambiente influye en su población. Además, mediante técnicas moleculares como PCR y secuenciación, se detecta si están infectados y qué patógenos llevan, información vital para la salud pública y la conservación de la biodiversidad amazónica (Peterson & al, 2020).

8.2.3 Monitoreo microbiológico

En un lugar tan diverso y frágil como el Parque Nacional Yasuní, conocer qué microorganismos viven allí es clave para proteger tanto el ambiente como a las personas que dependen de él. El monitoreo microbiológico ayuda a detectar y medir bacterias, hongos y otros microbios en el agua, suelo, aire y restos biológicos, lo que permite anticipar y prevenir posibles brotes infecciosos.

Aunque las técnicas moleculares son muy avanzadas, los métodos tradicionales de cultivo siguen siendo esenciales para aislar microbios como *Escherichia coli* o *Salmonella*, y para

evaluar su resistencia a antibióticos. Cada tipo de microorganismo necesita un medio de cultivo específico para crecer (Rojas Herrera R. y otros, 2011).

Por otro lado, herramientas como la PCR y ELISA permiten identificar patógenos rápidamente, incluso cuando están en cantidades muy pequeñas. Estas técnicas hacen que el monitoreo sea más eficiente y confiable.

Finalmente, gracias a la secuenciación genética moderna, es posible conocer toda la comunidad microbiana de un lugar, incluyendo especies difíciles de cultivar, y entender qué funciones cumplen, como la resistencia a antibióticos o la capacidad de causar enfermedades. Por ejemplo, en el Yasuní se detectó *Klebsiella pneumoniae* resistente a varios antibióticos en áreas con más actividad humana, mostrando cómo nuestra presencia puede alterar la microbiota y generar riesgos para la salud (Knight & al, 2018).

8.3 Protocolos de bioseguridad en campo

Cuidar la salud del Parque Nacional Yasuní es fundamental para proteger su increíble biodiversidad. Por eso, implementar protocolos de bioseguridad es clave para evitar que se introduzcan o se propaguen enfermedades que puedan dañar este frágil ecosistema. Estos protocolos deben adaptarse a las condiciones particulares del clima tropical húmedo y a las actividades que se realizan dentro del parque (Cunningham, 1996).

Además, es importante tener en cuenta la diversidad de personas que conviven o visitan el parque, así como sus costumbres y formas de relacionarse con la naturaleza. La bioseguridad no debe verse como una carga o una restricción, sino como un compromiso compartido para cuidar este patrimonio natural. Científicos, turistas y comunidades locales tienen un papel fundamental para evitar que surjan brotes de enfermedades que puedan afectar tanto a la flora y fauna como a la salud de las personas.

A continuación, se detallan los protocolos específicos según el tipo de actor que interactúa con el parque: investigadores y técnicos, visitantes, y comunidades locales.

8.3.1 Para investigadores y técnicos

Cuando los equipos científicos y técnicos trabajan en el Yasuní, ya sea recolectando muestras biológicas, manipulando animales o plantas, instalando equipos o tomando datos,

es fundamental seguir protocolos de bioseguridad muy estrictos. Esto es para evitar contaminaciones entre zonas, no alterar los pequeños ecosistemas y protegernos a nosotros mismos de posibles enfermedades (Sikes, 2016).

Es necesario mantener el uso obligatorio de Equipos de Protección Personal (EPP), para cuidar a las personas como al ambiente, para ello se requiere utilizar:

- Guantes de nitrilo o látex al manipular muestras, tocar el suelo, plantas o fluidos de animales.
- Mascarillas KN95 o quirúrgicas en actividades donde pueda haber riesgo de inhalar algo dañino, especialmente en lugares cerrados como cuevas o madrigueras.
- Botas impermeables que se usen solo para el campo y que puedan desinfectarse fácilmente.
- Overoles lavables o trajes desechables cuando se trabaje muy cerca de animales o insectos que puedan transmitir enfermedades.

Equipos de Protección Personal (EPP)

Es fundamental usar guantes de nitrilo o látex, mascarillas KN95 o quirúrgicas en espacios cerrados, botas impermeables exclusivas para campo y overoles cuando estemos cerca de animales o insectos que puedan transmitir enfermedades.

Limpieza y desinfección

Todos los instrumentos deben limpiarse con soluciones desinfectantes antes y después de usarlos. Las botas pasan por baños desinfectantes y la ropa de campo se guarda aparte para evitar contaminación fuera del área de trabajo.

Cuidado de hábitats sensibles

En zonas protegidas con especies únicas, debemos limitar el tiempo, caminar solo por rutas definidas y evitar grupos grandes para no afectar estos ecosistemas.

Manejo de muestras

Las muestras se guardan en tubos estériles, refrigeradas y transportadas en recipientes sellados con etiquetas y registros claros para mantener su integridad (Sikes, 2016).

8.3.2 Para visitantes

Los turistas y visitantes, aunque no interactúan de manera intensa con el ecosistema, pueden sin querer causar daño o ayudar a propagar enfermedades. Por eso, es muy importante seguir algunas medidas básicas de bioseguridad antes, durante y después de la visita, para proteger tanto la naturaleza como a nosotros mismos (WHO, 2022).

Zonas de acceso controladas

Para cuidar el entorno, solo se debe caminar por los senderos autorizados, que están señalizados y cuentan con pasarelas o plataformas para evitar daños. Está prohibido entrar en áreas que están recuperándose, zonas de reproducción o lugares con alta presencia de microorganismos, como charcas, suelos fangosos o cavidades.

Evitar contacto con animales y plantas sensibles

No debemos alimentar, tocar ni seguir a los animales silvestres, ya que esto puede estresarlos o poner en riesgo su salud. Tampoco está permitido recoger plantas, frutos o cortar vegetación. Además, es importante evitar sentarse en el suelo, apoyarse en los árboles o meterse en cuerpos de agua para no afectar estos espacios delicados.

Información previa a la visita

Antes de entrar, cada grupo recibirá una charla donde se explicarán las medidas de bioseguridad, las enfermedades que se pueden transmitir y cómo protegernos. Esta información será dada por guías certificados o personal del MAATE. Además, se entregará un folleto ilustrado o un código QR con todas las recomendaciones para que todos las tengan a la mano.

Qué hacer en caso de contacto accidental

Si algún visitante tiene contacto con fluidos de animales, sufre mordeduras, picaduras, heridas o llega a beber agua contaminada, debe informar de inmediato para que quede registrado. Así, se activará un protocolo que incluye atención médica, recopilación de datos y, si es necesario, análisis de laboratorio para garantizar su bienestar (WHO, 2022).

8.3.3 *Para comunidades locales*

Las comunidades indígenas y mestizas que viven cerca del Yasuní son piezas clave en la protección del bosque y la vigilancia ecológica. Gracias a su contacto diario con la naturaleza, ellos pueden detectar cambios, identificar brotes de enfermedades y cuidar los sistemas de vida que dependen de la selva. Por eso, los protocolos que se diseñen para apoyar a estas comunidades deben ser interculturales, inclusivos y respetar profundamente sus saberes tradicionales (Garnier & al, 2020).

Charlas sobre enfermedades zoonóticas

Es importante organizar talleres participativos en cada comunidad, usando materiales audiovisuales en los idiomas locales, como Waotodedo o Kichwa, cuando sea posible. En estos talleres, se debe hablar sobre cómo reconocer los síntomas de las enfermedades, cómo se transmiten, qué medidas de higiene y protección tomar, y cuándo es necesario reportar algún síntoma. Algunas de las enfermedades que deben abordarse incluyen leptospirosis, rabia, toxoplasmosis, fiebre amarilla y antracnosis vegetal.

Provisión de insumos para desinfección básica

Las comunidades necesitan tener a mano materiales básicos para la desinfección, como jabón biodegradable, cloro, guantes, agua potable y recipientes para guardar el agua de forma limpia. También es recomendable que se creen espacios especiales para descontaminarse en los puntos donde las personas entran o salen del parque, ayudando así a evitar que las enfermedades se propaguen.

Incorporación de saberes locales

Las estrategias de bioseguridad deben respetar e incorporar las prácticas tradicionales que las comunidades han usado por generaciones para controlar enfermedades, como el uso de plantas medicinales y el conocimiento sobre los animales que pueden ser vectores de enfermedades. La vigilancia también puede apoyarse en herramientas comunitarias, como bitácoras, mapas parlantes y el uso de teléfonos móviles para monitorear la salud del bosque. Además, es vital reconocer el papel de los sabios y sanadores locales, quienes tienen un conocimiento profundo sobre la salud de la selva y ayudan a cuidar la vida en ella (Garnier y otros, 2020).

8.4 Sistema de alerta temprana

Crear un sistema de alerta temprana en el Parque Nacional Yasuní es una herramienta clave para adelantarnos a posibles brotes de enfermedades infecciosas que puedan afectar tanto a la increíble biodiversidad del lugar como a las comunidades que viven allí, sin olvidar el delicado equilibrio ecológico que sostiene todo el territorio. En un espacio tan rico en vida y con presiones ambientales cada vez mayores, como es el Yasuní, estos sistemas no solo nos ayudan a prevenir epidemias, sino que también nos permiten actuar rápido para evitar que los daños sean irreversibles (Gómez Ortega y otros, 2018).

Para que este sistema funcione bien, debe reunir información de diferentes áreas: desde la ecología y la salud, hasta la tecnología y el contexto social. Solo así podrá detectar las señales de alerta a tiempo y poner en marcha respuestas rápidas y efectivas. Pero más allá de eso, este sistema no puede trabajar solo ni de forma aislada; necesita estar integrado en una red más amplia que reúna a instituciones, científicos, comunidades locales y expertos en tecnología, todos trabajando juntos.

En las siguientes páginas, exploraremos los elementos esenciales que debe tener un sistema de alerta temprana, adaptados a las condiciones únicas del Yasuní, considerando tanto su riqueza natural como los retos logísticos y culturales que existen en la zona.

8.4.1 Registro automatizado de síntomas en flora y fauna

La vigilancia biológica se basa en observar de manera constante y cuidadosa los signos de enfermedad en ciertas plantas y animales que funcionan como indicadores o centinelas de la salud del ecosistema. Para que este monitoreo sea efectivo, es fundamental que los datos sean recolectados de forma continua por guardaparques, científicos, comunidades locales y estaciones de investigación.

Para registrar estos datos, se usan varias estrategias importantes:

- Listas de verificación estandarizadas que permiten anotar cambios visibles, como manchas muertas en las hojas (necrosis foliar), amarillamiento (clorosis), deformaciones, cansancio o falta de energía (letargia), cambios en el comportamiento, heridas abiertas o incluso muertes repentinas.

- Monitoreo con sensores y cámaras trampa, que se colocan en lugares clave para capturar imágenes o sonidos. Estos dispositivos ayudan a detectar comportamientos extraños o la ausencia inesperada de animales.
- Herramientas portátiles para diagnósticos rápidos, como pruebas de antígenos o kits de PCR, que pueden confirmar en el lugar si hay presencia de microorganismos que causan enfermedades, usando muestras frescas de suelo, agua, tejidos o excrementos.

Toda esta información se registra en fichas digitales con ubicación geográfica, alimentando una base de datos central que facilita el seguimiento y análisis de la salud del ecosistema (Gavier Widen y otros, 2023). Por ejemplo, si se observa un aumento en las hojas muertas de *Virola elongata* o una reducción en los sonidos que hacen de noche las ranas, podrían ser señales tempranas de infecciones fúngicas o problemas en la comunidad de microorganismos del suelo. Detectar estos cambios a tiempo nos permite actuar antes de que el problema se agrave.

8.4.2 Detección de aumento de vectores en sitios clave

Un aspecto clave en un sistema de alerta temprana es detectar rápidamente cuando aumenta de manera inusual la cantidad de vectores, como mosquitos o flebótomos, que transmiten enfermedades. Para lograrlo, se deben seguir pasos concretos.

Primero, es necesario contar con redes de monitoreo permanentes en lugares donde las personas y la fauna conviven, como senderos turísticos, estaciones científicas o áreas de captación de agua. Estos espacios permiten observar cómo varían las poblaciones de vectores con el tiempo.

- Para capturar estos insectos se usan trampas especiales, como las de luz, las trampas CDC o las que atraen con dióxido de carbono. Estas herramientas ayudan a recolectar mosquitos, flebótomos y otros artrópodos que pueden ser portadores de enfermedad (Reisen, 2010).

Es fundamental hacer conteos regulares, cada semana o quince días, y comparar los resultados con niveles históricos o análisis estadísticos para identificar aumentos significativos. Además, se realizan pruebas moleculares en los vectores capturados para

saber si llevan agentes causantes de enfermedades, como *Plasmodium*, *Leishmania*, *Trypanosoma* o virus transmitidos por mosquitos.

Detectar a tiempo estos aumentos y la presencia de agentes infecciosos permite anticipar posibles brotes, proteger a personas y animales, y activar protocolos para notificar a las autoridades y aplicar medidas de prevención y control

8.4.3 *Plataforma digital para reportes georreferenciados*

Un aspecto clave en un sistema de alerta temprana es poder detectar a tiempo cuando la cantidad de vectores como mosquitos o flebótomos aumenta de forma inusual, ya que estos insectos son los responsables de transmitir varias enfermedades. Para lograrlo, es fundamental contar con redes de monitoreo entomológico permanentes en lugares donde las personas tienen mucha interacción con la fauna, como senderos turísticos, estaciones científicas o zonas donde se capta agua.

Estas redes utilizan diferentes tipos de trampas, como trampas de luz, trampas CDC y trampas de CO₂, para atrapar mosquitos, flebótomos y otros artrópodos que pueden ser vectores. De manera regular, ya sea cada semana o cada dos semanas, se mide la cantidad de estos insectos y se compara con valores de referencia establecidos a partir de datos históricos o análisis estadísticos (Seattle, WA, USA, 2016).

Además, los insectos capturados son analizados mediante pruebas moleculares para detectar si portan agentes causantes de enfermedades como *Plasmodium*, *Leishmania*, *Trypanosoma* o *arbovirus*. Cuando se registra un aumento en la cantidad de vectores, esto puede ser una señal anticipada de un posible brote zoonótico. Por eso, ante estos casos, se deben activar rápidamente los protocolos para realizar un análisis epidemiológico, notificar a las autoridades correspondientes y tomar las medidas necesarias para controlar la situación.

8.4.4 *Comunicación directa con autoridades sanitarias y ambientales*

El corazón del sistema de alerta temprana es una plataforma digital que reúne toda la información aportada por quienes participan en el proceso. Para que esta herramienta funcione bien, debe cumplir con algunos requisitos clave. Por ejemplo, es fundamental que los reportes se geocalicen automáticamente usando GPS, para saber exactamente dónde

ocurren los eventos. Además, la plataforma debe ser fácil de usar, con una interfaz en varios idiomas y que funcione bien en dispositivos móviles como celulares y tabletas, para que cualquiera pueda acceder desde el campo.

También es importante que permita cargar distintos tipos de datos: desde síntomas, muestras y capturas, hasta imágenes y archivos adjuntos, todo en un solo lugar. La información debe presentarse de forma clara, con alertas que se diferencien por colores y categorías ya sea que se trate de animales, plantas, vectores o humanos para facilitar la interpretación. Por otro lado, la plataforma debe ofrecer herramientas útiles como mapas de calor, gráficos que muestren cómo evolucionan las alertas en el tiempo, y la posibilidad de enviar notificaciones por correo o mensaje de texto. Además, contar con paneles estadísticos ayudará a tomar decisiones informadas rápidamente (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2018).

Pero lo más importante es que esta plataforma esté conectada con el sistema nacional de vigilancia epidemiológica y ambiental, así como con instituciones académicas que validen y analicen la información. Un buen ejemplo de esto es el sistema Alerta Verde, usado en la Amazonía colombiana por el Instituto SINCHI y el Instituto Nacional de Salud, que ha logrado anticipar brotes de leishmaniasis en áreas donde la deforestación está activa.

8.5 Fortalecimiento de capacidades locales

Cuando se detecta una señal de alerta ya sea clínica, ecológica o entomológica es vital activar de inmediato un protocolo de comunicación claro y eficaz, tanto entre las instituciones como con las comunidades locales. La prioridad es actuar rápido y de manera coordinada para proteger la salud de las personas y el entorno.

El proceso comienza notificando de inmediato a las direcciones provinciales del Ministerio de Salud Pública (MSP) y del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE). Luego, se reúne sin demora un Comité de Alerta Temprana, formado por técnicos en salud, gestores del parque, representantes comunitarios e investigadores, quienes trabajan juntos para tomar decisiones informadas (Amend y otros, 2007).

Se deben emitir boletines de riesgo que orienten acciones concretas, como cerrar temporalmente senderos, lanzar campañas de vacunación o restringir el acceso a ciertas áreas cuando sea necesario.

También es fundamental mantener una comunicación cercana con los sistemas de salud comunitarios, que están en primera línea para identificar personas con síntomas relacionados, como fiebre, diarrea o lesiones en la piel.

Una respuesta tardía puede convertir un problema puntual en una crisis mayor. Por eso, más que reaccionar, debemos anticiparnos y actuar a tiempo, basados en evidencia, para controlar la situación antes de que se convierta en emergencia.

8.5.1 Capacitación continua de guardaparques y técnicos en vigilancia epidemiológica ambiental

En lo profundo del Parque Nacional Yasuní, son los guardaparques quienes caminan los senderos, conocen cada rincón del bosque y conviven día a día con la vida que lo habita. Su trabajo no solo consiste en vigilar o proteger, sino en ser los ojos y oídos del territorio. Gracias a su experiencia, su conocimiento del entorno y la confianza que han construido con las comunidades, están en una posición privilegiada para detectar cualquier señal de alerta antes de que se convierta en un problema mayor.

Sin embargo, para que puedan cumplir este papel con eficacia, especialmente en temas de bioseguridad, es esencial brindarles herramientas actualizadas. No se trata solo de voluntad, sino de preparación. Por eso, las capacitaciones deben ser una prioridad y abordarse desde una mirada integral que les permita actuar con seguridad y conocimiento (Dobson & al, 2020).

Estas formaciones deben incluir temas como:

- Los principios de la epidemiología ecológica y las enfermedades que pueden transmitirse entre animales, plantas y personas en ecosistemas tropicales.
- Cómo reconocer síntomas o signos que indiquen que algo no está bien en la flora o fauna.
- Métodos para recolectar muestras sin causar daño, cómo transportarlas de forma segura y protegerse a sí mismos en el proceso.

- El uso de herramientas digitales para registrar información y activar sistemas de alerta temprana.
- Y, muy importante, cómo comunicar los riesgos de forma clara y oportuna, tanto a las autoridades como a las comunidades vecinas.

Estas capacitaciones deberían realizarse, al menos, una vez al año y contar con el apoyo de universidades, organizaciones ambientales y el propio Ministerio del Ambiente. Además, deben estar acompañadas de materiales didácticos impresos y digitales que les sirvan como guía en su día a día.

Un ejemplo concreto lo deja claro:

Imaginemos a un grupo de guardaparques que ha recibido formación para identificar manchas sospechosas en las hojas de especies como *Inga* o *Virola*, árboles muy comunes en el Yasuní. Gracias a ese conocimiento, pueden detectar a tiempo la posible presencia de hongos que afectan la salud del bosque. En lugar de esperar a que llegue un especialista externo, pueden activar protocolos de verificación y tomar decisiones rápidas. Así, se convierten no solo en protectores, sino en protagonistas de una conservación ágil y efectiva.

8.5.2 Creación de laboratorios móviles o convenios con universidades locales

El Parque Nacional Yasuní es uno de los lugares con mayor biodiversidad del mundo, pero también uno de los más aislados. Esta condición, sumada a la falta de laboratorios cercanos, hace muy difícil analizar muestras en tiempo real. Hoy en día, muchas deben enviarse a Quito o Guayaquil, lo que implica demoras, altos costos y, a veces, pérdida de datos valiosos (Wilcox & Colwell, 2005).

Para enfrentar este reto, se proponen dos estrategias que acercan la ciencia al territorio y a las personas que lo habitan.

a. Laboratorios móviles: Llevar la ciencia al corazón de la selva

Imaginar pequeños laboratorios que lleguen hasta las zonas más remotas ya no es una utopía. Equipados con tecnología portátil como PCR, centrífugas, refrigeración solar y cabinas de bioseguridad estos laboratorios permitirían analizar muestras directamente en el

lugar. Técnicos capacitados podrían detectar patógenos en agua, suelo o alimentos casi al instante, ayudando a prevenir brotes y proteger a las comunidades.

b. Redes de colaboración: Ciencia que se construye en equipo

Además de llevar equipos al campo, es clave trabajar en red. Aliarse con universidades amazónicas como IKIAM, la Estatal Amazónica o centros como el INSPI permitiría formar una red sólida para responder desde la región. Estas alianzas abrirían oportunidades de prácticas, investigaciones conjuntas y formación de jóvenes, fortaleciendo las capacidades locales y creando laboratorios descentralizados que den respuesta rápida y efectiva (Wilcox & Colwell, 2005).

8.5.3 Inclusión de prácticas de bioseguridad en currículos escolares rurales

La educación en bioseguridad debe comenzar desde niños, sobre todo en comunidades rurales cerca de áreas naturales protegidas, donde la vida con la naturaleza es parte del día a día. Es muy importante que desde la escuela aprendan sobre la salud del ecosistema para:

- Entender las enfermedades que pueden transmitir los animales (zoonosis), la importancia de mantener limpia el ambiente y los riesgos de estar en contacto con animales silvestres.
- Adoptar hábitos simples pero vitales, como lavarse las manos, tratar el agua antes de beberla y usar calzado adecuado.
- Desarrollar una mirada atenta para reconocer cuando algo no está bien en su entorno.

Estos temas pueden enseñarse en materias como Ciencias Naturales, usando métodos activos y divertidos como juegos, dibujos o simulacros, para que los niños lo relacionen con su vida cotidiana. Por ejemplo, en la escuela rural de Playas de Cuyabeno, los niños aprendieron a identificar insectos que transmiten enfermedades y cómo protegerse, gracias a talleres de dibujo y dramatización que les encantaron y les dieron herramientas para cuidar su salud y la de su comunidad (Prado Castillo y otros, 2018).

8.5.4 Establecimiento de “comités de salud ecosistémica” en comunidades aledañas

Una forma efectiva de cuidar la salud de las personas y del entorno en el Yasuní es a través de la creación de comités de salud ecosistémica en las comunidades que habitan o se

relacionan con este territorio. Estos comités nacen desde la gente, con la gente, y para la gente, y se convierten en espacios donde se juntan los conocimientos ancestrales, la experiencia cotidiana y las herramientas del monitoreo ambiental.

Su trabajo es amplio y muy valioso. Algunas de sus tareas principales son:

- **Recoger y organizar información:** Sobre síntomas o afectaciones que se presentan en las personas, los animales o las plantas, para entender mejor lo que está pasando en el entorno.
- **Coordinar acciones comunitarias:** Como la limpieza y desinfección de espacios, el control de insectos que transmiten enfermedades, el cierre temporal de caminos si es necesario, y el cuidado de fuentes de agua que abastecen a todos.
- **Participar en capacitaciones:** Que les permitan fortalecer sus conocimientos, revisar y adaptar protocolos de salud, y estar atentos a posibles alertas ambientales.
- **Actuar como voceros de la comunidad:** Frente a las instituciones públicas cuando se trata de temas relacionados con la salud ambiental y el bienestar del territorio.

Para que estos comités realmente funcionen y tengan impacto, es fundamental que surjan de un proceso participativo, donde todas las voces sean escuchadas y valoradas. Además, deben contar con el respaldo de las instituciones, así como con los materiales, herramientas y el acompañamiento técnico que les permita sostener su trabajo a lo largo del tiempo (Horwich & Lyon, 2007).

Al final, los comités de salud ecosistémica no solo son un espacio de organización comunitaria: Son una expresión del compromiso colectivo con la vida, el territorio y la convivencia armónica con la naturaleza.

8.6 Cooperación interinstitucional e internacional

La gran diversidad ecológica del Parque Nacional Yasuní y la complejidad de las enfermedades emergentes, que ocurren a diferentes escalas, requieren una respuesta conjunta que vaya más allá del trabajo aislado de cualquier institución. Por eso, la colaboración entre distintas organizaciones e incluso países es fundamental para crear un sistema de monitoreo y bioseguridad que funcione de manera sostenible, efectiva y que pueda adaptarse a nuevos retos.

Los patógenos no conocen fronteras, ni administrativas ni naturales, y las amenazas a la salud tienen causas diversas y entrelazadas. Por eso, es vital que ministerios, centros de investigación, organizaciones sociales, comunidades locales y organismos internacionales trabajen juntos. Solo con un esfuerzo compartido se podrá enfrentar estos desafíos de manera sólida y coherente (Quirós y otros, 2011).

Para que esta colaboración funcione, debe basarse en valores claros: corresponsabilidad, equidad, transparencia y complementariedad técnica. Estos principios ayudan a construir confianza y compromiso entre todos los actores involucrados. A continuación, se describen las principales acciones que guían esta colaboración en el caso del Parque Nacional Yasuní.

8.6.1 Coordinación entre el MAATE, el MSP, el INIAP, universidades y ONGs

Para lograr un impacto real, es vital que las instituciones del país trabajen unidas, especialmente las que se enfocan en salud ambiental, biodiversidad, investigación y desarrollo local. Cada una aporta desde su experiencia, fortaleciendo el trabajo conjunto.

El Ministerio del Ambiente (MAATE) protege las áreas naturales y asegura que las actividades respeten los planes de manejo. El Ministerio de Salud (MSP) vigila la salud de las comunidades, preparándose para enfrentar enfermedades vinculadas con la naturaleza. El INIAP se encarga de detectar plagas y cuidar la flora cercana a los parques.

Las universidades aportan tecnología y conocimiento, creando herramientas y proyectos que involucran directamente a las comunidades. Las ONGs, por su parte, ofrecen apoyo técnico y facilitan la cooperación entre todos los actores, incluyendo vínculos internacionales (Willett y otros, 2021). Para que esta colaboración funcione, es clave crear espacios formales de trabajo conjunto, definir objetivos comunes y compartir información mediante plataformas abiertas y seguras.

8.6.2 Participación en redes como One Health o EcoHealth

Redes como One Health, EcoHealth y Planetary Health muestran cómo la salud de las personas, los animales y el ambiente están conectadas. Para el Yasuní y sus comunidades, participar en estas redes es una gran oportunidad.

Gracias a estas alianzas, se accede a herramientas para detectar riesgos, responder rápido a brotes y trabajar juntos entre salud, ambiente y comunidad. También ofrecen formación a jóvenes y profesionales locales, fortaleciendo conocimientos clave para cuidar el territorio y su gente.

Estas redes conectan además con comunidades amazónicas de Perú, Colombia y Brasil, facilitando la prevención conjunta de enfermedades y la protección de ecosistemas compartidos (Destoumieux Garzón & al, 2018).

Además, ayudan a mejorar las políticas locales y alinearlas con estándares internacionales para una gestión ambiental más efectiva. Un ejemplo es EcoHealth Alliance, que estudia virus en murciélagos amazónicos para anticipar y evitar futuros riesgos, demostrando que la colaboración global protege tanto a las personas como al planeta.

8.6.3 Intercambio de datos con proyectos internacionales de vigilancia zoonótica

El monitoreo de enfermedades emergentes es clave, sobre todo tras la pandemia de COVID-19. En este esfuerzo, el Yasuní participa en proyectos internacionales como PREDICT y PREZODE, apoyados por la FAO, OMS y OIE.

Esto permite conectar datos locales con plataformas globales como EpiWatch y HealthMap, facilitando una vigilancia más eficaz. El Yasuní aporta muestras genéticas y datos de animales silvestres, fundamentales para entender cómo cambian los virus y bacterias (Carroll & al, 2018). Además, se usan herramientas bioinformáticas que predicen brotes y ayudan a anticipar epidemias, mejorando la respuesta local y global.

Así, el Yasuní se convierte en una barrera natural contra futuras pandemias, clave para la salud mundial. Pero siempre respetando principios éticos, con consentimiento informado y siguiendo el Protocolo de Nagoya para un acceso justo a los recursos genéticos.

8.6.4 Financiamiento compartido entre el sector público, cooperación y turismo responsable

La sostenibilidad de las estrategias de bioseguridad no puede depender solo del presupuesto público; es clave combinar varias fuentes de financiamiento. El Ministerio del Ambiente y el de Salud deben enfocarse en fortalecer monitoreos, equipar laboratorios y

capacitar al personal. La cooperación internacional aporta fondos valiosos que impulsan investigaciones, mejoran infraestructuras y fortalecen redes comunitarias para cuidar la salud ambiental. El turismo responsable también puede contribuir, por ejemplo, cobrando tasas que se destinen directamente a conservar y vigilar el entorno.

Las alianzas entre el sector público y privado, con empresas interesadas en la biodiversidad amazónica, son una oportunidad para apoyar la bioseguridad de forma justa y responsable (Sánchez y otros, 2022) . Para que este modelo funcione, debe ser transparente, con rendición de cuentas y fortalecer a las comunidades locales, que son quienes aseguran su continuidad. Un buen ejemplo es la Reserva Tambopata en Perú, donde una tasa ecológica de los visitantes financia la vigilancia sanitaria y el cuidado de la fauna, protegiendo así el ecosistema de forma efectiva.

8.7 Evaluación de riesgo y priorización

El Parque Nacional Yasuní es un lugar increíblemente diverso y vibrante, donde conviven miles de especies de plantas, animales y microorganismos. En un entorno tan complejo, vigilar los patógenos que pueden afectar a estos seres vivos requiere un enfoque cuidadoso y bien planificado, que permita usar los recursos y esfuerzos de manera inteligente. Por eso, es clave realizar una evaluación sistemática de los riesgos ecológicos y de salud, que tome en cuenta no solo los aspectos biológicos, sino también los factores sociales y ambientales. Esta evaluación debe definir con claridad cuáles especies, zonas y tipos de patógenos son prioritarios para monitorear (Rivero y otros, 2004).

Gracias a este análisis, es posible identificar los puntos donde la vigilancia es más urgente, establecer niveles de alerta adecuados y mejorar los protocolos para tomar muestras. También ayuda a diseñar campañas claras para comunicar los riesgos a las comunidades y a tomar decisiones preventivas antes de que surjan brotes o problemas mayores. A continuación, se detallan los elementos principales para realizar una evaluación de riesgos y una priorización efectiva en el contexto único del Yasuní.

8.7.1 Establecimiento de matrices de riesgo ecológico por zona, especie y tipo de patógeno

Para saber qué tan peligroso puede ser un patógeno, usamos matrices que combinan información de la geografía, la ecología y la salud. Estas matrices nos permiten priorizar riesgos considerando tres factores principales:

a) Zona ecológica

Dividimos el parque en zonas como riberas, sotobosque, zonas altas, áreas turísticas y de amortiguamiento. A cada una se le asigna un nivel de riesgo según:

- Qué tanto ha sido modificado por el ser humano (deforestación, senderos, campamentos).
- Si alberga especies vulnerables o vectores que puedan transmitir enfermedades.
- Qué tan fácil es llegar en caso de una emergencia.

b) Especie hospedadora

Luego analizamos las especies clave del ecosistema, tomando en cuenta:

- Su número y función (como dispersar semillas o controlar plagas).
- Si están amenazadas, según listados oficiales.
- Si tienen contacto frecuente con las personas, por ejemplo, en zonas turísticas.
- Si ya se ha detectado algún patógeno en ellas.

c) Tipo de patógeno

Finalmente, clasificamos los patógenos según su peligrosidad:

- Alta prioridad: Virus que pueden pasar a humanos (como la rabia o el coronavirus), bacterias resistentes, y hongos que afectan ecosistemas.
- Prioridad media: Parásitos que causan enfermedades crónicas.
- Baja prioridad: Microorganismos que no suelen representar un riesgo grave (Eisen & Eisen, 2011).

Para visualizar estos riesgos, usamos matrices de colores (verde, amarillo y rojo) y mapas de calor que muestran dónde se concentran. Así, es más fácil entender la información y actuar a tiempo.

8.7.2 Priorización de especies clave (*centinelas, amenazadas o de valor ecológico*)

En un lugar tan grande y lleno de vida como el Parque Nacional Yasuní, no es posible ni necesario vigilar todas las especies por igual. Por eso, es vital priorizar, identificando aquellas que pueden avisarnos a tiempo sobre problemas, que son clave para el ecosistema, o que ya están en peligro y no pueden soportar nuevas amenazas.

Especies centinela: Las primeras en dar la alerta

Estas especies son muy sensibles a cambios o enfermedades y actúan como una señal de alerta. Cuando algo no va bien, muestran síntomas visibles o mueren en gran cantidad. Por ejemplo, las ranas dendrobátidas, muy afectadas por un hongo que disminuye sus poblaciones; los murciélagos frugívoros, que ayudan a dispersar semillas, pero también pueden ser portadores de virus; y los monos capuchinos, que pueden indicar brotes de infecciones en la selva (Chávez González y otros, 2015).

Especies amenazadas: En riesgo de desaparecer

Las especies en peligro necesitan atención constante porque cualquier enfermedad nueva podría ser fatal. El mono araña, por ejemplo, enfrenta la pérdida de su hábitat y es vulnerable a virus y parásitos.

Especies clave para el equilibrio

Algunas especies sostienen todo un ecosistema. La palma amazónica *Iriartea deltoidea* es alimento vital para muchas aves y mamíferos. Si enferma por hongos, muchas otras especies también se ven afectadas.

Con este enfoque, podemos decidir qué especies monitorear de cerca, cuáles revisar de vez en cuando, y cuándo simplemente estar atentos a señales poco comunes. Así, escuchamos la naturaleza para cuidarla mejor (Chávez González y otros, 2015).

8.7.3 *Evaluación del impacto potencial sobre humanos, fauna y servicios ecosistémicos*

Para entender realmente el impacto de un patógeno en un ecosistema, no basta con saber que está ahí; es importante pensar en qué efectos puede tener sobre las personas, los animales, las plantas y el equilibrio natural. Por eso, al evaluar riesgos, debemos considerar tres aspectos clave: La salud humana, el ecosistema y los servicios que la naturaleza nos ofrece (Patz & Wolfe, 2018).

Riesgo sanitario

Primero, hay que saber si el patógeno puede contagiar a las personas, qué tan peligroso es y si resiste los tratamientos médicos. También es importante identificar si hay comunidades o visitantes cerca que puedan estar en riesgo, para prepararnos mejor.

Riesgo ecológico

Después, debemos pensar si el patógeno puede afectar especies importantes o procesos naturales, como la polinización o la descomposición. Estos daños pueden no notarse al principio, pero a largo plazo pueden alterar todo el ecosistema.

Riesgo para los servicios ecosistémicos

Finalmente, recordemos que la naturaleza nos brinda agua limpia, alimentos, medicinas y más. Si el patógeno afecta estas funciones o especies valiosas para las comunidades locales, también nos afecta a nosotros.

Por eso, es fundamental clasificar estos riesgos para saber cuándo solo observar y cuándo actuar. Así, con una mirada amplia y responsable, podemos cuidar mejor la salud de las personas y la vida del ecosistema.

8.8 Conclusiones del capítulo

El Parque Nacional Yasuní no solo es uno de los lugares más biodiversos del mundo, sino también un espacio sagrado para muchas comunidades y un reflejo vivo de la salud del planeta. Por eso, la bioseguridad y vigilancia sanitaria aquí no son solo temas técnicos, sino un compromiso entre humanos y naturaleza.

Este capítulo destaca que el monitoreo de patógenos debe ser constante, no solo una respuesta ante emergencias. Se trata de observar y entender el ecosistema en su totalidad, desde el suelo hasta los árboles, y desde los microorganismos hasta las personas que viven o visitan el lugar. Todo está conectado, y cuidar cada parte es cuidar todo.

Para ello, es fundamental combinar tecnología avanzada con el conocimiento local y la participación comunitaria. Se proponen protocolos claros de bioseguridad para quienes interactúan con el parque, desde científicos hasta turistas, para proteger juntos este ecosistema. Además, se plantea un sistema de alerta temprana dentro del territorio, capaz de identificar problemas antes de que se conviertan en crisis. Para que todo funcione, es vital fortalecer las capacidades locales, formar a guardaparques y fomentar la cooperación entre instituciones y comunidades.

En resumen, la bioseguridad en Yasuní debe entenderse como una herramienta para conservar la naturaleza y proteger nuestra salud, integrándose en la gestión del parque y el desarrollo territorial.

CAPITULO IX

9. ESTUDIOS DE CASO

Los estudios de caso en ecología y salud ambiental nos ayudan a entender cómo diferentes factores como el clima, la actividad humana y las costumbres locales afectan a los ecosistemas. El Parque Nacional Yasuní, uno de los lugares más biodiversos y frágiles del planeta, es un laboratorio natural que nos enseña cómo cuidar mejor la naturaleza.

A diferencia de los grandes modelos teóricos, estos estudios nos muestran lo que realmente ocurre en el campo, combinando datos científicos con las experiencias de las comunidades. Así, podemos identificar problemas concretos y aprender soluciones que aplican en toda la Amazonía (Cabezas, 2015).

Este capítulo presenta cuatro casos reales que ilustran la conexión entre salud, biodiversidad y manejo del territorio en el Yasuní. Cada uno muestra diferentes patógenos, especies afectadas, impactos y respuestas, reflejando la complejidad del ecosistema.

Los casos incluyen:

- Un brote de enfermedad en árboles en zonas turísticas.
- Un parásito detectado en animales cerca de ríos, con riesgo para humanos.
- Un hongo en excrementos de aves que puede afectar la salud respiratoria.
- Aumento de bacterias en aguas estancadas durante la lluvia, que afecta a fauna y personas.

Estos ejemplos demuestran que las enfermedades en la selva surgen de la interacción entre microorganismos, animales, plantas y humanos. Además, muestran cómo el cambio climático, la deforestación y el turismo pueden abrir paso a nuevas amenazas.

Por eso, es vital combinar ciencia, conservación, educación y participación comunitaria para proteger la salud del bosque y de las personas. El Yasuní aún guarda muchos secretos, pero comprender su dinámica nos ayudará a cuidar la vida en todas sus formas.

9.1 Casos

A continuación, se muestran una serie de casos que han sido estudiados anteriormente:

9.1.1 Caso 1: Aislamiento de *Fusarium* spp. En raíces de árboles juveniles

Contexto ecológico y observaciones iniciales

Entre marzo y junio de 2022, técnicos del Ministerio del Ambiente visitaron el área de amortiguamiento del Parque Nacional Yasuní, donde notaron que plántulas de árboles nativos como *Virola elongata* y *Ocotea* tenían hojas amarillentas, marchitez y necrosis en la base, síntomas poco comunes.

Estas plantas crecían en zonas muy transitadas por visitantes, con suelos compactados y húmedos por las lluvias, condiciones que dificultan la salud de las raíces y pueden activar hongos del suelo.

Investigación

Junto con la Estación Científica Yasuní y el laboratorio del INIAP, se tomaron muestras de raíces y suelo de plantas afectadas y sanas. En el laboratorio, se aisló un hongo identificado como *Fusarium oxysporum* mediante cultivo, microscopía y análisis genético. Al inocular plántulas sanas con este hongo, desarrollaron los mismos síntomas, confirmando que era el causante del daño (Robles Carrión y otros, 2014).

Resultados y conclusiones

La compactación y humedad del suelo, provocadas por el paso constante de personas, crearon un ambiente ideal para que un hongo común se volviera agresivo, afectando también a otras especies como *Inga edulis*. No siempre es fácil distinguir estos síntomas de otras causas, por lo que es vital contar con expertos para detectarlos a tiempo (Martínez Solórzano y otros, 2020).

Este caso muestra cómo incluso una actividad sencilla, como caminar por un sendero, puede alterar el ecosistema y afectar plantas jóvenes. Por eso, es fundamental regular el tránsito de visitantes, usar senderos definidos y aplicar medidas de bioseguridad para proteger el parque.

Quedan preguntas abiertas sobre otros posibles patógenos y la interacción microbiana del suelo, temas clave para proteger la biodiversidad del Yasuní a largo plazo.

9.1.2 Caso 2: Detección de *Trypanosoma cruzi* en marsupiales silvestres

Contexto ecológico y epidemiológico

En 2023, un equipo de investigadores del INABIO y la Universidad IKIAM estudió la salud de la fauna en la zona de borde del Parque Nacional Yasuní, donde el bosque convive con cultivos y viviendas rurales. Estos cambios en el paisaje aumentan el riesgo de que enfermedades silvestres pasen a las personas.

Se enfocaron en la zarigüeya común (*Didelphis marsupialis*), un marsupial que se mueve entre el bosque y áreas humanas, y que puede indicar la presencia del parásito *Trypanosoma cruzi*, causante de la enfermedad de Chagas (Travi y otros, 1994).

Métodos y hallazgos

Capturaron cinco zarigüeyas, tomando muestras de sangre y heces para análisis moleculares y serológicos. Tres animales resultaron infectados y mostraron evidencia de exposición previa al parásito. Estos casos se encontraron cerca de viviendas y cultivos, lo que indica que el parásito circula tanto en el bosque como en zonas cercanas a las personas, probablemente transmitido por insectos vectores ya conocidos en la región.

Implicaciones y recomendaciones

La deforestación y expansión humana facilitan el contacto entre animales, vectores y personas, aumentando el riesgo de contagio. La zarigüeya actúa como puente entre ecosistemas, y es probable que otras especies también participen en esta dinámica (Herrera & Urdaneta Morales, 1992) . Por ello, es vital ampliar la vigilancia, involucrar a las comunidades en prevención y mejorar las viviendas para evitar la entrada de insectos vectores.

Conclusión

Este estudio destaca la importancia de un enfoque integral (One Health) que conecte la salud humana, animal y ambiental. Solo así podremos proteger la rica biodiversidad del Yasuní y la salud de sus comunidades.

9.1.3 Caso 3: Identificación de *Cryptococcus neoformans* en excreta de aves

Contexto ecológico y observaciones iniciales

En 2023, un equipo de investigadores de la Universidad Estatal Amazónica y el INSPI exploró el Parque Nacional Yasuní para buscar microorganismos que puedan afectar la salud humana y animal. Encontraron *Cryptococcus neoformans*, un hongo que puede causar infecciones, en suelos húmedos y sombreados, especialmente donde aves como tucanes y guacamayos descansan, acumulando excrementos.

Este hongo, aunque común en ciudades, es poco conocido en ambientes naturales como la selva amazónica. Puede causar una enfermedad llamada criptococosis, que afecta principalmente a personas con defensas bajas. Su forma microscópica puede estar en el aire y ser inhalada, lo que representa un riesgo para quienes trabajan o visitan estas zonas sin la protección adecuada (Jansen & Roque A, 2010).

Cómo se hizo el estudio

Se tomaron muestras de suelo y guano en cinco sitios con alta actividad de aves. En el laboratorio, se cultivaron y analizaron para confirmar la presencia del hongo, incluso se comparó su ADN con cepas conocidas en otros países.

Resultados y riesgos

De 25 muestras, 12 contenían el hongo, principalmente en lugares oscuros, húmedos y con mucho guano. Las aves no mostraban enfermedad, pero actúan como portadoras pasivas, creando un ambiente donde el hongo puede crecer.

Esto es importante porque la criptococosis puede afectar a personas vulnerables, como quienes tienen VIH o están inmunodeprimidos. En el Yasuní, donde hay comunidades

indígenas, científicos y turistas, el contacto con el polvo contaminado puede ser un riesgo oculto (Anacona y otros, 2018).

Recomendaciones

Se sugiere monitorear estos hongos en el parque, evitar acampar bajo árboles con excrementos, usar protección al manipular suelo y capacitar a quienes trabajan o visitan la zona. Además, se recomienda seguir investigando para entender mejor la presencia y el impacto de este hongo.

Conclusión

Este hallazgo nos recuerda que la naturaleza puede albergar riesgos invisibles y que proteger la salud ambiental es clave para cuidar a las personas y la biodiversidad del Yasuní.

9.1.4 Caso 4: Presencia de *Leptospira* spp. en cuerpos de agua estancados

Contexto ecológico y sanitario

En la temporada de lluvias de 2022, un equipo de la Universidad IKIAM, junto al MSP y el MAATE, investigó la presencia de bacterias peligrosas en aguas estancadas del Parque Nacional Yasuní. Su enfoque se basó en la salud integral de personas, animales y ambiente (One Health) (Romero Vivas & Falconar, 2016).

Se enfocaron en la leptospirosis, una infección que se transmite por contacto con agua contaminada con orina de animales, especialmente roedores. Aunque esta enfermedad es común en zonas urbanas o rurales, su presencia en ecosistemas naturales como la Amazonía es una alerta para la salud pública. Se estudiaron cinco cuerpos de agua con alta humedad y actividad silvestre, cercanos a áreas humanas. Cuatro resultaron positivos para *Leptospira*, bacterias que pueden afectar tanto a animales como a personas.

Qué significa esto para la salud y el parque

La bacteria persiste en el ambiente gracias a condiciones como el calor, la humedad y la presencia de fauna diversa. Las personas que usan estas aguas sin protección tienen riesgo de enfermar.

Por eso, se recomienda:

- Educar sobre los riesgos del contacto con agua estancada.
- Asegurar agua potable y vacunación para quienes trabajan en el parque.
- Monitorear regularmente la calidad del agua y limitar el acceso en épocas de lluvia (Céspedes, 2005).

Reflexión final

Este estudio muestra que, aunque el Yasuní es un ecosistema protegido, no está libre de riesgos sanitarios. La salud humana y la conservación deben ir juntas para prevenir enfermedades. Además, el uso de técnicas moleculares avanzadas permite detectar estas amenazas de forma temprana y efectiva

9.1.5 Caso 5: Contaminación microbiana en cuerpos de agua cercanos a zonas turísticas

Contexto y problema

El Parque Nacional Yasuní es uno de los lugares con mayor biodiversidad del mundo, pero el creciente ecoturismo en zonas como Añangu está generando presión sobre su ambiente. Un impacto preocupante ocurre en sus ríos y lagunas, usados por visitantes para bañarse, pescar o simplemente disfrutar.

Entre octubre de 2022 y febrero de 2023, se evaluó la calidad del agua en cinco sitios con distintos niveles de turismo. Se analizaron bacterias que indican contaminación fecal y se buscó la presencia de *Leptospira*, una bacteria peligrosa para humanos y animales (Hoogesteijn Reul y otros, 2015).

Resultados claves

Los lugares más visitados mostraron altos niveles de bacterias, incluso por encima de lo seguro. En dos sitios se detectó *Leptospira*, incluida una laguna donde la gente se baña. Además, se encontró fauna silvestre que comparte estos mismos espacios, lo que implica riesgos tanto para animales como para personas (Mora Molina & Calvo Brenes, 2010). En cambio, donde hay poco turismo, el agua se mantuvo limpia.

¿Qué significa esto?

Aunque el ecoturismo es una forma de acercarse a la naturaleza, sin un buen manejo puede contaminar el agua y facilitar la transmisión de enfermedades entre humanos y animales.

Recomendaciones

Para cuidar el Yasuní, es vital instalar tratamiento de aguas grises, limitar el contacto humano con el agua en temporadas altas, monitorear regularmente, capacitar a guías y educar a los visitantes sobre el impacto de sus acciones.

Conclusión

El turismo responsable debe ir acompañado de medidas claras para proteger el agua y la vida que depende de ella. Solo así lograremos conservar el Yasuní, para que siga siendo un refugio sano y diverso para las futuras generaciones.

9.2 Conclusiones del capítulo

En este capítulo exploramos cómo, muchas veces en silencio, microorganismos, animales, plantas, clima y personas están conectados en el Parque Nacional Yasuní, uno de los ecosistemas más ricos del mundo. Pequeños cambios pueden alterar todo el sistema.

Los patógenos, lejos de ser solo enemigos, forman parte natural del bosque. Responden al ambiente y pueden afectar la salud del ecosistema sin que lo notemos, poniendo en riesgo la fauna y las comunidades cercanas.

Por ejemplo, el pisoteo constante activa hongos en el suelo que dañan la regeneración de árboles jóvenes. Animales como las zarigüeyas transportan parásitos entre la selva y zonas humanas, mostrando la fragilidad de estos espacios fragmentados. También hay hongos y bacterias que pueden afectar la salud humana y animal.

El turismo mal gestionado introduce contaminantes que amenazan la salud del bosque y sus visitantes. Por eso es fundamental aplicar protocolos de bioseguridad y monitorear constantemente.

Estas experiencias nos enseñan que cuidar la biodiversidad es cuidar suelos, agua, fauna y microorganismos. Involucrar a las comunidades y planificar con visión preventiva es clave para conservar este tesoro natural.

Quedan preguntas abiertas: ¿Qué microorganismos desconocemos? ¿cómo impactará el cambio climático? ¿cómo usar mejor la tecnología y la educación para proteger el Yasuní? Escuchar a los microorganismos es esencial para cuidar este lugar donde la vida y la salud están unidas.

CONCLUSIONES GENERALES DEL LIBRO TÉCNICO: PATÓGENOS EN EL PARQUE NACIONAL YASUNÍ

Este libro ofrece una visión completa sobre la presencia y comportamiento de los patógenos en el Parque Nacional Yasuní, un lugar con una biodiversidad impresionante. Más allá de ver a los patógenos solo como agentes infecciosos, se plantea que son parte vital del ecosistema y reflejan su salud.

En Yasuní, microorganismos con potencial patógeno están presentes en suelos, aguas, plantas y animales, y su diversidad cambia según las estaciones y la actividad humana. Los cambios ambientales como la deforestación, el cambio climático y el turismo descontrolado favorecen la aparición de nuevas enfermedades al alterar las relaciones naturales entre animales, vectores y humanos.

La salud del ambiente, de los animales y de las personas está profundamente conectada. Por eso, cuidar el ecosistema es cuidar la salud humana. Para esto, es fundamental un monitoreo constante y adaptado a cada lugar, usando desde métodos clásicos hasta tecnologías avanzadas.

Las medidas de bioseguridad propuestas no son obstáculos, sino formas prácticas para proteger el parque y a quienes lo visitan o estudian. Los casos estudiados muestran que los riesgos están presentes, incluso en zonas protegidas, por lo que la vigilancia debe ser científica y localizada.

Finalmente, proteger la salud en Yasuní requiere la colaboración de muchas instituciones y comunidades, trabajando juntas con respeto y compromiso. El conocimiento generado debe regresar al territorio para crear campañas, protocolos y acciones concretas que promuevan una cultura de cuidado y prevención, garantizando un desarrollo sostenible en la Amazonía

GLOSARIO

Aerosoles biológicos: Partículas suspendidas en el aire que contienen microorganismos viables.

Agente etiológico: Organismo (virus, bacteria, hongo, parásito) responsable de causar una enfermedad.

Aislamiento microbiano: Separación de un microorganismo específico para su estudio.

Anaerobios: Microorganismos que pueden vivir sin oxígeno.

Análisis metagenómico: Técnica molecular que permite secuenciar el material genético total de una muestra ambiental.

Antagonismo microbiano: Interacción en la cual una especie inhibe el crecimiento de otra.

Antibiograma: Prueba que determina la sensibilidad a antibióticos.

Anticuerpo: Proteína del sistema inmune que reconoce antígenos.

Antígeno: Sustancia que desencadena una respuesta inmunitaria.

Bacteria Gram negativa: Bacteria que no retiene el colorante violeta en la tinción de Gram.

Bacteria Gram positiva: Bacteria que sí retiene el colorante violeta en la tinción de Gram.

Cadena de custodia: Procedimiento que asegura la trazabilidad de las muestras.

Ciclo zoonótico: Transmisión de una enfermedad entre animales y humanos.

Cisticerco: Forma larval de algunos parásitos.

Coliformes fecales: Bacterias indicadoras de contaminación fecal.

Criptococosis: Infección micótica causada por *Cryptococcus neoformans*.

Cultivo celular: Crecimiento de células en laboratorio para estudiar infecciones.

Diagnóstico molecular: Métodos que detectan el ADN o ARN de un organismo.

Endemia: Presencia constante de una enfermedad en una población.

Endoparásito: Parásito que habita en el interior del hospedador.

Enfermedades emergentes: Nuevas enfermedades o aquellas que incrementan su incidencia.

Enfermedades reemergentes: Enfermedades que reaparecen tras haber sido controladas.

Epizootia: Brote epidémico de una enfermedad en animales.

Eutrofización: Exceso de nutrientes en cuerpos de agua.

Exotoxina: Toxina liberada por bacterias al medio externo.

Fase infecciosa: Etapa en la que un patógeno puede causar infección.

Fitopatógeno: Microorganismo que causa enfermedades en plantas.

Fomite: Objeto que transporta patógenos.

Helminetos: Gusanos parásitos.

Hospedador: Organismo que alberga a un patógeno.

Inmunidad cruzada: Protección contra un patógeno debido a otro similar.

Inóculo: Cantidad de microorganismos introducida en un medio.

Latencia: Estado en que el patógeno está presente sin causar síntomas.

Levadura encapsulada: Hongo unicelular rodeado de una cápsula mucosa.

Levadura: Hongo unicelular, algunos de importancia médica.

Macronutrientes del suelo: Nutrientes esenciales para plantas como N, P, K.

Metabolitos secundarios: Compuestos producidos por microorganismos con actividad biológica.

Microhábitat: Espacio reducido con condiciones ecológicas particulares.

Monitorización ecológica: Seguimiento sistemático de variables ambientales.

Mutualismo: Relación beneficiosa entre dos especies.

Nematodo: Gusano redondo, a menudo parásito.

One Health (Una Salud): Enfoque que integra salud humana, animal y ambiental.

Parásito facultativo: Puede vivir libre o como parásito.

Patogenicidad: Capacidad de un patógeno para causar enfermedad.

Patógeno: Microorganismo capaz de causar enfermedad.

PCR en tiempo real: Técnica para cuantificar ADN en tiempo real.

PCR: Técnica para amplificar material genético.

Protozoarios: Microorganismos eucariotas unicelulares.

Reservorio: Organismo o ambiente donde un patógeno sobrevive.

Saprófito: Organismo que se alimenta de materia orgánica muerta.

Secuenciación genética: Determinación del orden de nucleótidos en ADN.

Sentinela: Especie usada para monitorear amenazas sanitarias.

Tinción de Gram: Método de clasificación bacteriana.

Toxina: Sustancia venenosa producida por organismos vivos.

Transmisión vectorial: Propagación de un patógeno a través de un vector.

Vector biológico: Organismo que transmite patógenos entre hospedadores.

Vigilancia epidemiológica: Seguimiento de enfermedades en poblaciones.

Zona de amortiguamiento: Área de transición entre zonas protegidas y áreas intervenidas.

Zoonosis: Enfermedad transmitida entre animales y humanos.

BIBLIOGRAFÍA

- Abad GallardoSofiaClaudia. (2020 agosto). Incidence of Avian Malaria on Wild Birds in Humid Premontane. Repositorio yachaytech: <https://repositorio.yachaytech.edu.ec/bitstream/123456789/262/1/ECBI0044.pdf>
- Acha,N Pedro, & Szyfres Boris. (2001). Zoonosis y enfermedades transmisibles comunes al hombre y a los animales. vol. 1 - Bacteriosis y micosis. SCIELO, 43(6), 398. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S0036-46652001000600015>
- Agudelo Piedad, Botero David, & Palacio Guillermo Luis. (2005). Evaluación del método ELISA de punto para el diagnóstico de la cisticercosis humana y para estimar valores de prevalencia en una región endémica en Colombia. Biomédica, 25(4). <https://doi.org/https://doi.org/10.7705/biomedica.v25i4.1375>
- Aguirre A.A, & alet. (2020). One Health responses to emerging infectious diseases. Revista Panamericana de Salud Pública, 42, e22.
- Aguirre A.A, OstfeldSR, TaborMG, HouseC, PearlCM, & DelwartE. (2012). Conservation medicine and emerging infectious diseases: from humans to ecosystems. Springer.
- Alarcón Becerra Omar Jhony, Bustamante Campaña Jimena Ariana, Heredia Talledo Estefanía Marcia, & Yacarini Martínez Enrique Antero. (2023). One Health y bioética: desafíos hacia la integración en salud. Apuntes de Bioética, 6(2), 99-112. <https://doi.org/https://10.35383/apuntes.v6i2.1000>
- Alberts Bruce, Johnson Alexander, Lewis Julian, Raff Martin, Roberts Keith, & Walter Peter. (2002). Molecular Biology of the Cell. 4th edition. Garland Science. <https://doi.org/https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK26917/>
- Altizer S, Ostfeld SR, Johnson P JT, Kutz S, & Harvell DC. (2013). Climate change and infectious diseases: From evidence to a predictive framework. Science, 341(6145), 514–519. <https://doi.org/https://doi.org/10.1126/science.1239401>
- Amend Rodolfo Marcos, Reid John, & Gascon Claude. (2007). Benefícios econômicos locais de áreas protegidas na região de Manaus, Amazonas. REDESMA. https://doi.org/https://cebem.org/revistaredesma/vol2/pdf/articulos/redesma02_art07.pdf
- Anacona Cristian, González CE, Fabiola, Vásquez A Reinel Luis, & Escandón Patricia. (2018). First isolation and molecular characterization of *Cryptococcus neoformans* var. *grubii* in excreta of birds in the urban perimeter of the Municipality of Popayán,

- Colombia. *Revista Iberoamericana de Micología*, 35(1), 123-129.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.riam.2018.01.005>
- Anderson R, & May R. (2020). *Infectious diseases of humans: Dynamics and control*. Oxford University Press.
- Andrade Medina F, & al.et. (2022). Estudio de la micobiota del suelo en áreas con diferente grado de intervención en el PNY. Universidad San Francisco de Quito
 Datos no publicados.
- Andrade Mendoza Karen . (2009). Las áreas naturales protegidas frente a la actividad hidrocarburífera. Las organizaciones ambientalistas y la gobernanza ambiental en el Ecuador. El caso del Parque Nacional Yasuní. *Revista Latinoamericana De Estudios Socioambientales*(3), 14-16.
<https://doi.org/https://doi.org/10.17141/letrasverdes.3.2009.827>
- Angulo Silva Manuel Víctor. (2000). Aspectos ecológicos de la enfermedad de chagas en el oriente de Colombia. *Mvz Cordoba*, 5(1), 64-68.
<https://doi.org/10.21897/RMVZ.545>
- Armas Chugcho Abigail Patricia, Chamorro Patricio Washington, & Toscano Salazar Eduardo Víctor. (2021). Calidad de agua del río Puyo y afluentes, Pastaza, Ecuador. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 12(3). <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2021-03-10>
- Arria Melissa, Rodríguez Morales J Alfonso, & Franco Paredes Carlos. (2005). Ecoepidemiología de las enfermedades tropicales en países de la Cuenca Amazónica. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*, 22(3).
<https://doi.org/0.17843/RPMESP.2005.223.999>
- Arrova Gonzales Karol, Angamarca Monar María, & Moreira Chiriap Jessica. (2020). Biodiversidad y turismo: Una propuesta para mejorar la economía, Parque Nacional Yasuní Biodiversity and tourism: A proposal to improve the economy, Yasuní National Park. *Green World Journal*, 3(1).
https://www.researchgate.net/publication/343167602_Biodiversidad_y_turismo_Una_propuesta_para_mejorar_la_economia_Parque_Nacional_Yasuni_Biodiversity_and_tourism_A_proposal_to_improve_the_economy_Yasuni_National_Park
- Balsalobre Arenas Luz , & Alarcón Caverro Teresa . (2017). Diagnóstico rápido de las infecciones del tracto gastrointestinal por parásitos, virus y bacterias. *ELSEVIER*, 35(6), 367-376. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.eimc.2017.01.002>

- Barcellos C, & Sabroza P.C. (2001). The place behind the case: Leptospirosis risks and associated environmental conditions in a flood-related outbreak in Rio de Janeiro. *Cadernos de Saúde Pública*, 17, 59-67. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S0102-311X2001000700014>
- Bardosh et al K.,. (2020). The COVID-19 pandemic and One Health: why a paradigm shift is needed. *The Lancet Planetary Health*, 9(4), e384–e385.
- Barrat Charlaix Pierre, & Neher A Richard. (2024). Eco-evolutionary dynamics of adapting pathogens and host immunity. *eLife*(13), 1-33. <https://doi.org/https://doi.org/10.7554/eLife.97350.3>
- Bass S Margot, Finer Matt, Jenkins N Clinton, Kreft Holger, Cisneros Heredia F Diego, Mc Cracken F Shawn, Pitman C Nigel, English H Peter, Swing Kelly, Villa Gorky, Di Fiore Anthony, Voigt C Christian, & Kunz H Thomas. (2010). Global Conservation Significance of Ecuador's Yasuní National Park. *Plosone*, 5(1), 8767. <https://doi.org/https://doi.org/10.1371/journal.pone.0008767>
- Bautista Francisco, Palacio Luis José, & Delfín Hugo. (2011). Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales (2011). CIGA. <https://doi.org/https://doi.org/10.22201/ciga.9786070221279p.2011>
- Belezaca Pinargote Carlos, Solano Apuntes Edison, López Tobar Rolando, Baque Mite Renato, Ávila Loo Adrián, Córdor Jiménez María, Bohórquez Barros Tito, & Dueñas Alvarado Darío. (2018). Hongos fitopatógenos asociados a la enfermedad de marchitez vascular y muerte regresiva en plantaciones de *Tectona grandis*. *FITOPATOLOGÍA*, 33(2), 17-29. <https://doi.org/10.22370/bolmicol.2018.33.2.1410>
- Belezaca Pinargote Carlos, Suarez Capello Carmita, & Vera Danilo. (2011). HONGOS FITOPATÓGENOS ASOCIADOS A LA ENFERMEDAD DE MUERTE REGRESIVA Y PUDRICIÓN DEL FUSTE DE PACHACO (*Schizolobium parahybum*) EN EL TRÓPICO HÚMEDO ECUATORIANO. *Boletín Micológico*, 26(11), 11-22. <https://doi.org/10.22370/bolmicol.2011.26.0.65>
- Bermúdez CE Sergio, Varela Petrucelli Joao, & Montenegro M Víctor. (2023). La fauna silvestre atropellada como recurso para estudios de patógenos. Una revisión bibliográfica. *FAVE Sección Ciencias Veterinarias*, e0022(22). <https://doi.org/10.14409/favecv.2023.22.e0022>
- Blanco Meneses Mónica . (2024). Identificación molecular de microorganismos en cultivos agrícolas, ornamentales y forestales en Costa Rica, 2009-2018. Parte 2. Agronomía

Mesoamericana, 35(57347), 2215-3608.
<https://doi.org/https://doi.org/10.15517/am.2024.57347>

- Brewster M Marcia, & Coronel Tapia Lorena. (2012). Water Fund Mechanisms for Watershed Protection Ecuador. <https://doi.org/https://www.nautilus-international.com/wggcasestudies/wggecuador.pdf#:~:text=international,faecal%20contamination%20in%20the>
- Buck C Julia, & Ripple J William. (2017). Infectious Agents Trigger Trophic Cascades. Trends in ecology y evolution, 32(9), 681-694.
<https://doi.org/10.1016/j.tree.2017.06.009>
- Burton A G, & Jr.alet. (2015). Toward sustainable environmental quality: Priority research questions for North America. Environmental Toxicology and Chemistry, 34(4), 699–711. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/etc.2886>
- Burton C., et alA. (2015). Wildlife camera trapping: a review and recommendations for linking surveys to ecological processes. Journal of Applied Ecology, 52(3), 675–685.
- Bustos Meza Ezequiel Samuel, Sánchez Gómez Ezequiel Isaías, Lanuza Rodríguez Hazael Eliézer, & Moreira Centeno Iván Roger. (2024). Identificación de bacterias fitopatógenas y su relación con la germinación de semillas de maíz. La calera, 24(43). <https://doi.org/https://doi.org/10.5377/calera.v24i43.18779>
- Butterworth M Frank, Gunatilaka Amara, & Gonsebatt Eugenia María. (2001). Biomonitoring and Biomarkers as Indicators of Environmental Change 2. Environmental Science Research. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1305-6>
- Cabezas César. (2015). Enfermedades infecciosas emergentes-reemergentes y sus determinantes. Rev Peru Med Exp Salud Publica, 32(1), 7-8.
<https://doi.org/https://doi.org/10.17843/rpmesp.2015.321.1567>
- Cadena Héctor, & Brito Jorge. (2016). New records of Isothrix (Wagner 1845) (Rodentia: Echimyidae) from Ecuador. ResearchGate, 80(6), 663-666.
<https://doi.org/10.1515/mammalia-2015-0161>
- Calegar A Deiviane, Nunes C Beatriz, Monteiro J.L Kerla, Bacelar A.A Polyanna, & Evangelista B.C Brenda. (2022). Genotypic and Epidemiologic Profiles of Giardia duodenalis in Four Brazilian Biogeographic Regions. MedPub, 10(5), 940.
<https://doi.org/10.3390/microorganisms10050940>

- Calero Torralbo Ángel Miguel. (2011 Mayo 17). Factores ecológicos y mecanismos implicados en la variabilidad de la interacción entre un ectoparásito generalista (Carnus Hemapterus) y sus hospedadores. Departamento de Biología Animal: <http://www.eeza.csic.es/documentos/tesis/TESIS%20MACALERO%20VERSION%20DIGITAL.pdf>
- Cano M, & Pérez L. (2021). Impacto de las actividades petroleras en la biodiversidad del Parque Nacional Yasuní. *Revista Ecuatoriana de Ecología*, 1(28), 45-60.
- Cardoso Ferreira Letícia, Ribeiro de Almeida Josimar, Alencar de Aguiar Laís, Santos Matta Patrícia, Ferreira Leal Rodrigo, & Couto Pereirado Raphael. (2024). DIRECTRICES GENERALES PARA ELABORACIÓN DE PLANOS DE MONITOREO AMBIENTAL. *Revista Internacional De Ciências*, 14(2), 94–107. <https://doi.org/https://doi.org/10.12957/ric.2024.88178>
- Carroll D, & alet. (2018). The global virome project. *Science*, 359(6378), 872–874.
- Carvajal José María. (2025 Enero 8). IADB. Water Transforms Lives in Rural Communities of Ecuador: <https://blogs.iadb.org/agua/en/water-transforms-lives-in-rural-communities-of-ecuador/#:~:text=Statistics%20and%20Census%20,drinking%20water%20for%20human%20consumption>
- Cassel Júlia, Pimenta Bruna, Luiz Ludwig Rodrigo, & Batista dos Santos Daniela. (2013). ASPECTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E GENÉTICOS NA INTERAÇÃO PATÓGENO PLANTA HOSPEDEIRA. *FISIOLOGIA DO PARASITISMO: A RELAÇÃO PLANTA-PATÓGENO* (30-45). <https://doi.org/10.22533/at.ed.2962324084>
- Castillo Monroy P Andrea, & Maestre Fernando. (2011). La costra biológica del suelo: Avances recientes en el conocimiento de su estructura y función ecológica. *Revista Chilena de Historia Natural*, 84, 1-21. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2011000100001>
- Cavia R, Cueto G.R, & Suárez O.V. (2019). Changes in rodent communities according to the landscape structure in an urban ecosystem. *Landscape and Urban Planning*, 90(1-2), 11-19. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.10.017>
- Ceballos Adrián Leonardo. (2010 Junio). Ciclo silvestre de transmisión de Trypanosoma cruzi en el noroeste de Argentina. *Binlioteca digital FCEN UBA*:

https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n4703_Ceballos.pdf?utm_source=chatgpt.com

- Céspedes Manuel. (2005). LEPTOSPIROSIS: ENFERMEDAD ZOONÓTICA REEMERGENTE. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 22(4), 290–307. <https://doi.org/https://doi.org/10.17843/RPMESP.2005.224.1009>
- CFSPH. (2020). Piscine Mycobacteriosis. Iowa for Food Security and Public Health (CFSPH) de la Universidad Estatal de Center, *Mycobacterium marinum*. Iowa State University.
- Chauca Pozo Anabel Cristina, Soto Aguirre Leonardo Ronald, & López Sánchez Reynaldo Rodrigo. (2016). Modelo de turismo sostenible para la no dependencia petrolera en el Yasuní. (7), 220-235. <https://www.semanticscholar.org/paper/MODELO-DE-TURISMO-SOSTENIBLE-PARA-LA-NO-DEPENDENCIA-Pozo-Aguirre/fa833b08b80c288e603b58392e1fa300bceb9812>
- Chaves L.F, & Koenraadt C.J. (2010). Climate change and highland malaria: Fresh air for a hot debate. *The Quarterly Review of Biology*, 1(85), 27-55. <https://doi.org/https://doi.org/10.1086/650020>
- Chaves L.F, Pascual M, & Gubler D.J. (2020). Climate change and vector-borne diseases: A global modeling perspective. *The Lancet*, 396(10263), 1079 – 1080. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)32074-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)32074-3)
- Chinchilla C.M, & Orozco J.I. (2011). Diagnóstico fitopatológico de la palma africana: enfermedades y su control. *Revista Palmas*, 32(2), 7-18.
- Cisneros Heredia D.F. (2020). Amphibian diversity and conservation in the Yasuní Biosphere Reserve. *Herpetological Conservation and Biology*, 3(15), 500-512.
- Civitello J David, Cohen Jeremy, Fatima Hiba, & Rohr R. Jason. (2015). Biodiversity inhibits parasites: Broad evidence for the dilution effect. *PNAS*, 28(112), 8667-8671. <https://doi.org/https://doi.org/10.1073/pnas.1506279112>
- Cornejo Rivas Enrique Pablo, & Ávila Salem Eugenia María. (2024). Dossier: Suelo y microorganismos. *SIEMBRA Universidad Central del Ecuador*, 11(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.29166/siembra.v11i2.7275>
- Coronato Nunes Beatriz, Monteiro A Fernando, Bóia N. Márcio, Carvalho Costa A. Filipe, Jaeger H. Lauren, Pavan G. Márcio, Monteiro J. L. Kerla, & Xavier C. C. Samanta. (2016). encontraron una prevalencia del 17 – 18 % de infección por *Giardia*

- intestinalis en pobladores de la Amazonía brasileña, mucho mayor a la media nacional. PLoS ONE, 11(7), 1-8. <https://doi.org/doi:10.1371/journal.pone.0158805>
- Corrêa Scheffer Karin, Lamamoto Keila, Miyuki Asano Karen, Mori Enio, Estevez Garcia Isabel Andrea, Achkar M Samira, & Oliveira Fahde Willian. (2014). Murciélagos hematófagos como reservorios de la rabia. Rev Peru Med Exp Salud Publica, 31(2), 302-9. <https://www.semanticscholar.org/paper/Murci%C3%A9lagos-hemat%C3%B3fagos-como-reservorios-de-la-Scheffer-Lamamoto/e692cee9ad0d9e026d3db598df1343b1bdf46493>
- Corriale María J, Orozco María M., & Jiménez Perez Ignacio. (2013). PARÁMETROS POBLACIONALES Y ESTADO SANITARIO DE CARPINCHOS (*Hydrochoerus hydrochaeris*) EN LAGUNAS ARTIFICIALES DE LOS ESTEROS DEL IBERÁ. Semantic Scholar, 20(1), 31-45.
- Costa de Oliveira Fabiano, Santos Röhnelt Mariele Nicole, Fiscoeder Ritzel Gabriele Rute, Da Silva Heck Moraes Tatiana, & Staggemeier Rodrigo. (2020). VIROSES ENTÉRICAS: PRINCIPAIS PATOLOGIAS DE VEICULAÇÃO HÍDRICA E SUAS MANIFESTAÇÕES CLÍNICAS. Revista Conhecimento Online, 1, 191–217. <https://doi.org/https://doi.org/10.25112/rco.v1i0.1598>
- Cotes Prado Marina Alba, Zapata Narváez Alexander Yimmy, Beltrán Acosta Rubén Camilo, Uribe Gutiérrez Sadao Kobayashi, & Uribe Gutiérrez Alejandra Liz. (2018). Control biológico de patógenos foliares. AGROSAVIA. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/20.500.12324/34058>
- Cueva R, & Jaramillo V. (2020). Oil extraction and deforestation in the Yasuní National Park. Environmental Science & Policy, (108), 1-9. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.03.005>
- Cunningham A. Andrew. (1996). Disease Risks of Wildlife Translocations. Conservation Biology. <https://doi.org/https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1996.10020349.x>
- Darquea Bustillos Nicolai Enrique. (2019 Julio). Influencia de la estacionalidad en la diversidad de Culícidos (Diptera: Culicidae) en el Parque Nacional Yasuní y sus implicaciones epidemiológicas. Repositorio institucional Universidad Central del Ecuador: <https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/060ec395-6fdc-4551-acf1-f7743ed0d911/content>

- Daszak P, Cunningham A.A, & Hyatt A.D. (2000). Wildlife ecology and emerging infectious diseases. *Nature*, 407(6805), 905-909.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1038/35038039>
- De la TorreS, & SnowdonC. (2020). Primate conservation in the Ecuadorian Amazon: Challenges and opportunities. *International. Journal of Primatology*, 2(41), 123-140.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10764-020-00134-5>
- Delgado A, & Alonso O. (1994). Las enfermedades fungosas en los pastos tropicales.
- Destoumieux Garzón D, & alet. (2018). The One Health concept: 10 years old and a long road ahead. *Frontiers in Veterinary Science*, 5, 14.
- DISCOVER. (2017 Septiembre 06). Massive wetland in Ecuador protected at last. Designating massive site under global Ramsar Convention is big win for wetlands conservation:
https://wwf.panda.org/wwf_news/?310414/Largest%2Dwetland%2Din%2DEcuador%2Dprotected%2Dat%2Dlast#:~:text=Formed%20by%20hundreds%20of%20rivers%2C,and%20167%20species%20of%20mammals
- Do Rosário Casseb Alexandre, Neves Casseb Medeiros Livia, da Costa Vasconcelos Fernando Pedro, & Patroca Silva Sandro. (2013). Arbovírus: importante zoonose na Amazônia brasileira. *Veterinária e Zootecnia*, 20(3).
https://www.researchgate.net/publication/285851225_Arbovirus_importante_zoonose_na_Amazonia_brasileira
- Dobson A.P, & alet. (2020). Ecology and economics for pandemic prevention. *Science*, 369(6502), 379–381.
- Dreher M Ralf, & Podratzki Bernd. (1988). Development of an enzyme immunoassay for endosulfan and its degradation products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 36(5). <https://doi.org/https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf00083a040>
- Echeverría Valencia Gabriela. (2021). Las zoonosis y la investigación como parte de la inversión en la salud pública. *Revista Universitaria con proyección científica, académica y social*, 5(3).
<https://doi.org/https://doi.org/10.31243/mdc.uta.v5i3.1196.2021>
- Egan Siobhon, Barbosa D Amanda, Feng Yaoyu, Xiao Lihua, & Ryan Una. (2024). The risk of wild birds contaminating source water with zoonotic *Cryptosporidium* and *Giardia* is probably overestimated. *ELSEVIER*, 912.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169032>

- Escofei Crespo P.E, Agín Casal O, & Mansilla Vázquez J.P. (2006). Detección e identificación por técnicas moleculares de especies del género "Armillaria" a partir de muestras de suelo. *Sanidad Vegetal Plagas*, 32(2), 231-240. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2107089>
- Escofet Crespo Paula, Aguin Casal Olga, & Mansilla Vázquez Pedro José. (2006). Detección e identificación por técnicas moleculares de especies del género "Armillaria" a partir de muestras de suelo. *Dialnet*, 32(2), 231-240. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2107089>
- Espinosa Cristina. (2013). The riddle of leaving the oil in the soil—Ecuador's Yasuni-ITT project from a discourse perspective. *Elsevier*, 36, 27-36. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forpol.2012.07.012>
- Estepa Becerra Alexander José, Márquez Nossa Camila Andrea, & Fernández Cantor Mauricio Oscar. (2022). “Humanos y animales compartimos muchas cosas ...” Zoonosis: vigilando más allá de la rabia. *Boletín Epidemiológico Distrital*, 19(2), 5-15. <https://doi.org/10.56085/01238590.544>
- Eugenio Cinta, Montoya Torres Jacid, Akizu Gardoki Ortzi, Urkidi Leire, Villalba Eguiluz Unai, Larrea Carlos, Pappuccio Sylvia, Calle Angélica, & Quirola Dania. (2024). Environmental impacts of oil extraction in blocks 16 and 67 of the Yasuní Reserve in the Amazonian Forest: Combined qualitative and Life-Cycle Assessment. *PubMed*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175189>
- FAO-OIE-WHO. (2021). Tripartite guide to addressing zoonotic diseases in countries.
- Ferraguti I Martina, Martinez de la Puente Josue, Jiménez Clavero Ángel Miguel, Llorente Francisco, Roiz David, Ruiz Santiago, Soriguer Ramón, & Figuerola Jordi. (2021). A field test of the dilution effect hypothesis in four avian multi-host pathogens. *Plos pathogens*, 6(17). <https://doi.org/https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1009637>
- Ferrer Sánchez Yarelys, Mafaldo Sajami Amelita Ayda, Plasencia Vázquez Herminio Alexis, & Urdánigo Zambrano Pablo Juan. (2022). Riesgo para el cultivo de cacao por los cambios en la distribución potencial del fitopatógeno *Moniliophthora perniciosa* bajo escenarios de cambio climático en Ecuador continental. *TERRA LATINOAMERICANA*, 40. <https://doi.org/https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1338>

- Ferrer Elizabeth. (2015). Técnicas moleculares para el diagnóstico de la enfermedad de chagas. *Scielo*, 27(3), 359-371. https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1315-01622015000300002&script=sci_arttext
- Finer M, Jenkins C.N, Pimm S.L, Keane B, & Ross C. (2014). Logging concessions enable illegal logging crisis in the Peruvian Amazon. *Scientific Reports*, 4, 4719. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/srep04719>
- Fundación Biodiversidad Amazónica. (2021). Informe técnico sobre leptospirosis ambiental en zonas de selva húmeda tropical ecuatoriana.
- Gallego Jaramillo María Liliana, Heredia Martínez Luz Henny, Salazar Hernández José Juan Carlos, Hernández Muñoz María Tulia, Naranjo García Margarita María, & Suárez Hurtado Leonardo Benny. (2014). Identificación de parásitos intestinales en agua de pozos profundos de cuatro municipios. Estado Aragua, Venezuela. 2011-2012. *Portal Regional da BVS*, 66(2), 164-173. <https://doi.org/https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-731969>
- Gamboa Camacho Celina Nicole, Del Valle Peña Rosas Gloria, & Castro Demera Alejandro Dick. (2024). Impacto de enfermedades infecciosas parasitarias en niños: Estudio en una. *Mas Vita*, 6(4), 08-20. <https://doi.org/https://doi.org/10.47606/ACVEN/MV0247>
- García Peña G.E, Rico Chávez O, & Suzán G. (2019). The (Re-)Emergence and Spread of Viral Zoonotic Disease. *Frontiers in Public Health*, 7, 166. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fpubh.2019.00166>
- Garnier R, & alet. (2020). From sanctuary to surveillance: understanding emerging disease risks in the era of ecotourism. *Trends in Ecology & Evolution*, 35(2), 110–123.
- Gasparotto Luadir. (2022). Fitopatógenos habitantes ou transeuntes do solo na Amazônia. *Studies in Environmental and Animal Sciences*, 3(4), 953-968. <https://doi.org/10.54020/seasv3n4-010>
- Gavier Widen Dolores, Ferroglio Ezio, Smith Graham, Gonçalves Catarina, Vada Rachele, Zanet Stefania, & Gethöffer Friederike. (2023). Recommendations and technical specifications for sustainable surveillance of zoonotic pathogens where wildlife is implicated. **EXTERNAL SCIENTIFIC REPORT**. <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2023.EN-7812>

- Gilbert G.S. (2002). Evolutionary ecology of plant diseases in natural ecosystems. *Annual Review of Phytopathology*, 40(1), 13-43. <https://doi.org/https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.40.120501.101233>
- Gomes Leitede Oliveira Natanielle, Bispo Chagas Aleyres, Alves da Costa Layse Marília, Alves Farias Roberta Laryssa, Lima Cunha Amanda, Do Nascimento Rocha Alencar Mabel, & Alencar do Nascimento Maria Cicera. (2020). Influências das interações Patógeno- Hospedeiro- Meio Ambiente nas funções Biológicas das plantas. *RSD*, 9(10). <https://doi.org/https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8126>
- Gómez Ortega Carlos Luis, Muñoz Guerrero Nathalia María, & Soto Alegría Fernanda Luisa. (2018). Sistema de Alerta Temprana Ambiental y Efectos en Salud – SATAES: una herramienta para la acción. *IQUEN INFORME QUINCENA LEPIDEMIOLOGICO NACIONAL*, 23(2). <https://doi.org/https://www.ins.gov.co/buscador-eventos/IQEN/IQEN%20vol%2023%202018%20num%202.pdf>
- Gonzalez Pedraza Jose, Pereira Sanandres Nicole, Soto Varela Zamira, Hernández Aguirre Enio, & Villarreal Camacho José. (2014). Aislamiento microbiológico de *Salmonella* spp. y herramientas moleculares para su detección. *Repositorio UCC*, 30(4), 73-94. <https://doi.org/https://hdl.handle.net/20.500.12494/1681>
- González A, & Ramírez G. (2021). Climate change and its effects on Amazonian biodiversity. *Environmental Research Letters*, 4(16), 045001. <https://doi.org/https://doi.org/10.1088/1748-9326/abf0c2>
- González C.A, Smith J.D, & Lee M.T. (2020). Advances in diagnostic antibody development: Challenges and innovative strategies. *Nature Methods*, 17(10), 1001–1007. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41592-020-0920-4>
- Gottdenker L Nicole, Streicker GDaniel, FaustLChristina, & Carroll OC.R. (2014). Anthropogenic Land Use Change and Infectious Diseases: A Review of the Evidence. *Ecohealth*, 11(4), 619–632. <https://doi.org/10.1007/s10393-014-0941-z>
- Graeff Teixeira Carlos, Loureiro Morassutti Alessandra, & Kazacos R Kevin. (2016). Update on Baylisascariasis, a Highly Pathogenic Zoonotic Infection. *PubMed Central*, 2(29), 375–399. <https://doi.org/10.1128/CMR.00044-15>
- Guerrero Raquel, Risco Gabriela, Cevallos Orly, Villamar Ronald, & Peñaherrera Sofia. (2020). Extractos vegetales: una alternativa para el control de enfermedades en el

- cultivo de cacao (*Theobroma cacao*). *Revista Ingeniería e Innovación*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.21897/23460466.2326>
- Gutiérrez López Rafael. (2018). Impact of the interactions between hosts vectors and pathogens on the transmission of avian malaria and flavivirus by mosquitoes. *Parasites & Vectors*, 11(437). <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s13071-018-2764-4>
- Gutiérrez Roberto. (2020 Marzo 12). Cambio climático y deforestación, causas de enfermedades emergentes. GASETA UNAM: https://www.gaceta.unam.mx/cambio-climatico-y-deforestacion-causa-de-enfermedades-emergentes-en-mexico/?utm_source=chatgpt.com
- Guynup Sharon. (2023). The Growing Latin America-to-Asia Wildlife Crisis Can targeted action stop illegal trade in time to prevent widespread losses? *Harvard review of latin america*. https://revista.drclas.harvard.edu/the-growing-latin-america-to-asia-wildlife-crisis-can-targeted-action-stop-illegal-trade-in-time-to-prevent-widespread-losses/?utm_source=chatgpt.com
- Guzman Adrian Oscar, Castaño Zapata Jairo, & Villegas Estrada Bernardo. (2009). DIAGNÓSTICO DE ENFERMEDADES DE PLANTAS DE ORIGEN BIÓTICO. *agron*, 17(2), 7-24. https://www.researchgate.net/publication/271202837_DIAGNOSTICO_DE_ENFERMEDADES_DE_PLANTAS_DE_ORIGEN_BIOTICO
- Guzmán Diego, Diaz A Eduardo, Saenz Carolina, & Alvarez Gonzalo Hernan. (2024). Domestic dogs in indigenous Amazonian communities: Key players in *Leptospira* cycling and transmission? *ResearchGate*, 4(18), 1-17. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0011671>
- Heredia Marco, Cayambe Jhenny, Schorsch Clint, Toulkeridis Theofilos, Barreto Deniz, Poma Paulina, & Villegas Gladys. (2021). Multitemporal Analysis as a Non-Invasive Technology Indicates a Rapid Change in Land Use in the Amazon: The Case of the ITT Oil Block. *MDPI environments*, 12(8), 139. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/environments8120139>
- Hernández Castán J, Mendoza Caballero W, González Bonilla G.T, Mattos Olavarria J, Seijas Davila G, Hernández Silva D.A, Espinoza Vizcarra D, & Gámez Virues A. (2023). Sistemas coordinados para el monitoreo de la biodiversidad: un enfoque

- multiescalar unificado en paisajes forestales. *Biotempo*, 20(2).
<https://doi.org/https://revistas.urp.edu.pe/index.php/Biotempo/article/view/5987>
- Hernández Rentería Eduardo Patricio. (2020). La Iniciativa Yasuní-ITT: una oscura lección sobre ética y desarrollo. *RFJ Revista facultad de jurisprudencia*, 1(7), 208-244. <https://doi.org/https://doi.org/10.26807/rfj.v7i7.270>
- Herrera Feijoo J Robinson . (2024). Principales amenazas e iniciativas de conservación de la biodiversidad en Ecuador. *Jesser*, 4(1).
<https://doi.org/https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v4/n1/85>
- Herrera L, & Urdaneta Morales S. (1992). *Didelphis marsupialis*: a primary reservoir of *Trypanosoma cruzi* in urban areas of Caracas, Venezuela. *Annals of Tropical Medicine & Parasitology*, 86(6).
<https://doi.org/https://doi.org/10.1080/00034983.1992.11812716>
- Hofstede R.G, & Segarra P. (2018). Ecosystem services in the Ecuadorian Amazon : A review. *Ecosystem Services*(33), 1-10.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.07.002>
- Honda R Jennifer, Viridi Ravleen, & Chan D Edward. (2018). Global Environmental Nontuberculous Mycobacteria and Their Contemporaneous Man-Made and Natural Niches. *PubMed Central*, 30(9). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02029>
- Hoogesteijn Reul Lydia Almira, Febles Patrón Luis José, & Nava Galindo Amapola Violeta. (2015). La contaminación fecal en cenotes de interés turístico y recreacional del estado de Yucatán. *ingeniería—Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán*, 19(3), 169-175.
- Horwich R.H, & Lyon J. (2007). Community conservation: practitioners' answer to critics. *Oryx*, 41(3), 376–385.
- INAMHI. (2022). Informe de situación No. 31 – Época lluviosa a nivel nacional (01/10/2021 – 06/02/2022) Quito, Ecuador. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología:
https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/2022/02/SITREP-No-31-Epoca_Lluviosa-01102021_-06022022.pdf
- Iniesta Albentosa Margarita, Herrera David, Serrano Jorge, & Sanz Alonso Mariano. (2008). Análisis de los factores de virulencia de los patógenos de asociación fuerte con la periodontitis. *Dialnet*, 18(2), 109-115.

- Instituto Nacional de Salud Pública (INSP). (2023). Informe sobre resistencia bacteriana en aguas superficiales de la Amazonía ecuatoriana.
- Janeway C.A, Travers P, & Walport M. (2001). Immunobiology: The Immune System in Health and Disease. 5th edition. Fifth. <https://doi.org/https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK27114/>
- Jankowiak Robert, Stępniewska Hanna, Błażewski Piotr, & Hausner Georg. (2025). Fusarium species associated with naturally regenerated *Fagus sylvatica* seedlings affected by *Phytophthora*. *European Journal of Plant Pathology*, 171(4), 661-681. <https://doi.org/10.1007/s10658-024-02975-1>
- Jaramillo Carrión Isabel María. (2019). Identificación de Posibles Impactos Medioambientales y Sociales del Turismo en Ecuador, Caso Concreto Parque Nacional Yasuní. *EDICIONES COMPLUTENSE*, 22, 231-244. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5209/OBMD.67070>
- Johnson A.S. Michael, Smith Hannah, Joseph Priya, Gilman H. Robert, Bautista T. Christian, Campos J. Kalina, Cespedes Michelle, Klatsky Peter, Vidal Carlos, Terry Hilja, Calderon M. Maritza, Coral Carlos, Cabrera Lilia, Parmar S. Paminder, & Vinetz M. Joseph. (2004). Environmental Exposure and Leptospirosis, Peru. *National Center of Biotechnology Information*, 10(6), 1016-1022. <https://doi.org/10.3201/eid1006.030660>
- Jones. EK, Patel N.G, Levy M.A, Storeygard A, Balk D, Gittleman J.L, & Daszak P. (2008). Global trends in emerging infectious diseases. *Nature*, 451(7181), 990–993. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/nature06536>
- Katsuragawa T.H, Soares Gil Herman Luiz, Tada M.S, & Silva.DL. (2008). Endemias e epidemias na Amazônia: malária e doenças emergentes em áreas ribeirinhas do Rio Madeira. Um caso de escola. *SCIELO*, 22(64). <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000300008>
- Keesing F, Holt R.D, & Ostfeld R.S. (2006). Effects of species diversity on disease risk. *Ecology Letters*, 4(9), 485–498. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2006.00885.x>
- Knight R, & alet. (2018). Best practices for analysing microbiomes. *Nature Reviews Microbiology*, 16(7), 410–422.
- Ko A.I, Goarant C, & Picardeau M. (2009). Leptospira: The dawn of the molecular genetics era for an emerging zoonotic pathogen. *Nature Reviews Microbiology*, 7(10), 736-747. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/nrmicro2208>

- Köster Carolina Pamela, Malheiros F Antonio, Shaw J Jeffrey, Balasegaram Sooria, Prendergast Alexander, & Lucaccioni Héloïse. (2021). Multilocus Genotyping of *Giardia duodenalis* in Mostly Asymptomatic Indigenous People from the Tapirapé Tribe, Brazilian Amazon. PubMed Central, 10(2), 206. <https://doi.org/10.3390/pathogens10020206>
- Kruk Carla, Piccini Claudia, Segura Angel, Nogueira Lucía, Carballo Carmela, Martinez de la Escalera Siri Gabriela, Calliari Danilo, Ferrari Graciela, Simoens Macarena, Cea Jacqueline, Alcántara Ignacio, Vico Paula, & Miguez Diana. (2015). Herramientas para el monitoreo y sistema de alerta de floraciones de cianobacterias nocivas: Río Uruguay y Río de la Plata. Río Uruguay y Río de la Plata. INNOTEC, 23–39. <https://doi.org/https://doi.org/10.26461/10.02>
- Lara Posadas Victoria Soledad, & Núñez Sánchez Enrique Ángel. (2015). Nematodos fitoparásitos asociados a raíces de plátano (*Musa acuminata* AA) en el centro de Veracruz, México. Revista Mexicana de Fitopatología, 39, 116-130. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1507-7>
- Larrea Carlos. (2017 Octubre). Conservación de la biodiversidad y explotación petrolera. Repositorio Universidad Andina Simón Bolívar: <https://repositorio.uasb.edu.ec/handle/10644/5769>
- Lasso C, Trujillo F, Borrero R, & Morales Betancourt M.A. (2010). Biodiversidad de la cuenca del río Napo, Amazonas de Ecuador y Perú. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Lasso C.A, & Morales Betancourt M. (2019). Freshwater biodiversity in the Amazon Basin: A review. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 9(29), 1450–1465. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/aqc.3131>
- Lata de Hernández Sandra. (1995). Avances de la Bacteriología Médica el Sistema API. REVISTA MEDICA HONDUREÑA, 63(2). COMUNICACIÓN CORTA: <https://www.revistamedicahondurena.hn/assets/Uploads/Vol63-2-1995-11.pdf>
- León Yáñez Susana, Valencia Renato, Pitman Nigel, Endara Lorena, Ulloa Ulloa Carmen, & Navarrete Hugo. (2000). Libro rojo de las plantas endémicas del Ecuador. Herbario QCA Pontificia Universidad Católica del Ecuador. https://doi.org/https://ddrn.dk/wp-content/uploads/2018/01/LIBRO_ROJO_de_las_plantas_endemicas_del-1.pdf

- Levi Taal, Massey L Aimee, Holt D Robert, Keesing Felicia, Ostfeld S Richard, & Peres A Carlos. (2016). Does biodiversity protect humans against infectious disease? Comment. *Ecological society of america*, 2(97), 536-546. <https://doi.org/https://doi.org/10.1890/15-354.1>
- Lezcano J.C, Martínez B, & O Alonso. (2012). Caracterización cultural y morfológica e identificación de diez aislamientos de *Fusarium* procedentes de semillas de *Leucaena leucocephala* cv. Perú almacenadas. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 187-196. <https://doi.org/http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269125071006>
- Libório Veríssimo Soares Graciete, De Souza Almeida Barbosa Ivanize, & Ristow P. (2021). O PAPEL DA FORMAÇÃO DE BIOFILME EM LEPTOSPIRA: PROTEÇÃO DA AGRESSÃO DO MEIO AMBIENTE E INVASÃO E EVASÃO DO HOSPEDEIRO. *Semantic Scholar*. <https://doi.org/https://doi.org/10.51161/REMS/1193>
- Lirussi Flavio, Curbelo Pérez David, & Ziglio Erio. (2021). One Health y las nuevas herramientas para promover la salud desde una perspectiva holística y medioambiental. *Revista Iberoamericana de Bioética*(17), 01-15. <https://doi.org/10.14422/rib.i17.y2021.004>
- López Cardona Nathali, & Castaño Zapata Jairo. (2012). Characterization of Phytopathogenic Fungi, Bacteria, Nematodes and Viruses in Four Commercial Varieties of *Heliconia* (*Heliconia* sp.). *redalyc.org*, 65(2), 6703-6716. <https://doi.org/http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179925831015>
- López Casallas Marcela, Guevara Castro Alejandra Yudy, Pisco Ortiz Carolina Yeinny, Moreno Cabrera Isabel, & López Cardona Nathali. (2020). Pudrición de raíces y tallo de la soya por *Phytophthora sojae* Kaufm. & Gerd. en la altillanura plana del departamento del Meta. *Scielo*, 46(2), 113-120. <https://doi.org/10.1590/0100-5405/230356>
- López Cuevas Osvaldo, León Félix Josefina, Jiménez Edeza Maribel, & Chaidez Quiroz Cristóbal. (2009). DETECCIÓN Y RESISTENCIA A ANTIBIÓTICOS DE *Escherichia coli* Y *Salmonella* EN AGUA Y SUELO AGRÍCOLA. *Rev. Fitotec. Mex*, 32(2), 119-126. <https://doi.org/https://www.redalyc.org/pdf/610/61011222006.pdf>

- López de Heredia Unai . (2016). Las técnicas de secuenciación masiva en el estudio de la diversidad biológica. *Munibe, Cienc. nat*(64), 7-31. <https://doi.org/10.21630/mcn.2016.64.07>
- López Jácome Esaú Luis, Hernández Durán Melissa, Colín Castro Adriana Claudia, Ortega Peña Silvestre, Cerón González Guillermo, & Franco Cendejas Rafael. (2014). Las tinciones básicas en el laboratorio. *Investigacion en discapacidad*, 3(1), 10-18. <https://doi.org/https://www.medigraphic.com/pdfs/invdys/ir-2014/ir141b.pdf>
- López A, & Vargas M. (2021). Soil microbial diversity in the Yasuní National Park. *Applied Soil Ecology*(157), 103732. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103732>
- López C Myriam, Duque Sofia, Orozco CLuis, Camargo Diana, Gualdrón E Luis, Cáceres Elvia, Ronderos Margarita, Rey Maritza, & Corredor Augusto. (1999). Inmunodiagnóstico de la infección chagásica por ELISA. *Biomédica*, 19(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.7705/biomedica.v19i2.1018>
- Martínez Gerardo, Sarria A Greicy, Torres L.A Gabriel, Varón Francia, Romero A.M Hernán, & Sáenz S.I Jose. (2010). Avances en la investigación de *Phytophthora palmivora*, el agente causal de la pudrición del cogollo de la palma de aceite en Colombia. *PALMAS*, 31(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.5686/issn.0121-2923>
- Martínez Solórzano E Gustavo, Rey Brina C Juan, Pargas Pichardo E Rafael, & Enrique Manzanilla Edwuar. (2020). Marchitez por *Fusarium* raza tropical 4: Estado actual y presencia en el continente americano. *Agronomía Mesoamericana*, 31(1), 259-276. <https://doi.org/10.15517/am.v31i1.37925>
- Martínez César Julio, Briceño Ignacio, Hoyos Alejandra, & Gómez Alberto. (2012). Biobancos Una estrategia exigente y esencial para la conservación de muestras biológicas. *redalyc.org*, 37(3), 158-162. <https://doi.org/https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=163124982010>
- Martínez Gerardo, Sarria Villa Andrea Greicy, Torres Gabriel, Varón Francia, Drenth Andre, & Guest David. (2014). Nuevos hallazgos sobre la enfermedad de la Pudrición del cogollo de la palma de aceite en Colombia: biología, detección y estrategias de manejo. *PALMAS*, 35(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.56866/issn.0121-2923>
- Martínez Gerardo, Sarria A Greicy, Torres A Gabriel, & Varón Francia. (2010). *Phytophthora palmivora* es el agente causal de la pudrición del cogollo de la palma

- de aceite. *Biology*, 31. <https://www.semanticscholar.org/paper/Phytophthora-palmivora-es-el-agente-causal-de-la-de-Mart%C3%ADnez-Sarria/06be07f538d4941cd73c49fafb5f44854c2d6780>
- Marzal Alfonso. (2015). Estudios en fauna silvestre para prevenir enfermedades infecciosas emergentes en el siglo XXI. *aphia Asociación peruana de helmitontología e invertebrados afines*, 2(9), 199-202. <https://doi.org/https://doi.org/10.31984/revnh.v24i1.799>
- Masiero Salvarani Felipe, Da Silva Oliveira Gabriela Hanna, Silva Correa Yasmin Letícia, Lima Soares Alessandra Aline, & Cabral Ferreira Brenda. (2025). The Importance of Studying Infectious and Parasitic Diseases of Wild Animals in the Amazon Biome with a Focus on One Health. *veterinary sciencies*, 12(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/vetsci12020100>
- Massena Reis Verônica, & Lopes Olivares Fábio. (2006). Vias de penetração e infecção de plantas por bactérias. Embrapa. https://www.researchgate.net/publication/301340377_Vias_de_penetracao_e_infeccao_de_bacterias_por plantas
- Matthias A Michael, Ricaldi N Jessica, Cespedes Manuel, Diaz Monica M., Galloway L Renee, Saito Mayuko, & Steigerwalt G Arnold. (2008). Human Leptospirosis Caused by a New, Antigenically Unique *Leptospira* Associated with a *Rattus* Species Reservoir in the Peruvian Amazon. *PLOS Negletec Tropical Diseases*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0000213>
- Medina Vogel Gonzalo. (2010). La emergencia de enfermedades infecciosas en ambientes naturales no es un proceso aleatorio. Por el contrario, responde a una serie de perturbaciones ecológicas, sociales y climáticas que alteran el delicado equilibrio entre hospedero, patógeno y entorno. *Semantic scholar*(42), 11-24. <https://doi.org/https://www.scielo.cl/pdf/amv/v42n1/art03.pdf>
- Mendes Oliveira A.C, Peres C.A, Maués PR. de AC., OliveiraG.L, Mineiro IG.B, Silva de MariaS.L, & Lima RC.S. (2018). Oil palm monoculture induces drastic erosion of an Amazonian forest mammal fauna. *PLOS ONE*, 12(11), e0187650. <https://doi.org/https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187650>
- Menéndez Guerrero A Pablo, Ron R Santiago, & Carvajal Endara Sofía. (2022). Dietary data of a highly biodiverse anuran assemblage in the Ecuadorian Amazon. *Elsevier*, 45(108720). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dib.2022.108720>

- Menu Estelle, Mosnier Emilie, Cotrel Arnaud, Favennec Loic, Razakandrainibe Romy, Valot Stéphane, Blanchet Denis, Dalle Frédéric, Costa Damien, Gaillet Mélanie, Demar Magalie, & de Laval Franck. (2022). Cryptosporidiosis outbreak in Amazonia, French Guiana, 2018. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 16(1), 1-14. <https://doi.org/https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0010068>
- Mestizo Adriana Yuri, Bandera Gina, Aya Héctor, Sarria Greicy, Varón Francia, Navia Mónica, & Martínez Gerardo. (2012). Caracterización de síntomas e identificación de microorganismos en palmas de aceite afectadas por la Pudrición basal del estípide. *PALMAS*, 33(4). <https://www.semanticscholar.org/paper/Caracterizaci%C3%B3n-de-s%C3%ADntomas-e-identificaci%C3%B3n-de-en-Mestizo-Bandera/4791d5ef4f0c79af11256eb8f427c64b2df0cd7b>
- Miller Erin, Barragan Veronica, Chiriboga Jorge, Weddell Chad, Luna Ligia, Jiménez J Dulce, Aleman John, Mihaljevic R Joseph, Olivas Sonora, Marks Jane, Izurieta Ricardo, Nieto Nathan, Keim Paul, Trueba Gabriel, Caporaso GregoryJ, & Pearson Talima. (2021). *Leptospira* in river and soil in a highly endemic area of Ecuador. *PubMed*, 1(21), 17. <https://doi.org/10.1186/s12866-020-02069-y>
- Ministerio de la Presidencia. (2004). Real Decreto 664/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo. *Revista Española de Podología. Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado*: <https://www.semanticscholar.org/paper/Real-Decreto-664-1997%C3%ADn-de-12-de-mayo%C3%97-protecci%C3%B3n-de-Arguedas/bdf44e3c7e5b95d96f98356bed84cecb5c8ee14b>
- Ministerio de Salud Pública del Ecuador. (2012). Manual de procedimientos SIVE-Alerta. Quito, Ecuador. https://aplicaciones.msp.gob.ec/salud/archivosdigitales/documentosDirecciones/dn/archivos/manual_de_procedimientos_sive-alerta.pdf
- Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE) . (2016). Plan de Manejo del Parque Nacional Yasuní Quito, Ecuador. <https://www.ambiente.gob.ec/mae-entrega-plan-de-manejo-comunitario-a-poblaciones-del-parque-nacional-yasuni/>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE). (2018). Manual de bioseguridad para investigadores en áreas protegidas. Quito, Ecuador.

- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2012). Parque Nacional Yasuní.
<https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/07/Parque-Nacional-Yasuni.pdf>
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE). (2022). Normativa para investigación científica en áreas protegidas del Ecuador.
- Monsalve B Santiago, Mattar V Salim, & Gonzalez T Marco. (2009). ZOONOSIS TRANSMITIDAS POR ANIMALES SILVESTRES Y SU IMPACTO EN LAS ENFERMEDADES EMERGENTES Y REEMERGENTES. *Rvz Cordoba*, 14(2), 1762-1773.
<https://www.semanticscholar.org/reader/fd8884b5f15bf88bac7b5612a0dc2d02be302610>
- Monsalve Buriticá Santiago. (2013). Metodologías para la colecta de muestras en fauna silvestre in situ. *Geography*.
<https://www.semanticscholar.org/paper/METODOLOG%C3%8DAS-PARA-LA-COLECTA-DE-MUESTRAS-EN-FAUNA-Monsalve-Buritic%C3%A1/8640ea97f44d9a4e85425e4353cd4a713308db43>
- Mora Garcés Fernanda María . (2011 年 Junio 月). La Reserva de Biósfera Yasuní y el turismo sostenible : la construcción del proyecto de la REST desde la interacción sociopolítica de actores. Flacso Andes: <http://hdl.handle.net/10469/3914>
- Mora Molina Jesús, & Calvo Brenes Guillermo. (2010). Estado actual de contaminación con coliformes fecales de los cuerpos de agua de la Península de Osa. *Tecnología en Marcha*, 23(5), 34-40.
https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/56/55
- Mora Urpí Jorge, Arroyo Oquendo Carlos, Mexzón Vargas Ramón, & Bogantes Arias Antonio. (2008). Diseminación de LA “BACTERIOSIS DEL PALMITO” DE PEJIBAYE (*Bactris gasipaes* Kunth). *agronomía mesoamericana*, 19(2), 155-166.
<https://www.semanticscholar.org/paper/Diseminaci%C3%B3n-de-la-%22bacteriosis-del-palmito%22-de-Mora-Urp%C3%AD-Arroyo-Oquendo/90f1c8a08edd7b013c318e5448e12978d8c01eb0>
- Morales Mora Eric , Reyes Lizano Liliana , Barrantes Jiménez Kenia , & Chacón Jiménez Luz . (2022). Evaluación temporal y espacial en la calidad microbiológica del agua superficial: caso en un sistema de abastecimiento de agua para consumo humano en

- Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 56(1), 120-137.
<https://doi.org/https://doi.org/10.15359/rca.56-1.6>
- Morand S. (2020). Emerging diseases, livestock expansion and biodiversity loss are positively related at global scale. *Biological Conservation*, 248, 108-707.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108707>
- Morand S, & Lajaunie C. (2021). *Biodiversity and Health: Linking Life, Ecosystems and Societies*. ELSIEVER.
- Moreno Ricardo Julio, Dante Medina Cesar, & Albarracín Helena Virginia. (2012). Aspectos ecológicos y metodológicos del muestreo, identificación y cuantificación de cianobacterias y microalgas eucariotas. *Reduca (Biología)*. Serie Microbiología, 5(5), 110-125.
https://www.academia.edu/73630023/Aspectos_ecol%C3%B3gicos_y_metodol%C3%B3gicos_del_muestreo_identificaci%C3%B3n_y_cuantificaci%C3%B3n_de_cianobacterias_y_microalgas_eucariotas?utm_source=chatgpt.com
- Moya Freire Mishell Lesly, & Guerra Naranjo David Cesar. (2024). Identificación de bacterias patógenas para el ser humano en los ríos Pindo (sector camal) y Puyo (sector malecón) de la provincia de Pastaza. *Polo del conocimiento*, 9(9), 793-808.
<https://doi.org/https://doi.org/10.23857/pc.v9i9.7965>
- Myers S Samuel, & Patz A Jonathan. (2009). Emerging Threats to Human Health from Global Environmental Change. *Annual Review of Environment and Resources*, 34, 223-252. <https://doi.org/https://doi.org/10.1146/annurev.environ.033108.102650>
- Narváez Collaguazo Esteban Roberto . (2024). Interrelación e interdependencia en un territorio tradicional. *anthropologica*, 42(52).
<https://doi.org/https://doi.org/10.18800/anthropologica.202401.009>
- Naturaleza con Derechos . (2023 Julio 07). Boletín 35. Yasuní, la zona más diversa del planeta va a consulta.: <https://naturalezaconderechos.org/2023/07/07/boletin-36-yasuni-la-zona-mas-diversa-del-planeta-va-a-consulta/>
- Nieto J, & Zambrano L. (2021). Invasive species in the Ecuadorian Amazon: Current status and management. *Biological Invasions*, 5(23), 1234 – 1245.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10530-020-02345-6>
- Nobre C.A, & alet. (2022). Chapter 3: Biological diversity and ecological networks in the Amazon. *The Amazon We Want*. <https://www.theamazonwewant.org/wp-content/uploads/2022/06/Chapter-3-Bound-May-9.pdf>

- Organización Mundial de la Salud. (2023). Agua para consumo humano .
https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water?utm_source=chatgpt.com
- Ostfeld R.S. (2009). Biodiversity loss and the rise of zoonotic pathogens. *ESCMIT*, 15(1), 40-43. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1469-0691.2008.02691.x>
- Ostfeld S R, & Keesing F. (2012). Effects of host diversity on infectious disease. *Nature*, 468(7324), 647–652. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/nature09575>
- PanditPranav. (2020 Abril 07). Habitat Destruction And Biodiversity Loss at the Root of Emerging Infectious Diseases. UCDAVIS: https://www.ucdavis.edu/one-health/habitat-destruction-and-biodiversity-loss-root-emerging-infectious-diseases?utm_source=chatgpt.com
- Paraguay Vilcas Luis Carlos . (2024). Los Asháninkas y Ashéninkas no han muerto por consumir agua cruda. *Revista de Investigación Científica de la UNF – Aypate.*, 3(2), 58-71. <https://doi.org/10.57063/ricay.v3i2.91>
- Patz A Jonathan, Daszak Peter, M Gary, Tabor A, Pearl Mary, Epstein Jon, D Nathan, Wolfe A, Kilpatrick Marm, Foufopoulos Johannes, Molyneux David, & Bradley J David. (2004). Unhealthy Landscapes: Policy Recommendations on Land Use Change and Infectious Disease Emergence. *Journal Landing Page*, 112(10), 1092–1098. <https://doi.org/10.1289/ehp.6877>
- Pat J.A, & WolfeN.D. (2018). Disease emergence and economic development. *Nature Sustainability*, 1(1), 12-13.
- Pavan Victorio Jorge, Masachessi Gisella , Prez Emilse Verónica, Di Cola Guadalupe , Re Elizabeth Viviana , & Nates Viviana Silvia . (2022). Evaluación de la calidad de aguas superficiales en espacios recreacionales, una propuesta integradora de marcadores químicos y microbiológicos. *Revista de la Facultad de Ciencias Médicas de Córdona* , 79(2), 210-2014. <https://doi.org/10.31053/1853.0605.v79.n2.33403>
- Peña Varón Faisury Jenny, Marín Velásquez Andrea Paola, & Mosquera Becerra Janeth. (2021). Papel de la sistematización de experiencias en los procesos de evaluación de intervenciones de salud pública en la Comuna Saludable por la Paz, Cali - Colombia. *Prospectiva. Revista de Trabajo Social e Intervención Social*(31). <https://doi.org/https://doi.org/10.25100/prts.v0i31.10572>

- Pérez Acevedo E Celina, Carrillo Rodríguez C José, Chávez Servia L José, Perales Segovia Catarino, & Villegas Aparicio Yuri. (2017). Diagnóstico de síntomas y patógenos asociados con marchitez del chile en Valles Centrales de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.29312/remexca.v8i2.50>
- Pérez Díaz S.O, & Rodríguez Rodríguez P.O. (2020). Determinación de indicadores de calidad de suelo para la conservación de la cuenca alta del Río Teusacá. *Centrosur Agraria*. <https://centrosuragraria.com/index.php/revista/article/view/187>
- Peterson A.T, & alet. (2020). Pathogen-vector-host networks: the importance of considering ecological complexity in pathogen surveillance. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 14(10), e0008699.
- Pinto Miguel, Ocaña Mayorga Sofia, Tapia E Elicio, & Zurita Alejandra. (2015). Bats, Trypanosomes, and Triatomines in Ecuador: New Insights into the Diversity, Transmission, and Origins of Trypanosoma cruzi and Chagas Disease. *Plosone*, 10(10), e0139999. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0139999>
- Pinzón Gutiérrez Alexandra Yeimy, & Bustamante Buitrago S.G. (2009). Evaluación de métodos para la conservación de hongos fitopatógenos del ñame (*Dioscorea* sp). *REVISTA COLOMBIANA DE BIOTECNOLOGÍA*, 11(2).
- Prado Castillo Fernando Luis, Caro Melgarejo Patricia Diana, Rincón Puerta Augusto Daniel, Parada Rendón José Jaime, Morales Puentes Eugenia María, Villamizar Durán Fabio, Cogollo Calderón María Angélica, Duarte Sánchez Irwin, Moreno Valderrama Harold, & Domínguez Haydar Yamileth. (2018). Caminando entre huellas de Yariguíes : la gente y la ciencia en la gestión temprana de la restauración ecológica del área protegida. *UPTC*. <https://doi.org/https://doi.org/10.19053/978-958-660-334-8>
- Previati Rosana, Rocha da Silva Rodrigues Josiane, de Souza Regina Cátia, & Janke LÍlian. (2013). Isolamento e qunntificação das populações de batérias em geral e de actinomiceetos presentes no solo. *Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR*, 15(2). <https://doi.org/https://revistas.unipar.br/index.php/veterinaria/article/view/4220>. Acesso em: 3 jun. 2025.
- Prime Lillian. (2024). Blocking Oil Development in Yasuní National Park: Ecuador 's Unprecedented Strides Towards Environmental Justice. *Consilencie*, 1-8.

- Proaño Pérez Freddy, Benítez Ortiz Washington, Portaels Françoise, Rigouts Leen, & Linden Annick. (2011). Situation of bovine tuberculosis in Ecuador. PubMed, 3(30), 279-86. <https://doi.org/10.1590/s1020-49892011000900013>
- Pulla S, Ramaswami G, Mondal N, Chitra Tarak R, Suresh H.S, Dattaraja H.S, Vivek P, Parthasarathy N, Ramesh. RB, & Sukumar R. (2015). Assessing the resilience of global seasonally dry tropical forests. *ingenta CONNECT*, 17(23), 91-113. <https://doi.org/https://doi.org/10.1505/146554815815834796>
- Quirós Manuel Héctor, Rodríguez González Hernán, & Valderrama Vergara Fernando José. (2011). Armonización de la vigilancia sanitaria interfronteriza: una propuesta vinculante en salud internacional. *Rev Panam Salud Publica*, 30(2), 148 – 52. <https://doi.org/https://www.scielosp.org/pdf/rpsp/v30n2/v30n2a06.pdf>
- Quiroz Castañeda Rosa Estela . (2018). Pathogenomics and Molecular Advances in Pathogen. *INTECH*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.73695>
- Quispe W, & alet. (2014). Seroprevalencia de leptospirosis en trabajadores de limpieza pública del distrito de San Juan Bautista, Ayacucho, 2017. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 31(2), 234–239.
- Rajtar N Nickolas, Kielsmeier C Joshua, Held W Benjamin, Toapanta Alban E Cristina, Ordonez E Maria, Barnes W Charles, & Blanchette A Robert. (2023). Diverse Xylaria in the Ecuadorian Amazon and their mode of wood degradation. PubMed, 1(64), 30. <https://doi.org/10.1186/s40529-023-00403-x>
- Ramírez Barahona S, & Eguiarte L.E. (2020). The role of climate change in the diversification of Amazonian biodiversity. *Ecology Letters*, 1(23), 1-10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/ele.13412>
- Ramos Grijalva Cynthia, Yáñez Silva Danilo, Vayas Minango Lorena Betty, & Mora Tola Andrés. (2024). Prevalence of Toxoplasmosis (*Toxoplasma gondii*) in Ecuador. *RGSA – Revista de Gestão Social e Ambiental*, 18(8). <https://doi.org/https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n8-172>
- Ramos Vásquez Elena, & Zúñiga Dávila Doris. (2008). EFECTO DE LA HUMEDAD, TEMPERATURA Y PH DEL SUELO EN LA ACTIVIDAD MICROBIANA A NIVEL DE LABORATORIO. *redalyc.org*, 7(1-2), 123-130. <https://doi.org/http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=34111584015>
- Ramsés Hernández Baldeon Anthony, & Silva Andrade Javier Guido. (2024). Derechos de la naturaleza del parque nacional Yasuní en Ecuador frente a los intereses

- económicos. *Revista Arbitrada de Ciencias Jurídicas y Sociales*, 3, 278-284.
<https://doi.org/https://doi.org/10.62574/m3rtwy96>
- Real M, Guerra F, & Torres L. (2020). Microbiota fúngica ambiental en suelos amazónicos: hallazgos de *Cryptococcus* spp. *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales*, 12(3), 87–95.
- Reisen W.K. (2010). Landscape epidemiology of vector-borne diseases. 55, 461–483.
- Reséndiz Martínez Francisco José, Gutiérrez Rojas Mónica, Preciado Rangel Pablo, Viveros Muñoz Lilia Ana, & Ruiz Juárez Daniel. (2024). Predominancia de especies forestales y asociación de hongos fitopatógenos en árboles de la Ciudad de México. *Biotecnia*, 26. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v26.2156>
- Reyes Puig Carolina, & Ríos Alvear Gorki. (2015). Diversidad en formícidos y plantas vasculares en el Parque Nacional Yasuní, Ecuador. *Boletín técnico serie zoológica*, 12(10-11). <https://doi.org/https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/revista-serie-zoologica/article/view/1465>
- Rhoden Augusto Sandro, Cirqueira Lucas Paula Ana, Evangelista Longhini Caroline, de Lima Sicielli Flávia, Depráde Carvalho Igor, Nascimento Alberto Raiani, & Pamphile Alencar João. (2019). ASPECTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E GENÉTICOS NA INTERAÇÃO PATÓGENO PLANTA HOSPEDEIRA. *SaBios-Revista De Saúde E Biologia*, 14(1), 34-41.
<https://doi.org/https://revista2.grupointegrado.br/revista/index.php/sabios/article/view/1338>
- Ríos Tobón Sandra, Agudelo Cadavid M Ruth, & Gutiérrez Builes A Lina. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista Facultad Nacional de Salud Publica*, 32(2).
<https://doi.org/https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08>
- Ríos Tobón Sandra, Agudelo Cadavid M Ruth, & Gutiérrez Builes A Lina. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista Facultad Nacional de Salud Publica*, 32(2).
<https://doi.org/https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08>
- Rivera Herrera Katiuska Ariana. (2021 julio). Seroprevalence of Q-fever, *Brucella* and *Leptospirosis* in wild mammals, from rescue centers in Ecuador. Repositorio Yachaytech:

https://repositorio.yachaytech.edu.ec/handle/123456789/369?utm_source=chatgpt.com

- Rivera Tapia Antonio José, Castillo Viveros Valeria Linda, & Sánchez Hernández Antonio José. (2020). Detección de micoplasmas en cultivos celulares. *Revista Ciencias Biomédicas*, 1(2), 185-189. <https://doi.org/https://doi.org/10.32997/rcb-2010-3087>
- Rivero Kathia, Rumiz Damián, Catari Carlos Juan, Azurduy Huascar, Maillard Oswaldo, Acosta Luis, Aponte Angel Miguel, Osinaga Karina, Soto Grimaldo, Saavedra Humberto, Aramayo Luis José, & Céspedes Luis. (2004). “ DIAGNÓSTICO BIOLÓGICO PRELIMINAR Y PRIORIDADES DE INVESTIGACIÓN EN EL ÁREA PROTEGIDA MUNICIPAL PARABANÓ ” PRELIMINARY BIOLOGICAL ASSESSMENT AND RESEARCH PRIORITIES IN THE PARABANÓ MUNICIPAL PROTECTED AREA. *Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental*, 15, 63–91.
- Robles Carrión A.R, Gómez Criollo Richard, Maçãs Vanessa Filipa, Sanchez Rodriguez Aminaël, & Torres Gutiérrez Roldán. (2014). Estudio de la patogenicidad de aislados de *Fusarium* spp., asociados a la marchitez vascular del Babaco en Loja-Ecuador. *Centro de Biotecnología*, 3(1).
- Rocha Albuquerque Mírian, Souza Rochada Katarine, Silva Britoda Jacqueline, Castanheira Pimenta Gabriela, Amaral Dos Reis Thalita, Arruda Xavier Diego, & Guimarães de Moraes Cristina Carla. (2022). Detection of *Leptospira* in a forest fragmentation area in eastern Amazon: A unique health approach. *PubMed*(31). <https://doi.org/10.1016/j.cimid.2022.101757>
- Rochade SK, Albuquerque RM, Britoda SJ., Pimenta G.C, Dos Reis AT, Xavier D.A, & De Moraes C.C.G. (2022). Detection of *Leptospira* in a forest fragmentation area in eastern Amazon: A One Health approach. *Comparative Immunology. Microbiology and Infectious Diseases*, 82. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cimid.2022.101757>
- Rodríguez Ferri F Elías, & Calvo Sáez A Luis. (2020). Zoonosis: la cara oculta de la pandemia COVID-19. *Revista de Medicina y Cine*, 16. <https://doi.org/https://doi.org/10.14201/rmc202016e247259>
- Rodríguez Gaviria Andrea Paola, & Cayón Gerardo. (2008). Efecto de *Mycosphaerella fijiensis* sobre la fisiología de la hoja de banano. *Redalyc.org*, 26(2), 256-265. <https://doi.org/http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180314732010>

- Rodríguez González Martha, Valdez Fernández Miriam, Rayo Izquierdo Martha, & Alarcón Salgado Kirenia. (2009). Riesgos biológicos en instituciones de salud. MEDWABE. <https://doi.org/http://doi.org/10.5867/medwave.2009.07.4040>
- Rodríguez Martínez Emérico Raúl. (2011). Empleo de la técnica hibridación in situ fluorescente para visualizar microorganismos. ALUD UIS, 43(3), 307-316. <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistasaluduis/article/view/2572/2898>
- Rodríguez T Aida, Morales Daysi, & Ramírez M.A. (2000). Efecto de extractos vegetales sobre el crecimiento in vitro de hongos fitopatógenos. Redalyc.org, 21(2), 79-82. <https://doi.org/http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193215024014>
- Rojas Herrera R, Zamudio Maya L, Arena Ortiz L, Pless R.C, & Connor Sánchez A.O. (2011). Microbial diversity, metagenomics and the Yucatán aquifer. OYTON, 80, 231-240. <https://doi.org/https://www.semanticscholar.org/reader/5940d8fd9867feb7b370c1ef0d92f281544c7911>
- Rojas Herrera R, Zamudio Maya M, Arena Ortiz L, Pless R.C, & Connor Sánchez A.O. (2011). Microbial diversity, metagenomics and the Yucatán aquifer. Biology, 80, 231-240. <https://doi.org/10.32604/PHYTON.2011.80.231>
- Romero Vivas M Claudia, & Falconar K. (2016). Leptospira spp. y leptospirosis humana. Salud uninorte, 32(1), 123-143.
- Rubio Santiago, Pacheco Orozco Adrián Rafael, Gómez Milena Ana, Perdomo Sandra, & García Robles Reggie. (2019). Secuenciación de nueva generación (NGS) de ADN: presente y futuro en la práctica clínica. Universitas Medica, 69(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.11144/Javeriana.umed61-2.sngs>
- Rueda Karina, Trujillo Eduardo Jorge, Carranza César Julio, & Vallejo Adolfo Gustavo. (2014). Transmisión oral de Trypanosoma cruzi: una nueva situación epidemiológica de la enfermedad de Chagas en Colombia y otros países suramericanos. Revista Biomédica, 34(4). <https://doi.org/https://doi.org/10.7705/biomedica.v34i4.2204>
- Ryser Degiorgis M.P. (2013). Wildlife health investigations: needs, challenges and recommendations. BMC Veterinary Research, 9(1), 223. <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/1746-6148-9-223>
- Salazar Bravo J, Tinoco N, Zeballos H, Brito J, Arenas Viveros D, C.D Marín, Ramírez Fernández J.D, Percequillo RA, Lee ET, Solari S, Colmenares Pinzon J, Niveló C,

- Rodríguez Herrera B, Merino W, Medina C.E, Murillo García O, & Pardiñas UF.J. (2023). Systematics and diversification of the Ichthyomyini (Cricetidae, Sigmodontinae) revisited: Evidence from molecular, morphological, and combined approaches. *PeerJ*, 11, e14319. <https://doi.org/https://doi.org/10.7717/peerj.14319>
- Salazar H.M, & Zenteno Cuevas R. (2020). Leptospirosis: Desarrollo, estandarización y evaluación del desempeño de pruebas diagnósticas. *Microorganisms*, 13(6), 1306. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/microorganisms13061306>
- Salomón M, Montero H, & Zenteno Cuevas R. (2015). Leptospirosis: Desarrollo, estandarización y evaluación del desempeño de pruebas diagnósticas. *Microorganisms*, 13(6), 1306. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/microorganisms13061306>
- Sánchez Aroca Aynara Solange, & Guangasig Toapanta Hernán Víctor. (2023). Calidad Microbiológica del Agua de Consumo Humano: La realidad en el Ecuador. *Redilat*, 4(2), 1388. <https://doi.org/DOI:https://doi.org/10.56712/latam.v4i2.690>
- Sánchez Lerma Liliana, Rojas Gullos Andrés, Pavas Escobar Norma, Barajas Pardo Diana, Chinchilla Acosta Diego, & Fuentes Ramírez Duvan. (2021). Detección molecular de leptospirosis patógenas en roedores capturados en el municipio de Villavicencio, Colombia. *ORINOQUIA*, 25(2), 33-35.
- Sánchez Romero Isabel M, García Manuel Juan, Moya Lechuz, González López José Juan, & Orta Mira Nieves. (2019). Recogida, transporte y procesamiento general de las muestras en el laboratorio de Microbiología. *ELSEVIER*, 37(2), 127-134. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eimc.2017.12.002>
- Sánchez Antonio, Contreras Antonio, Corrales C Juan, & De la Fe Christian. (2022). En el principio fue la zoonosis: One Health para combatir esta y futuras pandemias. *Informe SESPAS 2022. ScieceDirect*, 32, S61-S67. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2022.01.012>
- Schweigmann J Nicolás, Pietrokovsky Silvia, Bottazzi Victoria, Conti Osvaldo, & Bujas A Marcos. (1999). Estudio de la prevalencia de la infección por *Trypanosoma cruzi* en zarigüeyas (*Didelphis albiventris*) en Santiago del Estero, Argentina. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 6(6), 371-377. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9613322&utm_source=chatgpt.com

- SCIMAGO INSTITUTIONS RANKINGS. (1992). Epidemiologia das infecções diarreicas entre populações indígenas da Amazonia. SCIELO, 8(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S0102-311X1992000200002>
- Scimago Institutotions Rankings. (2020). Beyond diversity loss and climate change: Impacts of Amazon deforestation on infectious diseases and public health. Scielo, 01(92). <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/0001-3765202020191375>
- Seattle, WA, USA. (2016). Proceedings of the 3rd Biennial Conference of the Society for Implementation Research Collaboration (SIRC) 2015: advancing. MEETING ABSTRACTS, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s13012-016-0428-0>
- Sierra R, & Stallings J. (2020). Oil development and biodiversity conservation in the Ecuadorian Amazon. Conservation Biology, 2(34), 1-9. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/cobi.13345>
- Sikes R.S. (2016). Animal Care and Use Committee of the American Society of Mammalogists. (2016). Guidelines of the American Society of Mammalogists for the use of wild mammals in research and education. Journal of Mammalogy, 97(3), 663–688.
- Silva de Souza Salvioni Lirna, Rodrigues Fonseca Fernanda, Dales Nava Ferreira Alessandra, Paulo Vicente Carolina Ana, & Dos Reis Lappe Lisiane. (2024). Zoonotic assemblages A and B of Giardia duodenalis in Chiroptera from Brazilian Amazon biome. Europe EMC, 19. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2024.100853>
- Sohn Hausner Natacha, Bach Kmetiuk Louise, Da Silva Cristine Evelyn, Langoni Helio, & Welker Biondo Alexander. (2023). One Health Approach to Leptospirosis: Dogs as Environmental. Tropical Medical and Infectious Disease, 8(435), 2-15. <https://doi.org/https://www.mdpi.com/2414-6366/8/9/435>
- Solarte Y, Peña M, & Madera C. (2006). Transmisión de protozoarios patógenos a través del agua para consumo humano. Colombia Médica, 37(1), 74 – 82. <https://doi.org/10.2510/COLOMB>.
- Solarte Yezid, Peña Miguel, & Madera Carlos. (2006). Transmisión de protozoarios patógenos a través del agua para consumo humano. redalyc.org, 37(1), 74-82. <https://doi.org/http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=28337111>
- Solís Hilda, Huamán Ana, Ferrer Alejandro, Tarqui Kathia, Fajardo Narda, Rojas Marisol, Espinoza Sofia, & Valverde Fanny. (2012). Comunicación preliminar sobre la

- presencia de *Trypanosoma cruzi* en departamentos del norte y nororiente del Perú. An Fac med [Internet], 73(1).
<https://doi.org/https://doi.org/10.15381/anales.v73i1.809>
- Somoza Nuria, & Torá Montserrat. (2009). Seguridad biológica en la preservación y el transporte de muestras biológicas obtenidas en el ámbito de las enfermedades respiratorias y destinadas a la investigación. *ScienceDirect*, 45(4), 187-195.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.arbres.2009.02.001>
- Soto Plancarte Alejandro, Rodríguez Alvarado Gerardo, Fernández Pavía LeticiaYolanda, Pedraza Santos Elena Martha, López Pérez Luis, Díaz Celaya Marlene, & Fernández Pavía Patricia Sylvia. (2017). Protocolos de aislamiento y diagnóstico de *Phytophthora* Spp.: enfoque aplicado a la investigación. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(8). <https://doi.org/https://doi.org/10.29312/remexca.v8i8.708>
- Souza Freitas Rafael, de Souza Rocha Katarine, Monteiro Helene Louysse, Fernandes Alexandre Thais, Marques Monteiro Rayssa Thamillys, Tavares Honorio Emely Betsy, Coelho Gripp Mayra, de Oliveira Guimarães DouglasClaudio, Correia Palhadas Dores Maria, de Souza Gonçalves Thamirys, Scofield Alessandra, & Guimarães de Moraes Cristina Carla. (2024). Detection of Pathogenic *Leptospira* in Captive Chelonians (*Kinosternon scorpioides*—Linnaeus, 1766) in the Brazilian Amazon. *MDPI*, 14(9), 1334. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ani14091334>
- Stoessel Soledad, & Scarpacci Martín. (2022). Disputas en torno al desarrollo y el territorio: el caso de Yasuní-ITT durante el Ecuador de la Revolución Ciudadana. *SciELO*(45), 239-259.
<https://doi.org/https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/territorios/a.8382>
- Suzán Azpiri Gerardo. (2014). Ecología de Patógenos en Pequeños Mamíferos y Quirópteros Neotropicales, Experiencias y Perspectivas -resumen-. *Geography*.
- Suzán Azpiri Gerardo, Galindo Maldonado Francisco, & Ceballos González Gerardo. (2000). La importancia del estudio de enfermedades en la conservación de fauna silvestre. *Rdaly*, 31(3), 0301-5092.
<https://doi.org/http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=42331308>
- Toapanta Elizabeth Cristina. (2023 Septiembre). Terrestrial Rhizomorphic Species Of The Polyporaceae Family In The Yasuní National Park In Ecuador: Taxonomy, Life History And Pathogenicity Traits. *University of Minnesota Driven to Discover*:

https://conservancy.umn.edu/items/3a9d9870-26db-432a-b655-79420f0548af?utm_source=chatgpt.com

- Torres Castro Antonio Marco. (2017). Estudio sobre roedores sinántropicos como reservorios de patógenos zoonóticos en Yucatán. *Revista Biomédica*, 28(3). <https://doi.org/https://doi.org/10.32776/revbiomed.v28i3.566>
- Travi L Bruno, Jaramillo Consuelo, Montoya James, & Segura Iris. (1994). *Didelphis marsupialis*, an important reservoir of *Trypanosoma (Schizotrypanum) cruzi* and *Leishmania (Leishmania) chagasi* in Colombia. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 50(5). <https://doi.org/https://doi.org/10.4269/ajtmh.1994.50.557>
- Uhart Marcela, Pérez Alberto, Rostal Melinda, Alandia Robles Erika, & Mendoza Ana. (2012). A 'One Health' Approach to Predict Emerging Zoonoses in the Amazon. *ResearchGate*(3), 65-73. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3549.1609>
- UNESCO. (2024 Junio). Main initiatives in the Yasuní Biosphere Reserve, Ecuador. Main initiatives in the Yasuní Biosphere Reserve, Ecuador: <https://www.unesco.org/en/amazon-biosphere-reserves-project/yasuni#:~:text=The%20Yasun%C3%AD%20Biosphere%20Reserve%20is,Pastaza>
- Uriarte María, Condit Richard, Canham D Charles, & Hubbell P Stephen. (2004). A spatially explicit model of sapling growth in a tropical forest: does the identity of neighbours matter? *British ecological society*, 92, 348-360. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.0022-0477.2004.00867.x>
- Uribe Vélez Daniel. (2009). Metagenómica ¿Una oportunidad para el estudio de la diversidad microbiana en Colombia? *Rev. Colomb. Biotecnol*, 11(2). <https://www.redalyc.org/pdf/776/77613172001.pdf>
- Valenzuela Sánchez Andrés, & Medina Vogel Gonzalo. (2014). Importancia de las enfermedades infecciosas para la conservación de la fauna silvestre amenazada de Chile. *Scielo*, 1(79), 57-69. <https://doi.org/10.4067/S0717-65382014000100008>
- Valenzuela E, Anderson K, Corong E, & Strutt A. (2023). The relative importance of global agricultural subsidies and tariffs, revisited. *World Trade Review*, 22(3-4), 382–394. <https://doi.org/https://doi.org/10.1017/S147474562300005X>
- Vargas Dani, Araca Lenny, Vargas Wilber, Juan Godoy, & Vargas Roger. (2020). Crisis en las Áreas Naturales Protegidas en el Perú: Pérdida de la biodiversidad y

- degradación ambiental. *Revista Científica Internacional I+D+I* 01, 1(1), 84-100.
<https://doi.org/https://doi.org/10.51251/revciidi01.v1i1.25>
- Vásquez C, & Ortega A. (2020). Health risks associated with wildlife trade in the Amazon. *Global Health*, 1(16), 1-9. <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s12992-020-00560-7>
- Velásquez Valle Rodolfo, Medina Aguilar Mercedes María, & Luna Ruizde Jesús José. (2001). Sintomatología y Géneros de Patógenos Asociados con las Pudriciones de la Raíz del Chile (*Capsicum annuum* L.) en el Norte-Centro de México. *redalyc.org*, 19(2), 175-181. <https://doi.org/http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61219207>
- Vera da CostaValente. (2011). Estudo genotípico de *Trypanosoma cruzi*: epidemiologia e caracterização molecular de isolados do homem, triatomíneos e mamíferos silvestres do Pará, Amapá e Maranhão. https://repositorio.ufpa.br/bitstream/2011/4755/1/Tese_EstudoGenotipicoTrypanosoma.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Villás D. (1995). <http://licbq.fcien.edu.uy/pdf/Biologia%20del%20suelo.pdf>
- Vinueza Dayana, Ochoa HerreraValeria, Maurice Laurence, Tamayo Esteban, Mejía Lorena, Tejera Eduardo, & Machado António. (2021). Determining the microbial and chemical contamination in Ecuador's main rivers. *Scientific Reports*, 11, 1-14. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41598-021-96926-z>
- WHO. (2022). Operational framework for building climate resilient health systems. Geneva: World Health Organization.
- Wilcox B.A, & Colwell R.R. (2005). Emerging and reemerging infectious diseases: biocomplexity as an interdisciplinary paradigm. *EcoHealth*, 2(4), 244–257.
- Willett K, & et al. (2021). Building One Health capacity through partnerships: a case study from Ecuador. *One Health*, 13, 100-301.
- Woolhouse E.J Mark, & Gowtage Sequeria Sonya. (2005). Host range and emerging and reemerging pathogens. *Emerging Infectious Diseases*, 11(12). <https://doi.org/https://doi.org/10.3201/eid1112.050997>
- World Health Organization (WHO). (2004). Practical Guidelines for Infection Control in Health Care Facilities. WHO Regional Office for the Western Pacific.
- World Health Organization. (2023). Guidelines for drinking-water quality (4th ed., incorporating the 1st and 2nd addenda). <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>

- Zhao Ruiming, Zhang Hua, & An Lizhe. (2019). Plant size influences abundance of floral visitors and biomass allocation for the cushion plant *Thylacospermum caespitosum* under an extreme alpine environment. *Wiley Ecology and Evolution*, 5501 - 5511. <https://doi.org/10.1002/ece3.5147>
- Zimmer Katarina. (2019 noviembre 22). Deforestation is leading to more infectious diseases in humans. *National Geographic*: https://www.nationalgeographic.com/science/article/deforestation-leading-to-more-infectious-diseases-in-humans?utm_source=chatgpt.com
- Zulu Mildred, Monde Ngula, Nkhoma Panji, Malama Sydney, & Munyeme Musso. (2021). Nontuberculous Mycobacteria in Humans, Animals, and Water in Zambia: A Systematic Review. *Frontiers in Tropical Diseases*, 2. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fitd.2021.679501>
- Zúñiga Doris, & Ramos Vásquez Elena. (2008). Efecto de la humedad, temperatura y pH del suelo en la actividad microbiana a nivel de laboratorio. *redalyc*, 7(1-2), 123-130. <https://doi.org/10.21704/rea.v7i1-2.367>



Patógenos emergentes y reemergentes en el Parque Nacional Yasuní: Un enfoque ecosistémico y de conservación, se publicó en el mes de junio de 2025.

ISBN: 978-9942-51-520-9

**Editorial InvestiGo
Riobamba – Ecuador
Cel: +593 97 911 9620
publicaciones@grupoblir.com**

BIOGRAFÍA DE LOS AUTORES

Asterio Denis Barbaru Grajales:

Licenciado en Bioquímica y Doctor en Ciencias Veterinarias. Actualmente cursa estudios de Maestría en Biotecnología en la Universidad Estatal de Milagro. Se desempeña como docente en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Sede Orellana, donde imparte asignaturas relacionadas con las ciencias biológicas como Biología, Bioquímica y Bioquímica Ambiental. Posee una sólida trayectoria científica respaldada por publicaciones en revistas indexadas y una activa participación en proyectos de investigación. Entre sus contribuciones más destacadas figura la dirección del proyecto 'Monitoreo de enfermedades y parásitos emergentes y reemergentes en relación con los cambios medioambientales de ecosistemas en las áreas protegidas de la Cuenca del Río Napo-Orellana', cuyos resultados han aportado significativamente al entendimiento de las dinámicas ecológicas y sanitarias en la Amazonía ecuatoriana.

Fredy Patricio Erazo Rodriguez:

Ingeniero en Industrias Pecuarias, Magister en procesamiento de alimentos, docente de pregrado y programas de maestría de la ESPOCH, Docente Investigador acreditado por la Senescyt, miembro y director de varios proyectos de investigación y vinculación. Autor u coautor de publicaciones en revistas de alto impacto y ponente en eventos académicos nacionales e internacionales.

Sandra Isabel Castañeda Caguana:

Ingeniera Zootecnista, Magister en Producción Animal y Doctora en Ciencia Animal con énfasis en Mejoramiento Genético Animal, título obtenido en la Universidad Federal do Piauí (Brasil). Actualmente se desempeña como docente-investigadora en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Sede Orellana, donde imparte asignaturas vinculadas a las ciencias zootécnicas, con énfasis en genética, reproducción, manejo productivo y sostenibilidad pecuaria. Su trayectoria académica y profesional se ha centrado en la mejora del rendimiento animal a través de prácticas innovadoras y éticas, promoviendo al mismo tiempo sistemas de producción compatibles con la conservación del medio ambiente. Ha participado en proyectos de investigación orientados a la adaptación genética de especies animales a condiciones tropicales, la conservación de recursos zootécnicos locales y la implementación de estrategias de manejo sostenible en ecosistemas frágiles como la Amazonía ecuatoriana. Su labor docente y científica se enmarca en un enfoque integral que vincula productividad, bienestar animal y sostenibilidad ambiental.

María Augusta Morales León:

Ingeniera Química con Máster en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente por la Universidad Politécnica de Valencia, especializada en tratamiento de aguas, gestión de residuos, legislación ambiental e impacto ecológico. Su enfoque multidisciplinario le permite abordar problemas ambientales con rigor científico-técnico. Ha colaborado en proyectos de investigación comunitarios y municipales para mejorar la gestión ambiental y reducir la contaminación. Actualmente es docente en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, impartiendo materias sobre ciencias aplicadas y control de contaminación. Su investigación, publicada en revistas de alto impacto, se centra en descontaminación de aguas y desarrollo de geopolímeros a partir de residuos industriales, aportando soluciones innovadoras y sostenibles. Destaca por su compromiso con el avance científico-tecnológico en pro del medio ambiente.

Patógenos emergentes y reemergentes en el Parque Nacional Yasuní: Un enfoque ecosistémico y de conservación

Estimado lector, El Parque Nacional Yasuní, ubicado en la Amazonía ecuatoriana, es uno de los ecosistemas más biodiversos del planeta, y este libro técnico examina la intrincada relación entre su rica biodiversidad y la presencia de patógenos emergentes y reemergentes. A través de un enfoque ecosistémico y de conservación, el estudio analiza cómo estos microorganismos afectan la salud del parque y representan riesgos potenciales para la fauna, la flora y las comunidades humanas. Se destaca que factores como la deforestación, el cambio climático y la actividad humana están alterando el equilibrio natural del Yasuní, creando condiciones propicias para la aparición de enfermedades.

El libro aborda la clasificación y los mecanismos de transmisión de los patógenos, que incluyen virus, bacterias, hongos, protozoarios y helmintos, subrayando su papel como componentes integrales del ecosistema. Se enfatiza la importancia de entender estos agentes no solo como causantes de enfermedades, sino como elementos que desempeñan funciones ecológicas clave. La investigación revela que la detección temprana y el monitoreo continuo son cruciales para anticipar brotes y mitigar su impacto. Para ello, se describen métodos de muestreo, conservación y análisis que combinan técnicas microbiológicas clásicas con herramientas moleculares avanzadas, promoviendo un enfoque adaptativo y participativo que involucra a comunidades locales y científicos.

Finalmente, el libro explora el concepto de "Una Salud" (One Health), que reconoce la interdependencia entre la salud humana, animal y ambiental. Se argumenta que la gestión efectiva de los patógenos en el Yasuní requiere un enfoque integrado que considere las interacciones entre estos tres componentes. Se proponen estrategias de monitoreo y bioseguridad adaptadas a las condiciones del parque, incluyendo la capacitación de guardaparques, la implementación de protocolos de seguridad para visitantes y la participación comunitaria en la vigilancia epidemiológica. En conclusión, el libro subraya que la protección del Yasuní es una responsabilidad compartida que no solo es crucial para la conservación biológica, sino también para la salud global, destacando la necesidad de cooperación internacional y gobernanza colaborativa para prevenir futuras pandemias.

EDITORIAL
InvestiGO

Editorial InvestiGo
Riobamba – Ecuador
Cel: +593 97 911 9620
publicaciones@grupoblz.com

ISBN: 978-9942-51-520-9



9 789942 515209