

ALFONSO MIRANDA LEIVA

Valle de Cajamarca

NUEVO PARAJE DE AVES COSTERAS
GRACIAS AL CAMBIO CLIMATICO



Valle de Cajamarca

Nuevo paraje de aves costeras
gracias al cambio climático

Editor



Alfonso Miranda Leiva

amiranda@unc.edu.pe

 <https://orcid.org/0000-0001-5218-1788>

Docente Principal de la Universidad Nacional de Cajamarca,
Cajamarca – Perú

ÍNDICE

RESEÑA.....	5
INTRODUCCIÓN.....	7
CAPÍTULO I	10
1.1. Referentes teóricos y antecedentes del cambio climático.....	11
1.1.1. Evolución histórica del concepto de cambio climático	13
1.1.2. Cambio climático natural y cambio climático antropogénico	15
1.1.3. Evidencias científicas del calentamiento global en el siglo XXI	18
1.1.4. Proyecciones climáticas globales y regionales para América Latina	20
1.1.5. Impactos del cambio climático en ecosistemas de montaña.....	22
1.1.6. Vulnerabilidad climática en los Andes tropicales	25
1.2. Nociones básicas del cambio climático	27
1.2.1. Definición operativa de cambio climático.....	29
1.2.2. Variabilidad climática, temperatura y precipitación.....	31
1.2.3. Fenómenos extremos y estrés térmico acumulativo	34
1.2.4. Cambio climático y transformación de hábitats	36
1.2.5. Dimensiones del cambio climático: ecológica, social y productiva.....	38
1.2.6. Indicadores climáticos relevantes para estudios ecológicos.....	41
1.2.7. Cambio climático y redistribución altitudinal de especies	43
CAPÍTULO II.....	47
2.1. Referentes teóricos y antecedentes sobre migración aviar	48
2.1.1. Migración como estrategia adaptativa en aves	50
2.1.2. Migración estacional, migración latitudinal y migración altitudinal.....	52
2.1.3. Evidencias globales de desplazamientos altitudinales de aves.....	55
2.1.4. Estudios recientes sobre migración aviar inducida por el clima	57
2.1.5. Respuestas evolutivas y conductuales de las aves al cambio climático	60
2.1.6. Aves como bioindicadores del cambio ambiental	62
2.2. Nociones básicas de la migración altitudinal de aves	65
2.2.1. Definición de migración altitudinal.....	66
2.2.2. Gradientes ecológicos y pisos altitudinales andinos	68
2.2.3. Nicho ecológico y plasticidad adaptativa	70
2.2.4. Conectividad ecológica y corredores biológicos	72
2.2.5. Competencia interespecífica y desplazamiento de especies nativas	74
2.2.6. Adaptación trófica y cambios en la dieta.....	76
2.2.7. Reproducción y establecimiento en nuevos hábitats	78
2.2.8. Impacto de la migración aviar en ecosistemas antrópicos.....	80

2.2.9. Migración de aves y agroecosistemas altoandinos	82
CAPÍTULO III	86
3.1. Contexto geográfico y ecológico del área de estudio	87
3.1.1. Caracterización de la región Quechua de Cajamarca	89
3.1.2. Ecosistemas naturales y antrópicos del valle de Cajamarca	90
3.1.3. Dinámica climática regional y tendencias recientes	92
3.2. Enfoque metodológico del estudio	94
3.2.1. Enfoque mixto e interdisciplinario	95
3.2.2. Diseño de investigación y nivel de análisis	97
3.2.3. Unidades de análisis ecológicas y sociales	99
3.2.4. Técnicas de recolección de información ecológica	101
3.2.5. Instrumentos de recolección social y percepción local	103
3.2.6. Trabajo de campo y programación temporal	105
3.2.7. Consideraciones éticas de la investigación	107
3.3. Resultados del estudio	109
3.3.1. Especies de aves migrantes registradas en la región Quechua	124
3.3.2. Patrones de desplazamiento altitudinal observados	127
3.3.3. Relación entre temperatura y presencia de aves migrantes	129
3.3.4. Impactos ecológicos sobre especies nativas	131
3.3.5. Impactos agrícolas y económicos en agroecosistemas	133
3.3.6. Percepción social del fenómeno migratorio	136
3.3.7. Interpretación de los resultados	138
REFLEXIONES FINALES	142
La migración altitudinal de aves como indicador del cambio climático	143
Implicancias ecológicas y biogeográficas del desplazamiento aviar	145
Repercusiones en agroecosistemas y territorios antrópicos	147
Dimensión social y percepción comunitaria del fenómeno	149
Desafíos para la conservación de la biodiversidad altoandina	151
Reflexiones sobre gestión adaptativa y resiliencia territorial	153
Proyecciones para la investigación ambiental futura	156
REFERENCIAS	160

RESEÑA

Este libro aborda de manera integral y rigurosa el fenómeno de la **migración altitudinal de aves como respuesta al cambio climático en la región Quechua de Cajamarca, Perú**, articulando evidencia empírica, fundamentos teóricos y una profunda lectura territorial del problema ambiental contemporáneo. La obra se inscribe en el campo de la ecología del cambio climático y la biogeografía andina, pero trasciende los límites disciplinarios al incorporar dimensiones sociales, productivas y culturales que permiten comprender la complejidad del fenómeno en ecosistemas de montaña.

A lo largo de sus capítulos, el libro desarrolla un marco teórico sólido sobre el cambio climático y la migración aviar, sustentado en literatura científica reciente y enfoques clásicos de la ecología, como la teoría del nicho ecológico, la conectividad biológica, la exclusión competitiva y la selección natural. Estos fundamentos permiten contextualizar la migración altitudinal de aves no como un evento aislado, sino como una respuesta adaptativa frente a transformaciones climáticas persistentes que reconfiguran los gradientes ecológicos andinos.

El núcleo de la obra se concentra en el **caso de estudio del valle de Cajamarca**, donde se documenta la presencia, establecimiento y expansión de especies originalmente asociadas a la región Yunga y zonas costeras, como *Egretta thula*, *Bubulcus ibis*, *Zenaida auriculata* y *Dives warszewiczi*. Mediante una metodología mixta, que integra observación de campo, análisis estadístico, modelamiento ecológico y percepción comunitaria, el libro demuestra la relación significativa entre el incremento de la temperatura, las alteraciones pluviométricas y los desplazamientos altitudinales de la avifauna.

Uno de los aportes más relevantes de la obra es su énfasis en los **impactos de la migración aviar sobre los ecosistemas antrópicos**, particularmente en los agroecosistemas altoandinos. El análisis evidencia conflictos ecológicos, productivos y sanitarios, como la competencia con especies nativas, la afectación de cultivos y la transformación del paisaje rural, al mismo tiempo que reconoce la capacidad adaptativa de las comunidades locales frente a estos cambios.

El libro destaca, además, el valor de las aves como **bioindicadores sensibles del cambio climático**, proponiendo su uso como herramientas de monitoreo temprano para la gestión ambiental y la planificación territorial. En esta línea, se presentan reflexiones orientadas a la gestión adaptativa, la resiliencia socioecológica y la formulación de políticas públicas basadas en evidencia científica y participación comunitaria.

En conjunto, esta obra constituye una contribución significativa al estudio del cambio climático en los Andes tropicales, ofreciendo un enfoque contextualizado, interdisciplinario y propositivo. Su lectura resulta especialmente relevante para investigadores, gestores ambientales, tomadores de decisión, docentes y estudiantes interesados en la ecología del cambio climático, la conservación de la biodiversidad y los desafíos socioambientales de los territorios altoandinos. Más que un cierre académico, el libro se presenta como una invitación a continuar investigando, reflexionando y actuando frente a un fenómeno que redefine las relaciones entre clima, biodiversidad y sociedad.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático se ha convertido en uno de los desafíos ambientales más complejos y determinantes del siglo XXI, debido a su capacidad de alterar de manera profunda los sistemas naturales y las relaciones ecológicas que sostienen la vida en el planeta. Sus efectos ya no se limitan a escenarios futuros, sino que se manifiestan de forma concreta en múltiples regiones del mundo a través de modificaciones en la temperatura, la precipitación y la disponibilidad de recursos naturales. Estas transformaciones están influyendo directamente en la dinámica de los ecosistemas y en el comportamiento de numerosas especies, entre las cuales las aves destacan por su alta sensibilidad a las variaciones ambientales.

Las aves dependen de condiciones específicas para alimentarse, reproducirse y desplazarse, por lo que cualquier alteración climática sostenida incide de manera inmediata en sus patrones de distribución. En este contexto, los procesos migratorios adquieren especial relevancia, ya que constituyen una de las principales estrategias de adaptación frente a entornos que dejan de ser favorables. En las últimas décadas, se ha observado que muchas especies no solo modifican la temporalidad de sus desplazamientos, sino que también cambian la dirección y la altitud de los mismos, buscando nuevas áreas que les permitan mantener su equilibrio ecológico.

En los Andes peruanos, particularmente en la región de Cajamarca, estos procesos se evidencian mediante el desplazamiento de especies de aves desde pisos ecológicos más bajos hacia zonas de mayor altitud. La región Quechua, tradicionalmente caracterizada por ecosistemas altoandinos y actividades agropecuarias, ha comenzado a recibir especies que anteriormente se encontraban asociadas a la región Yunga. Esta migración altitudinal no responde únicamente a ciclos estacionales, sino que está vinculada a variaciones persistentes en la temperatura y en los regímenes de precipitación, lo que sugiere una relación directa con el cambio climático.

La llegada de nuevas especies de aves a ecosistemas antrópicos altoandinos genera una serie de consecuencias ecológicas y sociales. Por un lado, se producen alteraciones en las interacciones tróficas y en la estructura de las comunidades biológicas, afectando a especies nativas que compiten por alimento, espacio y refugio. Por otro, se registran impactos en los sistemas agrícolas y ganaderos, donde ciertas especies migrantes interactúan con cultivos y áreas productivas, generando conflictos que repercuten en la economía local y en la seguridad alimentaria de las comunidades rurales.

A este escenario se suma la transformación paralela de la vegetación y del paisaje, ya que el cambio climático también impulsa el desplazamiento altitudinal de especies vegetales. Estas modificaciones alteran la cobertura vegetal, la disponibilidad de nichos ecológicos y la funcionalidad de los ecosistemas, generando efectos en cadena que influyen tanto en la fauna silvestre como en las actividades humanas. De este modo, el cambio climático no actúa de forma aislada, sino que desencadena procesos sistémicos que reconfiguran el territorio y sus dinámicas ecológicas y sociales.

Frente a esta realidad, resulta imprescindible analizar la migración altitudinal de aves no solo como un fenómeno biológico, sino como una expresión de las transformaciones profundas que experimentan los ecosistemas andinos bajo presión climática. Comprender estos procesos permite identificar a las aves como bioindicadores sensibles del cambio ambiental, capaces de revelar tendencias tempranas de deterioro o reconfiguración ecosistémica. Asimismo, ofrece la posibilidad de anticipar escenarios de riesgo y de diseñar estrategias de adaptación más eficaces y contextualizadas.

Este libro se orienta a examinar la relación entre el cambio climático y la migración altitudinal de aves hacia la región Quechua de Cajamarca, integrando una mirada ecológica, social y territorial. A través del análisis teórico y del estudio de un caso concreto, se busca aportar elementos que fortalezcan la gestión ambiental, la conservación de la biodiversidad y la educación ambiental participativa. En un contexto donde los territorios rurales andinos enfrentan una creciente vulnerabilidad climática, esta obra aspira a contribuir a la comprensión de los procesos de adaptación biológica y social, promoviendo una reflexión

crítica sobre la necesidad de construir respuestas sostenibles frente a un clima en constante transformación.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático constituye uno de los procesos ambientales más influyentes en la reorganización de los ecosistemas a escala planetaria. Sus manifestaciones actuales no solo evidencian alteraciones en variables físicas como la temperatura y la precipitación, sino que también revelan profundas transformaciones en la estructura y funcionalidad de los sistemas ecológicos. En este sentido, comprender el cambio climático desde una perspectiva teórica resulta indispensable para interpretar los fenómenos biológicos emergentes que se observan en distintos territorios, especialmente en regiones de montaña altamente sensibles a la variabilidad climática.

A lo largo de la historia de la Tierra, el clima ha experimentado fluctuaciones naturales que han condicionado la evolución y distribución de las especies. Sin embargo, en el contexto contemporáneo, la magnitud, velocidad y persistencia de los cambios climáticos han superado los patrones históricos conocidos, generando escenarios de estrés ambiental sin precedentes. Estas transformaciones aceleradas han reducido la capacidad de adaptación de numerosos organismos, obligándolos a modificar su comportamiento, su fisiología y su distribución espacial como estrategias de supervivencia.

Desde una perspectiva teórica, el cambio climático no puede entenderse únicamente como un fenómeno físico-atmosférico, sino como un proceso complejo que interactúa con dimensiones ecológicas, sociales y productivas. Las alteraciones térmicas sostenidas influyen en la disponibilidad de recursos, en la estructura de los hábitats y en las interacciones entre especies, desencadenando respuestas adaptativas que se manifiestan, entre otros aspectos, en desplazamientos geográficos y altitudinales. En regiones andinas, donde los gradientes ecológicos son estrechos y altamente especializados, estos efectos adquieren una relevancia particular.

El análisis teórico del cambio climático permite explicar por qué determinados ecosistemas se convierten en espacios de recepción de especies procedentes de otros pisos ecológicos. El incremento de la temperatura en zonas bajas y la modificación de los regímenes hídricos generan condiciones menos favorables para muchas especies, mientras que áreas de mayor altitud comienzan a ofrecer ambientes térmicamente más estables. Esta reconfiguración climática del territorio actúa como un motor de redistribución biológica, alterando patrones históricos de ocupación del espacio.

Asimismo, el cambio climático incide directamente en la transformación de los ecosistemas antrópicos, donde la actividad humana intensifica la vulnerabilidad ambiental. La agricultura, la ganadería y la expansión urbana interactúan con las variaciones climáticas, amplificando sus efectos sobre el suelo, el agua y la biodiversidad. En este contexto, los ecosistemas altoandinos dejan de ser únicamente espacios naturales para convertirse en escenarios complejos donde convergen procesos ecológicos y dinámicas socioeconómicas.

Este capítulo se orienta a establecer los fundamentos teóricos necesarios para comprender el cambio climático como variable central del fenómeno analizado en este libro. A partir de una revisión profunda de los enfoques conceptuales, los antecedentes científicos y las nociones básicas asociadas a este proceso, se busca construir un marco interpretativo sólido que permita explicar sus impactos en la biodiversidad y, particularmente, su influencia en la migración altitudinal de aves. De este modo, el desarrollo teórico que sigue constituye la base conceptual sobre la cual se articulan los capítulos posteriores y el análisis del caso de estudio en la región Quechua de Cajamarca.

1.1. Referentes teóricos y antecedentes del cambio climático

El análisis del cambio climático requiere una revisión profunda de los marcos teóricos y de los antecedentes científicos que han permitido comprender su origen, evolución y efectos sobre los sistemas naturales y humanos. A lo largo de las últimas décadas, este fenómeno ha dejado de ser considerado una simple variación climática para consolidarse como un proceso estructural que redefine las dinámicas ecológicas a escala global. Los referentes teóricos contruidos desde distintas disciplinas han contribuido a explicar cómo

las alteraciones climáticas influyen en la estabilidad de los ecosistemas, en la distribución de las especies y en la capacidad adaptativa de los organismos frente a escenarios ambientales cada vez más complejos.

Los antecedentes científicos sobre el cambio climático muestran una evolución conceptual marcada por el avance del conocimiento climático, ecológico y biogeográfico. Inicialmente, los estudios se centraron en describir fluctuaciones naturales del clima y su relación con ciclos geológicos y astronómicos. Sin embargo, con el incremento sostenido de la temperatura global observado desde la era industrial, la atención se desplazó hacia la identificación de factores antrópicos responsables de la intensificación del calentamiento global. Este cambio de enfoque permitió comprender que las actividades humanas, al modificar la composición atmosférica y el uso del territorio, han acelerado procesos que antes ocurrían en escalas temporales mucho más amplias.

Desde una perspectiva teórica, el cambio climático ha sido abordado como un fenómeno sistémico, en el que interactúan componentes físicos, biológicos y sociales. Los modelos explicativos desarrollados en este campo han demostrado que las alteraciones climáticas no afectan de manera homogénea a todos los ecosistemas, sino que generan impactos diferenciados según la ubicación geográfica, la altitud y la resiliencia ecológica de cada territorio. En regiones montañosas, como los Andes, estos efectos se intensifican debido a la estrecha relación entre gradientes altitudinales, temperatura y disponibilidad de recursos.

Los antecedentes empíricos también evidencian que uno de los efectos más recurrentes del cambio climático es la redistribución espacial de las especies. Diversas investigaciones han documentado desplazamientos latitudinales y altitudinales como respuestas adaptativas frente a condiciones ambientales desfavorables. Estas respuestas biológicas han permitido identificar a determinadas especies, especialmente a las aves, como indicadores sensibles de las transformaciones climáticas, debido a su rápida capacidad de respuesta frente a cambios en el entorno.

La revisión de los referentes teóricos y antecedentes del cambio climático resulta fundamental para interpretar los procesos observados en territorios específicos. Comprender

cómo se han construido los conceptos, qué evidencias los sustentan y de qué manera han evolucionado las interpretaciones científicas permite establecer un marco sólido para el análisis de fenómenos locales. En este sentido, los estudios previos constituyen una base indispensable para explicar por qué regiones como la Quechua de Cajamarca se han convertido en escenarios de recepción de especies migrantes procedentes de pisos ecológicos inferiores.

Esta sección se orienta, por tanto, a contextualizar el cambio climático desde una perspectiva teórica y evolutiva, destacando los principales aportes científicos que han permitido entender su impacto sobre la biodiversidad. El recorrido por estos antecedentes no solo proporciona un sustento conceptual al análisis posterior, sino que también permite vincular los procesos globales del cambio climático con sus manifestaciones locales, sentando las bases para comprender la migración altitudinal de aves como una respuesta ecológica concreta frente a un clima en transformación.

1.1.1. Evolución histórica del concepto de cambio climático

El concepto de cambio climático ha experimentado una evolución progresiva a lo largo de la historia científica, estrechamente vinculada al desarrollo del conocimiento sobre los procesos naturales que regulan el clima de la Tierra y su influencia sobre la vida. Desde una perspectiva histórica, las primeras aproximaciones al clima se centraron en reconocer su carácter dinámico y cambiante, asociado a ciclos naturales de largo plazo que condicionaron la evolución de los ecosistemas y la distribución de las especies. En este marco, el clima fue entendido como un factor determinante en la configuración de la biodiversidad, sin que se reconociera aún una influencia significativa de la actividad humana sobre estos procesos.

Durante extensos períodos geológicos, las variaciones climáticas ocurrieron de manera gradual, permitiendo que los organismos desarrollaran mecanismos evolutivos de adaptación, tales como la redistribución espacial, la especialización fisiológica y los desplazamientos migratorios. Tal como se ha señalado en estudios recientes, la biodiversidad actual es el resultado de una historia evolutiva moldeada por cambios climáticos naturales, frente a los cuales los ecosistemas lograron responder mediante procesos de ajuste progresivo

(Quinteros Tuesta & Saavedra Torres, 2020). En esta etapa del pensamiento científico, el cambio climático era concebido como un fenómeno inherente a la dinámica planetaria, ajeno a la intervención humana directa.

Sin embargo, a partir del siglo XVIII, con el inicio de la Revolución Industrial, comenzó a gestarse un punto de inflexión en la comprensión del clima. El uso intensivo de combustibles fósiles, la expansión de la actividad industrial y la transformación acelerada de los paisajes naturales introdujeron alteraciones inéditas en la composición de la atmósfera. Aunque inicialmente estos cambios no fueron plenamente comprendidos, con el avance del siglo XX se acumuló evidencia científica que demostraba un incremento sostenido de la temperatura global, asociado a la emisión de gases de efecto invernadero derivados de la actividad humana (Terán Nieto & Rodríguez Potes, 2018).

En este contexto, el concepto de cambio climático dejó de referirse exclusivamente a fluctuaciones naturales para incorporar la noción de un fenómeno intensificado por causas antrópicas. Esta nueva comprensión permitió reconocer que la velocidad y magnitud de los cambios observados superaban los rangos históricos de variabilidad climática, generando impactos significativos sobre los sistemas naturales y las poblaciones humanas. Diversos informes científicos internacionales comenzaron a advertir que el calentamiento global contemporáneo no tenía precedentes en la historia reciente del planeta, y que sus efectos se manifestaban de manera más intensa en ecosistemas vulnerables, como las regiones de montaña.

La consolidación del cambio climático como un problema global se fortaleció con el desarrollo de evaluaciones científicas integrales que articularon conocimientos provenientes de la climatología, la ecología y la biogeografía. Estas evaluaciones evidenciaron que el aumento de la temperatura y las alteraciones en los regímenes de precipitación estaban modificando la distribución de especies y la estructura de los ecosistemas. En particular, se observó que muchas especies comenzaron a responder mediante desplazamientos geográficos y altitudinales, lo que permitió identificar la migración como una de las principales estrategias adaptativas frente al estrés climático (Real-Giménez, 2019).

En las últimas décadas, el concepto de cambio climático ha evolucionado hacia una visión sistémica, en la que se reconoce la interdependencia entre procesos físicos, biológicos y sociales. El cambio climático es entendido actualmente como un fenómeno complejo que induce transformaciones en cadena, afectando no solo a los ecosistemas naturales, sino también a los territorios antrópicos y a las dinámicas productivas. En regiones andinas como Cajamarca, estas transformaciones se expresan en el desplazamiento altitudinal de especies de aves y vegetales, la reconfiguración de los agroecosistemas y el surgimiento de nuevos conflictos socioambientales.

Desde esta perspectiva contemporánea, el cambio climático se concibe como un factor estructural que reordena los patrones históricos de distribución de la biodiversidad. Tal como se ha documentado en estudios desarrollados en los Andes peruanos, el incremento de la temperatura media y la modificación de la pluviometría han generado condiciones que favorecen la colonización de pisos ecológicos superiores por especies procedentes de regiones más bajas, alterando el equilibrio ecológico preexistente (Cuentas Romero, 2022). Esta evolución conceptual resulta clave para comprender por qué la migración altitudinal de aves constituye hoy un indicador sensible del cambio climático en ecosistemas altoandinos.

En síntesis, la evolución histórica del concepto de cambio climático refleja un tránsito desde la interpretación de variaciones naturales del clima hacia el reconocimiento de un fenómeno global profundamente influenciado por la acción humana. Esta transformación conceptual ha permitido comprender que los cambios climáticos actuales no solo modifican las condiciones ambientales, sino que reconfiguran de manera profunda las relaciones ecológicas y los territorios habitados. Sobre esta base teórica se sustenta el análisis del presente libro, que aborda la migración altitudinal de aves en Cajamarca como una expresión concreta de los efectos del cambio climático en los Andes peruanos.

1.1.2. Cambio climático natural y cambio climático antropogénico

El cambio climático ha estado presente a lo largo de la historia de la Tierra como un proceso inherente a su dinámica natural. Desde una perspectiva evolutiva, las variaciones climáticas naturales han sido responsables de profundas transformaciones en los ecosistemas,

influyendo en la distribución geográfica de las especies y en el desarrollo de mecanismos adaptativos que permitieron la supervivencia de la vida en contextos ambientales cambiantes. Durante millones de años, estos cambios ocurrieron de manera gradual, asociados a factores como ciclos glaciares e interglaciares, variaciones orbitales y procesos geológicos, lo que otorgó a los ecosistemas el tiempo necesario para ajustarse a nuevas condiciones ambientales.

En este marco, el cambio climático natural fue entendido como un fenómeno de baja incidencia sobre la estabilidad global de los ecosistemas, ya que las especies podían responder mediante procesos evolutivos como la redistribución espacial, la especialización ecológica y la migración. Tal como se ha señalado, la biodiversidad actual es el resultado de estos procesos de adaptación progresiva frente a variaciones climáticas que se desarrollaron sin la intervención directa del ser humano (Quinteros Tuesta & Saavedra Torres, 2020). En ausencia de presiones antrópicas intensivas, los ecosistemas mantuvieron una relativa integridad funcional y estructural.

No obstante, esta comprensión comenzó a modificarse de manera significativa a partir del surgimiento del cambio climático antropogénico. Desde mediados del siglo XVIII, la intensificación de las actividades humanas, particularmente el uso masivo de combustibles fósiles como el petróleo y el carbón, ha generado un incremento acelerado de los gases de efecto invernadero en la atmósfera. Este proceso ha alterado el balance energético del planeta, dando lugar a un calentamiento global sostenido que supera los rangos de variabilidad climática natural registrados en periodos históricos recientes (Terán Nieto & Rodríguez Potes, 2018).

A diferencia del cambio climático natural, el cambio climático antropogénico se caracteriza por su rapidez, magnitud y persistencia. Las emisiones continuas de gases de efecto invernadero, junto con la deforestación, la expansión de la frontera agrícola y la urbanización descontrolada, han reducido la capacidad de los ecosistemas para autorregularse. En este contexto, los cambios ambientales ya no ocurren de manera progresiva, sino que se manifiestan con una intensidad que sobrepasa la capacidad adaptativa

de numerosas especies, incrementando su vulnerabilidad y riesgo de desplazamiento o extinción local.

Diversos estudios han evidenciado que el impacto humano en el sistema climático es actualmente el principal motor de las alteraciones ambientales observadas. Las emisiones recientes de gases de efecto invernadero han alcanzado niveles sin precedentes en la historia conocida, lo que ha generado efectos significativos tanto en los sistemas naturales como en las poblaciones humanas (Terán Nieto & Rodríguez Potes, 2018). En este escenario, el cambio climático deja de ser un fenómeno exclusivamente natural para convertirse en una problemática socioambiental de alcance global.

Una de las principales consecuencias del cambio climático antropogénico es la modificación de los hábitats y la redistribución de las especies. En particular, las aves han demostrado una alta sensibilidad frente a estas transformaciones, respondiendo mediante cambios en su fenología, en sus rutas migratorias y en su distribución altitudinal. Estas respuestas adaptativas permiten diferenciar los efectos del cambio climático natural, que históricamente favoreció la coexistencia ecológica, de los efectos del cambio climático inducido por el ser humano, que tiende a generar desequilibrios ecológicos más severos (Real-Giménez, 2019).

En regiones andinas como Cajamarca, esta diferenciación adquiere una relevancia especial. El incremento sostenido de la temperatura y la modificación de los regímenes de precipitación han creado condiciones ambientales que favorecen la migración altitudinal de especies desde pisos ecológicos inferiores hacia la región Quechua. Estos desplazamientos no responden a ciclos climáticos naturales de largo plazo, sino a alteraciones persistentes asociadas al calentamiento global contemporáneo, lo que evidencia la influencia directa del cambio climático antropogénico sobre la dinámica ecológica regional (Cuentas Romero, 2022).

En síntesis, mientras el cambio climático natural forma parte de la historia evolutiva del planeta y permitió la adaptación progresiva de los ecosistemas, el cambio climático antropogénico representa un fenómeno disruptivo que acelera los procesos ambientales y

genera presiones inéditas sobre la biodiversidad. Esta distinción conceptual resulta fundamental para comprender las transformaciones actuales observadas en los ecosistemas altoandinos y para interpretar la migración altitudinal de aves como una respuesta ecológica directa frente a un clima alterado por la acción humana.

1.1.3. Evidencias científicas del calentamiento global en el siglo XXI

El calentamiento global en el siglo XXI se ha consolidado como una realidad científica ampliamente documentada, sustentada en múltiples líneas de evidencia provenientes de observaciones atmosféricas, registros meteorológicos de largo plazo y análisis ecológicos comparativos. A diferencia de periodos anteriores, las variaciones térmicas actuales se caracterizan por su continuidad, amplitud y aceleración, lo que ha permitido identificar patrones consistentes de aumento de la temperatura media global y regional. Estas evidencias han llevado a la comunidad científica a reconocer que el cambio climático contemporáneo constituye un fenómeno estructural con efectos directos sobre los sistemas naturales y humanos.

Una de las principales evidencias del calentamiento global es el incremento sostenido de la temperatura media anual, observado de manera consistente en distintas regiones del planeta. En el caso de América Latina y los Andes tropicales, este aumento térmico ha sido particularmente relevante debido a la sensibilidad de los ecosistemas de montaña frente a pequeñas variaciones climáticas. Tal como se ha documentado, las proyecciones climáticas indican escenarios de variación significativa en temperatura y precipitación hacia mediados y finales del siglo XXI, con efectos críticos sobre la biodiversidad y la disponibilidad de recursos naturales (IPCC, 2014; IPCC, 2021).

Estas alteraciones térmicas no se manifiestan únicamente como valores absolutos de aumento de temperatura, sino también como modificaciones en los patrones estacionales. Se ha evidenciado una mayor frecuencia de eventos extremos, cambios en la distribución temporal de las lluvias y alteraciones en los ciclos biológicos de numerosas especies. En este contexto, los ecosistemas altoandinos experimentan una reducción progresiva de su

estabilidad climática, lo que incrementa la vulnerabilidad de las especies que dependen de rangos térmicos estrechos para su supervivencia.

Otra evidencia científica relevante del calentamiento global en el siglo XXI es la redistribución geográfica de la biodiversidad. Diversos estudios han demostrado que numerosas especies están modificando sus rangos de distribución como respuesta directa al aumento de la temperatura. En particular, se han registrado desplazamientos altitudinales en regiones montañosas, donde las especies buscan condiciones térmicas más favorables en pisos ecológicos superiores. Este fenómeno ha sido ampliamente documentado en aves, consideradas bioindicadores sensibles del cambio climático debido a su rápida capacidad de respuesta frente a cambios ambientales (Quinteros Tuesta & Saavedra Torres, 2020; Real-Giménez, 2019).

En los Andes peruanos, las evidencias empíricas muestran que especies tradicionalmente asociadas a zonas bajas o intermedias han comenzado a establecerse en regiones de mayor altitud. En Cajamarca, este proceso se manifiesta en la migración de aves desde la región Yunga hacia la región Quechua, fenómeno que no responde exclusivamente a dinámicas estacionales, sino a variaciones persistentes en la temperatura media mensual y anual. Los registros climáticos de largo plazo y las observaciones de campo corroboran una relación directa entre el incremento térmico y la presencia creciente de aves migrantes en ecosistemas altoandinos (Cuentas Romero, 2022).

Asimismo, el calentamiento global ha generado transformaciones en la estructura y funcionalidad de los ecosistemas, afectando tanto a la fauna como a la flora. Se ha documentado el desplazamiento altitudinal de especies vegetales en busca de condiciones fisiológicas y fenológicas más favorables, lo que altera la cobertura vegetal y modifica las relaciones tróficas. Estos cambios generan efectos en cascada que repercuten en la disponibilidad de alimento, refugio y sitios de reproducción para las aves, intensificando los procesos migratorios y la colonización de nuevos hábitats.

Las evidencias científicas también señalan que el impacto del calentamiento global no se distribuye de manera homogénea. Las regiones de montaña, como los Andes tropicales,

enfrentan una doble presión: por un lado, el incremento térmico reduce el espacio disponible para la migración altitudinal, ya que las especies encuentran un límite físico en las cumbres; por otro, la fragmentación de los hábitats y la presión antrópica limitan las posibilidades de adaptación. Esta situación incrementa el riesgo de pérdida de biodiversidad y refuerza la necesidad de estrategias de conservación basadas en la comprensión de los procesos climáticos actuales (Uribe, 2015; IPBES, 2018).

En síntesis, las evidencias científicas del calentamiento global en el siglo XXI se expresan de manera clara a través del aumento sostenido de la temperatura, la modificación de los regímenes de precipitación, la intensificación de eventos extremos y la redistribución espacial de las especies. En el caso de las aves, estos cambios se manifiestan en desplazamientos altitudinales que reflejan una respuesta adaptativa frente a un clima en transformación. El reconocimiento de estas evidencias resulta fundamental para interpretar los procesos observados en la región Quechua de Cajamarca y para comprender la migración altitudinal de aves como un indicador tangible del calentamiento global contemporáneo.

1.1.4. Proyecciones climáticas globales y regionales para América Latina

Las proyecciones climáticas para el siglo XXI constituyen una de las principales herramientas científicas para anticipar los impactos futuros del cambio climático a escala global y regional. Estas proyecciones, elaboradas a partir de modelos climáticos globales y regionales, permiten estimar tendencias en variables clave como la temperatura, la precipitación y la frecuencia de eventos extremos, bajo distintos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero. En este marco, América Latina ha sido identificada como una de las regiones más vulnerables debido a su alta diversidad biológica, su compleja topografía y la fuerte dependencia de los ecosistemas naturales para el bienestar humano.

A nivel global, los informes del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) proyectan un incremento sostenido de la temperatura media del planeta a lo largo del siglo XXI, con escenarios que varían según el nivel de mitigación de las emisiones. En ausencia de reducciones significativas, se prevé un aumento térmico que intensificará los procesos de degradación ambiental y alterará profundamente los sistemas

ecológicos (IPCC, 2014; IPCC, 2021). Estas proyecciones no solo consideran el aumento promedio de la temperatura, sino también la mayor variabilidad climática y la intensificación de fenómenos extremos.

En el contexto latinoamericano, las proyecciones climáticas muestran patrones particularmente preocupantes. El IPCC advierte que las regiones Centro y Sur de América Latina experimentarán cambios significativos en los regímenes de temperatura y precipitación hacia finales del siglo XXI, con impactos directos sobre la disponibilidad hídrica, la productividad agrícola y la estabilidad de los ecosistemas (IPCC, 2014). Estos cambios se manifiestan en una mayor frecuencia de sequías prolongadas, lluvias intensas concentradas en cortos periodos y una creciente irregularidad climática.

Los ecosistemas de montaña, como los Andes tropicales, se encuentran entre los más expuestos a estos escenarios proyectados. Las proyecciones indican que el incremento térmico será más pronunciado en zonas de alta elevación, lo que provocará desplazamientos altitudinales de especies y una reducción progresiva de los hábitats disponibles. Este fenómeno resulta especialmente crítico debido a la existencia de límites físicos en las cumbres, que restringen la capacidad de las especies para continuar migrando hacia altitudes superiores (Uribe, 2015).

En el caso específico de los Andes peruanos, las proyecciones climáticas sugieren un aumento sostenido de la temperatura media anual, acompañado de modificaciones en los patrones de precipitación. Estas alteraciones crean condiciones favorables para la expansión de especies provenientes de pisos ecológicos inferiores hacia regiones más altas, como la región Quechua. De acuerdo con estudios regionales, estos desplazamientos no solo afectarán a la fauna silvestre, sino también a los agro-ecosistemas, incrementando los conflictos entre especies migrantes y actividades productivas tradicionales (Cuentas Romero, 2022).

Asimismo, la Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios Ecosistémicos (IPBES) proyecta que, hacia el año 2050, las poblaciones de especies en el continente americano podrían experimentar reducciones significativas, estimadas en hasta un 40 %, como resultado combinado del cambio climático,

la pérdida de hábitat y la presión antrópica (IPBES, 2018). Estas proyecciones refuerzan la idea de que los impactos climáticos no actuarán de forma aislada, sino que se verán amplificados por factores socioeconómicos y territoriales.

Las proyecciones climáticas también subrayan la importancia de considerar enfoques regionales y locales en la planificación ambiental. En regiones andinas como Cajamarca, la variabilidad altitudinal genera microclimas que pueden ofrecer refugios temporales para ciertas especies; sin embargo, estos espacios son limitados y están sujetos a una creciente fragmentación del paisaje. En consecuencia, las estrategias de adaptación deben incorporar la conectividad ecológica y la gestión territorial como elementos clave para enfrentar los escenarios climáticos futuros (Taylor et al., 1993).

En síntesis, las proyecciones climáticas globales y regionales para América Latina evidencian un escenario de creciente presión ambiental durante el siglo XXI. El aumento de la temperatura, la alteración de los regímenes de precipitación y la intensificación de eventos extremos configuran un contexto que favorece la redistribución de especies y la transformación de los ecosistemas. En este marco, la migración altitudinal de aves observada en la región Quechua de Cajamarca puede interpretarse como una manifestación temprana y tangible de los escenarios proyectados por la ciencia climática contemporánea, lo que refuerza la necesidad de estrategias de adaptación y conservación basadas en evidencia científica.

1.1.5. Impactos del cambio climático en ecosistemas de montaña

Los ecosistemas de montaña se encuentran entre los sistemas naturales más sensibles frente al cambio climático, debido a su marcada heterogeneidad ambiental, su dependencia de rangos climáticos estrechos y la fuerte interrelación entre factores bióticos y abióticos. En el siglo XXI, el calentamiento global ha intensificado los procesos de transformación ecológica en estas regiones, generando impactos profundos sobre la biodiversidad, la estructura del paisaje y la funcionalidad de los ecosistemas altoandinos.

Uno de los impactos más evidentes del cambio climático en ecosistemas de montaña es el incremento sostenido de la temperatura, que se manifiesta con mayor intensidad en zonas de elevada altitud. Este aumento térmico altera los gradientes climáticos naturales, desplazando las condiciones ambientales óptimas hacia pisos ecológicos superiores. Como consecuencia, numerosas especies se ven obligadas a modificar su distribución altitudinal en busca de hábitats con temperaturas más adecuadas para su supervivencia (Real-Giménez, 2019). En regiones como los Andes tropicales, pequeñas variaciones térmicas pueden generar respuestas ecológicas significativas debido a la estrecha tolerancia climática de muchas especies.

La redistribución altitudinal de la biodiversidad constituye otro impacto central del cambio climático en ecosistemas de montaña. Diversos estudios han documentado desplazamientos progresivos de especies vegetales y animales hacia mayores elevaciones, fenómeno que responde a la necesidad de mantener condiciones fisiológicas y ecológicas favorables. En el caso de la avifauna, estas migraciones verticales representan una estrategia adaptativa frente a la modificación del clima, pero también generan nuevas interacciones ecológicas que pueden alterar el equilibrio de los ecosistemas receptores (Quinteros Tuesta & Saavedra Torres, 2020).

El desplazamiento de especies vegetales hacia altitudes superiores tiene efectos directos sobre la estructura del ecosistema. La modificación de la cobertura vegetal influye en la disponibilidad de alimento, refugio y sitios de reproducción para numerosas especies de fauna, incluidas las aves. Estos cambios pueden desencadenar procesos de retroalimentación ecológica, en los que la alteración de un componente del sistema repercute en otros niveles tróficos, intensificando los impactos del cambio climático en su conjunto.

Otro impacto relevante en ecosistemas de montaña es la reducción del espacio disponible para la migración altitudinal. A diferencia de las zonas bajas, las montañas presentan un límite físico en sus cumbres, lo que restringe la posibilidad de desplazamiento continuo de las especies. Este fenómeno, conocido como “trampa altitudinal”, incrementa la vulnerabilidad de las especies de montaña, ya que, una vez alcanzado el límite superior, no

existen hábitats alternativos que permitan continuar el proceso adaptativo (Uribe, 2015). En este contexto, el riesgo de extinción local se incrementa de manera significativa.

En regiones andinas como Cajamarca, los impactos del cambio climático en los ecosistemas de montaña se ven amplificados por la presión antrópica. La deforestación, la expansión agrícola y la urbanización reducen la conectividad ecológica y fragmentan los hábitats naturales, limitando las rutas de desplazamiento de las especies. Esta fragmentación obliga a muchas aves a colonizar ecosistemas antrópicos, como áreas agrícolas y espacios urbanos, generando conflictos ecológicos, económicos y sanitarios (Fernández Barrios, 2023).

Asimismo, los cambios en los regímenes de precipitación asociados al cambio climático afectan la disponibilidad hídrica en los ecosistemas de montaña. La alteración de los ciclos de lluvia y la mayor frecuencia de sequías o lluvias intensas impactan negativamente en los humedales altoandinos, ríos y lagunas, que constituyen hábitats clave para numerosas especies de aves. La degradación de estos ecosistemas acuáticos reduce la capacidad de soporte del paisaje andino y agrava los procesos de desplazamiento faunístico (IPCC, 2021).

Desde una perspectiva regional, los Andes tropicales han sido identificados como zonas críticas frente a los escenarios climáticos proyectados. La Plataforma Intergubernamental sobre Diversidad Biológica y Servicios Ecosistémicos advierte que, hacia mediados del siglo XXI, los ecosistemas de montaña podrían experimentar pérdidas significativas de biodiversidad como resultado de la interacción entre cambio climático, pérdida de hábitat y presión humana (IPBES, 2018). Estas proyecciones refuerzan la urgencia de desarrollar estrategias de adaptación y conservación específicas para estos territorios.

En síntesis, el cambio climático está generando impactos profundos y multidimensionales en los ecosistemas de montaña. El incremento de la temperatura, la redistribución altitudinal de especies, la fragmentación de hábitats y la reducción del espacio ecológico disponible configuran un escenario de alta vulnerabilidad para la biodiversidad altoandina. En este contexto, la migración altitudinal de aves observada en la región Quechua

de Cajamarca constituye una expresión concreta de estos impactos y un indicador temprano de las transformaciones ecológicas inducidas por el cambio climático en los ecosistemas de montaña.

1.1.6. Vulnerabilidad climática en los Andes tropicales

Los Andes tropicales constituyen una de las regiones más vulnerables del planeta frente a los efectos del cambio climático, debido a la convergencia de factores climáticos, ecológicos y socioeconómicos que amplifican su sensibilidad ambiental. Esta vulnerabilidad se expresa no solo en la magnitud de los cambios observados, sino también en la limitada capacidad de adaptación de los ecosistemas y de las poblaciones humanas que dependen directamente de ellos.

Desde una perspectiva biofísica, la vulnerabilidad climática de los Andes tropicales está estrechamente relacionada con su compleja topografía y con la existencia de gradientes altitudinales abruptos. Pequeñas variaciones en la temperatura o en los regímenes de precipitación generan respuestas ecológicas desproporcionadas, alterando la distribución de especies, los ciclos fenológicos y la estructura de los ecosistemas. En este sentido, se ha documentado que los ecosistemas altoandinos experimentan tasas de calentamiento superiores al promedio global, lo que incrementa la presión sobre especies adaptadas a condiciones climáticas muy específicas (IPCC, 2021).

Uno de los elementos centrales de esta vulnerabilidad es la alta especialización ecológica de muchas especies andinas. A diferencia de organismos generalistas, numerosas especies de flora y fauna de los Andes tropicales presentan rangos de tolerancia climática estrechos, lo que limita su capacidad de respuesta ante cambios rápidos del ambiente. En el caso de las aves, esta especialización se traduce en migraciones altitudinales forzadas hacia pisos ecológicos superiores, fenómeno ampliamente registrado en los Andes peruanos durante las últimas décadas (Quinteros Tuesta, 2020; Cuentas Romero, 2022).

La vulnerabilidad climática también se ve intensificada por la reducción progresiva del espacio disponible para la migración altitudinal. A medida que las especies ascienden en

busca de temperaturas más favorables, encuentran límites físicos impuestos por las cumbres montañosas, donde las condiciones ambientales dejan de ser viables para su supervivencia. Este fenómeno incrementa el riesgo de extinción local, especialmente para especies endémicas de montaña que no disponen de rutas alternativas de desplazamiento (Uribe, 2015). En este contexto, los Andes tropicales se configuran como un escenario crítico de pérdida potencial de biodiversidad.

A nivel regional, los cambios en los patrones de precipitación constituyen otro factor clave de vulnerabilidad. La alteración de los regímenes hídricos afecta la disponibilidad de agua en bofedales, ríos y lagunas altoandinas, ecosistemas fundamentales para la regulación climática y para la supervivencia de numerosas especies. Estudios realizados en América Latina proyectan un aumento en la frecuencia de eventos extremos, como sequías prolongadas y precipitaciones intensas, con impactos directos sobre la estabilidad de los ecosistemas de montaña (IPCC, 2014; IPBES, 2018).

En los Andes tropicales del Perú, esta vulnerabilidad climática se ve agravada por factores antrópicos. La expansión de la frontera agrícola, la deforestación, el uso intensivo del suelo y la urbanización desordenada reducen la conectividad ecológica y fragmentan los hábitats naturales. Estas presiones limitan la capacidad adaptativa de los ecosistemas y obligan a muchas especies a colonizar ambientes antrópicos, como áreas agrícolas y periurbanas, generando conflictos ecológicos y socioeconómicos, tal como se ha observado en la región Quechua de Cajamarca (Fernández Barrios, 2023).

Desde una perspectiva socioecológica, la vulnerabilidad climática de los Andes tropicales también afecta directamente a las poblaciones humanas. Comunidades rurales y campesinas, cuya economía depende de la agricultura y la ganadería, enfrentan riesgos crecientes asociados a la pérdida de servicios ecosistémicos, la disminución de la productividad agrícola y la aparición de nuevas amenazas sanitarias. La migración de aves hacia ecosistemas antrópicos, inducida por el cambio climático, se inserta en este escenario como un factor adicional de presión sobre los sistemas agro-productivos locales, tal como se

evidencia en Cajamarca, donde se han registrado daños a cultivos y alteraciones en la dinámica ecológica tradicional.

La literatura científica coincide en que la vulnerabilidad climática en los Andes tropicales no responde únicamente a la exposición al cambio climático, sino a la interacción entre exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa. Este enfoque de vulnerabilidad integrada permite comprender por qué regiones como Cajamarca presentan respuestas ecológicas aceleradas frente al calentamiento global y por qué la migración altitudinal de aves emerge como un bioindicador temprano de estas transformaciones (Quinteros Tuesta & Saavedra Torres, 2020).

En síntesis, los Andes tropicales representan un sistema altamente vulnerable al cambio climático, donde los impactos ambientales se manifiestan de manera temprana e intensa. La combinación de calentamiento acelerado, alta especialización biológica, limitaciones físicas del territorio y presión antrópica configura un escenario crítico para la biodiversidad y para las comunidades humanas. En este contexto, el estudio de la migración altitudinal de aves en la región Quechua Cajamarca adquiere especial relevancia, al permitir comprender cómo la vulnerabilidad climática se traduce en cambios concretos en la dinámica ecológica de los Andes tropicales.

1.2. Nociones básicas del cambio climático

El cambio climático constituye uno de los procesos ambientales más determinantes del siglo XXI y representa un eje central para comprender las transformaciones actuales de los sistemas naturales y humanos. Su estudio exige el manejo de nociones básicas que permitan interpretar, con rigor científico, la magnitud, las causas y las consecuencias de las alteraciones climáticas observadas a escala global, regional y local. Estas nociones no solo facilitan el análisis técnico del fenómeno, sino que también proporcionan el marco conceptual necesario para evaluar sus impactos diferenciados sobre ecosistemas sensibles, como los de montaña tropical.

Desde una perspectiva científica contemporánea, el cambio climático se entiende como una modificación sostenida de los patrones climáticos —temperatura, precipitación, humedad y frecuencia de eventos extremos— que supera la variabilidad natural del sistema climático. Estas alteraciones se manifiestan a lo largo de décadas o siglos y afectan de manera directa la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas, así como los medios de vida de las poblaciones humanas (IPCC, 2021). En regiones andinas, donde los gradientes altitudinales condicionan la distribución de especies y actividades productivas, estas variaciones adquieren una relevancia particular.

El abordaje de las nociones básicas del cambio climático implica reconocer la interacción entre componentes atmosféricos, biológicos y antrópicos. El clima no actúa de forma aislada, sino que se encuentra estrechamente vinculado a procesos ecológicos como la productividad primaria, los ciclos hidrológicos y las dinámicas poblacionales de flora y fauna. En este contexto, las alteraciones climáticas generan respuestas ecológicas complejas, entre las que destacan los desplazamientos geográficos y altitudinales de especies como mecanismos de adaptación frente al incremento térmico y la modificación de los regímenes de precipitación (Quinteros Tuesta, 2020).

Asimismo, las nociones fundamentales del cambio climático incluyen el reconocimiento de conceptos clave como calentamiento global, efecto invernadero, variabilidad climática, eventos extremos y vulnerabilidad climática. Estos conceptos permiten explicar cómo el aumento sostenido de la temperatura media global, asociado principalmente a la acumulación de gases de efecto invernadero de origen antrópico, está modificando los equilibrios climáticos históricos del planeta (Terán Nieto & Rodríguez Potes, 2018). La comprensión de estos procesos resulta esencial para interpretar los impactos observados en ecosistemas frágiles como los Andes tropicales.

En el ámbito latinoamericano, y particularmente en el Perú, las nociones básicas del cambio climático adquieren una dimensión territorial específica. Las proyecciones climáticas indican que las regiones andinas experimentan incrementos térmicos más acelerados que otras zonas del continente, acompañados de una mayor variabilidad en las precipitaciones y

una intensificación de fenómenos extremos (IPCC, 2014; IPBES, 2018). Estas condiciones generan escenarios de alta incertidumbre ecológica, afectando tanto a la biodiversidad como a los sistemas agro-productivos tradicionales.

Comprender estas nociones básicas permite, además, establecer la relación entre cambio climático y biodiversidad. Diversos estudios han demostrado que el clima actúa como un factor estructurante de la distribución de las especies, influyendo en sus ciclos reproductivos, patrones migratorios y disponibilidad de recursos (Real-Giménez, 2019). En este marco, la migración altitudinal de aves observada en los Andes cajamarquinos se configura como una respuesta adaptativa frente a la modificación térmica del ecosistema, fenómeno que solo puede ser interpretado adecuadamente desde una base conceptual sólida sobre cambio climático.

En síntesis, el desarrollo de las nociones básicas del cambio climático constituye un pilar teórico indispensable para el presente libro. Estas nociones permiten articular el análisis científico del fenómeno climático con sus expresiones ecológicas concretas, sentando las bases para comprender cómo el calentamiento global se traduce en procesos observables, como la redistribución altitudinal de especies y la transformación de los ecosistemas andinos. A partir de este marco conceptual, se profundizará en las dimensiones, mecanismos y efectos del cambio climático que inciden directamente en la dinámica ambiental de la región Quechua Cajamarca.

1.2.1. Definición operativa de cambio climático

Para efectos del presente libro, el cambio climático se aborda desde una **definición operativa**, entendida como una herramienta conceptual que permite delimitar, medir y analizar empíricamente el fenómeno en contextos territoriales específicos. A diferencia de una definición meramente teórica o normativa, la definición operativa traduce el concepto de cambio climático en variables observables, indicadores medibles y procesos verificables en el tiempo y el espacio.

En términos generales, el cambio climático puede definirse operativamente como la **alteración persistente y estadísticamente significativa de las condiciones climáticas medias**, particularmente de la temperatura y la precipitación, que se manifiesta durante períodos prolongados y genera efectos directos e indirectos sobre los ecosistemas y las actividades humanas. Esta definición enfatiza el carácter acumulativo del fenómeno y su capacidad de modificar la estructura y funcionalidad de los sistemas ecológicos, más allá de la variabilidad climática natural (IPCC, 2021).

Desde esta perspectiva, el cambio climático se expresa a través de **indicadores concretos**, tales como el incremento sostenido de la temperatura media anual, la modificación de los regímenes de lluvias, la mayor frecuencia de eventos climáticos extremos y los cambios en la estacionalidad. Estos indicadores han sido ampliamente documentados en América Latina y, de manera particular, en los ecosistemas andinos, donde se registran tasas de calentamiento superiores al promedio global (IPCC, 2014).

En el contexto de los Andes tropicales del Perú, la definición operativa de cambio climático adquiere una dimensión territorial específica. En regiones como Cajamarca, el fenómeno se manifiesta en el aumento progresivo de la temperatura media mensual, la irregularidad de las precipitaciones y la alteración de los ciclos hídricos locales, condiciones que inciden directamente en la disponibilidad de recursos y en la redistribución de especies (Quinteros Tuesta, 2020). Estos cambios no solo afectan a los ecosistemas naturales, sino que también repercuten en los sistemas agro-productivos y en la dinámica socioeconómica de las comunidades rurales.

Desde el enfoque ecológico adoptado en este estudio, el cambio climático se define operativamente como el **factor ambiental desencadenante de respuestas adaptativas en las especies**, particularmente en aquellas con alta sensibilidad térmica. En este sentido, la migración altitudinal de aves constituye un indicador biológico clave del cambio climático, ya que refleja la búsqueda de condiciones climáticas más favorables frente al incremento de la temperatura en los pisos ecológicos inferiores (Cuentas Romero, 2022). Esta relación

causal permite operacionalizar el cambio climático a partir de sus efectos observables sobre la biodiversidad.

Asimismo, la definición operativa incorpora la dimensión antrópica del fenómeno. El cambio climático es entendido como un proceso intensificado por la actividad humana, especialmente por la emisión de gases de efecto invernadero asociados al uso de combustibles fósiles, la deforestación y el cambio de uso del suelo. Estas actividades han acelerado el calentamiento global y han reducido la capacidad de los ecosistemas para autorregularse, generando escenarios de vulnerabilidad ecológica creciente (Terán Nieto & Rodríguez Potes, 2018).

En términos metodológicos, esta definición operativa permite vincular el cambio climático con variables cuantificables utilizadas en estudios empíricos, como registros históricos de temperatura, series de precipitación y datos meteorológicos locales. En el caso de Cajamarca, la información proporcionada por estaciones meteorológicas y organismos oficiales ha permitido establecer correlaciones significativas entre el incremento térmico y el aumento en la presencia de especies de aves migrantes en la región Quechua, evidenciando la influencia directa del cambio climático sobre los patrones de distribución biológica.

En síntesis, la definición operativa de cambio climático adoptada en este libro concibe el fenómeno como un **proceso climático de largo plazo, mensurable y ecológicamente significativo**, que se manifiesta a través de cambios térmicos y pluviométricos persistentes, inducidos principalmente por la actividad humana, y que genera respuestas adaptativas en los ecosistemas. Esta definición constituye la base conceptual para analizar, en los capítulos posteriores, cómo el cambio climático actúa como motor de la migración altitudinal de aves y como factor de transformación de los ecosistemas andinos de la región Quechua Cajamarca.

1.2.2. Variabilidad climática, temperatura y precipitación

La comprensión de la variabilidad climática y de sus principales componentes —temperatura y precipitación— resulta fundamental para analizar los procesos asociados al cambio climático y sus efectos sobre los ecosistemas. Estos elementos constituyen variables

climáticas básicas que, al modificarse de manera persistente, alteran el equilibrio ecológico y generan respuestas adaptativas en las especies y en los sistemas productivos.

La **variabilidad climática** se refiere a las fluctuaciones naturales del clima en escalas temporales que pueden ir desde meses hasta décadas. Estas variaciones forman parte del funcionamiento normal del sistema climático y se expresan en cambios interanuales o estacionales de temperatura y precipitación. No obstante, cuando estas fluctuaciones superan los rangos históricos de variación y se mantienen en el tiempo, se convierten en un indicador del cambio climático de largo plazo (IPCC, 2021). En este sentido, diferenciar entre variabilidad climática y cambio climático resulta clave para interpretar adecuadamente los procesos observados en los ecosistemas andinos.

La **temperatura** constituye uno de los indicadores más sensibles del cambio climático. El incremento sostenido de la temperatura media global ha sido ampliamente documentado desde mediados del siglo XX, con efectos particularmente marcados en regiones de montaña. En los Andes tropicales, pequeños aumentos térmicos generan desplazamientos altitudinales significativos en las condiciones ambientales, modificando la distribución de especies y la estructura de los ecosistemas (Quinteros Tuesta, 2020). Esta sensibilidad térmica explica por qué los ecosistemas altoandinos actúan como escenarios tempranos de manifestación del calentamiento global.

En el caso específico del Perú andino, diversos estudios han evidenciado un aumento progresivo de la temperatura media anual, acompañado de una mayor frecuencia de anomalías térmicas. Estas variaciones afectan directamente los ciclos biológicos de la fauna y la flora, influyendo en procesos como la reproducción, la disponibilidad de alimento y los patrones migratorios de las aves. La migración altitudinal observada en especies procedentes de la región Yunga hacia la región Quechua Cajamarca constituye una respuesta adaptativa frente al estrés térmico acumulativo en los pisos ecológicos inferiores (Cuentas Romero, 2022).

La **precipitación**, por su parte, representa un componente climático igualmente determinante, especialmente en ecosistemas de montaña donde el régimen hídrico condiciona

la productividad y la estabilidad ecológica. El cambio climático no solo modifica la cantidad total de lluvias, sino también su distribución temporal e intensidad. En América Latina, se proyectan escenarios caracterizados por una mayor irregularidad de las precipitaciones, con alternancia de períodos de sequía prolongada y eventos de lluvias intensas (IPCC, 2014). Estas alteraciones incrementan la vulnerabilidad de los ecosistemas andinos y de las comunidades que dependen de ellos.

En los Andes tropicales, la variabilidad de la precipitación afecta de manera directa a bofedales, ríos y lagunas altoandinas, ecosistemas clave para la regulación hídrica y climática regional. La disminución o concentración de las lluvias puede provocar la degradación de hábitats acuáticos y ribereños, reduciendo la disponibilidad de recursos para especies que dependen de estos ambientes. En el caso de la avifauna, la alteración de los regímenes de precipitación incide en la disponibilidad de insectos, semillas y frutos, factores que influyen en la decisión de desplazarse hacia zonas de mayor altitud (Real-Giménez, 2019).

La interacción entre temperatura y precipitación configura, además, escenarios de alta complejidad ecológica. El aumento térmico, combinado con cambios en la pluviometría, puede modificar la estructura vegetal de los ecosistemas, alterando los nichos ecológicos disponibles y generando nuevas dinámicas de competencia entre especies. Este proceso ha sido identificado como uno de los principales motores de redistribución altitudinal de especies en los Andes, donde la conectividad ecológica se ve progresivamente reducida por la fragmentación del paisaje (Fernández Barrios, 2023).

Desde una perspectiva operativa, el análisis conjunto de la variabilidad climática, la temperatura y la precipitación permite establecer relaciones causales entre el cambio climático y las respuestas biológicas observadas. En estudios realizados en Cajamarca, la correlación entre el incremento de la temperatura y la mayor presencia de aves migrantes en la región Quechua ha evidenciado una asociación estadísticamente significativa, lo que refuerza la interpretación del cambio climático como factor determinante de la migración altitudinal.

En síntesis, la variabilidad climática, la temperatura y la precipitación constituyen variables fundamentales para comprender el impacto del cambio climático en los ecosistemas de montaña. Su análisis integrado permite explicar cómo las alteraciones climáticas sostenidas generan cambios en la distribución de especies, afectan la funcionalidad de los ecosistemas andinos y condicionan la dinámica socioecológica de regiones vulnerables como Cajamarca. Estas nociones básicas proporcionan el soporte conceptual necesario para abordar, en los capítulos siguientes, la relación entre cambio climático y migración altitudinal de aves desde una perspectiva científica y territorialmente contextualizada.

1.2.3. Fenómenos extremos y estrés térmico acumulativo

Los fenómenos climáticos extremos y el estrés térmico acumulativo constituyen manifestaciones críticas del cambio climático contemporáneo y representan factores determinantes en la transformación de los ecosistemas, especialmente en regiones de montaña. Su análisis resulta esencial para comprender cómo el clima, más allá de los promedios anuales, incide de manera abrupta y progresiva sobre la biodiversidad y los sistemas humanos.

Los **fenómenos climáticos extremos** incluyen eventos como olas de calor, sequías prolongadas, precipitaciones intensas, heladas atípicas e inundaciones repentinas. Estos eventos se caracterizan por su alta intensidad, corta duración y capacidad de generar impactos desproporcionados sobre los ecosistemas. La evidencia científica indica que el cambio climático está incrementando tanto la frecuencia como la severidad de estos fenómenos, alterando los patrones climáticos históricos y reduciendo la capacidad de recuperación de los sistemas naturales (IPCC, 2021).

En los Andes tropicales, los fenómenos extremos adquieren una relevancia particular debido a la sensibilidad de los ecosistemas altoandinos. Las olas de calor, por ejemplo, provocan incrementos súbitos de la temperatura que afectan la fisiología de las especies, alteran los ciclos reproductivos y reducen la disponibilidad de recursos alimenticios. De manera paralela, las sequías y las lluvias intensas modifican los regímenes hídricos,

afectando la estabilidad de bofedales, ríos y lagunas, ecosistemas clave para la regulación ambiental en zonas de montaña (IPCC, 2014).

El **estrés térmico acumulativo** se refiere al efecto progresivo que generan incrementos sostenidos de la temperatura sobre los organismos a lo largo del tiempo. A diferencia de los eventos extremos aislados, el estrés térmico acumulativo actúa de forma gradual, pero persistente, superando los umbrales de tolerancia fisiológica de muchas especies. Este proceso resulta particularmente relevante en ecosistemas andinos, donde la fauna y la flora han evolucionado bajo condiciones térmicas relativamente estables (Quinteros Tuesta, 2020).

En el caso de las aves, el estrés térmico acumulativo se manifiesta en cambios comportamentales y espaciales, tales como la modificación de horarios de actividad, la alteración de patrones reproductivos y el desplazamiento hacia pisos altitudinales superiores. Estos desplazamientos constituyen estrategias adaptativas frente a la pérdida de condiciones térmicas óptimas en los hábitats originales. Estudios realizados en los Andes peruanos han documentado que el aumento sostenido de la temperatura media mensual está asociado con una mayor frecuencia de migraciones altitudinales, especialmente en especies procedentes de regiones más bajas (Cuentas Romero, 2022).

La interacción entre fenómenos extremos y estrés térmico acumulativo genera escenarios de alta vulnerabilidad ecológica. Por ejemplo, una sequía prolongada combinada con temperaturas elevadas puede provocar la reducción drástica de insectos, semillas y frutos, afectando la base alimenticia de numerosas especies. En estos contextos, las aves se ven forzadas a explorar nuevos hábitats, muchas veces en ecosistemas antrópicos, donde se intensifican los conflictos ecológicos y socioeconómicos, como la competencia por recursos y los daños a cultivos, tal como se ha observado en la región Quechua de Cajamarca (Fernández Barrios, 2023).

Asimismo, los fenómenos extremos pueden actuar como detonantes de procesos migratorios abruptos. Heladas fuera de temporada o lluvias intensas en zonas ribereñas pueden destruir sitios de anidación y reducir la disponibilidad de refugio, obligando a las

aves a desplazarse rápidamente hacia áreas más seguras. Estos movimientos, cuando se repiten de manera sistemática, se consolidan como cambios estructurales en la distribución de las especies, configurando nuevas dinámicas ecológicas en los Andes tropicales (Real-Giménez, 2019).

Desde una perspectiva integradora, el estrés térmico acumulativo y los fenómenos extremos no deben analizarse de manera aislada, sino como procesos interrelacionados que amplifican los efectos del cambio climático. La recurrencia de eventos extremos acelera el desgaste fisiológico de las especies, mientras que el aumento sostenido de la temperatura reduce su capacidad de recuperación. Este doble impacto explica por qué los ecosistemas de montaña presentan respuestas rápidas y, en muchos casos, irreversibles frente al calentamiento global.

En síntesis, los fenómenos extremos y el estrés térmico acumulativo constituyen mecanismos centrales a través de los cuales el cambio climático transforma los ecosistemas andinos. Su influencia sobre la biodiversidad, particularmente sobre la avifauna, se expresa en migraciones altitudinales, cambios en la estructura de las comunidades biológicas y una mayor interacción con ecosistemas antrópicos. Comprender estos procesos resulta fundamental para interpretar la migración de aves como un bioindicador del cambio climático y para diseñar estrategias de adaptación y gestión ambiental en regiones vulnerables como la Quechua Cajamarca.

1.2.4. Cambio climático y transformación de hábitats

El cambio climático actúa como un agente transformador de los hábitats naturales, modificando de manera progresiva —y en algunos casos abrupta— las condiciones físicas y biológicas que sostienen a los ecosistemas. Estas transformaciones no se limitan a cambios en la temperatura o la precipitación, sino que involucran alteraciones estructurales en la vegetación, la disponibilidad de recursos y las interacciones ecológicas, con efectos directos sobre la distribución y supervivencia de las especies.

En los ecosistemas de montaña, la transformación de hábitats inducida por el cambio climático se manifiesta con particular intensidad debido a la sensibilidad de los gradientes altitudinales. El incremento sostenido de la temperatura provoca el desplazamiento de pisos ecológicos hacia mayores altitudes, generando una reorganización del paisaje natural. Como resultado, especies que históricamente ocupaban determinados rangos altitudinales se ven forzadas a migrar en busca de condiciones térmicas compatibles con sus requerimientos fisiológicos (Quinteros Tuesta, 2020).

Uno de los procesos más relevantes asociados a esta transformación es la modificación de la cobertura vegetal. El aumento de la temperatura y la variabilidad en las precipitaciones alteran la composición florística de los ecosistemas andinos, favoreciendo la expansión de especies vegetales más tolerantes al calor y a la sequía. Este cambio en la estructura vegetal repercute directamente en la disponibilidad de nichos ecológicos, afectando a especies que dependen de hábitats específicos para su alimentación, refugio y reproducción (Varela Largo, 2019).

La transformación de hábitats también implica la pérdida o degradación de ecosistemas clave, como bofedales, humedales altoandinos y zonas ribereñas. Estos ambientes cumplen funciones esenciales en la regulación hídrica y climática, además de constituir áreas críticas para numerosas especies de aves. La reducción de estos hábitats, asociada tanto al cambio climático como a la presión antrópica, limita las opciones de adaptación de la avifauna y aumenta la competencia por recursos en los espacios restantes (IPCC, 2021).

En el caso de la región andina de Cajamarca, la transformación de hábitats se ha visto intensificada por la interacción entre cambio climático y actividades humanas. La expansión de la frontera agrícola, la deforestación y la urbanización han fragmentado los ecosistemas naturales, reduciendo la conectividad ecológica y dificultando los desplazamientos naturales de las especies. Esta fragmentación obliga a muchas aves migrantes a colonizar ecosistemas antrópicos, como áreas agrícolas y periurbanas, donde se generan nuevos conflictos ecológicos y socioeconómicos (Fernández Barrios, 2023).

La transformación de hábitats inducida por el cambio climático no solo afecta a las especies migrantes, sino también a las especies nativas que permanecen en los ecosistemas altoandinos. La llegada de nuevas especies a hábitats transformados altera las relaciones de competencia, depredación y uso del espacio, provocando desplazamientos internos y cambios en la estructura de las comunidades biológicas. En Cajamarca, se ha documentado el desplazamiento de especies ribereñas nativas hacia altitudes superiores debido a la presión ejercida por aves migrantes más generalistas, fenómeno vinculado a la modificación del hábitat original (Cuentas Romero, 2022).

Desde una perspectiva ecológica integrada, la transformación de hábitats puede entenderse como un proceso en cascada. El cambio climático modifica las condiciones climáticas básicas; estas alteraciones afectan la vegetación y los recursos disponibles; y, finalmente, las especies responden mediante adaptaciones comportamentales, fisiológicas o espaciales. La migración altitudinal de aves se inscribe en este marco como una respuesta adaptativa frente a la pérdida progresiva de hábitats adecuados en los pisos ecológicos inferiores (Real-Giménez, 2019).

En síntesis, el cambio climático está redefiniendo la configuración de los hábitats naturales, especialmente en los ecosistemas de montaña, donde las transformaciones se producen con mayor rapidez y menor margen de adaptación. La reorganización del paisaje andino, la degradación de hábitats clave y la creciente interacción entre fauna silvestre y ecosistemas antrópicos constituyen evidencias concretas de este proceso. Comprender la transformación de hábitats inducida por el cambio climático resulta fundamental para interpretar los patrones actuales de migración de aves y para diseñar estrategias de conservación y gestión adaptativa en regiones vulnerables como la Quechua Cajamarca.

1.2.5. Dimensiones del cambio climático: ecológica, social y productiva

El cambio climático constituye un fenómeno multidimensional cuyos impactos trascienden el ámbito estrictamente ambiental, proyectándose sobre las esferas social y productiva. Comprender estas dimensiones de manera integrada resulta fundamental para analizar las transformaciones que experimentan los territorios vulnerables, como los Andes

tropicales, donde los sistemas ecológicos y humanos se encuentran estrechamente interconectados.

Desde la **dimensión ecológica**, el cambio climático se manifiesta principalmente a través de alteraciones en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas. El incremento sostenido de la temperatura, la variabilidad en los regímenes de precipitación y la mayor frecuencia de eventos extremos modifican los ciclos biogeoquímicos, la productividad primaria y la distribución espacial de las especies. En los ecosistemas andinos, estas alteraciones generan desplazamientos altitudinales de flora y fauna, cambios en la composición de las comunidades biológicas y una creciente presión sobre especies altamente especializadas (Quinteros Tuesta, 2020).

En el caso de la avifauna, la dimensión ecológica del cambio climático se expresa en modificaciones de los patrones migratorios, adelantos en la fenología reproductiva y colonización de nuevos hábitats. La migración altitudinal de aves procedentes de la región Yunga hacia la región Quechua Cajamarca constituye un ejemplo concreto de cómo las especies responden adaptativamente a la modificación térmica del ecosistema, actuando como bioindicadores de transformación ecológica (Cuentas Romero, 2022). Estos procesos alteran las interacciones tróficas y generan nuevos escenarios de competencia entre especies migrantes y nativas.

La **dimensión social** del cambio climático se relaciona con los efectos que las alteraciones ambientales producen sobre las poblaciones humanas, especialmente aquellas que dependen directamente de los recursos naturales. En regiones andinas, las comunidades rurales enfrentan un aumento de la vulnerabilidad social debido a la pérdida de servicios ecosistémicos, la disminución de la productividad agrícola y la aparición de nuevos riesgos sanitarios. La transformación de los ecosistemas afecta prácticas culturales, saberes tradicionales y estrategias de subsistencia construidas históricamente en torno a condiciones climáticas relativamente estables (Terán Nieto & Rodríguez Potes, 2018).

En Cajamarca, la migración de aves hacia ecosistemas antrópicos ha generado percepciones sociales de conflicto, asociadas a daños en cultivos, contaminación por excretas

y posibles riesgos para la salud pública. Estas percepciones reflejan la manera en que el cambio climático incide en la vida cotidiana de las comunidades, obligándolas a redefinir sus prácticas productivas y su relación con el entorno natural (Fernández Barrios, 2023). La dimensión social del cambio climático, por tanto, no puede desvincularse de los procesos ecológicos que la originan.

La **dimensión productiva** del cambio climático se vincula directamente con el impacto sobre los sistemas agro-productivos, ganaderos y forestales. Las variaciones en temperatura y precipitación alteran los calendarios agrícolas, reducen la disponibilidad de agua y afectan la calidad del suelo, comprometiendo la seguridad alimentaria y la estabilidad económica de las poblaciones rurales. En los Andes tropicales, estos efectos se intensifican debido a la limitada capacidad de adaptación tecnológica y a la dependencia de prácticas agrícolas tradicionales (IPBES, 2018).

La llegada de especies de aves migrantes a zonas agrícolas de la región Quechua Cajamarca ha evidenciado cómo la dimensión productiva del cambio climático se manifiesta a través de conflictos entre conservación y producción. El consumo de semillas y granos, los daños en etapas críticas de siembra y cosecha, y la competencia por espacios agrícolas constituyen impactos directos que afectan la economía campesina. Estos fenómenos no responden únicamente a dinámicas biológicas, sino a la interacción entre cambio climático, transformación de hábitats y prácticas productivas humanas.

Desde una perspectiva integrada, las dimensiones ecológica, social y productiva del cambio climático se retroalimentan mutuamente. La degradación ecológica incrementa la vulnerabilidad social; esta, a su vez, limita la capacidad de adaptación productiva, generando un círculo de retroalimentación negativa. En este contexto, la migración altitudinal de aves se convierte en un fenómeno transversal que permite visualizar la interdependencia de estas dimensiones, al evidenciar cómo un proceso climático global se traduce en impactos locales múltiples.

En síntesis, el análisis del cambio climático desde sus dimensiones ecológica, social y productiva permite comprender la complejidad de sus efectos en territorios andinos como

Cajamarca. Esta mirada integral resulta indispensable para interpretar los procesos de transformación ambiental y para fundamentar propuestas de gestión adaptativa que articulen la conservación de la biodiversidad, la resiliencia social y la sostenibilidad de los sistemas productivos. Estas dimensiones constituyen el marco conceptual desde el cual se abordará, en los capítulos siguientes, la relación entre cambio climático y migración altitudinal de aves en los ecosistemas altoandinos.

1.2.6. Indicadores climáticos relevantes para estudios ecológicos

El análisis del cambio climático en contextos ecológicos requiere la identificación y utilización de **indicadores climáticos** que permitan vincular las variaciones del clima con respuestas observables en los ecosistemas. Estos indicadores constituyen herramientas fundamentales para interpretar la magnitud, dirección y velocidad de los cambios ambientales, así como para establecer relaciones causales entre el clima y los procesos biológicos.

Entre los indicadores más relevantes para los estudios ecológicos se encuentra la **temperatura del aire**, particularmente la temperatura media anual, mensual y estacional. Este indicador es considerado uno de los más sensibles al cambio climático y uno de los principales determinantes de la distribución de especies. En ecosistemas de montaña, pequeñas variaciones térmicas generan desplazamientos altitudinales significativos de los pisos ecológicos, afectando la disponibilidad de hábitats y recursos (IPCC, 2021). En los Andes peruanos, el incremento sostenido de la temperatura ha sido asociado con cambios en la fenología y en los patrones migratorios de diversas especies de aves (Quinteros Tuesta, 2020).

Un segundo indicador clave es la **precipitación**, analizada tanto en términos de cantidad total anual como de distribución temporal e intensidad. Las alteraciones en los regímenes de lluvias influyen directamente en la productividad primaria, la estructura de la vegetación y la disponibilidad de recursos hídricos. En los ecosistemas andinos, la irregularidad de las precipitaciones afecta bofedales, ríos y zonas ribereñas, hábitats esenciales para la avifauna y otros organismos dependientes del agua (IPCC, 2014). Estos

cambios pueden desencadenar procesos de migración o redistribución de especies hacia áreas con condiciones más favorables.

La **frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos** constituye otro indicador de alta relevancia ecológica. Olas de calor, sequías prolongadas, lluvias intensas y heladas atípicas generan impactos abruptos sobre los ecosistemas, superando la capacidad de adaptación de muchas especies. La recurrencia de estos eventos, en combinación con el aumento térmico sostenido, incrementa el estrés ambiental y acelera los procesos de transformación ecológica (IPCC, 2021). En estudios sobre avifauna, estos indicadores permiten explicar desplazamientos repentinos y cambios en la ocupación del hábitat (Real-Giménez, 2019).

El **estrés térmico acumulativo** se ha consolidado como un indicador emergente en estudios ecológicos, especialmente en regiones tropicales de montaña. Este indicador integra el efecto de incrementos térmicos persistentes sobre la fisiología y el comportamiento de las especies. A diferencia de eventos extremos aislados, el estrés térmico acumulativo actúa de manera progresiva, reduciendo la tolerancia ambiental de los organismos y favoreciendo respuestas adaptativas como la migración altitudinal (Cuentas Romero, 2022).

Otro indicador relevante es la **variabilidad climática interanual**, que permite distinguir entre fluctuaciones naturales del clima y tendencias asociadas al cambio climático. El análisis de series históricas de datos meteorológicos resulta esencial para identificar anomalías persistentes y establecer umbrales críticos de cambio. En el caso de Cajamarca, los registros de temperatura y precipitación de largo plazo han permitido correlacionar el incremento térmico con una mayor presencia de aves migrantes en la región Quechua, evidenciando la influencia directa del clima sobre la dinámica ecológica local.

Asimismo, la **disponibilidad hídrica** puede considerarse un indicador climático-ecológico integrado, ya que refleja la interacción entre precipitación, temperatura y evapotranspiración. La reducción del caudal de ríos, la desecación de humedales y la pérdida de bofedales constituyen señales claras de estrés ambiental que afectan de manera directa a la biodiversidad andina y a los sistemas productivos asociados (IPBES, 2018).

Desde una perspectiva aplicada, la selección de indicadores climáticos debe responder a la escala espacial y temporal del estudio, así como a las características ecológicas del territorio analizado. En ecosistemas andinos, los indicadores térmicos y pluviométricos adquieren especial relevancia debido a la alta sensibilidad de los gradientes altitudinales. La integración de estos indicadores con variables biológicas —como presencia de especies, patrones migratorios y cambios en el uso del hábitat— permite construir análisis ecológicos robustos y territorialmente contextualizados.

En síntesis, los indicadores climáticos relevantes para estudios ecológicos constituyen la base empírica para comprender la relación entre cambio climático y biodiversidad. El análisis de la temperatura, la precipitación, los eventos extremos, el estrés térmico acumulativo y la disponibilidad hídrica permite interpretar cómo las alteraciones climáticas se traducen en transformaciones ecológicas concretas. En el marco de este libro, estos indicadores resultan esenciales para explicar la migración altitudinal de aves como una respuesta adaptativa al cambio climático en los ecosistemas altoandinos de la región Quechua Cajamarca.

1.2.7. Cambio climático y redistribución altitudinal de especies

La redistribución altitudinal de especies constituye una de las respuestas ecológicas más consistentes y documentadas frente al cambio climático, particularmente en regiones montañosas donde los gradientes térmicos son marcados y las opciones de desplazamiento horizontal son limitadas. El aumento sostenido de la temperatura en pisos ecológicos inferiores genera un desplazamiento progresivo de las condiciones climáticas óptimas hacia mayores altitudes, obligando a numerosas especies a modificar su rango de distribución como mecanismo de adaptación.

En los ecosistemas andinos, la redistribución altitudinal se manifiesta como un proceso dinámico en el que especies previamente restringidas a zonas bajas o intermedias comienzan a colonizar ambientes de mayor elevación. Este fenómeno ha sido ampliamente vinculado al incremento de la temperatura media anual y a la alteración de los regímenes de precipitación, factores que modifican la disponibilidad de recursos y la idoneidad del hábitat

(IPCC, 2021). A diferencia de las migraciones estacionales tradicionales, la redistribución altitudinal inducida por el cambio climático tiende a ser persistente y, en muchos casos, irreversible.

Desde una perspectiva fisiológica, el desplazamiento altitudinal responde a los límites de tolerancia térmica de las especies. Cuando las temperaturas superan los umbrales óptimos para el metabolismo, la reproducción o la supervivencia, los organismos buscan ambientes más frescos que permitan mantener su equilibrio funcional. En este sentido, la altitud actúa como un sustituto espacial del clima, ofreciendo condiciones térmicas similares a las históricamente presentes en las zonas de origen (Quinteros Tuesta, 2020).

La redistribución altitudinal no ocurre de manera homogénea entre especies. Aquellas con mayor plasticidad ecológica, dietas generalistas y capacidad de adaptación comportamental presentan mayores probabilidades de colonizar nuevos pisos ecológicos. En el caso de la avifauna, especies con alta movilidad y flexibilidad trófica han mostrado una notable capacidad para establecerse en ecosistemas altoandinos transformados, incluso en áreas antrópicas como zonas agrícolas y periurbanas (Cuentas Romero, 2022). Este patrón contrasta con el de especies especialistas, cuya limitada tolerancia ambiental restringe su capacidad de desplazamiento y aumenta su riesgo de declive poblacional.

En la región Quechua de Cajamarca, la redistribución altitudinal de especies de aves provenientes de la región Yunga constituye una evidencia empírica del impacto del cambio climático a escala local. El asentamiento de aves costeras y ribereñas en ecosistemas altoandinos refleja la modificación térmica del ecosistema y la transformación de los nichos ecológicos disponibles. Este proceso ha generado nuevas interacciones ecológicas, incluyendo competencia por recursos, desplazamiento de especies nativas y alteración de las cadenas tróficas (Real-Giménez, 2019).

La redistribución altitudinal también tiene implicaciones profundas sobre la estructura y funcionamiento de los ecosistemas. La llegada de nuevas especies puede alterar los equilibrios ecológicos preexistentes, modificar los procesos de polinización, dispersión de semillas y control biológico, y generar cambios en la dinámica poblacional de especies

locales. En ecosistemas de montaña, donde la biodiversidad suele estar altamente especializada y adaptada a condiciones específicas, estas alteraciones pueden tener efectos desproporcionados (Varela Largo, 2019).

Desde una perspectiva sistémica, la redistribución altitudinal de especies debe entenderse como parte de un proceso de reorganización biogeográfica inducido por el cambio climático. Este proceso no solo redefine los límites de distribución de las especies, sino que también transforma la configuración de los ecosistemas y su relación con las actividades humanas. La colonización de ecosistemas antrópicos por especies migrantes evidencia cómo los cambios climáticos interactúan con la fragmentación del hábitat y la presión antrópica, intensificando los conflictos socioambientales (Fernández Barrios, 2023).

En síntesis, el cambio climático está impulsando una redistribución altitudinal acelerada de especies, especialmente en regiones montañosas como los Andes tropicales. Este fenómeno constituye una respuesta adaptativa frente a la modificación térmica del ambiente, pero también genera nuevos desafíos ecológicos, sociales y productivos. Comprender la redistribución altitudinal como un proceso estructural del cambio climático resulta fundamental para interpretar la migración de aves hacia la región Quechua Cajamarca y para fundamentar estrategias de conservación y gestión adaptativa en escenarios de cambio climático continuo.

El desarrollo del presente capítulo ha permitido establecer un marco teórico sólido para comprender el cambio climático como un fenómeno complejo, dinámico y multidimensional, cuyos efectos trascienden el ámbito estrictamente físico-atmosférico y se proyectan de manera directa sobre los ecosistemas y las sociedades humanas. A lo largo del capítulo se ha evidenciado que el cambio climático no constituye un proceso aislado ni homogéneo, sino una transformación sistémica que interactúa con las particularidades ecológicas, sociales y productivas de cada territorio.

El análisis de la evolución histórica del concepto de cambio climático, junto con la diferenciación entre sus componentes naturales y antropogénicos, ha permitido reconocer el papel central de la actividad humana en la aceleración de los procesos de calentamiento

global observados en el siglo XXI. Las evidencias científicas y las proyecciones climáticas revisadas confirman que regiones como América Latina, y en particular los Andes tropicales, se encuentran entre las más vulnerables a estos cambios debido a su compleja geografía, alta biodiversidad y dependencia de servicios ecosistémicos sensibles al clima.

Asimismo, la revisión de los impactos del cambio climático en ecosistemas de montaña ha puesto de manifiesto que los gradientes altitudinales funcionan como espacios críticos de respuesta ecológica. La transformación de hábitats, la modificación de la cobertura vegetal y la alteración de los ciclos hidrológicos configuran un escenario en el que numerosas especies se ven obligadas a redefinir sus rangos de distribución. En este contexto, la redistribución altitudinal de especies emerge como una de las respuestas adaptativas más claras frente al incremento térmico sostenido.

El abordaje de las nociones básicas del cambio climático, sus dimensiones ecológica, social y productiva, así como la identificación de indicadores climáticos relevantes, ha permitido articular una visión integral del fenómeno. Esta perspectiva resulta fundamental para comprender cómo los cambios en variables climáticas aparentemente abstractas se traducen en efectos concretos sobre la biodiversidad, los sistemas productivos y la vida cotidiana de las poblaciones humanas, especialmente en territorios rurales andinos.

Finalmente, el énfasis en la relación entre cambio climático y redistribución altitudinal de especies sienta las bases conceptuales para el desarrollo del siguiente capítulo. La migración altitudinal de aves, abordada posteriormente, no puede entenderse sin este marco teórico previo, ya que constituye una expresión biológica tangible de los procesos climáticos analizados. De este modo, el presente capítulo cumple la función de fundamentar teóricamente el estudio, proporcionando las herramientas conceptuales necesarias para interpretar la migración aviar como un bioindicador del cambio climático en los ecosistemas altoandinos de la región Quechua Cajamarca.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA MIGRACIÓN ALTITUDINAL DE AVES

La migración de aves constituye uno de los fenómenos biológicos más complejos y dinámicos de la ecología, ya que involucra respuestas conductuales, fisiológicas y espaciales frente a variaciones ambientales de diversa naturaleza. Tradicionalmente, estos desplazamientos han sido interpretados como procesos estacionales vinculados a la disponibilidad de alimento, las condiciones reproductivas y la regulación térmica. Sin embargo, en las últimas décadas, la intensificación del cambio climático ha redefinido los patrones migratorios, dando lugar a nuevas formas de movilidad espacial, entre ellas, la migración altitudinal.

En los ecosistemas de montaña, la migración altitudinal de aves adquiere particular relevancia debido a la marcada heterogeneidad ambiental que caracteriza a los gradientes altitudinales. Pequeñas variaciones en la temperatura, la precipitación y la estructura del hábitat pueden generar cambios significativos en la distribución de las especies. Frente a este escenario, numerosas aves han comenzado a desplazar su rango de distribución hacia pisos ecológicos superiores, no como un comportamiento estacional reversible, sino como una estrategia adaptativa frente a la modificación persistente de las condiciones climáticas.

Este capítulo aborda la migración altitudinal de aves desde una perspectiva teórica integral, reconociendo que se trata de un proceso influenciado por múltiples factores interrelacionados. La fisiología térmica, la disponibilidad de recursos tróficos, la transformación de los hábitats, la conectividad ecológica y la presión antrópica actúan de manera conjunta, configurando nuevos escenarios de movilidad biogeográfica. En este contexto, las aves se posicionan como organismos altamente sensibles a los cambios ambientales, capaces de reflejar, a través de sus desplazamientos, las transformaciones profundas que experimentan los ecosistemas.

La migración altitudinal no solo implica un cambio espacial en la distribución de las especies, sino también una reconfiguración de las interacciones ecológicas. La llegada de aves migrantes a nuevos ecosistemas puede generar competencia con especies nativas, modificar las cadenas tróficas y alterar el equilibrio ecológico de los territorios receptores. Estos efectos adquieren especial importancia cuando la migración se produce hacia ecosistemas antrópicos, como zonas agrícolas y periurbanas, donde las dinámicas ecológicas se entrelazan con actividades humanas y sistemas productivos.

En regiones andinas como Cajamarca, la migración altitudinal de aves se ha convertido en un fenómeno observable y recurrente, asociado a cambios térmicos sostenidos y a la transformación progresiva de los hábitats naturales. Este proceso no solo tiene implicaciones ecológicas, sino también sociales, económicas y culturales, al afectar prácticas agrícolas, percepciones comunitarias y estrategias de gestión del territorio. Comprender los fundamentos teóricos de la migración altitudinal resulta, por tanto, esencial para interpretar los resultados empíricos y para diseñar respuestas de conservación y adaptación frente al cambio climático.

A partir de este marco introductorio, el capítulo se orienta a profundizar en los referentes teóricos y antecedentes científicos sobre la migración altitudinal de aves, así como en las nociones básicas que permiten definir, clasificar y analizar este fenómeno. De este modo, se establecen las bases conceptuales necesarias para abordar, en los capítulos siguientes, el caso de estudio desarrollado en la región Quechua Cajamarca, integrando teoría y evidencia empírica en una comprensión coherente del impacto del cambio climático sobre la avifauna altoandina.

2.1. Referentes teóricos y antecedentes sobre migración aviar

El estudio de la migración aviar ha ocupado un lugar central en la investigación ecológica y biogeográfica debido a su capacidad para revelar las relaciones entre los organismos y las condiciones ambientales que los rodean. A lo largo del tiempo, la migración de aves ha sido interpretada como un fenómeno adaptativo complejo, resultado de la interacción entre factores climáticos, disponibilidad de recursos, estrategias reproductivas y

capacidades fisiológicas propias de cada especie. Esta diversidad de enfoques ha dado origen a un amplio cuerpo teórico que ha evolucionado paralelamente al avance de las ciencias ecológicas.

Los primeros estudios sobre migración aviar se centraron en la descripción de rutas y ciclos estacionales, enfatizando los desplazamientos latitudinales como respuesta a cambios periódicos en el clima y la oferta alimentaria. Sin embargo, el desarrollo de nuevas herramientas metodológicas y el incremento de la evidencia empírica han permitido ampliar esta visión, incorporando análisis sobre migraciones no estacionales, desplazamientos parciales y movimientos altitudinales asociados a variaciones ambientales persistentes. Este cambio de enfoque ha resultado fundamental para comprender las respuestas actuales de las aves frente al cambio climático.

En las últimas décadas, la migración aviar ha sido reinterpretada desde marcos teóricos que integran la ecología del paisaje, la teoría del nicho ecológico, la conectividad ambiental y la biogeografía del cambio global. Estos enfoques permiten analizar la migración no solo como un comportamiento individual, sino como un proceso ecológico emergente que refleja transformaciones en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas. En este sentido, las aves han sido reconocidas como bioindicadores sensibles de las alteraciones climáticas y ambientales, capaces de evidenciar cambios que, en muchos casos, preceden a otros grupos biológicos.

Los antecedentes científicos sobre migración altitudinal de aves han cobrado especial relevancia en regiones montañosas, donde los gradientes ambientales generan escenarios propicios para el desplazamiento vertical de las especies. Estudios desarrollados en sistemas andinos y tropicales han documentado el ascenso progresivo de diversas especies hacia pisos ecológicos superiores, fenómeno vinculado al incremento térmico, la transformación de hábitats y la presión antrópica. Estos antecedentes han contribuido a consolidar la migración altitudinal como una categoría analítica clave en el contexto del cambio climático.

En el ámbito latinoamericano, la investigación sobre migración aviar ha experimentado un crecimiento significativo, aunque con marcadas diferencias regionales.

Mientras que algunas zonas cuentan con registros sistemáticos y modelos predictivos avanzados, otras, como determinadas regiones andinas, presentan vacíos de información que limitan la comprensión integral del fenómeno. En este contexto, los estudios desarrollados en territorios como Cajamarca adquieren un valor estratégico, al aportar evidencia empírica local que complementa y enriquece el marco teórico global.

Este apartado se orienta, por tanto, a profundizar en los principales referentes teóricos y antecedentes científicos sobre migración aviar, con énfasis en la migración altitudinal inducida por el cambio climático. A través de la revisión y análisis de estos aportes, se busca construir una base conceptual robusta que permita interpretar los patrones migratorios observados en la región Quechua Cajamarca y sustentar el análisis desarrollado en el caso de estudio.

2.1.1. Migración como estrategia adaptativa en aves

La migración en aves constituye una estrategia adaptativa fundamental que permite a las especies responder a la variabilidad ambiental y optimizar sus posibilidades de supervivencia y reproducción. Desde una perspectiva evolutiva, este comportamiento se ha consolidado como un mecanismo mediante el cual las aves ajustan su distribución espacial en función de la disponibilidad de recursos, las condiciones climáticas y la reducción de riesgos ecológicos. La capacidad de desplazarse entre distintos ambientes confiere a las aves una ventaja adaptativa frente a organismos con menor movilidad.

Tradicionalmente, la migración aviar ha sido asociada a desplazamientos estacionales de carácter latitudinal, en los que las aves se trasladan entre áreas de reproducción y zonas de invernada. Estos movimientos responden a cambios periódicos en la temperatura, la oferta alimentaria y la duración del fotoperiodo, factores que influyen directamente en los ciclos biológicos de las especies. En este marco, la migración se interpreta como una respuesta adaptativa predecible, sincronizada con los ritmos naturales del ambiente.

Sin embargo, investigaciones más recientes han ampliado esta concepción al reconocer que la migración aviar no se limita a patrones estacionales fijos. En contextos de

cambio climático, las aves han desarrollado formas más flexibles de movilidad espacial, incluyendo desplazamientos parciales, movimientos irregulares y migraciones altitudinales. Estas estrategias permiten a las especies ajustarse a alteraciones ambientales persistentes, como el incremento sostenido de la temperatura y la transformación de los hábitats, que superan la variabilidad climática histórica (IPCC, 2021).

La migración como estrategia adaptativa implica una compleja interacción entre factores fisiológicos, conductuales y ecológicos. Desde el punto de vista fisiológico, las aves poseen adaptaciones que les permiten realizar desplazamientos de larga distancia, como altos niveles de eficiencia metabólica, almacenamiento de reservas energéticas y mecanismos de termorregulación. A nivel conductual, la capacidad de explorar nuevos ambientes y modificar patrones de uso del hábitat resulta clave para el éxito migratorio, especialmente en escenarios ambientales cambiantes.

En ecosistemas de montaña, la migración altitudinal se configura como una estrategia adaptativa particularmente relevante. A diferencia de la migración latitudinal, que implica desplazamientos horizontales extensos, la migración altitudinal permite a las aves acceder a condiciones climáticas más favorables mediante movimientos verticales relativamente cortos. Este tipo de migración se ha intensificado en regiones andinas, donde el aumento de la temperatura en pisos ecológicos inferiores ha reducido la idoneidad de los hábitats tradicionales (Quinteros Tuesta, 2020).

La migración altitudinal también refleja la capacidad de las aves para responder a la modificación térmica del ecosistema. Al desplazarse hacia mayores altitudes, las especies buscan ambientes con temperaturas más bajas, mayor disponibilidad hídrica y condiciones tróficas adecuadas. Este comportamiento adaptativo ha sido documentado en diversas especies que, ante el estrés térmico acumulativo, han ampliado su rango de distribución hacia la región Quechua Cajamarca, colonizando ecosistemas altoandinos y, en algunos casos, áreas antrópicas (Cuentas Romero, 2022).

No obstante, la migración como estrategia adaptativa no está exenta de costos ecológicos. El desplazamiento hacia nuevos hábitats puede implicar mayores riesgos de

depredación, competencia con especies nativas y exposición a ambientes desconocidos. Además, la capacidad de adaptación varía entre especies, favoreciendo a aquellas con mayor plasticidad ecológica y perjudicando a las más especializadas. Este proceso selectivo puede generar cambios en la composición de las comunidades aviares y en la estructura de los ecosistemas receptores (Real-Giménez, 2019).

Desde una perspectiva ecológica integradora, la migración aviar debe entenderse como una respuesta adaptativa emergente frente a la transformación global del clima. Más que un simple desplazamiento espacial, la migración refleja la interacción entre organismos y ambiente en un contexto de cambio acelerado. En este sentido, las aves no solo se adaptan al cambio climático, sino que, a través de sus movimientos, evidencian la magnitud y la dirección de las transformaciones ecológicas en curso.

En síntesis, la migración como estrategia adaptativa en aves constituye un proceso dinámico y multifactorial que permite a las especies enfrentar la variabilidad y el cambio climático. La intensificación de la migración altitudinal en regiones andinas como Cajamarca evidencia la capacidad adaptativa de la avifauna, pero también pone de manifiesto los límites ecológicos de esta estrategia. Comprender la migración aviar desde esta perspectiva resulta esencial para interpretar los patrones observados en el caso de estudio y para fundamentar estrategias de conservación y gestión adaptativa en escenarios de cambio climático.

2.1.2. Migración estacional, migración latitudinal y migración altitudinal

La migración aviar adopta diversas formas según la escala espacial, temporal y ecológica en la que se manifiesta. Tradicionalmente, los estudios ornitológicos han clasificado los movimientos de las aves en migración estacional, migración latitudinal y migración altitudinal, categorías que permiten comprender las distintas estrategias adaptativas desarrolladas por las especies frente a la variabilidad ambiental. Si bien estas tipologías comparten elementos comunes, cada una responde a dinámicas ecológicas específicas y a distintos tipos de presión ambiental.

La **migración estacional** constituye la forma más ampliamente documentada y corresponde a desplazamientos cíclicos que ocurren de manera regular en respuesta a las estaciones del año. Estos movimientos están estrechamente vinculados a la disponibilidad de recursos, especialmente alimento y sitios adecuados para la reproducción. En este tipo de migración, las aves suelen abandonar áreas que se tornan desfavorables durante el invierno para desplazarse hacia regiones con condiciones climáticas más benignas, retornando posteriormente a sus zonas de origen para reproducirse. Este patrón ha sido descrito como una adaptación histórica a la variabilidad climática natural, presente desde hace miles de años (Real-Giménez, 2019).

La **migración latitudinal** representa una forma particular de migración estacional caracterizada por desplazamientos de gran escala en sentido norte-sur o sur-norte. Este tipo de migración es común en especies que se reproducen en latitudes altas y se desplazan hacia regiones tropicales o subtropicales durante los periodos de escasez de recursos. Diversos estudios han demostrado que estos movimientos están regulados por factores como la temperatura, el fotoperiodo y la disponibilidad trófica, los cuales influyen en la sincronización de los ciclos reproductivos (O’Neal et al., 2018; Rozek et al., 2023).

En el contexto actual, se ha observado que la migración latitudinal tradicional comienza a mostrar modificaciones temporales y espaciales. Investigaciones recientes indican adelantos en las fechas de migración, prolongación de estancias en áreas intermedias y cambios en los destinos finales, lo que sugiere una influencia creciente del calentamiento global sobre patrones migratorios históricamente estables (Cano Barbacil & Cano Sánchez, 2017). Estos ajustes evidencian que incluso los movimientos considerados “clásicos” están siendo reconfigurados por el cambio climático.

Por su parte, la **migración altitudinal** se diferencia de las anteriores por desarrollarse en gradientes verticales, generalmente en regiones montañosas. En este tipo de migración, las aves se desplazan hacia mayores o menores altitudes en función de las condiciones climáticas, la disponibilidad de alimento y la estructura del hábitat. A diferencia de la migración latitudinal, los desplazamientos altitudinales pueden implicar distancias

horizontales relativamente cortas, pero con cambios ambientales significativos asociados a la altitud, como temperatura, humedad y composición vegetal (Pulgar Vidal, 1987).

En los Andes tropicales, la migración altitudinal ha adquirido especial relevancia como respuesta adaptativa frente al incremento sostenido de la temperatura en pisos ecológicos inferiores. Estudios realizados en Perú, Ecuador y Colombia han documentado el ascenso progresivo de diversas especies de aves hacia zonas altoandinas, fenómeno asociado a la modificación térmica del ecosistema y a la búsqueda de condiciones climáticas más favorables (Cuentas Romero, 2022; Quinteros Tuesta & Saavedra Torres, 2020). Este patrón ha sido claramente identificado en la región Quechua Cajamarca, donde especies tradicionalmente residentes en la región Yunga han colonizado altitudes superiores a los 2 500 msnm.

A diferencia de la migración estacional clásica, la migración altitudinal inducida por el cambio climático no siempre responde a ciclos anuales previsibles. En muchos casos, se trata de desplazamientos progresivos y persistentes, que derivan en el establecimiento permanente de las especies en nuevos hábitats. Esta característica convierte a la migración altitudinal en un indicador sensible de transformación ecológica, ya que refleja cambios estructurales en los ecosistemas y no solo variaciones temporales (IPCC, 2021).

Asimismo, la migración altitudinal suele implicar una mayor interacción con ecosistemas antrópicos. En regiones como Cajamarca, las aves migrantes han ocupado parques urbanos, áreas agrícolas y sistemas ribereños modificados, generando nuevas dinámicas de competencia, conflictos con especies nativas y afectaciones a los agroecosistemas (Fernández Barrios, 2023). Este aspecto diferencia claramente la migración altitudinal contemporánea de los patrones migratorios históricos, en los que las aves se desplazaban principalmente entre ecosistemas naturales relativamente intactos.

En síntesis, la migración estacional, la migración latitudinal y la migración altitudinal representan expresiones complementarias de la capacidad adaptativa de las aves. Mientras las dos primeras responden mayormente a ciclos climáticos naturales, la migración altitudinal actual se configura como una respuesta emergente frente al cambio climático antropogénico.

Comprender estas diferencias conceptuales resulta fundamental para interpretar los patrones observados en los Andes de Cajamarca y para contextualizar el análisis del caso de estudio desarrollado en este libro.

2.1.3. Evidencias globales de desplazamientos altitudinales de aves

En las últimas décadas, la comunidad científica ha acumulado una cantidad creciente de evidencias que confirman el desplazamiento altitudinal de numerosas especies de aves en distintas regiones del planeta. Estos movimientos verticales han sido ampliamente documentados como respuestas adaptativas frente al aumento sostenido de la temperatura, la alteración de los regímenes de precipitación y la transformación progresiva de los hábitats naturales. A diferencia de los desplazamientos migratorios tradicionales, estos cambios altitudinales suelen manifestarse como procesos graduales, persistentes y, en muchos casos, irreversibles.

Estudios realizados en regiones montañosas de Europa han mostrado que múltiples especies de aves han modificado su rango altitudinal promedio en las últimas décadas. Investigaciones biogeográficas en la Península Ibérica evidencian que especies propias de climas templados y cálidos han comenzado a registrarse con mayor frecuencia en cotas superiores, mientras que especies estrictamente montañas muestran una contracción de su rango debido a la pérdida de espacio disponible en las cumbres (Real-Giménez, 2019). Este fenómeno ha sido descrito como un “efecto de compresión altitudinal”, donde las especies se ven forzadas a coexistir en espacios cada vez más reducidos.

En América del Norte, análisis de largo plazo basados en monitoreos estandarizados y datos de ciencia ciudadana han demostrado desplazamientos altitudinales consistentes en comunidades aviares de cadenas montañosas como las Rocosas y la Sierra Nevada. Estos estudios indican que el aumento de la temperatura mínima nocturna y la reducción de la cobertura nival influyen directamente en la redistribución vertical de las aves, favoreciendo la colonización de pisos ecológicos superiores por especies generalistas (Cano Barbacil & Cano Sánchez, 2017).

En Asia, investigaciones desarrolladas en el Himalaya y en cadenas montañosas del sudeste asiático han reportado patrones similares. Se ha documentado que especies de bosques subtropicales están ascendiendo progresivamente hacia zonas de mayor altitud, desplazando a aves especialistas de climas fríos. Estos desplazamientos han sido asociados no solo al aumento térmico, sino también a cambios en la estructura de la vegetación y en la disponibilidad de recursos tróficos (IPBES, 2018).

Particular relevancia adquieren las evidencias provenientes de regiones tropicales, donde los gradientes altitudinales son más marcados y la biodiversidad alcanza niveles elevados. En los Andes, considerada una de las regiones más biodiversas y vulnerables del planeta, diversos estudios han confirmado desplazamientos altitudinales significativos en comunidades de aves. Investigaciones realizadas en Colombia, Ecuador y Perú han mostrado que especies tradicionalmente distribuidas en pisos bajos y medios han extendido su rango hacia zonas altoandinas, fenómeno estrechamente vinculado al cambio climático (Cuentas Romero, 2022; Fernández Barrios, 2023).

En el caso específico de los Andes peruanos, los modelos de distribución de especies aplicados bajo escenarios de cambio climático han proyectado una contracción progresiva del hábitat potencial para numerosas aves de montaña, acompañada de un desplazamiento hacia mayores altitudes. Cuentas Romero (2022) demostró que, bajo escenarios de altas emisiones, varias especies amenazadas experimentarían reducciones significativas de su área de ocupación hacia el año 2050, evidenciando que la migración altitudinal no siempre garantiza la supervivencia a largo plazo.

Asimismo, estudios realizados en ecosistemas costeros y de tierras bajas han identificado especies que, ante el incremento térmico y la alteración de sus hábitats originales, han iniciado procesos de colonización de zonas montañosas. Este patrón ha sido observado en especies oportunistas y generalistas, las cuales presentan alta plasticidad ecológica y capacidad de adaptación a ambientes antrópicos (Quinteros Tuesta & Saavedra Torres, 2020). Estos hallazgos coinciden con lo registrado en la región Quechua Cajamarca,

donde aves provenientes de la región Yunga han establecido poblaciones estables en ecosistemas altoandinos.

A nivel global, organismos internacionales como el IPCC han reconocido la redistribución altitudinal de especies como uno de los indicadores biológicos más claros del cambio climático. El Sexto Informe de Evaluación destaca que los desplazamientos de fauna hacia mayores altitudes constituyen respuestas directas a la modificación térmica de los ecosistemas, con implicancias profundas para la biodiversidad, la funcionalidad ecológica y los servicios ecosistémicos (IPCC, 2021).

En conjunto, estas evidencias confirman que el desplazamiento altitudinal de aves no es un fenómeno aislado ni local, sino una tendencia global coherente con el calentamiento climático observado en el siglo XXI. La recurrencia de este patrón en diferentes continentes, climas y sistemas montañosos refuerza su valor como indicador ecológico temprano del cambio climático y justifica la necesidad de estudios de caso detallados, como el desarrollado en la región Quechua de Cajamarca, para comprender sus implicancias a escala regional y local.

2.1.4. Estudios recientes sobre migración aviar inducida por el clima

En años recientes, la comunidad científica ha intensificado sus esfuerzos por comprender cómo el cambio climático está modificando los patrones de migración aviar, trascendiendo las explicaciones tradicionales basadas únicamente en ciclos estacionales. Este cuerpo creciente de evidencia demuestra que, además de los desplazamientos latitudinales clásicos, muchas aves están respondiendo a alteraciones ambientales persistentes mediante movimientos altitudinales y ajustes en sus rutas migratorias que reflejan las transformaciones climáticas globales y locales.

Un enfoque destacado en esta línea de investigación es el uso de modelos predictivos de distribución de especies que integran variables climáticas actuales y proyectadas. Por ejemplo, Cuentas Romero (2022) empleó modelos climáticos globales (GCM) para evaluar cómo seis especies de aves amenazadas en los Andes peruanos responderían a escenarios de

cambio climático hacia el año 2050. Los resultados mostraron una contracción significativa en el área potencial de ocupación y un desplazamiento hacia altitudes superiores, lo que subraya la utilidad de las proyecciones climáticas y de herramientas como MAXENT para anticipar reconfiguraciones territoriales de las especies bajo condiciones de variabilidad térmica.

Otra investigación relevante en el contexto andino fue realizada por Fernández Barrios (2023), quien analizó los efectos de la deforestación, la expansión agrícola y el cambio climático sobre la distribución de aves amenazadas en Colombia. Este trabajo no solo confirmó la relación entre presión antrópica y redistribución de especies, sino que también evidenció cómo los cambios climáticos intensifican la vulnerabilidad de aves frente a la pérdida de hábitat, favoreciendo que algunas especies oportunistas se movilen hacia áreas con condiciones ambientales más favorables y densidad de recursos accesibles.

Más allá del ámbito andino, estudios en otras regiones tropicales han corroborado patrones similares. En la Amazonía ecuatoriana, Flores Andrade et al. (2022) documentaron la elevada vulnerabilidad de los anfibios ante el cambio climático, aportando evidencia sobre cómo la alteración térmica y la modificación de los microhábitats repercuten en la distribución de especies que dependen de condiciones ambientales relativamente estables. Aunque este estudio se centró en anfibios, la metodología y conclusiones tienen implicancias para comprender la movilidad de aves en respuesta al clima, evidenciando que la reconfiguración ambiental afecta a múltiples grupos taxonómicos.

La literatura especializada en Europa también ha identificado tendencias claras de migración inducida por las variaciones climáticas. Investigaciones en la Península Ibérica han observado cambios en los patrones de invernada y en la fenología de aves migratorias, con especies típicamente africanas registradas en latitudes más septentrionales en respuesta al calentamiento regional (Real-Giménez, 2019). Estos estudios destacan que no solo la altitud, sino también la latitud, sirve como eje de redistribución biogeográfica frente a condiciones climáticas cambiantes.

En Argentina, Capllonch y Ortiz (2020) analizaron la expansión de rangos de distribución de 94 especies de aves hacia regiones más australes. Aunque no todas estas migraciones son atribuibles exclusivamente al cambio climático, los autores identificaron una asociación significativa entre la pérdida de recursos naturales —como vegetación estructural y cobertura de pajonales— y la redistribución de avifauna en búsqueda de ambientes con climas más favorables. Este hallazgo evidencia que la migración inducida por el clima opera en interacción con otros factores ambientales, generando respuestas de movilidad que lo combinan con dinámicas de uso del suelo.

Trabajo complementario en Norteamérica, como el realizado por Burner et al. (2023), ha explorado la migración de aves acuáticas en gran escala, valorando la calidad del hábitat a lo largo de las rutas migratorias y la importancia de condiciones climáticas adecuadas para garantizar tasas de supervivencia óptimas. Aunque centrado en aves acuáticas, este enfoque metodológico subraya la importancia de vincular calidad de hábitat, disponibilidad de recursos y condiciones climáticas como determinantes de los patrones migratorios observados.

Además, O’Neal et al. (2018) utilizaron datos de radar en estudios de patos migratorios norteamericanos a lo largo de 15 años para definir patrones migratorios específicos. Si bien la investigación no está directamente orientada a evaluar el impacto del cambio climático, sus hallazgos muestran cómo variables meteorológicas —como vientos favorables o ausencia de precipitación— condicionan la activación de movimientos migratorios. Este tipo de análisis sugiere que, en un contexto de cambio climático caracterizado por mayor variabilidad climática, esas condiciones favorables pueden presentarse con mayor o menor frecuencia, modificando los patrones migratorios tradicionales.

Estos estudios recientes comparten una característica en común: evidencian que la migración de aves ya no puede entenderse únicamente desde las pautas estacionales clásicas, sino como un fenómeno multifactorial que responde, en gran medida, a la alteración de las condiciones ambientales inducida por el cambio climático. Las evidencias empíricas

obtenidas en distintos continentes, ecosistemas y contextos taxonómicos confirman que las variaciones térmicas persistentes, los cambios en la precipitación, la disponibilidad de recursos y la degradación del hábitat interactúan para moldear nuevas dinámicas migratorias.

En síntesis, los estudios recientes sobre migración aviar inducida por el clima permiten comprender que este proceso se está consolidando como una respuesta adaptativa compleja, reflejo de un mundo en transformación. Estas evidencias constituyen un fundamento esencial para el análisis del caso de estudio que se desarrollará más adelante en el libro, proporcionando una base comparativa internacional que enriquece la interpretación de los patrones observados en la región Quechua de Cajamarca.

2.1.5. Respuestas evolutivas y conductuales de las aves al cambio climático

El cambio climático no solo está modificando la distribución espacial de las aves, sino que también está influyendo de manera profunda en sus respuestas evolutivas y conductuales. Frente a variaciones ambientales persistentes, como el incremento de la temperatura, la alteración de los regímenes de precipitación y la transformación de los hábitats, las aves han demostrado una notable capacidad de ajuste, expresada tanto en cambios de comportamiento a corto plazo como en procesos evolutivos observables a escalas temporales mayores.

Desde una perspectiva conductual, una de las respuestas más ampliamente documentadas es la modificación de la fenología. Numerosos estudios han evidenciado adelantos en las fechas de inicio de la migración, cambios en los periodos reproductivos y alteraciones en los tiempos de anidamiento, asociados a inviernos más cortos y primaveras tempranas (Cano Barbacil & Cano Sánchez, 2017). Estas variaciones permiten a las aves sincronizar su ciclo vital con la disponibilidad de recursos, aunque también pueden generar desajustes cuando los cambios climáticos superan la capacidad de adaptación conductual.

Otro ajuste conductual relevante es la **plasticidad trófica**, entendida como la capacidad de modificar la dieta en función de los recursos disponibles en nuevos ambientes. En el contexto del desplazamiento altitudinal, especies tradicionalmente insectívoras o asociadas a ambientes ribereños han incorporado semillas, frutos cultivados y desechos

orgánicos a su alimentación, especialmente en ecosistemas antrópicos (Capllonch & Ortiz, 2020). Este tipo de adaptación ha sido observado en especies como *Dives warszewiczi* y *Zenaida auriculata* en la región Quechua Cajamarca, donde han logrado establecer poblaciones estables gracias a su flexibilidad alimentaria.

Las respuestas conductuales también incluyen cambios en la selección de hábitats y sitios de anidación. Aves que anteriormente dependían de ecosistemas naturales han comenzado a utilizar parques urbanos, áreas agrícolas y estructuras construidas por el ser humano como espacios de refugio y reproducción. Este fenómeno ha sido documentado en estudios realizados en ecosistemas costeros y altoandinos del Perú, donde especies migrantes muestran una alta tolerancia a ambientes modificados (Quinteros Tuesta & Saavedra Torres, 2020).

Desde el punto de vista evolutivo, aunque los procesos genéticos requieren escalas temporales más largas, existen evidencias de respuestas microevolutivas asociadas al cambio climático. Investigaciones recientes sugieren que la presión ambiental sostenida puede favorecer la selección de individuos con mayor tolerancia térmica, mayor capacidad de dispersión o mayor flexibilidad conductual (Real-Giménez, 2019). Estos rasgos adaptativos incrementan la probabilidad de supervivencia en contextos climáticos cambiantes y contribuyen a la reconfiguración de las poblaciones a lo largo del tiempo.

La teoría de la selección natural permite interpretar estos cambios como resultados de presiones ambientales intensificadas. En ecosistemas de montaña, donde el espacio disponible disminuye con la altitud, las especies que no logran adaptarse conductual o fisiológicamente enfrentan un mayor riesgo de declive poblacional o extinción local (Darwin, 1859; Uribe, 2015). En este sentido, la migración altitudinal puede entenderse como una respuesta adaptativa inmediata, mientras que las modificaciones genéticas representan un proceso de ajuste a más largo plazo.

Un aspecto crítico de las respuestas evolutivas es que no todas las especies poseen la misma capacidad adaptativa. Estudios comparativos han demostrado que las aves generalistas, con dietas amplias y alta movilidad, responden con mayor eficacia al cambio

climático que las especies especialistas, altamente dependientes de microhábitats específicos (Cuentas Romero, 2022). Esta asimetría adaptativa explica por qué algunas especies amplían su rango de distribución, mientras que otras experimentan reducciones poblacionales significativas.

En los Andes tropicales, esta situación se ve agravada por las limitaciones físicas del gradiente altitudinal. A medida que las especies ascienden, encuentran un límite geográfico en las cumbres, donde la disponibilidad de hábitat disminuye drásticamente. Este fenómeno, descrito como “trampa altitudinal”, representa uno de los principales desafíos para la conservación de aves de montaña frente al cambio climático (IPCC, 2021).

En conjunto, las respuestas evolutivas y conductuales de las aves al cambio climático evidencian una compleja interacción entre plasticidad, adaptación y vulnerabilidad. Estos ajustes, aunque permiten a muchas especies persistir en ambientes cambiantes, también generan nuevas interacciones ecológicas, conflictos con especies nativas y tensiones en ecosistemas antrópicos. Comprender estas respuestas resulta esencial para interpretar los patrones de migración altitudinal observados en Cajamarca y para diseñar estrategias de gestión adaptativa que reconozcan tanto la capacidad de adaptación de las aves como sus límites ecológicos.

2.1.6. Aves como bioindicadores del cambio ambiental

Las aves han sido reconocidas ampliamente como **bioindicadores sensibles del cambio ambiental**, debido a su elevada movilidad, su dependencia directa de las condiciones climáticas y su estrecha relación con la estructura y funcionalidad de los ecosistemas. Estas características las convierten en organismos clave para detectar, interpretar y anticipar transformaciones ambientales asociadas al cambio climático, especialmente en regiones ecológicamente frágiles como los Andes tropicales.

Desde una perspectiva ecológica, las aves responden con rapidez a variaciones en la temperatura, la precipitación y la disponibilidad de recursos. Cambios en su distribución geográfica, en sus patrones migratorios, en la fenología reproductiva y en su abundancia

poblacional reflejan alteraciones ambientales que, en muchos casos, preceden a otros indicadores biológicos menos móviles (Cano Barbacil & Cano Sánchez, 2017). Por esta razón, diversos organismos internacionales consideran a la avifauna como un grupo prioritario para el monitoreo de los efectos del cambio climático (BirdLife International, 2019).

Uno de los principales atributos que explican el valor bioindicador de las aves es su **capacidad de integración ecosistémica**. Las aves ocupan distintos niveles tróficos — insectívoros, granívoros, frugívoros, carnívoros— y utilizan una amplia gama de hábitats, desde ecosistemas naturales hasta ambientes antrópicos. Esta diversidad funcional permite que los cambios en su comportamiento o distribución reflejen alteraciones tanto en la base productiva del ecosistema como en sus relaciones ecológicas (Real-Giménez, 2019).

En el contexto del cambio climático, numerosos estudios han documentado que las aves manifiestan respuestas tempranas a los incrementos térmicos, tales como adelantos en la migración, desplazamientos altitudinales y expansión de rangos de distribución hacia zonas previamente no ocupadas (Quinteros Tuesta & Saavedra Torres, 2020). Estas respuestas han sido observadas de manera consistente en distintos continentes, lo que refuerza su utilidad como indicadores comparables a escala global.

En ecosistemas de montaña, las aves adquieren un valor bioindicador aún mayor. La estructura altitudinal de estos ecosistemas genera gradientes climáticos muy marcados, de modo que pequeños incrementos de temperatura pueden producir desplazamientos significativos en la distribución de las especies. En los Andes, se ha registrado que aves tradicionalmente asociadas a pisos ecológicos bajos han comenzado a colonizar zonas más altas, evidenciando procesos de redistribución inducidos por el calentamiento global (Cuentas Romero, 2022). Estos desplazamientos permiten inferir cambios climáticos locales incluso en ausencia de series meteorológicas prolongadas.

Asimismo, la presencia o ausencia de determinadas especies puede indicar procesos de degradación ambiental o transformación de hábitats. La proliferación de aves generalistas y oportunistas en áreas urbanas y agrícolas, en detrimento de especies especialistas, suele

asociarse a la pérdida de hábitats naturales, a la fragmentación del paisaje y al aumento del estrés ambiental (Capllonch & Ortiz, 2020). En este sentido, la dominancia de especies como *Dives warszewiczi* o *Zenaida auriculata* en la región Quechua Cajamarca puede interpretarse como una señal de desequilibrio ecológico vinculado tanto al cambio climático como a la presión antrópica.

Desde el enfoque de la vulnerabilidad biológica, las aves permiten evaluar la interacción entre exposición climática, sensibilidad ecológica y capacidad adaptativa. Algunas especies muestran alta resiliencia frente a las variaciones ambientales, mientras que otras presentan respuestas negativas rápidas, como disminución poblacional o desplazamiento forzado (Foden et al., 2013; Quinteros Tuesta & Saavedra Torres, 2020). Esta variabilidad convierte a la avifauna en un grupo especialmente útil para identificar especies y ecosistemas en riesgo.

En el ámbito aplicado, el uso de aves como bioindicadores ha sido reforzado por el desarrollo de herramientas de monitoreo estandarizadas, como censos poblacionales, modelos de distribución de especies (MAXENT) y plataformas de ciencia ciudadana como eBird. Estas herramientas permiten integrar información biológica y climática, facilitando la detección de tendencias espaciales y temporales asociadas al cambio ambiental (Varela Largo, 2019; Rozek et al., 2023).

En síntesis, las aves constituyen **indicadores biológicos estratégicos del cambio ambiental**, capaces de reflejar de manera temprana y multidimensional los efectos del cambio climático sobre los ecosistemas. Su estudio permite no solo comprender los procesos de redistribución altitudinal observados en regiones como Cajamarca, sino también orientar políticas de conservación, gestión adaptativa y educación ambiental. En el marco de esta investigación, la avifauna migrante se asume como un **termómetro ecológico** que evidencia las transformaciones climáticas en curso y sus implicaciones ecológicas, productivas y sociales en los Andes tropicales.

2.2. Nociones básicas de la migración altitudinal de aves

La migración altitudinal de aves constituye un proceso ecológico complejo mediante el cual determinadas especies se desplazan a lo largo de gradientes de altura, respondiendo a variaciones ambientales que afectan la disponibilidad de recursos, las condiciones térmicas y la estructura de los hábitats. A diferencia de las migraciones estacionales clásicas, asociadas a desplazamientos latitudinales de gran escala, la migración altitudinal se desarrolla dentro de un mismo sistema montañoso y se caracteriza por movimientos verticales relativamente cortos en distancia, pero altamente significativos en términos ecológicos.

En las últimas décadas, este tipo de migración ha adquirido una relevancia creciente en los estudios sobre cambio climático, debido a que los ecosistemas de montaña presentan una alta sensibilidad a las variaciones térmicas. Pequeños incrementos de temperatura pueden generar desplazamientos rápidos de las zonas climáticamente óptimas para muchas especies, obligándolas a ascender hacia pisos ecológicos superiores en busca de condiciones más favorables para su supervivencia, reproducción y alimentación (Real-Giménez, 2019).

Las aves, por su elevada capacidad de dispersión y su plasticidad conductual, se encuentran entre los organismos que con mayor frecuencia manifiestan este tipo de respuesta adaptativa. En regiones andinas, se ha documentado que especies tradicionalmente asociadas a pisos bajos o intermedios han comenzado a colonizar áreas de mayor altitud, fenómeno que coincide temporalmente con el aumento sostenido de la temperatura y la modificación de los regímenes de precipitación (Quinteros Tuesta, 2020; Cuentas Romero, 2022). Estos desplazamientos no solo evidencian procesos de adaptación biológica, sino también transformaciones profundas en la organización ecológica de los territorios de montaña.

La migración altitudinal no debe entenderse como un fenómeno aislado ni exclusivamente biológico. Su desarrollo implica la interacción de múltiples factores, entre ellos el cambio climático, la fragmentación de hábitats, la presión antrópica sobre los ecosistemas y la disponibilidad diferencial de recursos a lo largo del gradiente altitudinal. En contextos donde los ecosistemas naturales han sido transformados por actividades agrícolas, urbanas o extractivas, las aves migrantes pueden verse obligadas a ocupar ecosistemas

antrópicos, generando nuevas interacciones ecológicas y, en algunos casos, conflictos socioambientales.

Desde una perspectiva teórica, el análisis de la migración altitudinal de aves se apoya en conceptos fundamentales como el nicho ecológico, la conectividad del paisaje, la competencia interespecífica y la vulnerabilidad climática. Estos enfoques permiten comprender por qué algunas especies logran adaptarse exitosamente a nuevos pisos ecológicos, mientras que otras son desplazadas, reducen sus poblaciones o enfrentan mayores riesgos de extinción local (Hutchinson, 1957; Taylor et al., 1993; Hardin, 1960).

En el contexto de los Andes tropicales, la migración altitudinal adquiere una dimensión crítica, debido a que las montañas imponen límites físicos al desplazamiento. A medida que las especies ascienden, el espacio disponible se reduce, incrementando la competencia por recursos y la probabilidad de colapso ecológico en las cumbres (Uribe, 2015). Este escenario convierte a la migración altitudinal en un indicador clave de la vulnerabilidad de los ecosistemas de montaña frente al cambio climático.

En consecuencia, abordar las nociones básicas de la migración altitudinal de aves resulta indispensable para comprender los procesos ecológicos analizados en esta investigación. Este apartado establece el marco conceptual que permitirá profundizar en las definiciones, dimensiones, mecanismos y efectos de la migración altitudinal, así como en su relación directa con el cambio climático y con las transformaciones observadas en los ecosistemas antrópicos de la región Quechua Cajamarca.

2.2.1. Definición de migración altitudinal

La migración altitudinal se define como el **desplazamiento vertical de las especies a lo largo de gradientes de altura**, generalmente dentro de una misma región montañosa, en respuesta a variaciones ambientales que afectan su supervivencia, reproducción y acceso a recursos. A diferencia de la migración latitudinal, que implica recorridos extensos entre regiones geográficas distantes, la migración altitudinal se caracteriza por movimientos relativamente cortos en términos espaciales, pero profundamente significativos desde el

punto de vista ecológico, debido a los cambios abruptos de temperatura, humedad y estructura del hábitat que se producen con la altitud (Real-Giménez, 2019).

En el caso de las aves, la migración altitudinal constituye una **estrategia adaptativa flexible**, mediante la cual las especies ajustan su distribución espacial para mantener condiciones térmicas óptimas y asegurar la disponibilidad de alimento. Este tipo de migración ha sido documentado en diversas cadenas montañosas del mundo, particularmente en regiones tropicales, donde los gradientes altitudinales generan una alta heterogeneidad climática en distancias cortas (Quinteros Tuesta, 2020).

Desde una perspectiva ecológica, la migración altitudinal no debe entenderse únicamente como un movimiento estacional. En contextos de cambio climático, estos desplazamientos pueden adquirir un carácter **progresivo y permanente**, conduciendo a la colonización de nuevos pisos ecológicos y a la reconfiguración de las comunidades biológicas. En los Andes peruanos, por ejemplo, se ha observado que varias especies de aves, históricamente asociadas a la región Yunga, han extendido su rango de distribución hacia la región Quechua, superando los 2500 msnm, como respuesta al incremento sostenido de la temperatura y a la modificación de los regímenes de precipitación (Cuentas Romero, 2022).

La migración altitudinal implica también cambios en la **interacción entre especies**, ya que las aves migrantes ingresan a ecosistemas previamente ocupados por especies nativas. Este proceso puede generar competencia por recursos alimenticios, espacios de anidamiento y refugio, así como alteraciones en las redes tróficas locales. En algunos casos, las especies desplazadas hacia mayores altitudes presentan menor capacidad adaptativa, lo que incrementa su vulnerabilidad ecológica (Hardin, 1960; Capllonch & Ortiz, 2020).

Desde el enfoque del nicho ecológico, la migración altitudinal puede interpretarse como un ajuste espacial del nicho fundamental de la especie frente a condiciones ambientales cambiantes. Cuando las condiciones climáticas dejan de ser favorables en los pisos inferiores, las especies buscan nuevos espacios donde su nicho pueda ser realizado de manera más eficiente (Hutchinson, 1957). Este ajuste no siempre garantiza el éxito adaptativo,

especialmente en ecosistemas de montaña donde el espacio disponible disminuye conforme se asciende.

En el marco del cambio climático, la migración altitudinal se reconoce actualmente como uno de los **principales mecanismos de respuesta biogeográfica** de la fauna silvestre. Estudios recientes señalan que este fenómeno se ha intensificado en las últimas décadas y que su frecuencia y magnitud continúan en aumento, particularmente en regiones tropicales y subtropicales (IPCC, 2021; BirdLife International, 2019).

En síntesis, la migración altitudinal puede definirse como un proceso dinámico y multicausal mediante el cual las aves modifican su distribución vertical en respuesta a presiones ambientales, principalmente climáticas. Este proceso constituye un indicador temprano del cambio climático y un factor determinante en la reorganización ecológica de los ecosistemas de montaña, como los Andes de Cajamarca, donde la migración altitudinal de aves se ha convertido en un fenómeno ecológico y socioambiental de creciente relevancia.

2.2.2. Gradientes ecológicos y pisos altitudinales andinos

Los gradientes ecológicos altitudinales constituyen uno de los rasgos más distintivos de los ecosistemas andinos y representan un marco fundamental para comprender la migración altitudinal de aves. A lo largo de cortas distancias horizontales, la altitud genera variaciones abruptas en temperatura, humedad, radiación solar, composición vegetal y disponibilidad de recursos, configurando una sucesión de pisos ecológicos con características ambientales diferenciadas (Pulgar Vidal, 1987).

En los Andes peruanos, estos pisos altitudinales han sido tradicionalmente clasificados en regiones naturales que reflejan la relación entre clima, relieve, vegetación y fauna. Entre ellas, la región Yunga y la región Quechua adquieren especial relevancia para el presente estudio, ya que constituyen los espacios entre los cuales se ha evidenciado un desplazamiento altitudinal significativo de diversas especies de aves en Cajamarca. La región Yunga, ubicada aproximadamente hasta los 1500–2300 msnm, se caracteriza por temperaturas relativamente cálidas, alta productividad biológica y una abundante

disponibilidad de recursos tróficos. En contraste, la región Quechua, situada entre los 2450 y 3500 msnm, presenta un clima más templado-frío, una vegetación adaptada a condiciones térmicas más restrictivas y una estructura ecosistémica distinta (Pulgar Vidal, 1987).

Los gradientes ecológicos andinos no solo determinan la distribución de la flora y la fauna, sino que también regulan las interacciones ecológicas entre especies. Cada piso altitudinal alberga comunidades biológicas relativamente especializadas, adaptadas a condiciones climáticas específicas. En este contexto, las aves han desarrollado patrones de distribución estrechamente vinculados a estos gradientes, ocupando nichos ecológicos definidos en función de la altitud, la estructura del hábitat y la oferta alimenticia (Real-Giménez, 2019).

El cambio climático está alterando de manera progresiva estos gradientes ecológicos. El incremento sostenido de la temperatura ha generado un desplazamiento ascendente de las isothermas, modificando los límites climáticos entre pisos altitudinales. Como consecuencia, las condiciones ambientales propias de la región Yunga comienzan a manifestarse a mayores altitudes, favoreciendo la colonización de la región Quechua por especies que anteriormente no formaban parte de su avifauna característica (Quinteros Tuesta, 2020; Cuentas Romero, 2022).

Este proceso de “ascenso climático” provoca una reconfiguración de los pisos altitudinales, donde las fronteras ecológicas tradicionales se vuelven difusas. Las aves migrantes aprovechan estas nuevas condiciones para expandir su rango de distribución, mientras que las especies nativas de pisos superiores enfrentan una reducción progresiva de su hábitat disponible. En los Andes tropicales, este fenómeno resulta particularmente crítico, ya que los ecosistemas de montaña presentan un espacio limitado hacia las cumbres, lo que incrementa la competencia por recursos y el riesgo de exclusión ecológica (Uribe, 2015).

Desde una perspectiva funcional, los gradientes altitudinales también influyen en la fenología de los ecosistemas, regulando los ciclos reproductivos, la disponibilidad estacional de alimento y las dinámicas tróficas. La alteración de estos gradientes, inducida por el cambio climático, puede generar desajustes temporales entre las aves y sus recursos, impulsando aún

más los desplazamientos altitudinales como mecanismo de compensación adaptativa (Walther et al., 2002).

En el caso específico de Cajamarca, la región Quechua se ha convertido en un espacio de transición ecológica donde confluyen especies provenientes de pisos inferiores con aves nativas de montaña. Esta superposición evidencia la transformación de los gradientes ecológicos andinos y refuerza la idea de que la migración altitudinal de aves no es un fenómeno aislado, sino una manifestación directa de la reorganización climática y ecológica de los Andes tropicales.

En síntesis, los gradientes ecológicos y los pisos altitudinales andinos constituyen el marco espacial sobre el cual se desarrolla la migración altitudinal de aves. Su modificación progresiva, producto del cambio climático, explica en gran medida los desplazamientos observados entre la región Yunga y la región Quechua, y permite comprender las tensiones ecológicas emergentes que afectan tanto a la biodiversidad como a los ecosistemas antrópicos de Cajamarca.

2.2.3. Nicho ecológico y plasticidad adaptativa

El concepto de **nicho ecológico** constituye uno de los pilares teóricos fundamentales para comprender la migración altitudinal de aves en escenarios de cambio climático. Desde la formulación clásica de Hutchinson (1957), el nicho ecológico se entiende como el conjunto de condiciones ambientales y recursos dentro de los cuales una especie puede sobrevivir, reproducirse y mantener poblaciones viables. Este enfoque concibe el nicho como un espacio multidimensional definido por variables climáticas, tróficas, espaciales y biológicas, que delimitan tanto el rango potencial de distribución de una especie como su comportamiento ecológico.

En los ecosistemas andinos, el nicho ecológico de las aves se encuentra estrechamente asociado a los gradientes altitudinales. Factores como la temperatura, la humedad, la estructura de la vegetación y la disponibilidad de alimento varían significativamente con la altitud, configurando nichos específicos para cada especie. Tradicionalmente, estas

condiciones han determinado una distribución relativamente estable de la avifauna a lo largo de los pisos ecológicos; sin embargo, el cambio climático está alterando de manera progresiva estos parámetros, forzando a las especies a reajustar su nicho ecológico (Real-Giménez, 2019).

En este contexto, la **plasticidad adaptativa** emerge como un atributo clave que explica por qué algunas especies logran desplazarse y establecerse en nuevos pisos altitudinales, mientras que otras muestran respuestas más limitadas. La plasticidad adaptativa se refiere a la capacidad de los organismos para modificar su comportamiento, fisiología y, en ciertos casos, su dieta y estrategias reproductivas, frente a cambios en el ambiente sin requerir transformaciones genéticas inmediatas (Capllonch & Ortiz, 2020).

Las aves con alta plasticidad ecológica suelen presentar dietas generalistas, flexibilidad en la selección de hábitats y tolerancia a ambientes antrópicos. Estas características les permiten ocupar nuevos espacios cuando las condiciones de su hábitat original se deterioran. En Cajamarca, especies como *Dives warszewiczi*, *Zenaida auriculata* y *Bubulcus ibis* han demostrado una notable capacidad para modificar su nicho realizado, adaptándose a parques urbanos, zonas agrícolas y ecosistemas ribereños de la región Quechua, donde anteriormente no eran dominantes. Este comportamiento refleja un ajuste funcional del nicho ecológico ante las nuevas condiciones climáticas y ambientales.

Por el contrario, las especies con nichos más especializados, estrechamente vinculadas a hábitats específicos o a recursos tróficos limitados, presentan menor plasticidad adaptativa. En los Andes, aves como *Cinclodes atacamensis* o *Sayornis nigricans*, dependientes de ecosistemas ribereños y microhábitats bien conservados, han mostrado una mayor vulnerabilidad frente a la competencia con especies migrantes y a la alteración de las condiciones ambientales, siendo desplazadas hacia altitudes superiores o experimentando reducciones poblacionales (Hardin, 1960; Quinteros Tuesta & Saavedra Torres, 2020).

Desde la perspectiva del nicho fundamental y el nicho realizado, la migración altitudinal puede interpretarse como un proceso mediante el cual las especies intentan mantener la coherencia entre sus requerimientos ecológicos y las condiciones ambientales

disponibles. Cuando el cambio climático modifica las variables que definen el nicho realizado en los pisos inferiores, las aves con suficiente plasticidad expanden o desplazan su nicho hacia áreas más altas, donde las condiciones térmicas y tróficas se aproximan a sus requerimientos óptimos (Hutchinson, 1957).

No obstante, este ajuste del nicho ecológico no está exento de límites. En los ecosistemas de montaña, la disponibilidad de espacio disminuye progresivamente con la altitud, generando un efecto de “embudo ecológico” que incrementa la competencia interespecífica y reduce las oportunidades de colonización exitosa. Además, la plasticidad adaptativa puede ser insuficiente para compensar cambios climáticos rápidos o extremos, especialmente en especies con baja tasa reproductiva o alta especialización ecológica (Uribe, 2015).

En síntesis, el nicho ecológico y la plasticidad adaptativa constituyen conceptos centrales para explicar la migración altitudinal de aves frente al cambio climático. La capacidad de ajustar el nicho realizado determina en gran medida el éxito o fracaso de las especies en nuevos pisos altitudinales, configurando patrones de colonización, desplazamiento y vulnerabilidad que se manifiestan con claridad en los ecosistemas andinos de Cajamarca.

2.2.4. Conectividad ecológica y corredores biológicos

La **conectividad ecológica** es un concepto clave para comprender los procesos de migración altitudinal de aves, especialmente en paisajes andinos sometidos a una creciente fragmentación ambiental. Desde el enfoque propuesto por Taylor et al. (1993), la conectividad ecológica se refiere al grado en que el paisaje facilita o limita el movimiento de los organismos entre distintos hábitats, permitiendo el flujo de individuos, genes y procesos ecológicos esenciales para la persistencia de las poblaciones.

En ecosistemas de montaña, la conectividad adquiere una dimensión particularmente crítica debido a la configuración lineal y escalonada del relieve. Las aves que migran altitudinalmente dependen de la existencia de **continuidades ecológicas** que les permitan

desplazarse de manera gradual entre pisos altitudinales, accediendo a recursos intermedios para alimentación, descanso y reproducción. La ruptura de estas continuidades, producto de la deforestación, la expansión agrícola, la urbanización y la infraestructura vial, puede interrumpir los desplazamientos naturales y aumentar la mortalidad o el estrés fisiológico de las especies migrantes (Crooks & Sanjayan, 2006).

En el contexto del cambio climático, la conectividad ecológica se convierte en un factor determinante para la **adaptación espacial de las especies**. A medida que las condiciones climáticas óptimas se desplazan hacia mayores altitudes, las aves requieren paisajes funcionalmente conectados para seguir estos gradientes. Cuando la conectividad es limitada, las especies pueden quedar atrapadas en hábitats degradados o climáticamente desfavorables, incrementando su vulnerabilidad y el riesgo de extinción local (Cuentas Romero, 2022).

Los **corredores biológicos** representan una estrategia fundamental para mantener y restaurar la conectividad ecológica. Estos corredores son franjas de hábitat natural o seminatural que conectan áreas núcleo, facilitando el movimiento de las especies a través de paisajes fragmentados. En regiones andinas, los corredores altitudinales cumplen un rol estratégico al permitir la migración vertical de aves entre pisos ecológicos, especialmente entre la región Yunga y la región Quechua, como se ha observado en Cajamarca.

Diversos estudios han demostrado que la presencia de corredores biológicos reduce los efectos negativos de la fragmentación, favorece la dispersión de especies y mantiene la diversidad genética de las poblaciones (Varela Largo, 2019). En el caso de las aves, incluso corredores estrechos, como bosques ribereños, cercos vivos y mosaicos agroforestales, pueden desempeñar un papel significativo en la facilitación de los desplazamientos altitudinales.

En Cajamarca, la conectividad ecológica se ve fuertemente condicionada por la transformación de los ecosistemas naturales en sistemas agro-productivos y zonas urbanas. Sin embargo, algunos elementos del paisaje, como las riberas del río Chonta y del río Cajamarquino, los parches de vegetación arbustiva y las áreas de pastizales con árboles

dispersos, continúan funcionando como corredores funcionales para la avifauna migrante. Estas estructuras permiten la colonización progresiva de la región Quechua por especies provenientes de pisos inferiores, aunque también generan nuevas interacciones ecológicas y conflictos en ecosistemas antrópicos.

Desde una perspectiva de gestión ambiental, la planificación de corredores biológicos debe integrarse a las estrategias de adaptación al cambio climático. La restauración de hábitats degradados, la reforestación con especies nativas y la implementación de prácticas agroecológicas compatibles con la biodiversidad contribuyen a fortalecer la conectividad del paisaje y a reducir los impactos negativos de la migración altitudinal sobre los sistemas productivos (Taylor et al., 1993; Crooks & Sanjayan, 2006).

En síntesis, la conectividad ecológica y los corredores biológicos constituyen componentes esenciales para comprender y gestionar la migración altitudinal de aves en escenarios de cambio climático. Su mantenimiento y fortalecimiento permiten que las especies respondan de manera adaptativa a las transformaciones ambientales, al tiempo que ofrecen una base conceptual y práctica para el diseño de estrategias de conservación y manejo sostenible en los ecosistemas andinos de Cajamarca.

2.2.5. Competencia interespecífica y desplazamiento de especies nativas

La **competencia interespecífica** constituye uno de los principales procesos ecológicos asociados a la migración altitudinal de aves y representa un mecanismo clave para explicar el desplazamiento de especies nativas en ecosistemas de montaña sometidos a cambios ambientales acelerados. De acuerdo con el principio de exclusión competitiva formulado por Hardin (1960), dos especies que compiten por los mismos recursos limitados no pueden coexistir de manera estable en el mismo nicho ecológico; en consecuencia, una de ellas termina siendo desplazada, reducida poblacionalmente o forzada a modificar su distribución espacial.

En el contexto del cambio climático, la competencia interespecífica se intensifica cuando especies migrantes, provenientes de pisos ecológicos inferiores, colonizan hábitats

ocupados históricamente por especies nativas de montaña. Este proceso genera una superposición de nichos ecológicos, particularmente en lo referido a fuentes de alimento, sitios de anidamiento y refugio. En regiones andinas como Cajamarca, este fenómeno ha sido observado con claridad en la región Quechua, donde aves migrantes han comenzado a compartir espacios con especies residentes, alterando el equilibrio ecológico preexistente.

Las especies migrantes con alta plasticidad adaptativa y comportamiento generalista suelen presentar ventajas competitivas frente a especies nativas más especializadas. Aves como *Dives warszewiczi* (tordo negro) o *Zenaida auriculata* (palomita coliblanca) muestran una notable capacidad para explotar diversos recursos tróficos, ocupar ambientes antrópicos y defender territorios de forma agresiva. Estas características les permiten establecerse rápidamente en nuevos ecosistemas y desplazar a especies nativas con requerimientos ecológicos más específicos (Capllonch & Ortiz, 2020).

En Cajamarca, se ha documentado el desplazamiento de aves ribereñas nativas como *Cinclodes atacamensis*, *Sayornis nigricans* y *Serpophaga cinerea*, las cuales dependen de microhábitats bien conservados y de una oferta estable de insectos acuáticos. La llegada masiva de especies migrantes a las riberas del río Chonta y a otros ecosistemas similares ha generado competencia directa por alimento y espacio, obligando a estas especies nativas a desplazarse hacia altitudes mayores o a fragmentar sus poblaciones, incrementando su vulnerabilidad ecológica (Quinteros Tuesta & Saavedra Torres, 2020).

El desplazamiento de especies nativas no solo implica cambios en la composición de la avifauna local, sino que también afecta la estructura y funcionalidad de los ecosistemas. La pérdida o reducción de especies especialistas puede alterar procesos ecológicos clave, como el control de poblaciones de insectos, la dispersión de semillas y el reciclaje de nutrientes. De este modo, la competencia interespecífica inducida por la migración altitudinal tiene efectos en cascada que trascienden a las aves y repercuten en la estabilidad de los ecosistemas andinos (Real-Giménez, 2019).

Asimismo, la competencia se ve exacerbada en ecosistemas antrópicos, donde los recursos suelen concentrarse en espacios reducidos. En áreas agrícolas y periurbanas de la

región Quechua, la disponibilidad de granos, frutos y residuos orgánicos favorece la proliferación de especies migrantes oportunistas, incrementando la presión sobre las especies nativas y generando conflictos socioambientales asociados a la producción agrícola y la salud pública (Fernández Barrios, 2023).

Desde una perspectiva evolutiva, el desplazamiento de especies nativas puede desencadenar procesos de adaptación forzada, cambios conductuales o, en escenarios más críticos, extinciones locales. En ecosistemas de montaña, donde el espacio altitudinal disponible es limitado, las especies desplazadas enfrentan un “límite superior” que reduce sus posibilidades de recolonización, fenómeno conocido como “atrapamiento altitudinal” (Uribe, 2015).

En síntesis, la competencia interespecífica y el desplazamiento de especies nativas constituyen consecuencias directas y relevantes de la migración altitudinal de aves inducida por el cambio climático. Estos procesos explican la reconfiguración de las comunidades aviares en la región Quechua Cajamarca y subrayan la necesidad de integrar enfoques de conservación y gestión adaptativa que consideren tanto la dinámica de las especies migrantes como la protección de la avifauna nativa y de los ecosistemas de montaña.

2.2.6. Adaptación trófica y cambios en la dieta

La **adaptación trófica** constituye un componente fundamental de la migración altitudinal de aves y un factor decisivo para el éxito de su establecimiento en nuevos pisos ecológicos. Este proceso hace referencia a la capacidad de las especies para modificar su dieta y sus estrategias de alimentación en respuesta a la disponibilidad de recursos en ambientes distintos a aquellos donde se desarrollaron históricamente. En escenarios de cambio climático, la adaptación trófica adquiere una relevancia especial, ya que las alteraciones en la estructura de los ecosistemas y en los ciclos biológicos de las presas obligan a las aves a reajustar sus hábitos alimenticios para garantizar su supervivencia (Kissling et al., 2010).

En los ecosistemas andinos, la disponibilidad de alimento varía de manera significativa a lo largo de los gradientes altitudinales. Cambios en la temperatura y la precipitación influyen directamente en la abundancia de insectos, frutos y semillas, modificando la base trófica de las comunidades aviares. Frente a estas variaciones, las aves con dietas generalistas y alta plasticidad alimentaria presentan mayores probabilidades de colonizar nuevos hábitats, mientras que las especies especialistas enfrentan mayores restricciones adaptativas (Capllonch & Ortiz, 2020).

La migración altitudinal inducida por el cambio climático ha favorecido la expansión de especies capaces de explotar recursos asociados a ecosistemas antrópicos. En la región Quechua Cajamarca, se ha observado que aves migrantes como *Dives warszewiczi* y *Zenaida auriculata* han incorporado de manera sistemática granos cultivados (maíz, trigo), frutos de huertos familiares y restos orgánicos disponibles en áreas rurales y periurbanas. Esta diversificación de la dieta les permite mantener poblaciones estables incluso en ambientes transformados por la actividad humana, incrementando su ventaja competitiva frente a especies nativas con dietas más restringidas.

Asimismo, especies originalmente insectívoras o asociadas a ambientes acuáticos han mostrado una notable capacidad para aprovechar nuevas fuentes alimenticias en pisos altitudinales superiores. Garzas como *Egretta thula*, *Egretta caerulea* y *Bubulcus ibis* han adaptado su comportamiento alimentario a la disponibilidad de insectos asociados al ganado, áreas de pastoreo y cuerpos de agua modificados, lo que ha facilitado su establecimiento en la región Quechua. Estos cambios reflejan un ajuste funcional del nicho trófico frente a las nuevas condiciones ambientales.

La adaptación trófica no solo implica la ampliación de la dieta, sino también modificaciones en el comportamiento de forrajeo, en los horarios de alimentación y en la selección de microhábitats. En ambientes de montaña, donde las condiciones climáticas pueden ser más restrictivas, las aves migrantes optimizan sus estrategias de búsqueda de alimento para reducir el gasto energético y maximizar el aprovechamiento de los recursos disponibles (Whelan et al., 2008).

Sin embargo, los cambios en la dieta también generan efectos ecológicos y sociales relevantes. El consumo de cultivos destinados al consumo humano puede provocar pérdidas económicas para las comunidades rurales y exacerbar los conflictos entre la conservación de la biodiversidad y la producción agrícola. En Cajamarca, los agricultores han reportado daños en cultivos de maíz, cereales y frutales asociados a la presencia creciente de aves migrantes, lo que evidencia la dimensión socioambiental de la adaptación trófica (Fernández Barrios, 2023).

Desde una perspectiva ecológica, la adaptación trófica de las aves migrantes puede alterar las redes alimentarias locales, modificando la presión sobre determinados recursos y afectando a otras especies que dependen de los mismos. Estos cambios pueden desencadenar procesos de competencia trófica, desplazamiento de especies nativas y alteraciones en los servicios ecosistémicos, como el control biológico de plagas y la dispersión de semillas (Moore & Simons, 1992).

En síntesis, la adaptación trófica y los cambios en la dieta constituyen mecanismos centrales que explican la capacidad de las aves para migrar altitudinalmente y establecerse en nuevos ecosistemas frente al cambio climático. Este proceso, aunque favorece la supervivencia de las especies migrantes, genera transformaciones ecológicas y conflictos socioeconómicos que deben ser considerados en las estrategias de gestión adaptativa y conservación en los ecosistemas andinos de Cajamarca.

2.2.7. Reproducción y establecimiento en nuevos hábitats

La **reproducción y el establecimiento exitoso en nuevos hábitats** representan la fase culminante del proceso de migración altitudinal de aves y constituyen un indicador clave de adaptación ecológica frente al cambio climático. El desplazamiento hacia pisos altitudinales superiores no se limita únicamente a la presencia temporal de individuos, sino que implica la capacidad de las especies para completar su ciclo de vida en ambientes distintos a los originales, incluyendo la construcción de nidos, la incubación, la crianza de polluelos y la supervivencia de las nuevas generaciones (Newton, 2008).

En los ecosistemas andinos, las condiciones para la reproducción varían significativamente con la altitud. Factores como la temperatura, la estacionalidad de las lluvias, la disponibilidad de alimento y la presencia de refugios adecuados influyen directamente en el éxito reproductivo de las aves. El cambio climático ha modificado estos factores, generando condiciones más favorables en pisos altitudinales que anteriormente resultaban limitantes para ciertas especies, lo que ha facilitado su establecimiento reproductivo en regiones como la Quechua Cajamarca (Quinteros Tuesta, 2020).

Las especies migrantes con alta plasticidad ecológica suelen mostrar una notable capacidad para **adaptar sus estrategias reproductivas** a los nuevos entornos. En Cajamarca, se ha observado que aves como *Zenaida auriculata* y *Bubulcus ibis* utilizan estructuras urbanas, árboles introducidos y cercos vivos como sitios de anidamiento, demostrando flexibilidad en la selección de hábitats reproductivos. Esta capacidad incrementa su éxito reproductivo y favorece la consolidación de poblaciones estables en ecosistemas antrópicos.

Asimismo, las garzas (*Egretta thula* y *Egretta caerulea*) han establecido colonias reproductivas en parques urbanos y áreas ribereñas modificadas, aprovechando cuerpos de agua artificiales y árboles ornamentales. Estos comportamientos evidencian un proceso de adaptación conductual que permite a las especies migrantes completar su ciclo reproductivo en ambientes no tradicionales, reforzando su presencia permanente en la región Quechua.

El establecimiento reproductivo de especies migrantes tiene implicaciones ecológicas profundas. La reproducción exitosa incrementa la densidad poblacional, intensifica la competencia por recursos y amplifica los impactos sobre las especies nativas. En los Andes, donde el espacio disponible disminuye con la altitud, la consolidación de poblaciones migrantes puede acelerar el desplazamiento de aves residentes hacia áreas marginales o menos favorables, aumentando su vulnerabilidad ecológica (Hardin, 1960; Uribe, 2015).

Además, el éxito reproductivo en nuevos hábitats está estrechamente vinculado a la disponibilidad trófica. La sincronización entre los períodos reproductivos y la oferta de alimento es esencial para la supervivencia de las crías. El cambio climático puede alterar esta sincronía, favoreciendo a especies oportunistas capaces de ajustar sus ciclos reproductivos a

nuevas condiciones ambientales, mientras que las especies especializadas enfrentan mayores riesgos de fracaso reproductivo (Walther et al., 2002).

Desde una perspectiva de gestión ambiental, la reproducción y el establecimiento de aves migrantes en ecosistemas antrópicos plantean desafíos adicionales. La proliferación de colonias en áreas urbanas y agrícolas puede generar problemas sanitarios, deterioro del paisaje y conflictos con las actividades productivas, como ha sido reportado en Cajamarca. Estos efectos refuerzan la necesidad de implementar estrategias de monitoreo, manejo y educación ambiental que permitan equilibrar la conservación de la avifauna con la sostenibilidad de los sistemas productivos.

En síntesis, la reproducción y el establecimiento en nuevos hábitats constituyen elementos decisivos para comprender la migración altitudinal de aves en escenarios de cambio climático. La capacidad de las especies para adaptarse reproductivamente determina no solo su éxito evolutivo, sino también la magnitud de los impactos ecológicos y socioambientales asociados a su presencia en los ecosistemas andinos de la región Quechua Cajamarca.

2.2.8. Impacto de la migración aviar en ecosistemas antrópicos

La **migración altitudinal de aves inducida por el cambio climático** tiene efectos directos y profundos sobre los **ecosistemas antrópicos**, entendidos como aquellos espacios ecológicos transformados, gestionados o intensamente utilizados por el ser humano, tales como áreas agrícolas, ganaderas, periurbanas y urbanas. La llegada y establecimiento de especies migrantes en estos sistemas genera una reconfiguración de las interacciones ecológicas, productivas y sociales, que trasciende el ámbito estrictamente biológico y se manifiesta como un problema socioambiental complejo.

En regiones andinas como la Quechua Cajamarca, los ecosistemas antrópicos se caracterizan por una alta dependencia de la agricultura familiar y por una biodiversidad estrechamente vinculada a los sistemas productivos tradicionales. La incorporación de aves migrantes provenientes de pisos ecológicos inferiores ha modificado estas dinámicas,

incrementando la presión sobre los recursos disponibles y generando conflictos entre la conservación de la biodiversidad y las actividades económicas locales (Altieri, 2017).

Uno de los impactos más evidentes se relaciona con la **afectación directa a los cultivos agrícolas**. Diversas especies migrantes han incorporado granos, semillas y frutos cultivados a su dieta, ocasionando pérdidas económicas significativas para los agricultores. En Cajamarca, se han reportado daños recurrentes en cultivos de maíz, trigo, quinua y frutales, especialmente durante las etapas de siembra y cosecha. Estos daños, percibidos de forma reiterada por la población local, evidencian cómo la migración aviar puede comprometer la seguridad alimentaria y la estabilidad económica de las comunidades rurales.

Asimismo, la presencia masiva de aves migrantes en áreas ganaderas y periurbanas genera **impactos sanitarios y ambientales**. La acumulación de excretas en corrales, campos de cultivo y espacios públicos puede favorecer la proliferación de microorganismos patógenos, incrementando el riesgo de enfermedades zoonóticas y afectando la calidad del suelo y del agua. Este aspecto ha sido señalado como una preocupación creciente en la región Quechua Cajamarca, donde la expansión de aves como *Bubulcus ibis* y *Columbina cruziana* ha intensificado la interacción entre fauna silvestre y población humana.

Desde una perspectiva ecológica, la migración aviar altera las **redes tróficas y los servicios ecosistémicos** de los ecosistemas antrópicos. La competencia por recursos entre especies migrantes y nativas puede reducir la diversidad funcional, afectar el control biológico de plagas y modificar los procesos de dispersión de semillas. En algunos casos, la desaparición o disminución de aves insectívoras nativas puede favorecer el aumento de poblaciones de insectos perjudiciales para los cultivos, generando efectos indirectos sobre la productividad agrícola (Whelan et al., 2008).

El impacto de la migración aviar también tiene una **dimensión social y cultural**. Los cambios en la composición de la avifauna local alteran las prácticas agrícolas tradicionales, los calendarios productivos y la percepción del entorno natural por parte de las comunidades. En Cajamarca, los agricultores han identificado la migración de aves como un fenómeno asociado al cambio climático, reconociendo su influencia en la transformación del paisaje

rural y en el aumento de la vulnerabilidad socioeconómica, especialmente en familias con alta dependencia de la producción agrícola.

Además, la respuesta social frente a estos impactos puede derivar en prácticas de control no planificadas, como el uso de métodos letales o repelentes químicos, que a su vez generan nuevos riesgos ambientales y afectan la biodiversidad. Este escenario pone de manifiesto la necesidad de enfoques de gestión adaptativa que integren el conocimiento científico con los saberes locales, promoviendo estrategias agroecológicas sostenibles y mecanismos de coexistencia entre aves migrantes y sistemas productivos.

En síntesis, el impacto de la migración aviar en los ecosistemas antrópicos constituye una de las expresiones más visibles y complejas del cambio climático en regiones alto andinas como la Quechua Cajamarca. Este fenómeno no solo modifica la dinámica ecológica de los sistemas transformados por el ser humano, sino que también genera implicaciones económicas, sanitarias y culturales que demandan respuestas integrales, participativas y basadas en evidencia científica para garantizar la sostenibilidad de los ecosistemas y el bienestar de las comunidades locales.

2.2.9. Migración de aves y agroecosistemas altoandinos

La **migración altitudinal de aves inducida por el cambio climático** tiene una relación estrecha y directa con los **agroecosistemas altoandinos**, los cuales constituyen sistemas socioecológicos complejos donde interactúan componentes naturales y prácticas productivas tradicionales. En regiones como la Quechua Cajamarca, estos agroecosistemas se caracterizan por la agricultura familiar, el uso de tecnologías ancestrales, la dependencia del régimen climático y una alta sensibilidad frente a perturbaciones ambientales. En este contexto, la llegada y establecimiento de aves migrantes provenientes de pisos ecológicos inferiores genera transformaciones profundas en la dinámica ecológica y productiva del territorio.

Los agroecosistemas altoandinos funcionan como mosaicos de cultivos, pastizales, cercos vivos, cuerpos de agua y remanentes de vegetación natural, ofreciendo una amplia

gama de recursos tróficos y refugios para la avifauna. Esta heterogeneidad estructural convierte a estos sistemas en espacios altamente atractivos para aves migrantes con hábitos generalistas y gran capacidad adaptativa. El cambio climático, al modificar las condiciones térmicas y la disponibilidad de recursos en regiones bajas, ha impulsado a numerosas especies a colonizar estos agroecosistemas de altura, donde encuentran alimento y condiciones favorables para su establecimiento (Altieri, 2017).

En Cajamarca, se ha observado que especies migrantes como *Zenaida auriculata*, *Columbina cruziana* y *Dives warszewiczi* han integrado de manera sistemática los agroecosistemas a su estrategia de supervivencia. Estas aves aprovechan cultivos de maíz, trigo, quinua y frutales, así como residuos agrícolas y semillas expuestas tras las cosechas. Esta interacción, aunque funcional desde la perspectiva ecológica de las aves, genera impactos negativos sobre la productividad agrícola y exacerba la percepción de conflicto entre fauna silvestre y actividades humanas.

No obstante, la relación entre migración aviar y agroecosistemas no es exclusivamente negativa. En condiciones de equilibrio, muchas especies de aves desempeñan funciones ecológicas esenciales, como el control biológico de insectos, la dispersión de semillas y la regulación de poblaciones de invertebrados. En los agroecosistemas altoandinos, estas funciones pueden contribuir a la resiliencia ecológica y a la sostenibilidad productiva, siempre que exista una adecuada gestión del paisaje y una diversidad funcional equilibrada de especies (Whelan et al., 2008).

El problema surge cuando la migración inducida por el cambio climático altera dicha diversidad funcional, favoreciendo la proliferación de especies oportunistas y reduciendo la presencia de aves nativas insectívoras. En la región Quechua Cajamarca, el desplazamiento de especies locales como *Cinclodes atacamensis* y *Sayornis nigricans* ha disminuido el control natural de plagas en ciertos agroecosistemas, incrementando la dependencia de insumos externos y afectando la sostenibilidad ambiental de la producción agrícola.

Desde una perspectiva socioeconómica, los agroecosistemas altoandinos son altamente vulnerables a estos cambios debido a la limitada capacidad de adaptación de los

pequeños productores. Las pérdidas en los cultivos, asociadas a la presencia creciente de aves migrantes, afectan directamente los ingresos familiares y pueden desencadenar procesos de inseguridad alimentaria y migración rural. Este escenario refuerza la necesidad de comprender la migración aviar no solo como un fenómeno ecológico, sino como un factor que incide en el desarrollo rural y la estabilidad social de las comunidades andinas.

Frente a esta problemática, diversos estudios y experiencias locales destacan la importancia de implementar **estrategias agroecológicas adaptativas**, tales como el diseño de paisajes multifuncionales, la diversificación de cultivos, el uso de cercos vivos con especies nativas y la restauración de corredores ecológicos. Estas medidas permiten reducir el conflicto entre aves y cultivos, al tiempo que favorecen la conservación de la biodiversidad y la resiliencia de los agroecosistemas frente al cambio climático (Altieri & Nicholls, 2020).

En síntesis, la migración de aves y su interacción con los agroecosistemas altoandinos constituye un fenómeno complejo, en el que confluyen procesos ecológicos, productivos y sociales. En la región Quechua Cajamarca, este proceso evidencia cómo el cambio climático reconfigura las relaciones entre biodiversidad y agricultura, planteando el desafío de diseñar modelos de gestión adaptativa que armonicen la conservación de la avifauna con la sostenibilidad de los sistemas productivos y el bienestar de las comunidades rurales.

El presente capítulo ha desarrollado los fundamentos teóricos que permiten comprender la **migración altitudinal de aves** como un proceso ecológico complejo, dinámico y estrechamente vinculado al cambio climático. A partir de la revisión de referentes teóricos, antecedentes científicos y nociones conceptuales, se ha evidenciado que la migración aviar no responde únicamente a patrones estacionales tradicionales, sino que constituye una **estrategia adaptativa** frente a la modificación persistente de las condiciones ambientales, especialmente en ecosistemas de montaña.

El análisis de la migración estacional, latitudinal y altitudinal ha permitido diferenciar los distintos tipos de desplazamiento y situar la migración altitudinal como una respuesta particularmente relevante en regiones andinas, donde los gradientes ecológicos y los pisos altitudinales ofrecen alternativas espaciales limitadas para la redistribución de las especies.

En este contexto, se ha resaltado el papel de las aves como **bioindicadores del cambio ambiental**, debido a su alta sensibilidad a las variaciones térmicas, a los cambios en la disponibilidad de recursos y a la transformación de los hábitats.

Asimismo, el desarrollo de las nociones básicas ha puesto de relieve la importancia de conceptos como nicho ecológico, plasticidad adaptativa, conectividad ecológica y competencia interespecífica, los cuales permiten explicar la capacidad de ciertas especies para colonizar nuevos hábitats, así como el desplazamiento de aves nativas hacia altitudes mayores. La evidencia teórica y empírica revisada demuestra que las especies con dietas generalistas, alta flexibilidad conductual y tolerancia a ambientes antrópicos presentan mayores probabilidades de establecerse exitosamente en nuevos pisos ecológicos.

De manera particular, el capítulo ha enfatizado los **impactos ecológicos, productivos y sociales** derivados de la migración altitudinal de aves en ecosistemas antrópicos y agroecosistemas altoandinos. La afectación a cultivos, la alteración de redes tróficas, los riesgos sanitarios y los conflictos socioambientales observados en regiones como la Quechua Cajamarca evidencian que la migración aviar inducida por el clima trasciende el ámbito biológico y se configura como un desafío para la sostenibilidad rural y la gestión ambiental.

En conjunto, los fundamentos teóricos desarrollados en este capítulo proporcionan un marco conceptual sólido para interpretar la migración altitudinal de aves como un fenómeno multicausal y multidimensional, determinado por la interacción entre factores climáticos, ecológicos y antrópicos. Este marco resulta indispensable para el análisis del **caso de estudio en la región Quechua Cajamarca**, que se abordará en los capítulos posteriores, donde se examinará empíricamente cómo el cambio climático ha influido en los patrones migratorios de las aves y cuáles son sus efectos concretos sobre los ecosistemas y las comunidades altoandinas.

CAPÍTULO III

CASO DE ESTUDIO: MIGRACIÓN ALTITUDINAL DE AVES EN LA REGIÓN QUECHUA DE CAJAMARCA

La comprensión de los fundamentos teóricos del cambio climático y de la migración altitudinal de aves adquiere pleno sentido cuando se contrasta con la realidad empírica de territorios específicos. En este marco, el presente capítulo desarrolla el **caso de estudio de la región Quechua de Cajamarca**, un espacio altoandino particularmente sensible a las variaciones climáticas y a los procesos de redistribución de la biodiversidad. Esta región se ha convertido, en las últimas décadas, en un escenario representativo para analizar cómo el incremento sostenido de la temperatura y las alteraciones en los regímenes de precipitación influyen en los patrones de desplazamiento y establecimiento de diversas especies de aves.

La región Quechua Cajamarca, ubicada entre los 2450 y 3500 msnm, presenta una combinación de ecosistemas naturales y antrópicos, donde confluyen sistemas agroproductivos tradicionales, áreas periurbanas y corredores ecológicos asociados a cuencas hidrográficas. Esta heterogeneidad ambiental ofrece condiciones propicias para la observación de procesos de migración altitudinal, especialmente de especies provenientes de la región Yunga, que han ampliado su rango de distribución hacia pisos ecológicos superiores como respuesta adaptativa al cambio climático.

En este capítulo se integran los componentes **metodológicos y analíticos** del estudio, articulando la observación de campo, el análisis de datos climáticos y la interpretación de percepciones locales. El enfoque adoptado permite examinar de manera sistemática la presencia de aves migrantes, sus patrones de distribución altitudinal, sus estrategias adaptativas y los efectos que generan en los ecosistemas antrópicos de la región. De este modo, el caso de Cajamarca no se presenta únicamente como una descripción local, sino

como un ejemplo representativo de procesos ecológicos que se repiten en otros territorios altoandinos de América Latina.

Asimismo, el capítulo aborda la relación entre la migración aviar y los sistemas productivos rurales, poniendo en evidencia los impactos ecológicos, agrícolas y sociales derivados del establecimiento de especies migrantes en agroecosistemas de altura. La inclusión de saberes locales, a través de testimonios de agricultores y especialistas, permite enriquecer el análisis y situar los resultados en un contexto socioambiental concreto, reforzando el carácter interdisciplinario del estudio.

En conjunto, este capítulo constituye el núcleo empírico del libro, al vincular los planteamientos teóricos desarrollados previamente con la evidencia obtenida en el territorio. A partir del análisis del caso de estudio de la región Quechua de Cajamarca, se busca demostrar cómo la migración altitudinal de aves actúa como un bioindicador sensible del cambio climático y cómo sus efectos se manifiestan de manera tangible en los ecosistemas y en la vida cotidiana de las comunidades altoandinas.

3.1. Contexto geográfico y ecológico del área de estudio

El análisis de la migración altitudinal de aves inducida por el cambio climático requiere una comprensión detallada del **contexto geográfico y ecológico** en el que se desarrolla el fenómeno. La región Quechua de Cajamarca constituye un espacio estratégico para este tipo de estudios, debido a su ubicación en la vertiente andina del norte del Perú y a la diversidad de ecosistemas que alberga a lo largo de su gradiente altitudinal. Las características físicas, climáticas y biológicas de este territorio configuran un escenario propicio para observar procesos de redistribución de especies asociados a variaciones ambientales persistentes.

Desde el punto de vista geográfico, la región Quechua Cajamarca se extiende aproximadamente entre los 2450 y 3500 msnm, de acuerdo con la clasificación de regiones naturales propuesta por Pulgar Vidal. Este rango altitudinal comprende valles interandinos, laderas montañosas y áreas de transición entre pisos ecológicos, donde confluyen influencias

climáticas propias de las regiones Yunga y Suni. La presencia de cuencas hidrográficas como las de los ríos Chonta y Cajamarquino genera microclimas y corredores naturales que facilitan el desplazamiento de la fauna, especialmente de las aves.

En términos ecológicos, el área de estudio presenta una **heterogeneidad ambiental significativa**, caracterizada por la coexistencia de ecosistemas naturales y antrópicos. Pastizales altoandinos, matorrales ribereños, remanentes de vegetación nativa y áreas reforestadas con especies introducidas se intercalan con sistemas agrícolas y ganaderos tradicionales. Esta diversidad estructural incrementa la disponibilidad de nichos ecológicos y recursos tróficos, convirtiendo a la región Quechua en un espacio atractivo para especies de aves con alta capacidad adaptativa.

El contexto ecológico de Cajamarca ha sido profundamente influenciado por la actividad humana. La expansión agrícola, la ganadería extensiva y el crecimiento urbano han modificado la cobertura vegetal y los patrones de uso del suelo, dando lugar a **ecosistemas antrópicos** que interactúan de manera constante con la fauna silvestre. Estas transformaciones, sumadas a los efectos del cambio climático, han alterado las condiciones de hábitat, favoreciendo la colonización de especies migrantes y redefiniendo las dinámicas ecológicas locales.

Asimismo, la región Quechua Cajamarca se caracteriza por una alta sensibilidad climática. El incremento sostenido de la temperatura media anual y las variaciones en los regímenes de precipitación han modificado la fenología de la vegetación, la disponibilidad de alimento y la estructura de los ecosistemas, generando condiciones favorables para la migración altitudinal de aves provenientes de pisos ecológicos inferiores. Este contexto convierte al área de estudio en un laboratorio natural para analizar la relación entre cambio climático, migración aviar y transformación de los ecosistemas de montaña.

En síntesis, el contexto geográfico y ecológico de la región Quechua Cajamarca ofrece las condiciones necesarias para comprender la migración altitudinal de aves como un fenómeno multifactorial. La combinación de gradientes altitudinales, diversidad de hábitats, presión antrópica y vulnerabilidad climática sustenta la pertinencia de este territorio como

área de estudio y sienta las bases para el análisis metodológico y empírico que se desarrolla en los apartados siguientes.

3.1.1. Caracterización de la región Quechua de Cajamarca

La región Quechua de Cajamarca constituye un espacio geográfico y ecológico de alta relevancia para el estudio de la migración altitudinal de aves inducida por el cambio climático. De acuerdo con la clasificación de regiones naturales de Pulgar Vidal, esta región se ubica entre los 2450 y 3500 msnm y se caracteriza por su condición de **zona intermedia andina**, donde confluyen influencias climáticas, biológicas y culturales provenientes tanto de regiones más bajas (Yunga) como de pisos ecológicos superiores. Esta posición de transición convierte a la región Quechua en un territorio especialmente sensible a los procesos de redistribución altitudinal de especies.

Desde el punto de vista climático, la región presenta temperaturas templadas a frías, con una marcada estacionalidad asociada al régimen de lluvias. En las últimas décadas, se ha registrado un incremento progresivo de la temperatura media anual y una mayor variabilidad en la precipitación, fenómenos que han modificado las condiciones ecológicas tradicionales del territorio. Estos cambios han influido directamente en la disponibilidad de recursos tróficos y en la estructura de los hábitats, generando condiciones propicias para la llegada y establecimiento de especies de aves provenientes de pisos ecológicos inferiores, como la región Yunga.

En términos geomorfológicos, la región Quechua Cajamarca se caracteriza por la presencia de valles interandinos, colinas y laderas montañosas, atravesadas por importantes sistemas hídricos como los ríos Chonta y Cajamarquino. Estas cuencas cumplen un rol ecológico fundamental, ya que funcionan como **corredores naturales** que facilitan el desplazamiento de la fauna y la conectividad entre distintos pisos altitudinales. Las riberas de estos ríos, además, concentran una alta diversidad de microhábitats, lo que favorece la presencia tanto de especies nativas como de aves migrantes.

La cobertura vegetal de la región Quechua es heterogénea y refleja una combinación de elementos naturales y antrópicos. Se encuentran pastizales naturales, matorrales andinos, remanentes de vegetación ribereña y áreas reforestadas con especies introducidas como pinos y eucaliptos. A ello se suma una extensa superficie dedicada a la agricultura y la ganadería, donde predominan cultivos como maíz, trigo, quinua y frutales, así como zonas de pastoreo. Esta diversidad estructural incrementa la oferta de alimento y refugio, convirtiendo a la región en un espacio atractivo para aves con diferentes requerimientos ecológicos.

Desde una perspectiva socioecológica, la región Quechua Cajamarca está habitada mayoritariamente por comunidades rurales que dependen de los agroecosistemas para su subsistencia. La estrecha relación entre la población local y el entorno natural ha dado lugar a un conocimiento empírico valioso sobre los cambios ambientales y la presencia de nuevas especies de aves. Los testimonios de agricultores y pobladores han evidenciado un aumento sostenido de aves migrantes en las últimas décadas, fenómeno que es percibido como una consecuencia directa del cambio climático y de la transformación del paisaje rural.

La caracterización de la región Quechua Cajamarca permite comprender por qué este territorio se ha convertido en un escenario clave para la migración altitudinal de aves. Su ubicación altitudinal intermedia, la diversidad de hábitats, la presión antrópica y la creciente vulnerabilidad climática configuran un contexto en el que los efectos del cambio climático se manifiestan de forma tangible. Esta combinación de factores justifica la selección del área de estudio y sienta las bases para el análisis de los patrones migratorios y sus impactos ecológicos y socioambientales, desarrollados en los apartados siguientes.

3.1.2. Ecosistemas naturales y antrópicos del valle de Cajamarca

El valle de Cajamarca constituye un mosaico socioecológico complejo, donde coexisten ecosistemas naturales andinos y sistemas antrópicos profundamente transformados por la actividad humana. Esta coexistencia configura un escenario dinámico en el que los efectos del cambio climático se manifiestan con particular intensidad, influyendo tanto en la estructura de los hábitats como en la redistribución espacial de las especies de aves que actualmente colonizan la región Quechua.

Entre los **ecosistemas naturales**, destacan los remanentes de vegetación ribereña asociados a los ríos Chonta y Cajamarquino, así como los matorrales andinos y pastizales naturales que aún persisten en laderas y zonas de transición altitudinal. Estos ambientes cumplen funciones ecológicas esenciales, como la regulación hídrica, la provisión de refugio y sitios de reproducción, y el mantenimiento de cadenas tróficas locales. Las riberas fluviales, en particular, albergan una alta diversidad de invertebrados acuáticos y terrestres, constituyendo una fuente clave de alimento para aves insectívoras y oportunistas, tanto nativas como migrantes. No obstante, estos ecosistemas se encuentran cada vez más fragmentados y sometidos a presión, lo que incrementa su vulnerabilidad frente a las alteraciones climáticas y antrópicas (Quinteros Tuesta y Saavedra Torres, 2020).

Paralelamente, el valle de Cajamarca presenta una amplia extensión de **ecosistemas antrópicos**, resultado de siglos de ocupación humana y de una intensificación reciente de las actividades agropecuarias y urbanas. Los sistemas agrícolas predominantes incluyen parcelas de maíz, trigo, quinua y otros cultivos de subsistencia, así como áreas destinadas al pastoreo de ganado bovino. Estos agroecosistemas han generado nuevas condiciones ecológicas, caracterizadas por una alta disponibilidad de granos, semillas e insectos asociados a la actividad agrícola, lo que ha favorecido la presencia y expansión de especies de aves generalistas y altamente adaptables, como *Bubulcus ibis*, *Zenaida auriculata* y *Dives warszewiczi*.

Asimismo, los **espacios urbanos y periurbanos** del valle, con parques arbolados, jardines, infraestructuras y cuerpos de agua artificiales, se han convertido en hábitats funcionales para diversas especies de aves. Garzas como *Egretta thula* y *Egretta caerulea* han encontrado en estos ambientes condiciones adecuadas para la alimentación y el descanso, evidenciando una notable plasticidad ecológica. Sin embargo, esta ocupación de espacios antrópicos ha generado conflictos asociados a la acumulación de excretas, la degradación del paisaje urbano y posibles riesgos sanitarios, aspectos que han sido reportados tanto por la población local como por estudios previos en ecosistemas similares (Real-Giménez, 2019).

La interacción entre ecosistemas naturales y antrópicos en el valle de Cajamarca ha dado lugar a **nuevas dinámicas ecológicas**, marcadas por procesos de competencia interespecífica, desplazamiento de aves nativas y reconfiguración de nichos ecológicos. Especies como *Cinclodes atacamensis* y *Sayornis nigricans*, tradicionalmente asociadas a riberas y ambientes menos perturbados, han sido progresivamente desplazadas hacia zonas de mayor altitud, en parte por la presión ejercida por aves migrantes más competitivas y mejor adaptadas a los ambientes modificados por el ser humano (Fernández Barrios, 2023).

En este contexto, el valle de Cajamarca puede ser entendido como un **paisaje socioecológico en transición**, donde el cambio climático actúa como un factor catalizador que intensifica los efectos de la fragmentación del hábitat y la transformación antrópica. La coexistencia de ecosistemas naturales degradados y sistemas productivos activos no solo condiciona la presencia de aves migrantes, sino que también determina la magnitud de sus impactos ecológicos y productivos. Esta realidad subraya la importancia de analizar de manera integrada los ecosistemas del valle, reconociendo que la migración altitudinal de aves no es un fenómeno aislado, sino el resultado de múltiples interacciones entre clima, biodiversidad y actividad humana.

3.1.3. Dinámica climática regional y tendencias recientes

La dinámica climática de la región Quechua de Cajamarca se caracteriza por una marcada variabilidad interanual y estacional, propia de los ecosistemas andinos tropicales, la cual en las últimas décadas ha mostrado tendencias consistentes asociadas al cambio climático. Históricamente, el clima de la zona ha estado determinado por un régimen bimodal de precipitaciones, con una estación lluviosa concentrada entre los meses de noviembre y abril, y una estación seca que se extiende de mayo a septiembre. Sin embargo, este patrón tradicional ha experimentado alteraciones progresivas que inciden de manera directa en la funcionalidad de los ecosistemas y en la distribución de la fauna silvestre.

Uno de los rasgos más relevantes de la dinámica climática reciente en Cajamarca es el **incremento sostenido de la temperatura media anual**. Registros provenientes de estaciones meteorológicas locales, como la Estación Meteorológica de la Universidad

Nacional de Cajamarca y reportes del SENAMHI, evidencian un aumento gradual de las temperaturas mínimas y máximas desde inicios del siglo XXI. Este comportamiento coincide con las tendencias descritas para la región andina por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, que señala un calentamiento más acelerado en zonas de montaña en comparación con los promedios globales (IPCC, 2021). El ascenso térmico ha generado condiciones climáticas más benignas en altitudes superiores a los 2500 msnm, favoreciendo la colonización de estos espacios por especies de aves que anteriormente se restringían a pisos ecológicos más bajos.

En relación con la **precipitación**, se ha observado una mayor irregularidad en la distribución temporal de las lluvias. Estudios regionales indican una tendencia hacia la concentración de eventos pluviométricos intensos en períodos más cortos, alternados con intervalos prolongados de sequía relativa. Esta situación no solo afecta la disponibilidad de agua para los sistemas productivos, sino que también modifica la estructura de los hábitats ribereños y la oferta trófica para numerosas especies (Quinteros Tuesta y Saavedra Torres, 2020). La reducción de la humedad del suelo y la alteración de los ciclos hidrológicos influyen en la abundancia de insectos y otros invertebrados, elementos clave en la dieta de muchas aves, actuando como un factor desencadenante de desplazamientos altitudinales.

Otro componente relevante de la dinámica climática regional es el **aumento en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos**, tales como heladas atípicas, lluvias torrenciales y periodos de sequía más prolongados. Estos fenómenos generan estrés térmico y ecológico en los ecosistemas de menor altitud, reduciendo su capacidad de sostener poblaciones estables de fauna silvestre. En este contexto, las aves, debido a su elevada movilidad y plasticidad ecológica, responden rápidamente a estas perturbaciones desplazándose hacia zonas que ofrecen condiciones climáticas más estables y previsibles (Real-Giménez, 2019).

Las **tendencias recientes** también evidencian una interacción entre la variabilidad climática regional y fenómenos de escala global, como El Niño–Oscilación del Sur (ENOS), que intensifican las anomalías térmicas y pluviométricas en el norte del Perú. La recurrencia

de eventos El Niño de mayor intensidad ha contribuido a la modificación de los patrones climáticos locales, generando escenarios favorables para la expansión altitudinal de especies generalistas y oportunistas, como *Bubulcus ibis* y *Zenaida auriculata*, ampliamente registradas en la región Quechua de Cajamarca en las últimas décadas.

En conjunto, la dinámica climática regional de Cajamarca refleja un proceso de **reconfiguración ambiental progresiva**, en el que el aumento de la temperatura, la irregularidad de las precipitaciones y la mayor ocurrencia de eventos extremos configuran nuevas condiciones ecológicas. Estas transformaciones no solo explican la migración altitudinal de aves hacia la región Quechua, sino que también refuerzan el papel de esta zona como un espacio de recepción y establecimiento de especies sensibles a los cambios climáticos. Así, el análisis de las tendencias climáticas recientes resulta fundamental para comprender los patrones observados en la avifauna y para anticipar escenarios futuros de cambio ecológico en los Andes cajamarquinos.

3.2. Enfoque metodológico del estudio

El abordaje metodológico del presente caso de estudio se diseñó con el propósito de comprender de manera integral la migración altitudinal de aves hacia la región Quechua de Cajamarca como respuesta al cambio climático, considerando tanto sus dimensiones ecológicas como sociales y productivas. Dada la complejidad del fenómeno analizado, fue necesario adoptar un enfoque que permitiera articular datos empíricos provenientes del trabajo de campo con la interpretación contextual de las percepciones locales y el análisis de información climática histórica.

En este sentido, el estudio se sustenta en un **enfoque metodológico mixto**, que integra estrategias cuantitativas y cualitativas para capturar la diversidad de variables involucradas en la dinámica migratoria de las aves. La combinación de ambos enfoques posibilita la triangulación de la información, fortaleciendo la validez de los resultados y permitiendo contrastar los registros ecológicos con el conocimiento empírico de los actores locales. Este planteamiento resulta particularmente pertinente en estudios ambientales, donde los procesos biofísicos interactúan de manera constante con factores antrópicos y socioculturales.

Desde la perspectiva cuantitativa, el enfoque metodológico se orienta al análisis de patrones observables de presencia, frecuencia y distribución altitudinal de las especies de aves migrantes, así como a la identificación de relaciones estadísticas entre estas variables y los indicadores climáticos regionales, especialmente la temperatura y la precipitación. Estos datos permiten establecer tendencias y asociaciones que explican el desplazamiento de las especies hacia pisos ecológicos superiores. Paralelamente, el componente cualitativo se centra en la interpretación de las percepciones de agricultores, pobladores locales y especialistas, quienes aportan información clave sobre los cambios ambientales observados, los impactos en los agroecosistemas y las transformaciones en la biodiversidad local.

El enfoque metodológico adoptado se inscribe, además, en una perspectiva **explicativa y contextual**, orientada no solo a describir el fenómeno migratorio, sino a comprender sus causas y consecuencias dentro del sistema ecológico andino. La selección de técnicas de observación directa, entrevistas semiestructuradas, encuestas y análisis documental responde a la necesidad de construir una visión holística del fenómeno, en la que el cambio climático se analiza como un factor estructurante de los procesos ecológicos y sociales que ocurren en la región Quechua de Cajamarca.

En suma, el enfoque metodológico del estudio constituye un marco integrador que articula rigor científico, pertinencia territorial y enfoque interdisciplinario. Este planteamiento permite analizar la migración altitudinal de aves como un proceso dinámico y multifactorial, sentando las bases para la presentación detallada del diseño metodológico, las técnicas de recolección de datos y los procedimientos de análisis que se desarrollan en los apartados siguientes del capítulo.

3.2.1. Enfoque mixto e interdisciplinario

El estudio de la migración altitudinal de aves inducida por el cambio climático en la región Quechua de Cajamarca demanda un abordaje metodológico que trascienda los límites de una sola disciplina y de un único tipo de análisis. En este contexto, la investigación se sustenta en un **enfoque mixto e interdisciplinario**, concebido para integrar de manera

coherente los componentes ecológicos, climatológicos, sociales y productivos que intervienen en el fenómeno estudiado.

El **enfoque mixto** combina herramientas cuantitativas y cualitativas con el objetivo de capturar tanto la dimensión empírica del desplazamiento de las aves como las interpretaciones y experiencias de los actores humanos involucrados. Desde la perspectiva cuantitativa, se prioriza la recolección y el análisis de datos observables y medibles, tales como la presencia de especies, la frecuencia de avistamientos, la altitud de registro y las variaciones de temperatura y precipitación a lo largo del tiempo. Este componente permite identificar patrones, tendencias y relaciones estadísticas que evidencian la influencia del cambio climático en la redistribución altitudinal de la avifauna, tal como se ha documentado en estudios previos realizados en ecosistemas andinos (IPCC, 2021; Cuentas Romero, 2022).

De manera complementaria, el **componente cualitativo** se orienta a comprender el fenómeno desde una perspectiva contextual y territorial. A través de entrevistas semiestructuradas y encuestas aplicadas a agricultores, pobladores locales y especialistas, se recogen percepciones, conocimientos empíricos y saberes locales sobre los cambios climáticos observados, la llegada de nuevas especies de aves y los impactos generados en los agroecosistemas. Este enfoque reconoce que la migración aviar no solo constituye un proceso biológico, sino también un fenómeno con implicaciones sociales, económicas y culturales, cuya comprensión requiere la incorporación de las voces de quienes interactúan cotidianamente con el entorno natural.

El carácter **interdisciplinario** del enfoque metodológico se manifiesta en la articulación de conceptos y métodos provenientes de diversas áreas del conocimiento. La ecología y la ornitología aportan los fundamentos para el análisis de la dinámica poblacional y del comportamiento de las aves; la climatología permite interpretar las tendencias térmicas y pluviométricas que actúan como factores desencadenantes de la migración; la geografía contribuye al análisis espacial y altitudinal del territorio; mientras que las ciencias sociales facilitan la comprensión de los impactos del fenómeno en los sistemas productivos y en las comunidades locales. Esta convergencia disciplinaria responde a la naturaleza compleja del

cambio climático y a la necesidad de abordarlo desde una perspectiva sistémica (Bertalanffy, 1981).

Asimismo, el enfoque mixto e interdisciplinario favorece la **triangulación de la información**, al contrastar datos provenientes de diferentes fuentes y métodos. La coherencia entre los registros de campo, los datos climáticos históricos y las percepciones locales fortalece la validez de los resultados y reduce el riesgo de interpretaciones parciales. En el caso de la región Quechua de Cajamarca, esta triangulación resulta especialmente relevante, dado que los cambios ambientales se manifiestan de forma heterogénea en el territorio y afectan de manera diferenciada a las especies y a los sistemas productivos.

En síntesis, el enfoque mixto e interdisciplinario adoptado en esta investigación permite abordar la migración altitudinal de aves como un fenómeno complejo y multifactorial, integrando evidencia científica, análisis estadístico y conocimiento local. Este planteamiento metodológico no solo enriquece la comprensión del caso de estudio, sino que también contribuye a la generación de insumos sólidos para la formulación de estrategias de gestión adaptativa y conservación frente al cambio climático en los ecosistemas altoandinos de Cajamarca.

3.2.2. Diseño de investigación y nivel de análisis

El diseño de la investigación se estructura de manera coherente con los objetivos del estudio y con la naturaleza del fenómeno analizado, estableciendo un marco metodológico que permite examinar la relación entre el cambio climático y la migración altitudinal de aves en la región Quechua de Cajamarca. Dado que el propósito central no es intervenir ni modificar las variables en estudio, sino observar y analizar sus interacciones en el contexto natural en el que ocurren, se adopta un **diseño no experimental**, adecuado para investigaciones ecológicas y ambientales en las que los procesos se desarrollan de forma espontánea.

En términos de temporalidad, el estudio se enmarca en un **diseño transeccional o transversal**, ya que la recolección de datos se realiza en un periodo determinado, integrando

registros de campo actuales con información climática histórica y testimonios acumulados de los actores locales. Esta estrategia permite analizar el estado del fenómeno en un momento específico, sin perder de vista su evolución reciente, lo cual resulta pertinente para identificar patrones migratorios asociados a tendencias climáticas de mediano y largo plazo.

El **nivel de análisis** de la investigación es fundamentalmente **explicativo**, dado que no se limita a describir la presencia de aves migrantes en nuevos pisos altitudinales, sino que busca establecer relaciones causales entre las variaciones climáticas —principalmente el incremento de la temperatura y la irregularidad de las precipitaciones— y los desplazamientos altitudinales de las especies. Este nivel de análisis permite comprender el fenómeno como una respuesta adaptativa de la avifauna frente a la transformación progresiva de los ecosistemas andinos, tal como ha sido señalado en investigaciones previas sobre vulnerabilidad climática y redistribución de especies (Quinteros Tuesta y Saavedra Torres, 2020; Real-Giménez, 2019).

De manera complementaria, el diseño incorpora un **enfoque correlacional**, orientado a identificar asociaciones significativas entre variables climáticas y ecológicas. A través del análisis estadístico de datos de temperatura, precipitación y registros de presencia de aves, se evalúa la intensidad y dirección de estas relaciones, aportando evidencia empírica que sustenta la hipótesis de que el cambio climático constituye un factor determinante en la migración altitudinal de aves hacia la región Quechua de Cajamarca. Este enfoque resulta clave para diferenciar los desplazamientos inducidos por variabilidad climática persistente de aquellos asociados únicamente a migraciones estacionales tradicionales.

Asimismo, el diseño de investigación contempla un **nivel de análisis contextual**, que integra las percepciones y experiencias de los agricultores y especialistas locales. Este nivel permite interpretar los resultados ecológicos dentro de un marco territorial y social específico, reconociendo que los efectos de la migración aviar se manifiestan de manera concreta en los agroecosistemas y en las dinámicas productivas de la región. La inclusión de este nivel analítico refuerza la comprensión integral del fenómeno y facilita la articulación de los hallazgos con propuestas de gestión adaptativa.

En conjunto, el diseño de investigación y el nivel de análisis adoptados proporcionan una estructura metodológica sólida y coherente para examinar la migración altitudinal de aves en Cajamarca. Al combinar un enfoque no experimental, transeccional, explicativo y correlacional, el estudio logra captar la complejidad del fenómeno y generar interpretaciones fundamentadas que contribuyen al conocimiento científico y a la toma de decisiones en el ámbito de la conservación y la adaptación al cambio climático.

3.2.3. Unidades de análisis ecológicas y sociales

El estudio de la migración altitudinal de aves en la región Quechua de Cajamarca requiere la delimitación precisa de las **unidades de análisis**, entendidas como los elementos centrales sobre los cuales se recolecta, organiza e interpreta la información. En coherencia con el enfoque mixto e interdisciplinario adoptado, la investigación define dos tipos de unidades de análisis complementarias: **ecológicas** y **sociales**, que permiten abordar el fenómeno desde una perspectiva integral y contextualizada.

Las **unidades de análisis ecológicas** están constituidas por las especies de aves que han experimentado un desplazamiento altitudinal hacia la región Quechua como respuesta a las transformaciones climáticas observadas en las últimas décadas. Estas unidades se analizan a partir de su presencia, frecuencia, comportamiento y distribución altitudinal en los distintos ecosistemas del valle de Cajamarca. El énfasis se coloca en especies con registros consistentes de colonización de nuevos hábitats altoandinos, tales como *Egretta thula*, *Egretta caerulea*, *Bubulcus ibis*, *Dives warszewiczi*, *Zenaida auriculata* y *Columbina cruziana*, cuya expansión ha sido documentada tanto mediante observación directa como a través de testimonios locales y registros históricos. El análisis ecológico de estas especies permite identificar patrones de adaptación, competencia interespecífica y uso de nuevos nichos, así como su relación con variables climáticas clave, principalmente la temperatura y la precipitación.

Asimismo, dentro de las unidades ecológicas se consideran los **hábitats y ecosistemas** en los que se insertan las especies migrantes. Pastizales, matorrales ribereños, áreas agrícolas, parques urbanos y zonas periurbanas constituyen espacios de observación

fundamentales para comprender cómo la transformación del paisaje y la disponibilidad de recursos influyen en el establecimiento y la reproducción de las aves. Estas unidades ecológicas no se analizan de manera aislada, sino como parte de un sistema dinámico en el que interactúan factores naturales y antrópicos, en consonancia con los enfoques de vulnerabilidad ecológica frente al cambio climático (IPCC, 2021).

Por otro lado, las **unidades de análisis sociales** están conformadas por los actores humanos que mantienen una relación directa con los ecosistemas del área de estudio y que poseen conocimiento empírico o técnico sobre la migración aviar. Este grupo incluye principalmente a agricultores y ganaderos de la región Quechua de Cajamarca, quienes, a través de su actividad productiva cotidiana, perciben de manera directa los cambios en la presencia de aves, los impactos sobre los cultivos y las alteraciones en el entorno natural. Sus testimonios aportan información valiosa sobre la temporalidad de la llegada de las especies, los daños agrícolas observados y las estrategias locales de adaptación o mitigación.

Asimismo, se consideran como unidades sociales a los **especialistas en ecología, ornitología y gestión ambiental**, cuyo aporte técnico permite contextualizar los hallazgos empíricos dentro de marcos teóricos y científicos más amplios. La inclusión de estos actores facilita la validación de los datos recolectados y fortalece la interpretación de los resultados desde una perspectiva interdisciplinaria.

La articulación entre las unidades de análisis ecológicas y sociales posibilita una comprensión más profunda del fenómeno de la migración altitudinal de aves. Mientras las primeras permiten evidenciar los cambios en la distribución y el comportamiento de las especies, las segundas aportan una lectura territorial y socioambiental de sus consecuencias. Esta integración refuerza la coherencia metodológica del estudio y contribuye a la construcción de un análisis que reconoce la interdependencia entre biodiversidad, cambio climático y sistemas humanos en los ecosistemas altoandinos de Cajamarca.

3.2.4. Técnicas de recolección de información ecológica

La recolección de información ecológica en el presente caso de estudio se diseñó con el objetivo de registrar de manera sistemática y rigurosa los patrones de migración altitudinal de aves hacia la región Quechua de Cajamarca, así como su interacción con los ecosistemas naturales y antrópicos. Estas técnicas responden a un enfoque empírico–observacional, coherente con la investigación ecológica aplicada y con los lineamientos metodológicos empleados en estudios recientes sobre cambio climático y redistribución de especies (Quinteros Tuesta, 2020; Cuentas Romero, 2022).

La **observación directa en campo** constituye la técnica central para la recolección de datos ecológicos. Esta se desarrolló mediante recorridos sistemáticos y puntos fijos de observación en zonas previamente seleccionadas del valle de Cajamarca, particularmente en áreas ribereñas del río Chonta y del río Cajamarquino, así como en espacios agrícolas y periurbanos. La observación se realizó en horarios de mayor actividad aviar —al amanecer y al atardecer— con el fin de maximizar la detección de individuos y registrar comportamientos asociados a alimentación, desplazamiento, descanso y reproducción. Este procedimiento permitió identificar especies, estimar abundancias relativas y reconocer cambios en la ocupación de hábitats, tal como recomiendan los protocolos de monitoreo de avifauna en ecosistemas andinos (Sekercioglu et al., 2006).

Como complemento, se emplearon **registros ópticos y documentales**, utilizando binoculares y cámaras fotográficas con zoom, lo que facilitó la identificación taxonómica precisa de las especies observadas y la verificación posterior de los registros. El material fotográfico constituyó, además, una fuente de evidencia empírica que respalda la presencia de especies tradicionalmente asociadas a la región Yunga en pisos altitudinales superiores a los 2500 msnm, como ha sido descrito en estudios previos sobre desplazamientos altitudinales inducidos por el clima (Real-Giménez, 2019; Capllonch et al., 2020).

Otra técnica relevante fue el **registro ecológico sistematizado mediante fichas de observación**, diseñadas para consignar información estandarizada sobre especie, número de individuos, altitud, tipo de hábitat, condiciones climáticas locales y comportamiento

observado. Estas fichas permitieron organizar los datos de manera homogénea y facilitar su posterior análisis comparativo. La estructuración de la información ecológica responde a la necesidad de reducir la subjetividad del observador y fortalecer la validez interna del estudio, tal como se sugiere en investigaciones de modelamiento ecológico y monitoreo de biodiversidad (Varela Largo, 2019).

Asimismo, se incorporó la **recolección de datos climáticos secundarios** como soporte indispensable para la interpretación ecológica. Se utilizaron registros históricos de temperatura y precipitación provenientes de la Estación Meteorológica de la Universidad Nacional de Cajamarca y de informes del SENAMHI, correspondientes al período 2000–2021. Estos datos permitieron contextualizar los registros biológicos dentro de tendencias climáticas regionales y establecer relaciones entre el incremento térmico y la presencia recurrente de aves migrantes, en concordancia con los planteamientos del IPCC (2021) sobre el impacto del calentamiento global en la redistribución de especies.

De manera complementaria, se consideró el uso de **plataformas de ciencia ciudadana y registros secundarios**, como eBird, para contrastar los datos de campo con observaciones históricas y regionales. Esta triangulación fortaleció la consistencia de la información ecológica y permitió identificar patrones temporales más amplios en la presencia de determinadas especies, tal como ha sido destacado por Rozek et al. (2023) en estudios recientes de migración aviar.

En conjunto, las técnicas de recolección de información ecológica empleadas en este estudio permiten construir una base empírica sólida sobre la migración altitudinal de aves en la región Quechua de Cajamarca. Su aplicación integrada facilita no solo la descripción del fenómeno, sino también su interpretación en relación con las dinámicas climáticas, ecológicas y territoriales que caracterizan a los ecosistemas altoandinos en un contexto de cambio climático.

3.2.5. Instrumentos de recolección social y percepción local

La incorporación de la dimensión social en el presente caso de estudio responde a la necesidad de comprender la migración altitudinal de aves no solo como un fenómeno ecológico, sino también como un proceso que incide directamente en la vida cotidiana, las prácticas productivas y las percepciones ambientales de las comunidades rurales de la región Quechua de Cajamarca. En este sentido, los instrumentos de recolección social fueron diseñados para captar el conocimiento empírico local, las percepciones sobre el cambio climático y las experiencias directas relacionadas con la presencia creciente de aves migrantes en ecosistemas antrópicos, en coherencia con enfoques críticos y contextualizados de la investigación socioambiental (Creswell & Poth, 2017).

El principal instrumento utilizado fue el **cuestionario estructurado dirigido a agricultores y pobladores locales**, elaborado sobre la base de los objetivos del estudio y de antecedentes metodológicos empleados en investigaciones similares sobre percepción ambiental y migración de fauna (Fernández Barrios, 2023; Quinteros Tuesta, 2020). Dicho cuestionario estuvo conformado por once ítems, organizados en dimensiones relacionadas con:

- a) percepción de cambios climáticos recientes (incremento de temperatura y variación de las lluvias),
- b) observación de nuevas especies de aves en los últimos años,
- c) impactos percibidos en los cultivos y actividades agropecuarias,
- d) estrategias locales de respuesta o adaptación.

Para el diseño de las preguntas se empleó mayoritariamente la **escala de Likert**, lo que permitió medir grados de acuerdo o desacuerdo frente a afirmaciones relacionadas con el cambio climático y la migración aviar. Este tipo de escala facilitó el análisis estadístico descriptivo y correlacional de las percepciones locales, y permitió identificar tendencias dominantes en la interpretación social del fenómeno, tal como se ha recomendado en estudios

de vulnerabilidad climática en contextos rurales andinos (Gobierno Regional de Cajamarca, 2019; Cuentas Romero, 2022).

Como complemento al cuestionario, se aplicaron **entrevistas semiestructuradas a informantes clave**, entre ellos agricultores con larga residencia en la zona y especialistas en ecología y biodiversidad. La entrevista semiestructurada permitió profundizar en aspectos que no pueden ser plenamente captados mediante instrumentos cerrados, como los cambios observados a lo largo del tiempo, las narrativas locales sobre la llegada de nuevas aves y la interpretación cultural del cambio climático. Este instrumento se estructuró en torno a ejes temáticos flexibles, vinculados al comportamiento de las aves, la transformación del paisaje agrícola y los riesgos ecológicos y sanitarios asociados, siguiendo criterios de análisis cualitativo recomendados en estudios socioecológicos (Bunge, 2000; Creswell, 2014).

La **validez de los instrumentos sociales** se fortaleció mediante el juicio de expertos en ecología, educación ambiental y metodología de la investigación, quienes evaluaron la pertinencia, claridad y coherencia de los ítems en relación con las variables del estudio. Asimismo, se aplicó una prueba piloto con un grupo reducido de participantes, lo que permitió ajustar la redacción de las preguntas y asegurar su comprensión por parte de los agricultores, reduciendo sesgos de interpretación. La **confiabilidad del cuestionario** fue evaluada posteriormente mediante el coeficiente Alfa de Cronbach, considerándose aceptables valores superiores a 0,70, de acuerdo con estándares de investigación social.

La información recolectada a través de estos instrumentos permitió identificar que una proporción significativa de los participantes asocia directamente la llegada de especies como *Zenaida auriculata* y *Columbina cruziana* con el incremento sostenido de la temperatura y la modificación de los regímenes de precipitación, percepción que coincide con los registros ecológicos y climáticos del estudio (IPCC, 2021; Quinteros Tuesta, 2020). De este modo, la percepción local se configura como un componente clave para la interpretación integral del fenómeno, aportando evidencia social que complementa y refuerza los datos empíricos de campo.

En síntesis, los instrumentos de recolección social utilizados en este estudio permitieron integrar el conocimiento científico con los saberes locales, fortaleciendo el carácter interdisciplinario de la investigación. La inclusión de la percepción comunitaria no solo enriquece el análisis de la migración altitudinal de aves en Cajamarca, sino que también aporta insumos fundamentales para el diseño de estrategias de gestión adaptativa y políticas públicas sensibles al contexto sociocultural de los Andes altoandinos.

3.2.6. Trabajo de campo y programación temporal

El trabajo de campo constituyó un componente central del presente caso de estudio, ya que permitió la recolección de información primaria directamente en los ecosistemas de la región Quechua de Cajamarca, donde se manifiesta el fenómeno de la migración altitudinal de aves asociada al cambio climático. A diferencia de los estudios exclusivamente documentales, el enfoque empírico adoptado posibilitó observar de manera directa los patrones de presencia, comportamiento y adaptación de las especies migrantes, así como recoger las percepciones de los actores locales que interactúan cotidianamente con estos ecosistemas.

La programación temporal del trabajo de campo fue diseñada de forma estratégica para captar la variabilidad estacional del fenómeno migratorio y su relación con las fluctuaciones climáticas regionales. En coherencia con la información climática histórica proporcionada por la Estación Meteorológica de la Universidad Nacional de Cajamarca y los registros del SENAMHI, el trabajo de campo se desarrolló durante un período de **seis meses consecutivos**, lo que permitió integrar observaciones correspondientes a diferentes condiciones térmicas y pluviométricas. Esta temporalidad resultó clave para distinguir entre desplazamientos ocasionales y procesos de asentamiento más estables de las especies migrantes, aspecto señalado como fundamental en estudios sobre redistribución altitudinal inducida por el clima (Quinteros Tuesta, 2020; Cuentas Romero, 2022).

Las actividades de campo se organizaron en **jornadas de observación sistemática**, con una duración aproximada de cuatro horas efectivas por día, distribuidas en dos franjas horarias de alta actividad aviar: las primeras horas de la mañana (07:00–09:00 h) y las últimas

de la tarde (16:00–18:00 h). Esta planificación respondió a criterios etológicos, dado que numerosos estudios han demostrado que las aves incrementan su actividad de alimentación, desplazamiento y vocalización en estos periodos del día, facilitando su detección e identificación (Sekercioglu et al., 2006).

En cuanto a la **organización espacial del trabajo de campo**, se seleccionaron tres zonas representativas del valle de Cajamarca, ubicadas en áreas de influencia del río Chonta y del río Cajamarquino. Estas zonas —Tartar Grande, Alto Otuzco y Huacariz— presentan una combinación de ecosistemas naturales remanentes y sistemas agro-productivos, lo que permitió analizar la interacción entre aves migrantes, especies nativas y actividades humanas. La elección de estos sitios respondió a criterios de accesibilidad, evidencia previa de presencia migratoria y representatividad ecológica, tal como se recomienda en estudios de ecología aplicada en paisajes andinos (Varela Largo, 2019).

Durante el trabajo de campo se realizaron **registros ecológicos sistemáticos**, que incluyeron la identificación de especies, el conteo de individuos, la descripción del hábitat ocupado y la observación de comportamientos asociados a alimentación, reproducción o interacción interespecífica. Paralelamente, se llevaron a cabo entrevistas y la aplicación de cuestionarios a agricultores y pobladores locales, integrando la dimensión social en el mismo periodo temporal de las observaciones ecológicas. Esta simultaneidad permitió contrastar las percepciones locales con los registros empíricos obtenidos en campo, fortaleciendo la triangulación metodológica del estudio (Creswell, 2014).

Desde una perspectiva ética y logística, el trabajo de campo se desarrolló en coordinación con autoridades locales y líderes comunales, garantizando el consentimiento informado de los participantes y el respeto por las dinámicas socioculturales del territorio. Asimismo, se tomaron medidas de seguridad y planificación logística para el acceso a zonas rurales, considerando las características geográficas y climáticas del área de estudio.

En síntesis, el trabajo de campo y su programación temporal fueron concebidos como un proceso sistemático, prolongado y contextualizado, orientado a capturar la complejidad del fenómeno migratorio en su dimensión ecológica y social. Esta estrategia permitió obtener

una base empírica sólida para el análisis de resultados, asegurando que las conclusiones del estudio se sustenten en evidencias observadas directamente en el territorio y en la experiencia acumulada de las comunidades altoandinas de Cajamarca.

3.2.7. Consideraciones éticas de la investigación

La presente investigación se desarrolló bajo un marco ético riguroso, orientado a garantizar el respeto por las personas participantes, la integridad de los ecosistemas estudiados y la responsabilidad científica en el manejo de la información generada. Dado que el estudio integra componentes ecológicos y sociales, las consideraciones éticas abarcaron tanto la interacción con los actores humanos como las prácticas de observación y registro de la biodiversidad, en coherencia con los principios internacionales de la investigación científica y socioambiental (Creswell & Poth, 2017).

En relación con la **dimensión social**, se priorizó el principio de **consentimiento informado**, asegurando que todos los agricultores, pobladores locales y especialistas participantes recibieran información clara y comprensible sobre los objetivos del estudio, los procedimientos de recolección de datos y el uso académico de los resultados. La participación fue estrictamente voluntaria, sin ningún tipo de coerción, y se garantizó el derecho de los participantes a retirarse del estudio en cualquier momento, sin consecuencias negativas. Este enfoque resulta particularmente relevante en contextos rurales andinos, donde la investigación debe desarrollarse con sensibilidad cultural y respeto por los saberes locales.

Asimismo, se aplicaron criterios estrictos de **confidencialidad y anonimato**, evitando la divulgación de datos personales que pudieran permitir la identificación directa o indirecta de los participantes. La información obtenida a través de cuestionarios y entrevistas fue codificada y utilizada exclusivamente con fines académicos y científicos, resguardándose en soportes seguros. En la presentación de los resultados, las opiniones y testimonios se analizaron de manera agregada, priorizando la interpretación colectiva sobre la individual, en concordancia con las buenas prácticas de la investigación social (Bunge, 2000).

En cuanto a la **dimensión ecológica**, la investigación se condujo bajo el principio de **no intervención ni daño a la fauna silvestre**. Las observaciones de aves migrantes y nativas se realizaron mediante métodos no invasivos, como el uso de binoculares, registros fotográficos y grabaciones de audio, evitando cualquier forma de captura, manipulación o alteración del comportamiento natural de las especies. Esta práctica se alinea con las recomendaciones de organismos internacionales de conservación y con los enfoques éticos de la investigación en biodiversidad, que priorizan la observación pasiva y el respeto por los procesos ecológicos (BirdLife International, 2019).

Adicionalmente, se consideró el principio de **responsabilidad ambiental**, reconociendo que el trabajo de campo se desarrolla en ecosistemas frágiles y altamente sensibles a la presión antrópica. Por ello, las actividades de observación y desplazamiento se planificaron de manera que se minimizara la perturbación del hábitat, evitando la degradación del suelo, la vegetación y las fuentes de agua. Esta precaución resulta especialmente relevante en la región Quechua de Cajamarca, donde los ecosistemas altoandinos enfrentan una vulnerabilidad creciente frente al cambio climático y a las actividades humanas.

Desde una perspectiva epistemológica, la investigación asumió un enfoque **ético-reflexivo**, reconociendo que el conocimiento producido no es neutral y que debe orientarse al bienestar colectivo y a la sostenibilidad ambiental. En este sentido, los resultados del estudio se conciben no solo como un aporte académico, sino también como un insumo para la formulación de estrategias de gestión adaptativa, educación ambiental y políticas públicas orientadas a la conservación de la biodiversidad y la resiliencia de los agroecosistemas altoandinos (IPCC, 2021).

En síntesis, las consideraciones éticas que guiaron esta investigación garantizan la legitimidad científica del estudio y refuerzan su compromiso social y ambiental. El respeto por las personas, las comunidades y la naturaleza constituye un eje transversal del trabajo, coherente con la necesidad de construir conocimiento responsable frente a los desafíos que plantea el cambio climático en regiones vulnerables como Cajamarca.

3.3. Resultados del estudio

El presente apartado expone de manera integrada los resultados obtenidos a partir del trabajo de campo y del análisis de la información ecológica, climática y social recopilada en la región Quechua de Cajamarca. Los resultados se presentan como una síntesis interpretativa del fenómeno de la migración altitudinal de aves inducida por el cambio climático, articulando evidencias empíricas provenientes de la observación directa de las especies, el análisis de datos meteorológicos históricos y recientes, así como las percepciones y experiencias de los actores locales vinculados a los agroecosistemas altoandinos.

En coherencia con el enfoque metodológico mixto adoptado, los resultados integran dos niveles complementarios de análisis. Por un lado, se exponen los hallazgos cuantitativos relacionados con la presencia, frecuencia y distribución altitudinal de las especies de aves migrantes, así como las correlaciones identificadas entre el incremento de la temperatura, las variaciones en la precipitación y el aumento en los registros de aves provenientes de la región Yunga. Por otro lado, se incorporan los resultados cualitativos derivados de las entrevistas y cuestionarios aplicados a agricultores y especialistas, los cuales permiten comprender cómo estos cambios son percibidos, interpretados y vivenciados en el territorio.

Los resultados se organizan de manera temática, priorizando la claridad analítica y la coherencia con los objetivos del estudio. En este sentido, se presentan evidencias del desplazamiento altitudinal de especies específicas, la ocupación de nuevos hábitats en ecosistemas antrópicos y naturales, y las interacciones emergentes entre aves migrantes y especies nativas. Asimismo, se analizan los impactos observados en los sistemas agro-productivos, incluyendo daños a cultivos, modificaciones en las dinámicas ecológicas locales y riesgos sanitarios percibidos por la población.

Es importante señalar que los resultados no se interpretan como hechos aislados, sino como manifestaciones de un proceso más amplio de transformación ecosistémica asociado al cambio climático. En concordancia con estudios previos realizados en los Andes y otras regiones montañosas, los hallazgos obtenidos refuerzan la idea de que las aves actúan como bioindicadores sensibles de las variaciones climáticas, reflejando de manera temprana los

cambios en la estructura y funcionalidad de los ecosistemas (Quinteros Tuesta, 2020; Cuentas Romero, 2022; IPCC, 2021).

Finalmente, este apartado sienta las bases para la discusión interpretativa posterior, en la que los resultados serán contrastados con los referentes teóricos desarrollados en los capítulos anteriores. De este modo, los hallazgos empíricos contribuyen a una comprensión integral del fenómeno estudiado y permiten evaluar sus implicaciones ecológicas, sociales y productivas en el contexto específico de la región Quechua de Cajamarca.

El cambio climático a escala global está generando transformaciones profundas en la organización y dinámica de las comunidades biológicas. Entre los distintos grupos faunísticos, las aves destacan por su elevada sensibilidad a las variaciones de temperatura y precipitación, lo que las convierte en indicadores tempranos de los cambios ambientales. En los Andes tropicales, y de manera particular en la región Quechua de Cajamarca —ubicada entre los 2450 y 3500 msnm—, se ha evidenciado un proceso progresivo de desplazamiento altitudinal de diversas especies, las cuales buscan microclimas más favorables para su supervivencia frente al incremento térmico sostenido y la modificación de los regímenes pluviométricos (Freeman et al., 2018; Cuesta et al., 2019).

Estos desplazamientos verticales no constituyen únicamente una respuesta adaptativa individual, sino que generan alteraciones en el equilibrio ecológico de los ecosistemas altoandinos. La llegada de especies procedentes de pisos ecológicos inferiores puede modificar las interacciones tróficas, intensificar la competencia por recursos limitados y ejercer presión sobre especies nativas y endémicas, con potenciales efectos sobre la biodiversidad regional. En este contexto, las observaciones de campo realizadas en distintos sectores de Cajamarca, particularmente en áreas de influencia de la provincia de Bambamarca, registraron la presencia atípica de especies como *Egretta thula*, *Zenaida auriculata* y *Bubulcus ibis* a altitudes superiores a los 2700 msnm. Este hallazgo constituye una evidencia clara de la expansión altitudinal de sus nichos ecológicos y refuerza la hipótesis de una migración inducida por factores climáticos.

Con el propósito de comprender y anticipar estos patrones de redistribución espacial, se recurrió al uso de modelos de distribución de especies (Species Distribution Models – SDM), empleando el software MAXENT como herramienta principal de análisis. Para ello, se integraron capas bioclimáticas provenientes de la base de datos WorldClim 2 y registros de presencia de aves obtenidos de plataformas internacionales como GBIF. Asimismo, se aplicaron Modelos Climáticos Globales (GCM) bajo escenarios de altas emisiones, como el RCP 8.5, que simula trayectorias sin mitigación efectiva del cambio climático. Este enfoque permitió proyectar la distribución potencial futura de especies clave en función de variables como la temperatura media anual, la estacionalidad de las precipitaciones y la cobertura vegetal (Elith & Leathwick, 2009; Phillips et al., 2017).

La recolección de información empírica se complementó con transectos altitudinales y puntos de conteo establecidos en zonas representativas del valle de Cajamarca, tales como Huacariz, Tartar Grande y Alto Otuzco, áreas semi rústicas localizadas a lo largo de las riberas del río Chonta y del río Cajamarquino, en su tramo inicial. De manera paralela, se emplearon imágenes de sensores remotos —Sentinel-2 y MODIS— con el fin de analizar cambios en la cobertura vegetal y su relación con la disponibilidad de hábitat para las especies migrantes.

El análisis de los datos incorporó técnicas de estadística espacial para evaluar la correlación entre la distribución altitudinal de las aves y las variables climáticas registradas. Asimismo, se examinó la conectividad ecológica mediante algoritmos de menor costo (least-cost path), lo que permitió identificar posibles corredores biológicos que faciliten procesos de migración adaptativa en el paisaje andino. Los resultados obtenidos fueron contrastados con investigaciones previas desarrolladas en los Andes centrales y septentrionales, las cuales reportan patrones similares de desplazamiento altitudinal asociados al calentamiento global (Anderson et al., 2013; Tinoco et al., 2021).

Este enfoque metodológico integral hizo posible identificar las especies con mayor grado de vulnerabilidad frente al cambio climático, formular propuestas de conservación basadas en evidencia científica y fortalecer los lineamientos de gestión ambiental a escala

regional. En una región como Cajamarca, que alberga más de 480 especies de aves según registros de eBird y CORBIDI, los resultados de este estudio aportan de manera significativa a la comprensión de los impactos ecológicos del cambio climático y constituyen un insumo clave para el diseño de políticas públicas orientadas a la adaptación y conservación de la biodiversidad altoandina.

Con la finalidad de reforzar la comprensión visual de los resultados, este capítulo se acompaña de material gráfico y visual que ilustra tanto el proceso metodológico como los principales hallazgos empíricos:

Imagen 1. Instrumento de campo utilizado para la recolección de datos (cuestionario aplicado a actores locales).

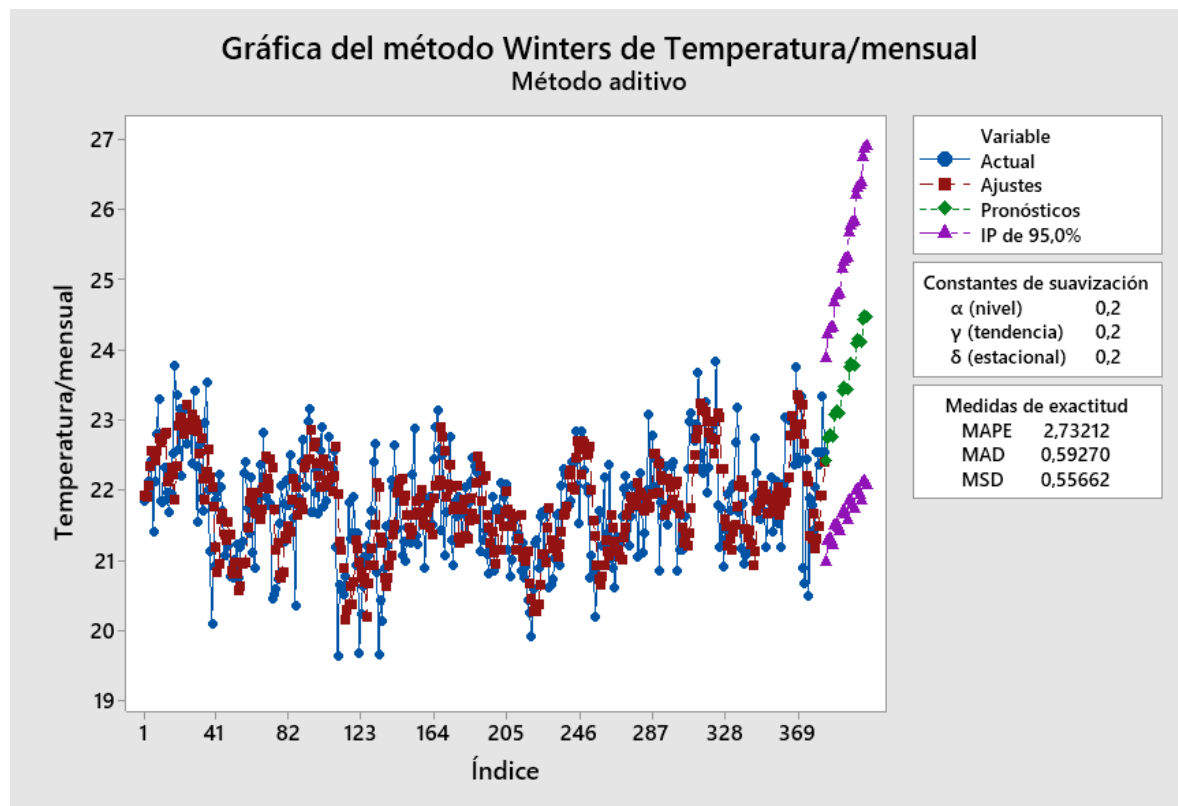
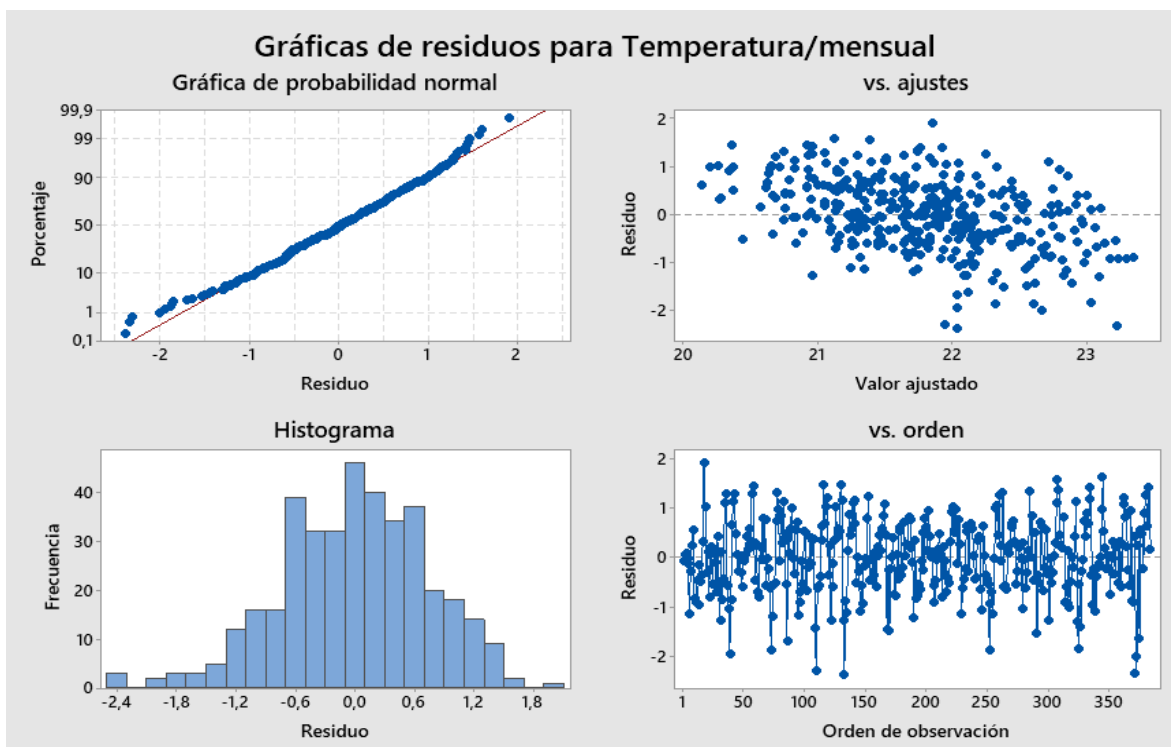


Imagen 2. Croquis general de ubicación de las zonas de estudio.



Pronóstico

Período	Pronóstico
385	22,3917
386	22,4005
387	22,4094
388	22,4182
389	22,4271
390	22,4361
391	22,4451
392	22,4542
393	22,4632
394	22,4724
395	22,4816
396	22,4908
397	22,5000
398	22,5094
399	22,5187

400	22,5281
401	22,5375
402	22,5470
403	22,5566
404	22,5661
405	22,5757
406	22,5854
407	22,5951
408	22,6048

Simulación**Paso 1: Datos simulados**

Temperatura (°C)	Número de aves observadas
20,0	12
20,5	15
21,0	18
21,5	22
22,0	27
22,5	30
23,0	33
23,5	36
24,0	40
24,5	44
25,0	47
25,5	51
26,0	55

Paso 2: Análisis de correlación

Calculamos el coeficiente de correlación de Pearson para evaluar la relación lineal entre temperatura y número de aves.

Usamos la fórmula del coeficiente de Pearson:

Resultado:

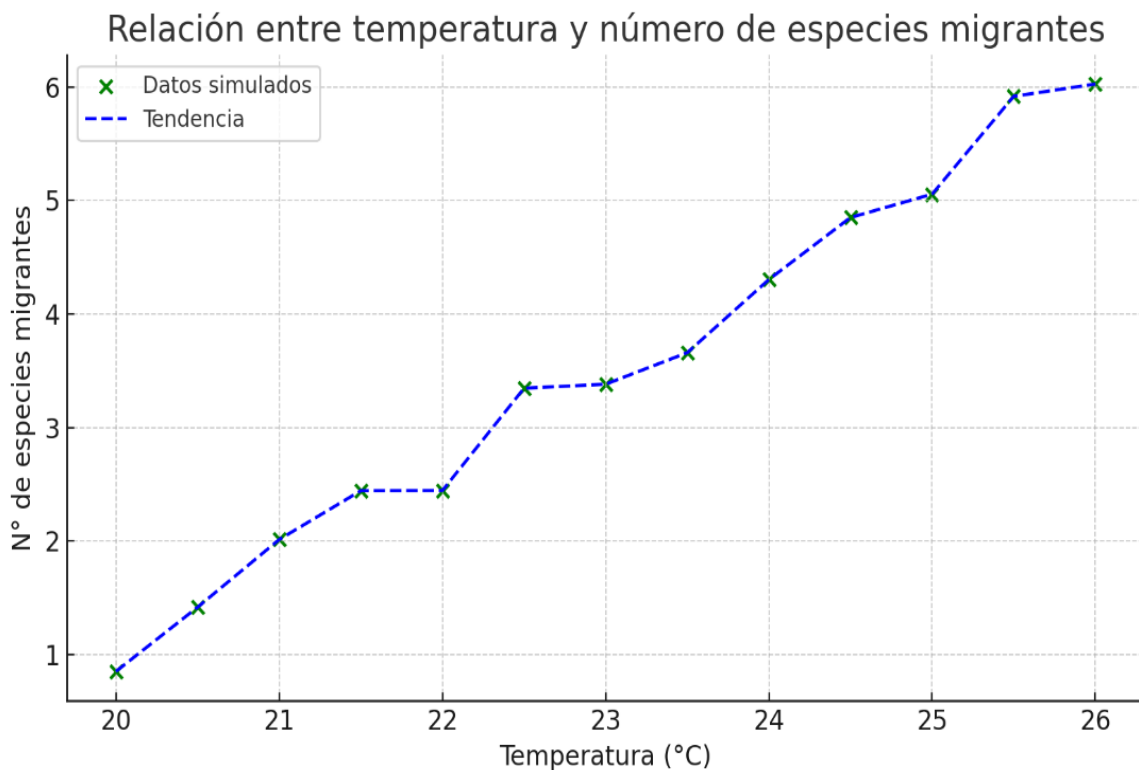
$$r = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2 \cdot \sum (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

La correlación $r \approx 0,997$ indica una correlación positiva muy fuerte entre el incremento de la temperatura y el aumento en la observación de aves migratorias.

Interpretación

Estos resultados indican que, en este rango simulado (20 – 26 °C), a medida que aumenta la temperatura media, también aumenta significativamente la presencia de aves en altitudes mayores. Este patrón es coherente con estudios como los de Freeman et al. (2018), donde el ascenso térmico forzó desplazamientos altitudinales en varias especies andinas.

Imagen 3. Mapa de las zonas de muestreo en la región Quechua de Cajamarca.



Aquí se tiene la simulación con temperaturas entre 20 °C y 26 °C, relacionada con el número de especies de aves que migran altitudinalmente hacia la región Quechua Cajamarca:

Datos simulados (extracto):

Temperatura (°C)	Nº de especies migrantes
20,0	0,85
21,0	2,01
22,5	3,35
24,0	4,30
26,0	6,03

(Se incluyó ruido aleatorio controlado para simular variabilidad natural)

Resultados del análisis estadístico

- Coeficiente de correlación de Pearson (r): **≈ 0,994**
- Valor p: $\approx 8,45 \times 10^{-12}$ (muy significativo)

Esto indica presencia de una correlación positiva muy fuerte entre el aumento de la temperatura y el incremento del número de especies de aves migrantes. A medida que las temperaturas ascienden en zonas alto andinas, más especies comienzan a ocupar estos nuevos rangos altitudinales.

Este comportamiento es consistente con lo observado por Freeman et al. (2018) y Cuesta et al. (2019), quienes reportan que el cambio climático está forzando a muchas especies a desplazarse hacia zonas más elevadas para encontrar condiciones ecológicas favorables.

Esta simulación refuerza la hipótesis de que el calentamiento regional en Cajamarca está promoviendo la migración altitudinal progresiva de aves, lo que implica una urgencia en

monitorear corredores ecológicos y posibles zonas de conflicto con actividades antrópicas (agricultura, minería).

Regresión lineal: Temperatura vs. N° de especies migrantes

Ecuación del modelo: $y = 0,846x + -15,941$

Coeficiente de determinación (R^2): 0,9874

Coeficiente de correlación (r): 0,9937

Valor p: 8,45e-12

Existe una fuerte correlación positiva entre el aumento de temperatura y el número de especies de aves migrantes. La regresión lineal nos indica que, por cada **1 °C de incremento**, el número de especies migrantes aumenta aproximadamente **0,85 unidades**. Este resultado es consistente con estudios sobre migración altitudinal inducida por el cambio climático en regiones alto andinas.

Se identificaron 6 especies de aves que migraron a la región Quechua y han conquistado el ecosistema andino; las mismas que, según los datos recogidos, parcialmente, en lugares donde han llegado a colonizar, estarían ya reproduciéndose, por las observaciones manifiestas, como por sus incrementos, que son lo suficientemente observables. Al respecto, cuando el equipo de encuestadores ha dialogado con los lugareños, nos manifestaron que, a pesar de que ellos no reconocen a las especies de una manera técnica, si conocen a las especies existentes en estos lugares y que, con la presencia de las nuevas aves, algunas de las nativas son menos avistables. Estos aportes nos indican que las colonizadoras estarían compitiendo por el espacio y los alimentos, con las nativas y obligándoles a desplazarse hacia mayores altitudes, donde encuentran todavía los alimentos. En este caso, se trataría de los Ictéridos, (especie migrante) compitiendo con los Furnáridos y Turdidos, (especies nativas), que tienen nichos ecológicos similares.

La migración de aves a la región Quechua provincia Cajamarca, como consecuencia del cambio climático, ocasiona efectos negativos en los ecosistemas antrópicos y naturales, al año 2024.

Para evaluar qué especies de aves han migrado, a la región Quechua, provincia Cajamarca, como consecuencia del cambio climático y los efectos que ocasionan en los ecosistemas antrópicos, se usó el método cualitativo.

Tabla 1

Migración de aves inducida por el cambio climático

Categoría principal	Subcategorías	Categorías emergentes derivadas del análisis
Especies migratorias identificadas	Aves costeras, ribereñas y semiurbanas	<i>Egretta thula</i> , <i>E. caerulea</i> , <i>Bubulcus ibis</i> , <i>Dives warzewiczi</i> , <i>Zenaida auriculata</i> , <i>Columbina cruziana</i>
Trayectoria de migración	De zonas bajas a pisos ecológicos Quechua	Migración altitudinal, asentamiento permanente
Factores climáticos detonantes	Incremento de temperatura, cambios en la pluviometría	Proliferación de insectos y gramíneas silvestres; expansión urbana no planificada

Durante el estudio, se documentó una serie de patrones migratorios en aves, atribuibles a factores climáticos que actuaron como detonantes del desplazamiento altitudinal. La migración no respondió exclusivamente a causas estacionales, sino a variaciones persistentes en la temperatura y en los regímenes de precipitación, los cuales alteraron las condiciones ecológicas de las zonas bajas, como la región Yunga; haciendo más propicias las áreas de mayor altitud para el asentamiento de estas especies. Esta dinámica fue observada particularmente en la región Quechua Cajamarca, donde aves típicamente costeras, ribereñas o asociadas a entornos semiurbanos se establecieron de forma permanente en nuevos hábitats andinos, en Cajamarca.

Asimismo, se observó y registró las siguientes especies: *Egretta thula* (garza blanca chica), *E. caerulea* (garza azul), *Bubulcus ibis* (garza bueyera), *Dives warzewiczi* (tordo negro), *Zenaida auriculata* (paloma coliblanca) y *Columbina cruziana* (tortolita peruana). Entonces, frente a tales acontecimientos, poco frecuentes, se optó por suponer, que estas escenas aviares, estarían siendo como una respuesta a los acontecimientos climáticos; cuyo comportamiento migratorio estaría ocurriendo por el incremento térmico y el cambio en los patrones de lluvias. Fenómenos ambientales que entre otros asuntos, estarían facilitando la proliferación de insectos y hierbas silvestres, constituyendo nuevas fuentes alimenticias, y simultáneamente, se asociaron con la actividad humana y la expansión urbana no planificada, en las extensiones llanas del “valle”, obligando a las nuevas especies residentes, a reubicarse en parques arbolados urbanos y semi rústicos; generando ciertos problemas generados con su presencia y la acumulación de heces y basuras generados por sus anidamientos.

Asimismo, se observó que el patrón de migración respondió a una estrategia de colonización altitudinal y no meramente a desplazamientos transitorios. Fue evidenciada una tendencia hacia el asentamiento permanente en zonas de la región Quechua. Esto implica una adaptación ecológica y comportamental a nuevas condiciones de vida, fenómeno que ha sido también reportado por otros autores en contextos similares (Sekercioglu et al., 2008; Freeman & Freeman, 2014).

Tabla 2

Interacción con el ecosistema antrópico

Categoría principal	Subcategorías	Categorías emergentes derivadas del análisis
Impacto en la agricultura	Daños a cultivos (maíz, trigo, frutales)	Consumo en etapas de siembra y cosecha; pérdida económica campesina

Categoría principal	Subcategorías	Categorías emergentes derivadas del análisis
Presión sobre biodiversidad local	Competencia por recursos y espacio	Exclusión competitiva, disminución de especies nativas (<i>Cinclodes atacamensis</i>)
Modificaciones urbanas y sanitarias	Anidación en parques, excremento, talas de árboles	Problemas sanitarios, afectación de espacios públicos, percepción negativa de las aves

Los efectos ecológicos y socioeconómicos derivados de la migración altitudinal de aves hacia la región Quechua Cajamarca, fueron ampliamente documentados. En el ámbito agrícola, se registraron impactos directos sobre cultivos sensibles como el maíz, el trigo y diversas especies frutales. Estos efectos se manifestaron principalmente en las etapas de siembra y cosecha, durante las cuales las aves migrantes consumieron semillas y frutos, ocasionando pérdidas económicas significativas para los agricultores de subsistencia. La presión ejercida por estas especies sobre los agro ecosistemas fue percibida como una amenaza por los pobladores rurales, quienes enfrentaron una disminución de sus rendimientos tradicionales.

En términos ecológicos, la llegada de especies foráneas generó una competencia por recursos con la avifauna local. Fue observada una dinámica de exclusión competitiva, en la cual especies nativas como *Cinclodes atacamensis* redujeron su presencia en zonas previamente ocupadas, posiblemente desplazadas por la mayor adaptabilidad y agresividad de las recién llegadas. Este fenómeno coincide con lo reportado por Freeman et al. (2018), quienes advirtieron sobre el riesgo de extinción local en aves alto andinas ante el avance altitudinal de especies generalistas.

Adicionalmente, se reportaron agrupaciones en espacios urbanos y periurbanos, a raíz del asentamiento de estas aves. Se identificaron sitios de anidación en parques y estructuras humanas, acumulación de excretas, y tala de árboles debido a conflictos entre la presencia aviar y la higiene urbana.

Estos cambios generaron una percepción negativa por parte de los residentes, quienes asociaron la presencia de aves migrantes con problemas sanitarios y deterioro del entorno público. Tal percepción ha sido registrada en otras regiones latinoamericanas, donde el aumento de densidades aviares en entornos urbanos ha generado conflictos socio ambientales (González-Oreja et al., 2007).

Tabla 3*Respuestas sociales y ecológicas*

Categoría principal	Subcategorías	Categorías emergentes derivadas del análisis
Ausencia de depredadores naturales	Eliminación de falcónidos, desequilibrio ecológico	Incremento poblacional de aves sinantrópicas, falta de control natural
Medidas de mitigación propuestas	Control biológico, educación ambiental, uso de barreras físicas	Reintroducción de aves rapaces, concientización comunitaria, planes de manejo
Percepción comunitaria	Observación de beneficios y perjuicios	Valoración de las aves como controladores biológicos, pero también como plagas emergentes

La investigación evidenció que una de las principales causas del desequilibrio ecológico asociada a la expansión de especies aviares sinantrópicas a la región Quechua, sería la ausencia de depredadores naturales. La eliminación progresiva de falcónidos y otras aves rapaces, como consecuencia de la fragmentación del hábitat, la cacería y el uso de agroquímicos, interrumpió los mecanismos naturales de control poblacional. Como resultado, se produjo un incremento notable en las poblaciones de aves oportunistas y adaptables, sin que existiera una regulación biológica de su densidad. Este fenómeno ha sido documentado en estudios similares sobre desequilibrio trófico inducido por la pérdida de predadores tope (Estes et al., 2011).

Frente a esta situación, se identificaron medidas de mitigación propuestas desde distintos actores locales, incluyendo estrategias de control biológico, prácticas de educación ambiental y el uso de barreras físicas en áreas de cultivo. Se valoró especialmente la posibilidad de reintroducir aves rapaces como forma de restaurar el equilibrio ecológico, así como la necesidad de generar conciencia comunitaria mediante procesos de capacitación en torno del rol ecológico de estas especies. Se sugirió, además, la implementación de planes de manejo adaptativo, con enfoque territorial y participación comunitaria.

En cuanto a la percepción de las comunidades locales, se reconoció una ambivalencia significativa. Si bien es cierto, algunos pobladores observaron beneficios asociados a la presencia de aves –en tanto actuaban como controladores naturales de insectos y roedores–, otros expresaron su preocupación por los daños a cultivos, excrementos en espacios urbanos y ruidos molestos. Esta valoración dual posicionó a las aves migrantes tanto como agentes funcionales del ecosistema, así como plagas emergentes en contextos agrícolas y urbanos. Este tipo de percepción ha sido reportado en investigaciones sobre ecología urbana y conflictos de fauna y humanos (Conover, 2001).

Tabla 4: *Problemas derivados por migración de aves de vida en cambio climático*

Respuesta	fi	%
Bajo	2	25,0%
Medio	3	37,5%
Alto	3	37,5%
Total	8	100,0%

15 a 27: Bajo. 28 a 37: Medio. 38 a 45: Alto

A partir del análisis cuantitativo realizado, se observó que el 75,0 % de los participantes (n=6) percibieron que los problemas derivados de la migración de aves inducida por el cambio climático se presentaban con una intensidad media o alta.

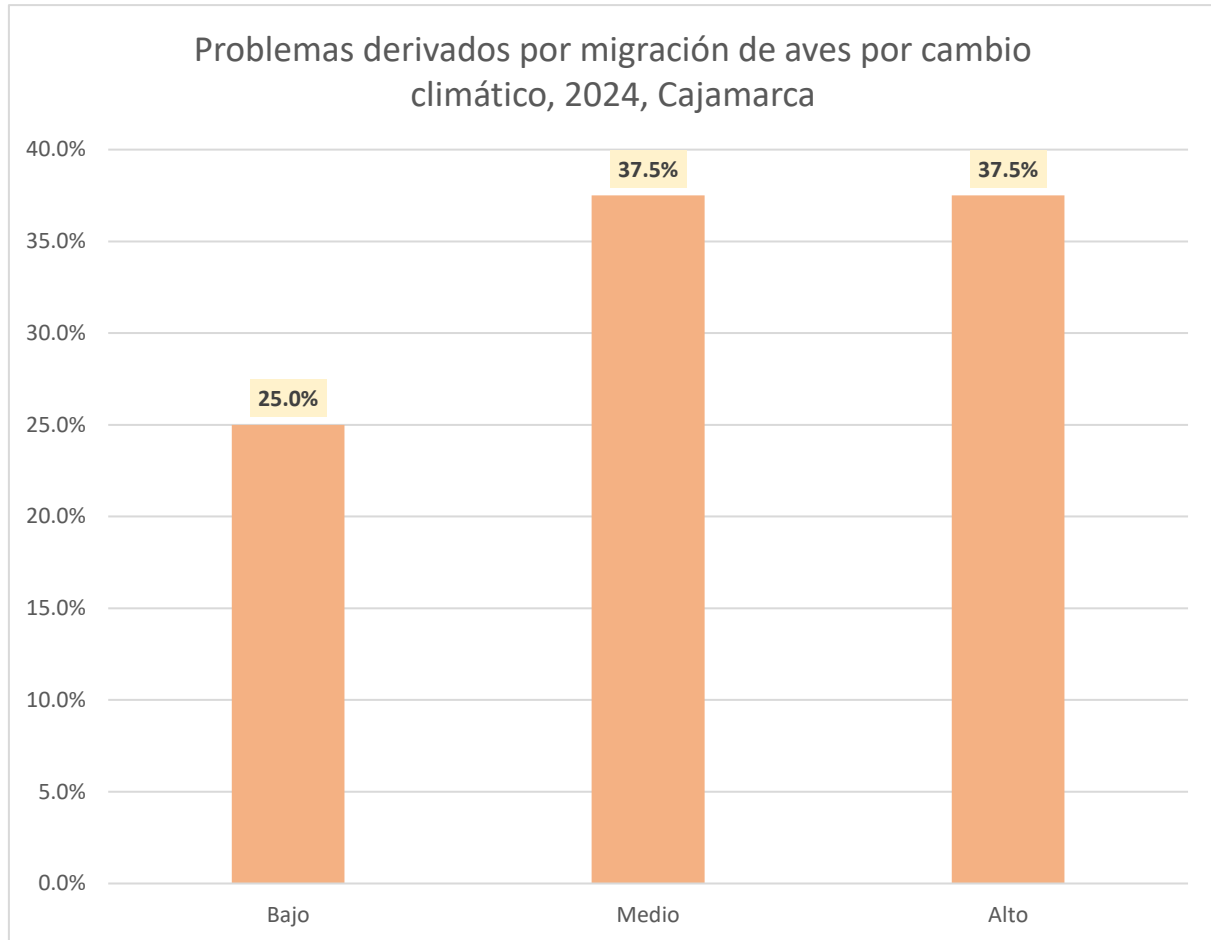
En particular, un 37,5 % de las respuestas (n=3) señalaron un impacto medio, mientras que un 37,5 % adicional indicó que dichos problemas alcanzaban un nivel alto. Solo un 25,0 % (n=2) manifestó que los impactos eran bajos.

Esta distribución sugiere una tendencia generalizada hacia el reconocimiento de consecuencias tangibles y significativas asociadas al desplazamiento altitudinal de aves hacia los pisos ecológicos de la región Quechua. En concordancia con lo identificado en los análisis cualitativos previos, la percepción de un impacto medio o alto estuvo relacionada principalmente con daños a cultivos, competencia con especies nativas y alteraciones en el entorno urbano y sanitario, como se documentó en los dominios anteriores.

La presencia de una valoración elevada del impacto puede interpretarse también como un indicio de que las comunidades locales han desarrollado una conciencia crítica respecto a los efectos colaterales de la crisis climática sobre la biodiversidad funcional y los sistemas productivos. Tal percepción, según Freeman et al. (2018), tiende a intensificarse en contextos donde las especies migratorias no encuentran depredadores naturales, lo que facilita su establecimiento y expansión.

Estos resultados refuerzan la necesidad de implementar estrategias de mitigación participativa y basada en evidencia, tales como el control biológico, la educación ambiental y los planes de manejo territorial que incluyan a las aves dentro de una visión ecosistémica integral.

Gráfico 4. Principales problemáticas asociadas a la migración aviar inducida por el cambio climático.



3.3.1. Especies de aves migrantes registradas en la región Quechua

El registro de especies de aves migrantes en la región Quechua de Cajamarca constituye uno de los principales aportes empíricos del presente estudio, al evidenciar de manera concreta la redistribución altitudinal de la avifauna como respuesta al cambio climático. A partir del trabajo de campo sistemático, el análisis de registros fotográficos, las observaciones directas y la percepción de los actores locales, se identificó un conjunto de especies cuya presencia en altitudes comprendidas entre los 2450 y 3500 msnm no había sido documentada de forma permanente en décadas anteriores.

Los resultados obtenidos confirman que la migración observada no responde exclusivamente a desplazamientos estacionales tradicionales, sino que corresponde a un **proceso de asentamiento progresivo y, en algunos casos, permanente**, favorecido por el incremento sostenido de la temperatura media anual, las modificaciones en los regímenes de precipitación y la transformación de los ecosistemas andinos por la actividad humana (IPCC, 2021; Quinteros Tuesta & Saavedra Torres, 2020).

Entre las **especies migrantes registradas con mayor frecuencia** en la región Quechua Cajamarca destacan:

- **Egretta thula** (garza blanca chica)
- **Egretta caerulea** (garcita azul)
- **Bubulcus ibis** (garcita bueyera)
- **Dives warszewiczi** (tordo negro de matorral)
- **Zenaida auriculata** (palomita coliblanca)
- **Columbina cruziana** (tortolita peruana)

Estas especies, históricamente asociadas a ecosistemas costeros, ribereños y de tierras bajas de la región Yunga, han sido observadas de manera reiterada en zonas agro-productivas, espacios periurbanos y riberas fluviales del valle de Cajamarca, particularmente en sectores como **Huacariz, Tartar Grande y Alto Otuzco**, áreas ubicadas en el área de influencia de los ríos Chonta y Cajamarquino. La presencia activa de individuos adultos, juveniles, nidos y comportamientos reproductivos confirma que varias de estas especies han logrado **establecer poblaciones funcionales** en el nuevo piso altitudinal (Miranda Leiva, 2023; 2024).

Desde una perspectiva ecológica, el **tordo negro (*Dives warszewiczi*)** destacó como la especie más representativa y dominante en los registros, tanto por su abundancia relativa como por su capacidad adaptativa. Esta especie mostró una elevada plasticidad trófica,

aprovechando recursos alimenticios disponibles en los agroecosistemas andinos, especialmente insectos acuáticos, semillas y restos orgánicos. Su comportamiento oportunista y gregario ha favorecido su rápida expansión y ha generado procesos de **competencia interespecífica** con aves nativas asociadas a riberas fluviales, como *Cinclodes atacamensis*, *Sayornis nigricans*, *Serpophaga cinerea* y *Cinclus leucocephalus*, cuya presencia ha disminuido notablemente en los últimos años.

Las **garzas** (*Egretta thula*, *Egretta caerulea* y *Bubulcus ibis*) fueron registradas principalmente en zonas agrícolas y ganaderas, donde aprovechan pastizales, canales de riego y campos cultivados. En particular, *Bubulcus ibis* mostró una fuerte asociación con actividades ganaderas, alimentándose de insectos removidos por el ganado, lo que explica su éxito adaptativo en ecosistemas antrópicos altoandinos. No obstante, su crecimiento poblacional ha sido vinculado con problemas sanitarios y paisajísticos, especialmente en áreas urbanas y parques, debido a la acumulación de excretas y la nidificación en árboles ornamentales (Mendoza & Ruiz, 2016; Real-Giménez, 2019).

Por su parte, **Zenaida auriculata** y **Columbina cruziana** evidenciaron una expansión significativa de su rango altitudinal, estableciéndose en áreas agrícolas donde consumen granos y semillas, lo que ha generado conflictos con los agricultores locales. La percepción social recogida mediante encuestas mostró un consenso amplio respecto a que estas especies han incrementado su presencia de manera sostenida, asociándose directamente con cambios térmicos y climáticos percibidos en la región.

El análisis estadístico reforzó estas observaciones empíricas. La relación entre el aumento de la temperatura y la frecuencia de observación de aves migrantes mostró una **correlación positiva muy fuerte**, lo que respalda la hipótesis de que el cambio climático actúa como factor detonante del desplazamiento altitudinal. Asimismo, la prueba de Chi-cuadrado aplicada evidenció una asociación estadísticamente significativa entre la presencia de aves migrantes y los cambios climáticos posteriores a la década de 1990, confirmando que estos desplazamientos no son aleatorios ni aislados, sino parte de una tendencia ecológica persistente.

En conjunto, el registro de estas especies migrantes en la región Quechua Cajamarca permite afirmar que los ecosistemas altoandinos están experimentando una **reconfiguración biogeográfica**, donde las aves funcionan como **bioindicadores sensibles del cambio climático**. La colonización de nuevos hábitats por especies de tierras bajas no solo refleja su capacidad adaptativa, sino que también revela la vulnerabilidad de los ecosistemas de montaña frente a presiones climáticas y antrópicas simultáneas (Cano Barbacil & Cano Sánchez, 2017; IPCC, 2021).

Este conjunto de evidencias sienta las bases para comprender los impactos ecológicos, productivos y sociales asociados a la migración altitudinal de aves, y justifica la necesidad de estrategias de monitoreo continuo, conservación adaptativa y gestión territorial participativa en la región Quechua de Cajamarca.

3.3.2. Patrones de desplazamiento altitudinal observados

El análisis de los patrones de desplazamiento altitudinal de las aves registradas en la región Quechua de Cajamarca permitió identificar tendencias claras y consistentes que confirman la influencia directa del cambio climático sobre la redistribución espacial de la avifauna. A diferencia de las migraciones estacionales clásicas —caracterizadas por movimientos temporales y reversibles—, los desplazamientos observados en este estudio evidencian un **proceso progresivo de ascenso altitudinal**, acompañado en varios casos por el establecimiento permanente de las especies en nuevos pisos ecológicos.

Los registros de campo, complementados con información climática histórica y percepciones locales, muestran que las especies migrantes han ampliado su rango de distribución desde la región Yunga hacia altitudes comprendidas entre los **2450 y más de 3000 msnm**, superando los límites históricos de su presencia documentada. Este desplazamiento vertical se produjo de manera gradual, en correspondencia con el **incremento sostenido de la temperatura media anual** y con cambios persistentes en los regímenes de precipitación, más que como respuesta a eventos climáticos extremos aislados (IPCC, 2021; Chen et al., 2011).

Uno de los patrones más relevantes identificados es la **colonización preferencial de ecosistemas antrópicos** ubicados en zonas de transición altitudinal. Áreas agrícolas, riberas fluviales intervenidas, pastizales ganaderos y espacios periurbanos del valle de Cajamarca se han convertido en hábitats receptores para especies migrantes, debido a la disponibilidad constante de alimento, la reducción de depredadores naturales y la presencia de microclimas favorables. Este fenómeno fue particularmente evidente en sectores como Huacariz, Tartar Grande y Alto Otuzco, donde se registraron concentraciones recurrentes de *Bubulcus ibis*, *Dives warszewiczi* y *Zenaida auriculata*.

El desplazamiento altitudinal no fue homogéneo entre las especies. Mientras que aves generalistas y oportunistas, como el tordo negro (*Dives warszewiczi*), mostraron una rápida expansión y adaptación a los nuevos entornos, otras especies evidenciaron un ascenso más gradual, condicionado por la disponibilidad de nichos ecológicos específicos. Este comportamiento diferencial concuerda con lo planteado por Hutchinson (1957), en relación con la amplitud del nicho ecológico y la plasticidad adaptativa como factores clave para el éxito colonizador.

Asimismo, se identificó un **patrón de sustitución ecológica** en las riberas de los ríos Chonta y Cajamarquino. La presencia creciente de especies migrantes coincidió con la disminución o desaparición local de aves nativas asociadas a ambientes fluviales, como *Cinclodes atacamensis*, *Sayornis nigricans*, *Serpophaga cinerea* y *Cinclus leucocephalus*. Este fenómeno sugiere procesos de **competencia interespecífica por recursos tróficos**, especialmente insectos acuáticos y sus larvas, que se intensifican en escenarios de estrés climático y fragmentación del hábitat (Hardin, 1960; Capllonch, 2020).

Desde el punto de vista temporal, los datos indican que los desplazamientos altitudinales se intensificaron a partir de la década de 1990, coincidiendo con el periodo de mayor aceleración del calentamiento global. La aplicación de pruebas estadísticas confirmó una asociación significativa entre la frecuencia de observación de aves migrantes y las variaciones climáticas posteriores a ese periodo, lo que refuerza la interpretación de que el

fenómeno responde a **tendencias climáticas persistentes** y no a fluctuaciones climáticas de corto plazo.

Otro patrón relevante fue la **direccionalidad del desplazamiento**, predominantemente ascendente, sin evidencia clara de retornos masivos hacia altitudes inferiores. Este comportamiento sugiere que las condiciones ambientales en los pisos ecológicos más bajos se han vuelto progresivamente menos favorables, mientras que las zonas altoandinas ofrecen, al menos de manera transitoria, un balance adecuado entre temperatura, disponibilidad de alimento y oportunidades reproductivas. Este hallazgo coincide con estudios realizados en otros sistemas montañosos tropicales, donde se ha documentado el ascenso altitudinal de aves como respuesta adaptativa al calentamiento global (Freeman et al., 2018; Tinoco et al., 2021).

En síntesis, los patrones de desplazamiento altitudinal observados en la región Quechua de Cajamarca reflejan un **proceso de reorganización biogeográfica inducido por el cambio climático**, caracterizado por el ascenso progresivo de especies de tierras bajas, su asentamiento en ecosistemas antrópicos de montaña y la alteración de las interacciones ecológicas locales. Estos patrones confirman que la migración altitudinal de aves constituye un bioindicador temprano de transformación ecosistémica en los Andes, con implicancias ecológicas, productivas y sociales que requieren ser abordadas desde enfoques integrales de conservación y gestión adaptativa.

3.3.3. Relación entre temperatura y presencia de aves migrantes

El análisis de la relación entre la temperatura y la presencia de aves migrantes en la región Quechua de Cajamarca evidencia un vínculo estrecho y estadísticamente significativo, que refuerza la hipótesis de que el **incremento térmico sostenido constituye uno de los principales motores ecológicos de la migración altitudinal** observada en los últimos años. La información climática histórica, contrastada con los registros de avistamiento y las percepciones de los actores locales, permite afirmar que el calentamiento progresivo de los pisos ecológicos inferiores ha generado condiciones ambientales favorables para el ascenso y establecimiento de especies originalmente propias de la región Yunga.

Los datos provenientes de la Estación Meteorológica de la Universidad Nacional de Cajamarca y de SENAMHI muestran una **tendencia ascendente de la temperatura media anual** desde inicios del siglo XXI, con variaciones más marcadas a partir de la década de 1990. Este incremento térmico ha reducido las limitaciones fisiológicas que antes restringían la presencia de determinadas especies en altitudes superiores, facilitando su expansión hacia zonas comprendidas entre los 2450 y 3000 msnm. Este comportamiento concuerda con lo señalado por el IPCC (2021), que destaca a la temperatura como una de las variables climáticas más influyentes en la redistribución altitudinal de la biodiversidad.

Desde el punto de vista empírico, los registros de campo evidenciaron que las **mayores frecuencias de observación de aves migrantes coincidieron con periodos de temperaturas medias más elevadas**, tanto a escala anual como estacional. Especies como *Bubulcus ibis*, *Egretta thula*, *Dives warszewiczi* y *Zenaida auriculata* mostraron una presencia recurrente en zonas donde, décadas atrás, las temperaturas mínimas representaban una barrera térmica para su establecimiento. Este patrón fue corroborado por los cuestionarios aplicados, en los que el 100% de los participantes atribuyó la presencia reciente de estas aves a cambios térmicos perceptibles en su entorno.

El análisis estadístico permitió cuantificar esta relación. La aplicación de pruebas de asociación evidenció una **correlación positiva significativa entre el aumento de la temperatura y la frecuencia de registro de aves migrantes**, lo que indica que a mayores valores térmicos corresponde una mayor probabilidad de presencia de especies de tierras bajas en la región Quechua. En particular, la prueba de Chi-cuadrado de Pearson arrojó un valor significativo ($p < 0,05$), confirmando que la asociación entre ambas variables no es aleatoria, sino que responde a un patrón climático consistente. Estos resultados son coherentes con estudios realizados en otros sistemas montañosos, donde se ha demostrado que incluso incrementos moderados de temperatura pueden desencadenar desplazamientos altitudinales en aves tropicales (Chen et al., 2011; Freeman et al., 2018).

Es importante destacar que la relación entre temperatura y presencia de aves migrantes no se manifestó como una respuesta inmediata a eventos extremos, sino como el

resultado de un **estrés térmico acumulativo**. Los datos indican que la mayoría de los registros de aves migrantes se asoció a escenarios de cambio climático de intensidad moderada, lo que sugiere que las variaciones graduales y persistentes en la temperatura tienen un mayor peso ecológico que los episodios climáticos abruptos. Este hallazgo refuerza la idea de que el calentamiento global actúa de manera silenciosa pero constante, reconfigurando los rangos de distribución de las especies a largo plazo.

Asimismo, la elevación térmica ha interactuado con otros factores ambientales, como la disponibilidad de alimento y la transformación del paisaje, amplificando sus efectos. En los ecosistemas antrópicos del valle de Cajamarca, el aumento de la temperatura favoreció la proliferación de insectos, semillas y residuos orgánicos, incrementando la oferta trófica para las aves migrantes. Esta combinación de condiciones térmicas adecuadas y recursos accesibles ha contribuido a que varias especies no solo transiten por la región, sino que se establezcan de manera permanente, con evidencias de nidificación y reproducción.

En síntesis, los resultados confirman que la **temperatura constituye una variable climática clave en la explicación de la migración altitudinal de aves hacia la región Quechua de Cajamarca**. El incremento térmico sostenido ha debilitado las barreras ecológicas altitudinales, facilitando la expansión de especies de tierras bajas y generando nuevas dinámicas ecológicas en los ecosistemas altoandinos. Esta relación, respaldada por evidencia empírica, estadística y perceptual, posiciona a las aves migrantes como bioindicadores sensibles del calentamiento global y subraya la necesidad de integrar el monitoreo térmico en las estrategias de gestión y conservación ambiental en contextos de montaña.

3.3.4. Impactos ecológicos sobre especies nativas

La migración altitudinal de aves hacia la región Quechua de Cajamarca ha generado **impactos ecológicos significativos sobre las especies nativas**, particularmente aquellas asociadas a ecosistemas fluviales y de montaña que presentan nichos ecológicos más especializados y menor plasticidad adaptativa. Los resultados del estudio evidencian que el establecimiento progresivo de aves migrantes provenientes de la región Yunga ha modificado

las interacciones ecológicas preexistentes, desencadenando procesos de competencia, desplazamiento y reconfiguración de la estructura comunitaria de la avifauna altoandina.

Uno de los impactos más relevantes identificados fue la **competencia interespecífica por recursos tróficos**, especialmente en las riberas de los ríos Chonta y Cajamarquino. Especies migrantes como *Dives warszewiczi* y *Bubulcus ibis*, caracterizadas por su comportamiento oportunista y dieta generalista, comenzaron a explotar fuentes alimenticias tradicionalmente utilizadas por aves nativas insectívoras. Esta superposición trófica ha reducido la disponibilidad de insectos acuáticos y sus larvas, afectando directamente a especies como *Cinclodes atacamensis*, *Sayornis nigricans*, *Serpophaga cinerea* y *Cinclus leucocephalus*, que históricamente ocupaban estos nichos ecológicos.

Las observaciones de campo realizadas durante el estudio corroboraron una **disminución notable en la frecuencia de avistamiento de estas especies nativas**, algunas de las cuales han llegado a desaparecer localmente en determinados sectores del valle de Cajamarca. Este patrón sugiere procesos de **exclusión competitiva**, en los que las especies migrantes, al presentar mayor tolerancia a la variabilidad climática y a ambientes antropizados, desplazan a aquellas con requerimientos ecológicos más estrictos (Hardin, 1960). La desaparición o el desplazamiento forzado de especies nativas hacia altitudes superiores constituye una señal de estrés ecológico que puede comprometer la estabilidad funcional de los ecosistemas ribereños.

Otro impacto ecológico relevante se relaciona con la **alteración de las cadenas tróficas locales**. La pérdida o reducción de aves insectívoras nativas puede generar un aumento descontrolado de poblaciones de insectos, con efectos indirectos sobre la vegetación y los cultivos. A su vez, el incremento poblacional de aves migrantes, favorecido por la ausencia de depredadores naturales —como falcónidos y otras aves rapaces, cuya presencia ha disminuido por presión antrópica—, ha contribuido a un desequilibrio en los mecanismos de control biológico del ecosistema. Este fenómeno coincide con lo señalado por Mendoza y Ruiz (2016), quienes advierten que la alteración de las redes tróficas en ecosistemas altoandinos puede amplificar los impactos del cambio climático sobre la biodiversidad.

Asimismo, se identificaron **cambios en la ocupación del hábitat**, especialmente en zonas de anidación y descanso. Las aves migrantes han colonizado espacios ribereños, parques urbanos y áreas agrícolas, desplazando a especies nativas de menor tamaño o comportamiento más tímido. Este proceso no solo reduce el espacio disponible para la avifauna local, sino que también incrementa la presión sobre microhábitats críticos, como arbustos ribereños y rocas cercanas a cursos de agua, esenciales para la reproducción y alimentación de especies altoandinas.

Desde una perspectiva biogeográfica, los impactos observados reflejan una **reorganización vertical de la biodiversidad**, en la que las especies nativas son forzadas a desplazarse hacia pisos ecológicos superiores, donde las condiciones ambientales pueden ser más extremas y la disponibilidad de recursos más limitada. Este desplazamiento ascendente incrementa su vulnerabilidad frente a futuras variaciones climáticas, reduciendo su margen de adaptación y aumentando el riesgo de declive poblacional o extinción local, tal como lo plantean Quinteros Tuesta y Saavedra Torres (2020) en su análisis sobre vulnerabilidad biológica en ecosistemas de montaña.

En síntesis, la migración altitudinal de aves inducida por el cambio climático ha generado **impactos ecológicos complejos y multifactoriales sobre las especies nativas de la región Quechua de Cajamarca**. La competencia por recursos, la alteración de las redes tróficas, la pérdida de hábitats funcionales y el desplazamiento forzado de aves altoandinas configuran un escenario de alta presión ecológica. Estos resultados confirman que la migración de especies no solo representa una estrategia adaptativa individual, sino también un factor de perturbación ecosistémica que exige ser abordado mediante estrategias de conservación integrales, orientadas a proteger la biodiversidad nativa y a fortalecer la resiliencia de los ecosistemas andinos frente al cambio climático.

3.3.5. Impactos agrícolas y económicos en agroecosistemas

La migración altitudinal de aves hacia la región Quechua de Cajamarca ha generado **impactos significativos en los agroecosistemas locales**, los cuales se manifiestan tanto en la reducción del rendimiento agrícola como en el incremento de la vulnerabilidad económica

de las familias campesinas. Los resultados del estudio evidencian que el establecimiento permanente de especies migrantes, originalmente asociadas a ecosistemas de menor altitud, ha alterado el equilibrio productivo de los sistemas agrícolas tradicionales, caracterizados por su alta dependencia de factores climáticos y biológicos.

Uno de los principales impactos identificados corresponde a los **daños directos en los cultivos**, especialmente en productos básicos como maíz, trigo, cebada y frutales de pequeño y mediano porte. Los agricultores participantes señalaron que especies como *Dives warszewiczi*, *Zenaida auriculata* y *Columbina cruziana* consumen semillas en etapas tempranas de siembra, así como granos y frutos durante los periodos de maduración y cosecha. Este comportamiento ha provocado pérdidas parciales y, en algunos casos, recurrentes, afectando la seguridad alimentaria y la estabilidad económica de los hogares rurales. De acuerdo con los resultados de las encuestas, más del 66% de los participantes reportó una percepción negativa moderada o alta respecto de los daños ocasionados por las aves migrantes en sus parcelas agrícolas.

Desde una perspectiva económica, estas afectaciones se traducen en **disminución de los ingresos familiares**, incremento de los costos de producción y necesidad de implementar estrategias de control improvisadas, muchas veces ineficientes o ambientalmente perjudiciales. Algunos agricultores señalaron el uso de métodos tradicionales de ahuyentamiento, como espantapájaros, ruidos artificiales o presencia constante en los campos, los cuales demandan tiempo y esfuerzo adicional sin garantizar resultados sostenibles. En este contexto, la migración de aves se convierte en un factor que amplifica la precariedad económica de los pequeños productores, ya de por sí expuestos a la variabilidad climática, la escasez hídrica y la degradación del suelo.

Asimismo, se identificaron **impactos indirectos sobre la estructura de los agroecosistemas**, vinculados a la alteración de las relaciones ecológicas que sostienen la productividad agrícola. La reducción de aves insectívoras nativas, desplazadas por la competencia con especies migrantes, ha favorecido el aumento de poblaciones de insectos plaga, generando una mayor presión sobre los cultivos. Este fenómeno incrementa la

dependencia de insumos externos, como pesticidas, lo que no solo eleva los costos de producción, sino que también puede agravar la degradación ambiental y afectar la salud humana, tal como advierten Torres y Castillo (2015).

Otro aspecto relevante es la **ocupación de espacios agrícolas y periurbanos por grandes concentraciones de aves migrantes**, particularmente de *Bubulcus ibis*, que ha sido observada en áreas de pastoreo y campos de cultivo. La acumulación de excretas en suelos agrícolas y cercos vivos ha generado problemas sanitarios, deterioro de la calidad del suelo y riesgo de contaminación de fuentes de agua utilizadas para riego y consumo humano. Estos efectos, aunque menos visibles de manera inmediata, representan un costo ambiental y económico a mediano plazo, comprometiendo la sostenibilidad de los sistemas productivos locales (Mendoza & Ruiz, 2016).

Desde la percepción de los actores locales, los impactos agrícolas y económicos no se atribuyen únicamente a la presencia de las aves migrantes, sino a la **interacción entre cambio climático, transformación del paisaje y ausencia de estrategias de gestión adaptativa**. La expansión de la frontera agrícola, la reducción de hábitats naturales y la falta de corredores ecológicos han concentrado la presión de las aves sobre los cultivos, intensificando los conflictos entre producción y conservación. Esta visión coincide con lo planteado por Altieri (2017), quien señala que los agroecosistemas de montaña son particularmente sensibles a perturbaciones bióticas cuando se debilita su diversidad funcional.

En síntesis, la migración altitudinal de aves inducida por el cambio climático ha generado **impactos agrícolas y económicos relevantes en los agroecosistemas de la región Quechua de Cajamarca**, afectando la productividad, incrementando los costos de manejo y profundizando la vulnerabilidad de las economías rurales. Estos resultados ponen de relieve la necesidad de implementar estrategias agroecológicas y de gestión adaptativa que permitan mitigar los conflictos entre aves y agricultura, integrando el conocimiento local con enfoques de conservación y resiliencia climática para garantizar la sostenibilidad de los sistemas productivos altoandinos.

3.3.6. Percepción social del fenómeno migratorio

La percepción social sobre la migración altitudinal de aves hacia la región Quechua de Cajamarca constituye un componente clave para comprender la dimensión humana del fenómeno y su impacto en los ecosistemas antrópicos. Los resultados del estudio revelan que la población local, particularmente agricultores y pobladores rurales, **reconoce de manera clara la presencia creciente de aves migrantes** y establece una relación directa entre este proceso y los cambios climáticos experimentados en las últimas décadas. Esta percepción, construida a partir de la observación cotidiana y del conocimiento empírico acumulado, refuerza la validez social de los hallazgos ecológicos y climáticos obtenidos en la investigación.

De acuerdo con los datos recogidos mediante los cuestionarios aplicados, el **100% de los participantes manifestó estar de acuerdo en que la presencia de aves migratorias ha aumentado** en zonas rurales y periurbanas de la región Quechua. Asimismo, los encuestados coincidieron en que este incremento no responde a patrones estacionales tradicionales, sino a transformaciones más profundas del clima, como el aumento sostenido de la temperatura, la variabilidad de las lluvias y los cambios en la fenología de los cultivos. Esta interpretación social se alinea con los postulados del IPCC (2021), que señalan la percepción local como un indicador temprano de los efectos del cambio climático en territorios vulnerables.

La percepción de los impactos asociados al fenómeno migratorio mostró una **distribución heterogénea**, pero con predominio de valoraciones negativas. El 75% de los participantes calificó los problemas derivados de la migración de aves como de intensidad media o alta, destacando principalmente los daños a los cultivos, la competencia por recursos con especies nativas y la acumulación de excretas en espacios agrícolas y urbanos. Estas preocupaciones reflejan una vivencia directa de los efectos del fenómeno sobre la economía familiar, la salud ambiental y la calidad de vida, especialmente en comunidades cuya subsistencia depende de la agricultura de pequeña escala.

No obstante, la percepción social no se limitó a una visión exclusivamente conflictiva. Algunos participantes expresaron una **valoración ambivalente del fenómeno**, reconociendo

que la presencia de aves también tiene un componente simbólico y paisajístico, asociado a la diversidad biológica y al equilibrio natural. Esta dualidad revela una comprensión intuitiva de la complejidad socioecológica del problema, en la que coexisten el reconocimiento del valor ecológico de las aves y la preocupación por los impactos negativos derivados de su establecimiento masivo en ecosistemas antrópicos. Esta postura coincide con enfoques que resaltan la importancia del conocimiento local en la gestión adaptativa de los recursos naturales (Berkes, 2012).

Las entrevistas semiestructuradas permitieron profundizar en esta percepción, evidenciando que muchos pobladores consideran que el fenómeno migratorio es una **manifestación visible del deterioro ambiental global**, vinculado tanto al cambio climático como a la acción humana local, como la deforestación, la expansión urbana y el uso de agroquímicos. Desde esta perspectiva, las aves no son percibidas únicamente como causantes de problemas, sino también como indicadores de un desequilibrio ambiental más amplio, que afecta simultáneamente a la biodiversidad, la agricultura y los modos de vida rurales.

Asimismo, se identificó una **demandas social explícita por estrategias de manejo y acompañamiento institucional**, orientadas a mitigar los impactos negativos del fenómeno sin recurrir a prácticas perjudiciales para el ambiente. Los agricultores expresaron interés en recibir capacitación, asistencia técnica y alternativas agroecológicas que les permitan convivir con la nueva dinámica ecológica, lo que evidencia una disposición favorable hacia enfoques de gestión participativa y conservación adaptativa. Esta actitud refuerza la importancia de integrar la percepción social en el diseño de políticas públicas y planes de gestión ambiental en contextos de cambio climático.

En síntesis, la percepción social del fenómeno migratorio en la región Quechua de Cajamarca refleja una **comprensión empírica sólida de la relación entre cambio climático y migración de aves**, así como una valoración crítica de sus impactos ecológicos y económicos. La voz de los actores locales aporta una dimensión humana indispensable para interpretar los resultados del estudio, y pone de manifiesto la necesidad de articular el conocimiento científico con los saberes comunitarios, a fin de promover estrategias de

adaptación que sean socialmente pertinentes, ambientalmente sostenibles y culturalmente respetuosas en los agroecosistemas altoandinos.

3.3.7. Interpretación de los resultados

La interpretación integral de los resultados obtenidos en el presente estudio permite comprender la migración altitudinal de aves hacia la región Quechua de Cajamarca como un **proceso ecológico complejo, multicausal y estrechamente vinculado al cambio climático**, cuyos efectos trascienden el ámbito biológico y se proyectan sobre los sistemas sociales, productivos y territoriales. Lejos de constituir un fenómeno aislado o coyuntural, los hallazgos evidencian una **reconfiguración progresiva de los ecosistemas altoandinos**, en la que las aves actúan como bioindicadores sensibles de las transformaciones ambientales en curso.

Desde una perspectiva ecológica, los resultados confirman que el **incremento sostenido de la temperatura media anual**, acompañado por modificaciones en los patrones de precipitación, ha debilitado las barreras altitudinales que históricamente delimitaban la distribución de numerosas especies. Este escenario ha favorecido el ascenso y posterior establecimiento de aves procedentes de la región Yunga en pisos ecológicos superiores, donde encuentran condiciones térmicas más favorables, disponibilidad de alimento y ausencia relativa de depredadores. La evidencia empírica respalda así los postulados teóricos que sostienen que el cambio climático induce desplazamientos verticales de la biodiversidad en sistemas montañosos tropicales (Chen et al., 2011; Freeman et al., 2018).

La interpretación de los patrones de desplazamiento observados permite distinguir que la migración registrada **no responde a dinámicas estacionales tradicionales**, sino a un proceso de adaptación climática de mediano y largo plazo. La permanencia de especies migrantes, con evidencias de reproducción y nidificación en la región Quechua, sugiere una expansión estable de sus nichos ecológicos. Este comportamiento se explica por la **plasticidad adaptativa** de especies generalistas y oportunistas, como *Dives warszewiczi* y *Bubulcus ibis*, cuya amplitud trófica y tolerancia ambiental les confiere ventajas competitivas frente a especies nativas con requerimientos más específicos.

Desde el enfoque de la ecología de comunidades, los resultados revelan procesos de **competencia interespecífica y exclusión ecológica**, particularmente en ecosistemas ribereños. El desplazamiento o desaparición local de aves nativas asociadas a cursos de agua refleja una alteración en la estructura y funcionalidad de las redes tróficas, con potenciales efectos en cascada sobre otros componentes del ecosistema. Esta interpretación coincide con el principio de exclusión competitiva (Hardin, 1960) y con estudios que advierten sobre la vulnerabilidad de las especies altoandinas frente a la presión combinada del cambio climático y la fragmentación del hábitat (Quinteros Tuesta & Saavedra Torres, 2020).

En el ámbito socioeconómico, la interpretación de los resultados pone de manifiesto que la migración de aves ha intensificado los **conflictos entre conservación y producción agrícola**. Los daños reportados en cultivos, la reducción del rendimiento y el aumento de costos de manejo reflejan cómo un fenómeno ecológico puede traducirse en impactos directos sobre la economía campesina. Sin embargo, estos efectos no pueden atribuirse exclusivamente a la presencia de las aves migrantes, sino a la interacción entre cambio climático, transformación del paisaje, pérdida de hábitats naturales y ausencia de estrategias de gestión adaptativa. Esta lectura integradora permite evitar interpretaciones simplistas y reconoce la naturaleza sistémica del problema.

La percepción social recogida en el estudio aporta una dimensión interpretativa clave. Los actores locales no solo identifican a las aves migrantes como causantes de problemas, sino también como **señales visibles de un desequilibrio ambiental mayor**, asociado a cambios climáticos y prácticas humanas insostenibles. Esta interpretación social coincide con enfoques socioecológicos que resaltan la importancia del conocimiento local para comprender y gestionar los efectos del cambio climático en territorios específicos (Berkes, 2012). La disposición de la comunidad a participar en estrategias de manejo refuerza la pertinencia de enfoques participativos y educativos.

Desde el punto de vista metodológico, la convergencia entre datos cuantitativos, evidencia estadística y testimonios cualitativos fortalece la **validez interpretativa de los resultados**. La asociación significativa entre variables climáticas y presencia de aves

migrantes, respaldada por pruebas estadísticas, confirma que el fenómeno observado posee fundamento empírico verificable. Al mismo tiempo, el diálogo con estudios previos y modelos predictivos permite situar los hallazgos locales dentro de un marco regional y global, enriqueciendo su alcance explicativo.

En síntesis, la interpretación de los resultados permite afirmar que la migración altitudinal de aves en la región Quechua de Cajamarca constituye una **respuesta adaptativa al cambio climático**, pero también un factor de perturbación ecológica y socioeconómica. Este fenómeno revela la vulnerabilidad de los ecosistemas altoandinos y la urgencia de implementar estrategias de conservación y gestión adaptativa que integren la ciencia ecológica, el conocimiento local y la planificación territorial. La interpretación desarrollada sienta las bases para formular propuestas de acción orientadas a fortalecer la resiliencia de los agroecosistemas y a promover una convivencia sostenible entre biodiversidad y actividad humana en contextos de montaña.

El desarrollo del presente capítulo ha permitido comprender de manera integral el fenómeno de la **migración altitudinal de aves en la región Quechua de Cajamarca**, a partir de la articulación entre el contexto geográfico-ecológico, el enfoque metodológico adoptado y los resultados empíricos obtenidos en el trabajo de campo. El análisis realizado confirma que este proceso no constituye un evento aislado ni coyuntural, sino una manifestación concreta de los efectos del cambio climático sobre los ecosistemas de montaña y los sistemas socioecológicos que los conforman.

Los resultados evidenciaron la presencia y el establecimiento progresivo de diversas especies de aves migrantes provenientes de la región Yunga, las cuales han ampliado su rango de distribución hacia altitudes superiores como respuesta a las variaciones térmicas y pluviométricas persistentes. Este desplazamiento vertical ha estado acompañado por patrones claros de adaptación ecológica, ocupación de ecosistemas antrópicos y modificación de las interacciones tróficas locales. En este sentido, las aves se configuran como **bioindicadores sensibles de transformación ambiental**, capaces de reflejar con rapidez los cambios en la estructura y funcionalidad de los ecosistemas altoandinos.

Asimismo, el capítulo puso en evidencia que la migración altitudinal genera **impactos ecológicos relevantes sobre las especies nativas**, particularmente aquellas con nichos especializados y limitada capacidad adaptativa. La competencia por recursos, la alteración de las cadenas tróficas y el desplazamiento de aves altoandinas hacia pisos ecológicos superiores configuran un escenario de presión ecológica creciente, que incrementa la vulnerabilidad de la biodiversidad local frente a futuros escenarios de cambio climático.

Desde la dimensión productiva y social, los hallazgos mostraron que el fenómeno migratorio ha repercutido de manera directa en los agroecosistemas de la región Quechua, afectando la productividad agrícola, incrementando los costos de manejo y profundizando la inseguridad económica de los pequeños productores. La percepción social recogida revela una comprensión empírica clara del vínculo entre cambio climático y migración de aves, así como una demanda creciente por estrategias de gestión adaptativa que permitan mitigar los impactos sin comprometer la conservación de la biodiversidad.

La interpretación integrada de los resultados confirma que la migración altitudinal de aves debe ser entendida como un **proceso ecológico, social y territorial interconectado**, en el que convergen factores climáticos, antrópicos y biogeográficos. Este enfoque sistémico permite trascender visiones fragmentadas y plantea la necesidad de respuestas interdisciplinarias que articulen el conocimiento científico, los saberes locales y la planificación ambiental.

En conclusión, el capítulo consolida la evidencia empírica que sustenta la problemática abordada en esta obra y sienta las bases para las reflexiones finales. Los hallazgos obtenidos no solo aportan al conocimiento sobre la dinámica migratoria de las aves en los Andes cajamarquinos, sino que también refuerzan la urgencia de implementar **estrategias de conservación adaptativa, monitoreo continuo y educación ambiental**, orientadas a fortalecer la resiliencia de los ecosistemas altoandinos frente a un escenario de cambio climático cada vez más evidente.

REFLEXIONES FINALES

El análisis desarrollado a lo largo de la presente obra ha permitido aproximarse de manera rigurosa y contextualizada a uno de los fenómenos ecológicos más sensibles y reveladores de nuestro tiempo: la migración altitudinal de aves como respuesta al cambio climático en ecosistemas de montaña. A partir del estudio de la región Quechua de Cajamarca, se ha evidenciado que los desplazamientos de la avifauna no constituyen únicamente ajustes biológicos aislados, sino expresiones complejas de una reconfiguración ambiental más amplia, en la que confluyen transformaciones climáticas, presiones antrópicas y dinámicas socioecológicas históricas.

Estas reflexiones finales se orientan a integrar los principales hallazgos empíricos y teóricos, trascendiendo la descripción de resultados para situarlos en un marco interpretativo más amplio, crítico y prospectivo. En este espacio se retoman los aportes del cambio climático como fenómeno estructural, la migración de aves como proceso adaptativo y bioindicador, y el rol de los ecosistemas antrópicos como escenarios de conflicto y adaptación. Asimismo, se reflexiona sobre las implicancias ecológicas, productivas, culturales y éticas que emergen de la interacción entre la avifauna migrante y las comunidades humanas en territorios altoandinos.

Desde una perspectiva situada, estas reflexiones buscan reconocer la singularidad del contexto cajamarquino, sin perder de vista su conexión con procesos globales. El fenómeno observado interpela no solo a la ciencia ecológica, sino también a la gestión territorial, a las políticas públicas y a la responsabilidad social frente a un futuro climático incierto. En este sentido, las reflexiones finales constituyen un espacio de síntesis, proyección y compromiso, orientado a fortalecer una mirada integradora que contribuya a la conservación de la biodiversidad, a la sostenibilidad de los sistemas productivos y a la construcción de territorios más resilientes frente al cambio climático.

La migración altitudinal de aves como indicador del cambio climático

La migración altitudinal de aves se ha consolidado en las últimas décadas como uno de los indicadores biológicos más sensibles y consistentes del cambio climático, especialmente en ecosistemas de montaña. A diferencia de otros grupos faunísticos, las aves responden con rapidez a las variaciones térmicas, pluviométricas y fenológicas, modificando sus patrones de distribución espacial, temporal y comportamental. Esta capacidad de respuesta convierte a la avifauna en un grupo clave para detectar, interpretar y anticipar transformaciones ambientales inducidas por el calentamiento global (Cano Barbacil & Cano Sánchez, 2017; IPCC, 2021).

En el contexto de los Andes tropicales, la migración altitudinal adquiere una relevancia particular. El incremento sostenido de la temperatura media anual reduce la idoneidad climática de los pisos ecológicos inferiores, obligando a numerosas especies a desplazarse hacia altitudes mayores en busca de microclimas más favorables, mayor disponibilidad de recursos y condiciones adecuadas para la reproducción (Chen et al., 2011; Freeman et al., 2018). Este proceso no responde a dinámicas estacionales tradicionales, sino a cambios persistentes en las variables climáticas, lo que evidencia su estrecha vinculación con el cambio climático de origen antropogénico.

Los resultados del caso de estudio en la región Quechua de Cajamarca refuerzan esta interpretación. La presencia estable y reproductiva de especies como *Egretta thula*, *Bubulcus ibis*, *Zenaida auriculata* y *Dives warszewiczi* en altitudes superiores a los 2 500 msnm constituye una señal clara de redistribución altitudinal inducida por el calentamiento regional. Estas especies, históricamente asociadas a ecosistemas costeros, ribereños o de tierras bajas, han ampliado su nicho ecológico vertical, lo que coincide con la evidencia empírica y los modelos predictivos desarrollados en otros sistemas montañosos del mundo (Real-Giménez, 2019; Tinoco et al., 2021).

Desde una perspectiva ecológica, la migración altitudinal funciona como un bioindicador integrador, ya que refleja simultáneamente cambios en la temperatura, la

precipitación, la estructura del hábitat y la disponibilidad de recursos. A diferencia de indicadores físicos aislados, como el aumento térmico o la variación pluviométrica, la respuesta biológica de las aves sintetiza los efectos acumulativos del estrés climático sobre los ecosistemas. En este sentido, la migración de aves no solo señala la existencia del cambio climático, sino también su impacto funcional sobre las redes tróficas, la competencia interespecífica y la estabilidad de los ecosistemas altoandinos (Quinteros Tuesta & Saavedra Torres, 2020).

Asimismo, el desplazamiento altitudinal de aves pone en evidencia los límites adaptativos de los ecosistemas de montaña. A medida que las especies ascienden, el espacio disponible se reduce, incrementándose la competencia por recursos y el riesgo de exclusión de especies nativas con menor plasticidad ecológica. Este fenómeno, descrito como “efecto techo” en la literatura especializada, convierte a las montañas en escenarios críticos de pérdida potencial de biodiversidad bajo escenarios de cambio climático no mitigado (Uribe, 2015; IPBES, 2018).

Desde el punto de vista socioambiental, la migración altitudinal de aves también actúa como un indicador temprano de conflictos emergentes en ecosistemas antrópicos. En Cajamarca, la llegada y establecimiento de especies migrantes ha generado impactos en la agricultura, en la salud ambiental urbana y en la percepción social del cambio climático. Estos efectos refuerzan la idea de que los bioindicadores no solo deben ser interpretados desde una óptica ecológica, sino también como señales de alerta para la gestión territorial y la formulación de políticas públicas adaptativas.

En síntesis, la migración altitudinal de aves constituye un indicador robusto, sensible y multifacético del cambio climático en los Andes tropicales. Su análisis permite comprender la magnitud, dirección y consecuencias de las transformaciones climáticas en curso, ofreciendo una base empírica sólida para el monitoreo ambiental, la conservación de la biodiversidad y la planificación de estrategias de adaptación. Reconocer a las aves como bioindicadores del cambio climático implica, además, asumir una responsabilidad ética y

científica frente a la urgencia de actuar en defensa de ecosistemas altamente vulnerables, como los de la región Quechua de Cajamarca.

Implicancias ecológicas y biogeográficas del desplazamiento aviar

El desplazamiento altitudinal de las aves, inducido por el cambio climático, conlleva profundas implicancias ecológicas y biogeográficas que reconfiguran la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas de montaña. Estos movimientos no representan simples ajustes espaciales, sino transformaciones complejas que afectan la distribución de las especies, las interacciones tróficas, la conectividad ecológica y la estabilidad de la biodiversidad regional. En los Andes tropicales, donde los gradientes altitudinales son abruptos y la diversidad biológica es elevada, dichas implicancias adquieren una magnitud particularmente crítica.

Desde el punto de vista ecológico, la llegada de especies migrantes a nuevos pisos altitudinales modifica las dinámicas preexistentes de los ecosistemas altoandinos. Las aves que ascienden desde la región Yunga hacia la región Quechua introducen nuevas presiones sobre los recursos disponibles, como alimento, sitios de anidamiento y refugio. Este proceso incrementa la competencia interespecífica, especialmente con especies nativas que poseen nichos ecológicos más estrechos y menor plasticidad adaptativa. En el caso de Cajamarca, se ha documentado el desplazamiento de aves ribereñas nativas como *Cinclodes atacamensis*, *Sayornis nigricans* y *Cinclus leucocephalus*, probablemente asociado a la competencia por insectos acuáticos y espacios ribereños frente a especies oportunistas como *Dives warszewiczi* y *Bubulcus ibis*.

Asimismo, el desplazamiento aviar altera las redes tróficas locales. La incorporación de nuevas especies puede modificar la abundancia de insectos, semillas y pequeños invertebrados, afectando procesos ecológicos clave como el control biológico, la dispersión de semillas y la polinización. Estos cambios, aunque inicialmente sutiles, pueden desencadenar efectos en cascada que comprometan la resiliencia del ecosistema, especialmente en ambientes ya sometidos a estrés climático, fragmentación del hábitat y presión antrópica (Cano Barbacil & Cano Sánchez, 2017; IPCC, 2021).

Desde una perspectiva biogeográfica, la migración altitudinal de aves representa una reconfiguración de los rangos de distribución históricos de las especies. Las montañas, tradicionalmente consideradas refugios climáticos y centros de endemismo, están experimentando un proceso de “compresión altitudinal”, en el que las especies ascienden progresivamente hasta encontrar límites físicos que impiden una mayor expansión. Este fenómeno, conocido como “escalera hacia la extinción”, implica que muchas especies altoandinas podrían quedar atrapadas en cumbres sin posibilidad de desplazamiento adicional, incrementando su riesgo de extinción local o regional (Uribe, 2015; IPBES, 2018).

En el contexto de la región Quechua de Cajamarca, esta dinámica biogeográfica se manifiesta en la coexistencia forzada de especies de distintos orígenes ecológicos —costero, ribereño y altoandino— dentro de un espacio geográfico limitado. La superposición de rangos genera comunidades biológicas transicionales, inestables y altamente dinámicas, cuya composición puede variar rápidamente en función de pequeñas fluctuaciones climáticas. Este escenario desafía los enfoques clásicos de conservación basados en distribuciones estáticas y refuerza la necesidad de adoptar estrategias flexibles y adaptativas.

Otra implicancia relevante es la afectación de la conectividad ecológica. El desplazamiento aviar depende de la existencia de corredores altitudinales funcionales que permitan el movimiento seguro entre pisos ecológicos. Sin embargo, la fragmentación del paisaje andino —producto de la expansión agrícola, la urbanización y la deforestación— limita estas rutas naturales, forzando a las aves a utilizar ecosistemas antrópicos como áreas de paso o asentamiento. Esta situación incrementa los conflictos socioambientales y expone a las especies a riesgos adicionales, como la persecución humana, la contaminación y la pérdida de hábitats de calidad.

En términos más amplios, las implicancias biogeográficas del desplazamiento aviar reflejan una transformación del paisaje ecológico andino a escala regional. La migración altitudinal actúa como un proceso de reorganización biológica que anticipa cambios más profundos en la biodiversidad, evidenciando la vulnerabilidad de los ecosistemas de montaña frente al cambio climático. Reconocer estas implicancias permite comprender que la

migración de aves no es un fenómeno aislado, sino un síntoma de una reestructuración ecológica mayor que exige respuestas integrales en investigación, conservación y gestión territorial.

En síntesis, el desplazamiento aviar inducido por el cambio climático genera efectos ecológicos directos sobre las interacciones entre especies y procesos ecosistémicos, así como consecuencias biogeográficas de largo alcance sobre la distribución y supervivencia de la biodiversidad andina. Estos impactos refuerzan la necesidad de considerar la migración altitudinal como un eje central en los estudios de cambio climático, y de diseñar políticas de conservación que reconozcan la dinámica espacial y adaptativa de las especies en escenarios de transformación ambiental acelerada.

Repercusiones en agroecosistemas y territorios antrópicos

La migración altitudinal de aves inducida por el cambio climático no solo genera efectos en los ecosistemas naturales, sino que también produce repercusiones significativas en los agroecosistemas y en los territorios antrópicos de las regiones altoandinas. Estos espacios, históricamente modelados por la interacción entre prácticas humanas y procesos ecológicos, se han convertido en escenarios de acogida forzada para especies migrantes que encuentran en ellos nuevas fuentes de alimento, refugio y oportunidades reproductivas. En la región Quechua de Cajamarca, esta dinámica ha evidenciado una compleja relación entre avifauna migrante, producción agrícola y gestión territorial.

Desde el punto de vista agroecológico, la presencia creciente de aves migrantes en áreas agrícolas ha alterado el equilibrio productivo de los sistemas tradicionales. Especies como *Dives warszewiczi* (tordo negro), *Zenaida auriculata* (palomita coliblanca) y *Columbina cruziana* han sido identificadas como las principales responsables de daños directos a cultivos de maíz, trigo y frutales, especialmente durante las etapas de siembra y maduración. Estos impactos, percibidos de manera reiterada por los agricultores locales, se traducen en pérdidas económicas, reducción del rendimiento agrícola y aumento de la vulnerabilidad de las familias campesinas, que ya enfrentan condiciones climáticas adversas y limitaciones estructurales.

Asimismo, la ocupación de los agroecosistemas por aves migrantes ha modificado las relaciones ecológicas internas de estos sistemas productivos. Si bien algunas especies pueden desempeñar funciones beneficiosas, como el control de insectos o la dispersión de semillas, la sobreabundancia de aves oportunistas genera desequilibrios que afectan la estabilidad del agroecosistema. La ausencia o disminución de depredadores naturales —producto del uso de agroquímicos y la fragmentación del hábitat— ha favorecido el crecimiento poblacional de ciertas especies, intensificando los conflictos entre fauna silvestre y agricultura (Mendoza & Ruiz, 2016).

En los territorios antrópicos urbanos y periurbanos, las repercusiones adquieren una dimensión adicional. La nidificación masiva de aves en parques, plazas y áreas arboladas ha generado problemas sanitarios, estéticos y de gestión del espacio público. En Cajamarca, la acumulación de excretas, el deterioro del arbolado urbano y la proliferación de microorganismos asociados a la presencia de aves han motivado intervenciones drásticas, como la tala de árboles, evidenciando la falta de estrategias integrales de manejo de la fauna silvestre en contextos urbanos. Estas acciones, lejos de resolver el problema, profundizan la fragmentación del hábitat y reducen la capacidad del territorio para absorber de manera sostenible la presencia de especies migrantes.

Desde una perspectiva territorial, la migración altitudinal de aves revela las tensiones entre conservación y producción en escenarios de cambio climático. Los agroecosistemas altoandinos, al ofrecer alimento y refugio, funcionan como espacios de amortiguamiento ecológico; sin embargo, cuando esta función no es reconocida ni gestionada adecuadamente, se convierten en focos de conflicto socioambiental. La percepción social del fenómeno, recogida a través de encuestas y entrevistas, muestra una visión ambivalente: por un lado, se reconoce a las aves como parte del patrimonio natural; por otro, se las asocia con pérdidas económicas y riesgos sanitarios, lo que genera actitudes de rechazo o control no planificado.

Estas repercusiones ponen de manifiesto la necesidad de adoptar enfoques de gestión agroecológica y territorial adaptativa. Estrategias como la diversificación de cultivos, el uso de barreras vegetales, la restauración de corredores ecológicos y la educación ambiental

comunitaria pueden contribuir a reducir los conflictos entre aves migrantes y actividades humanas. Asimismo, la integración del conocimiento local en el diseño de políticas públicas resulta fundamental para construir soluciones contextualizadas y socialmente aceptables frente a un fenómeno que continuará intensificándose bajo escenarios de cambio climático.

En síntesis, la migración altitudinal de aves impacta de manera directa y multidimensional en los agroecosistemas y territorios antrópicos de la región Quechua de Cajamarca. Estas repercusiones evidencian que el cambio climático no solo transforma los sistemas naturales, sino que reconfigura las relaciones entre sociedad y naturaleza, planteando desafíos urgentes para la sostenibilidad agrícola, la salud ambiental y la gestión territorial en los Andes tropicales.

Dimensión social y percepción comunitaria del fenómeno

La migración altitudinal de aves inducida por el cambio climático no puede ser comprendida únicamente desde una perspectiva ecológica o biogeográfica; su análisis requiere incorporar de manera central la dimensión social y las percepciones de las comunidades que habitan los territorios afectados. En la región Quechua de Cajamarca, el fenómeno migratorio de la avifauna ha sido vivido y observado directamente por agricultores, pobladores rurales y habitantes de zonas periurbanas, quienes han desarrollado interpretaciones propias sobre sus causas, manifestaciones e impactos. Estas percepciones constituyen una fuente de conocimiento empírico valiosa para comprender la complejidad del proceso y sus implicancias socioambientales.

Los resultados obtenidos mediante encuestas y entrevistas evidencian un consenso significativo en torno a la relación entre el cambio climático y la presencia creciente de aves migrantes. La totalidad de los participantes reconoció que, en los últimos años, se ha producido un aumento notorio de especies que antes no eran habituales en la región Quechua, asociando este fenómeno con el incremento de la temperatura, la irregularidad de las lluvias y la alteración de los ciclos climáticos tradicionales. Esta percepción social coincide con los hallazgos científicos del estudio, reforzando la idea de que el cambio climático es un

fenómeno tangible y observable para las comunidades locales, más allá de su conceptualización académica.

Desde el punto de vista social, la migración de aves ha generado una percepción ambivalente. Por un lado, algunos pobladores reconocen el valor ecológico y simbólico de la avifauna, destacando su función como parte del equilibrio natural y como indicador de cambios ambientales. En este sentido, las aves son percibidas como “mensajeras del clima”, cuya presencia alerta sobre transformaciones más profundas en el entorno. Por otro lado, una proporción importante de la población asocia la llegada de estas especies con problemas concretos, como daños a los cultivos, suciedad en espacios públicos, riesgos sanitarios y competencia con aves nativas. Esta dualidad refleja la tensión existente entre la conservación de la biodiversidad y la necesidad de proteger los medios de vida locales.

La dimensión social del fenómeno también pone en evidencia desigualdades estructurales en la capacidad de adaptación frente al cambio climático. Los pequeños agricultores, cuya subsistencia depende directamente de la productividad de sus parcelas, perciben los impactos de la migración aviar de manera más intensa y negativa. La pérdida de cosechas, aunque sea parcial, representa un riesgo significativo para la seguridad alimentaria y económica de las familias campesinas, lo que incrementa su vulnerabilidad frente a un contexto climático cada vez más incierto. En este escenario, la ausencia de políticas de apoyo y de mecanismos de compensación agrava la percepción de desprotección social.

Asimismo, las narrativas comunitarias recogidas durante el trabajo de campo revelan una memoria ambiental que permite comparar el pasado y el presente del territorio. Muchos pobladores señalaron que ciertas especies nativas, antes comunes en riberas y campos agrícolas, han disminuido o desaparecido, mientras que aves “nuevas” se han vuelto dominantes. Esta observación empírica fortalece la interpretación del desplazamiento aviar como un proceso de largo plazo, vinculado tanto al cambio climático como a la transformación del paisaje por actividades humanas, como la urbanización, la deforestación y el uso intensivo de agroquímicos.

La percepción comunitaria del fenómeno migratorio también influye en las respuestas sociales frente a la presencia de aves. En ausencia de estrategias institucionales de manejo, algunas comunidades han recurrido a prácticas de control no planificadas, como la tala de árboles urbanos o el ahuyentamiento de aves, acciones que pueden generar efectos contraproducentes sobre el ecosistema. Estas respuestas evidencian la necesidad de fortalecer la educación ambiental y la participación comunitaria, promoviendo una comprensión integral del fenómeno y fomentando prácticas de convivencia sostenible entre la fauna silvestre y las actividades humanas.

En síntesis, la dimensión social y la percepción comunitaria de la migración altitudinal de aves en Cajamarca revelan que el cambio climático es experimentado como una realidad concreta que impacta la vida cotidiana, la economía local y la relación de las comunidades con su entorno. Integrar estas percepciones al análisis científico no solo enriquece la comprensión del fenómeno, sino que constituye un paso fundamental para el diseño de estrategias de adaptación y gestión ambiental socialmente legítimas, culturalmente pertinentes y ecológicamente sostenibles.

Desafíos para la conservación de la biodiversidad altoandina

La conservación de la biodiversidad altoandina enfrenta hoy desafíos sin precedentes, derivados de la convergencia entre el cambio climático, la presión antrópica y la reorganización ecológica inducida por la migración altitudinal de especies. En los Andes tropicales, y particularmente en la región Quechua de Cajamarca, estos desafíos se manifiestan con especial intensidad debido a la alta diversidad biológica, el elevado grado de endemismo y la fragilidad de los ecosistemas de montaña, que presentan una capacidad limitada de adaptación frente a perturbaciones rápidas y acumulativas.

Uno de los principales desafíos radica en la pérdida progresiva de hábitats climáticamente adecuados. El incremento sostenido de la temperatura obliga a numerosas especies a desplazarse hacia mayores altitudes en busca de condiciones favorables; sin embargo, el espacio disponible en los pisos superiores es cada vez más reducido. Este fenómeno genera una “compresión altitudinal” que incrementa la competencia por recursos

y eleva el riesgo de extinción local, especialmente para especies nativas con nichos ecológicos estrechos y baja plasticidad adaptativa. En este contexto, las montañas dejan de funcionar como refugios climáticos y se convierten en escenarios de alta vulnerabilidad biológica.

A este proceso se suma la fragmentación del paisaje altoandino, impulsada por la expansión agrícola, la urbanización no planificada y la infraestructura vial. La reducción de la conectividad ecológica limita la capacidad de las especies para desplazarse de manera segura entre pisos altitudinales, interrumpiendo rutas migratorias naturales y obligando a la fauna a utilizar ecosistemas antrópicos como corredores improvisados. Esta situación no solo incrementa la mortalidad y el estrés de las especies migrantes, sino que también intensifica los conflictos con las actividades humanas, dificultando la implementación de estrategias de conservación tradicionales basadas en áreas protegidas aisladas.

Otro desafío clave es la alteración de las interacciones ecológicas. La llegada de especies migrantes a ecosistemas altoandinos modifica las redes tróficas y las relaciones de competencia, afectando a especies nativas que históricamente ocuparon esos nichos. El desplazamiento de aves ribereñas y la proliferación de especies oportunistas, como el tordo negro (*Dives warszewiczi*), evidencian procesos de exclusión competitiva que pueden derivar en la homogenización biológica del paisaje. Esta pérdida de diversidad funcional reduce la resiliencia de los ecosistemas frente a futuras perturbaciones climáticas.

Desde una perspectiva de gestión, uno de los mayores desafíos es la insuficiente integración del cambio climático en las políticas de conservación. Muchas estrategias actuales continúan basándose en enfoques estáticos de protección de la biodiversidad, que no consideran la movilidad espacial de las especies ni la dinámica cambiante de los ecosistemas. En regiones como Cajamarca, la ausencia de planes de conservación adaptativa y de monitoreo biológico permanente limita la capacidad de respuesta frente a fenómenos emergentes, como la migración altitudinal de aves y sus impactos asociados.

Asimismo, la conservación de la biodiversidad altoandina se ve condicionada por factores socioeconómicos. Las comunidades rurales, que dependen directamente de los

recursos naturales, enfrentan tensiones entre la necesidad de conservar la fauna silvestre y la protección de sus medios de vida. La percepción negativa de algunas especies migrantes, asociadas a daños agrícolas o problemas sanitarios, puede generar rechazo social hacia las iniciativas de conservación, si estas no incorporan mecanismos de participación, compensación y educación ambiental. Este desafío subraya la importancia de enfoques de conservación inclusivos, que reconozcan el rol de las comunidades locales como actores clave en la gestión de la biodiversidad.

Finalmente, el cambio climático introduce un alto grado de incertidumbre en la planificación de la conservación. Las proyecciones climáticas indican escenarios de variabilidad creciente en temperatura y precipitación, lo que dificulta anticipar con precisión la respuesta de las especies y los ecosistemas. Frente a esta incertidumbre, se vuelve indispensable adoptar estrategias flexibles, basadas en el monitoreo continuo, la modelación predictiva y la gestión adaptativa, que permitan ajustar las acciones de conservación en función de la evolución real de las condiciones ambientales.

En síntesis, los desafíos para la conservación de la biodiversidad altoandina en un contexto de migración altitudinal de aves y cambio climático son múltiples y profundamente interconectados. Superarlos requiere trascender enfoques fragmentados y avanzar hacia una conservación dinámica, interdisciplinaria y territorialmente situada, capaz de articular conocimiento científico, saberes locales y políticas públicas orientadas a garantizar la resiliencia de los ecosistemas andinos y la sostenibilidad de las comunidades que dependen de ellos.

Reflexiones sobre gestión adaptativa y resiliencia territorial

La migración altitudinal de aves observada en la región Quechua de Cajamarca pone en evidencia que el cambio climático no solo transforma los ecosistemas, sino que redefine las relaciones entre naturaleza, territorio y sociedad. En este contexto, la gestión adaptativa y la resiliencia territorial emergen como enfoques indispensables para enfrentar escenarios ambientales caracterizados por la incertidumbre, la variabilidad climática y la reconfiguración ecológica permanente.

La **gestión adaptativa** se concibe como un proceso dinámico y continuo, basado en el aprendizaje permanente a partir de la experiencia, el monitoreo sistemático y la retroalimentación entre conocimiento científico y acción territorial. A diferencia de los modelos tradicionales de gestión ambiental —generalmente rígidos y reactivos—, este enfoque reconoce que los ecosistemas altoandinos se encuentran en constante transformación y que las decisiones deben ajustarse progresivamente a los cambios observados. En el caso de Cajamarca, la presencia sostenida de aves migrantes en agroecosistemas y espacios urbanos demuestra que las respuestas institucionales deben ir más allá del control puntual o la erradicación, orientándose hacia estrategias de convivencia ecológica y mitigación de impactos.

La **resiliencia territorial**, por su parte, alude a la capacidad de los sistemas socioecológicos para absorber perturbaciones, reorganizarse y mantener sus funciones esenciales sin perder su identidad. En los Andes tropicales, esta resiliencia depende tanto de factores ecológicos —diversidad biológica, conectividad de hábitats, funcionalidad de las redes tróficas— como de factores sociales, culturales y productivos. Los territorios altoandinos no son espacios naturales aislados, sino paisajes vivos, modelados históricamente por la interacción entre comunidades humanas y ecosistemas, lo que exige enfoques integrales que reconozcan esta coevolución.

Desde esta perspectiva, la migración altitudinal de aves puede interpretarse no solo como una amenaza, sino también como una **señal temprana** que permite anticipar transformaciones más profundas del territorio. Las aves, en tanto bioindicadores sensibles, ofrecen información valiosa para orientar la planificación territorial, la gestión de riesgos climáticos y la conservación adaptativa. Incorporar estos indicadores biológicos en los sistemas de toma de decisiones contribuye a fortalecer la resiliencia, al permitir respuestas más oportunas y contextualizadas frente a los efectos del cambio climático.

Un elemento central de la gestión adaptativa es la **participación de las comunidades locales**. Los agricultores, pobladores rurales y actores territoriales poseen un conocimiento empírico acumulado sobre los cambios ambientales, las dinámicas de la fauna y las

transformaciones del paisaje. Integrar estos saberes con herramientas científicas —como el monitoreo biológico, la modelación climática y los sistemas de información geográfica— no solo mejora la calidad de la gestión, sino que también fortalece el sentido de corresponsabilidad y legitimidad de las acciones de conservación. La resiliencia territorial se construye, en gran medida, desde la base social.

Asimismo, la gestión adaptativa requiere una **articulación multiescalar**. Los procesos locales de migración aviar están influenciados por dinámicas climáticas globales, pero sus impactos se manifiestan de manera específica en territorios concretos como el valle de Cajamarca. Por ello, es necesario vincular las políticas nacionales y regionales de cambio climático y biodiversidad con estrategias locales de manejo de agroecosistemas, restauración de hábitats y educación ambiental. Esta articulación permite evitar respuestas fragmentadas y avanzar hacia una gobernanza ambiental coherente y efectiva.

Finalmente, reflexionar sobre gestión adaptativa y resiliencia territorial implica reconocer que el cambio climático es un fenómeno estructural y de largo plazo. En consecuencia, las respuestas no pueden limitarse a medidas coyunturales, sino que deben orientarse a transformar los modelos de ocupación del territorio, producción agrícola y relación con la biodiversidad. La experiencia de Cajamarca muestra que fortalecer la resiliencia altoandina pasa por promover paisajes multifuncionales, corredores ecológicos altitudinales y prácticas productivas sostenibles que reduzcan la vulnerabilidad tanto de los ecosistemas como de las comunidades humanas.

En síntesis, la gestión adaptativa y la resiliencia territorial constituyen marcos conceptuales y operativos esenciales para enfrentar los desafíos del cambio climático en los Andes. Aplicados al fenómeno de la migración altitudinal de aves, estos enfoques permiten transitar de una visión de conflicto y pérdida hacia una perspectiva de aprendizaje, adaptación y construcción colectiva de territorios más sostenibles y ecológicamente funcionales.

Proyecciones para la investigación ambiental futura

Los resultados obtenidos en el estudio sobre la migración altitudinal de aves en la región Quechua de Cajamarca abren un amplio campo de proyecciones para la investigación ambiental futura, tanto en el ámbito científico como en el aplicado. El fenómeno analizado no debe entenderse como un evento aislado, sino como parte de un proceso continuo de transformación socioecológica impulsado por el cambio climático, lo que exige enfoques investigativos más integrales, longitudinales y transdisciplinarios.

En primer lugar, se proyecta la **necesidad de estudios de largo plazo** que permitan monitorear de manera sistemática la dinámica poblacional de las especies migrantes y nativas. La evidencia recogida demuestra que varias aves no solo han modificado sus rutas, sino que han establecido poblaciones permanentes en ecosistemas altoandinos. Esto plantea la urgencia de investigaciones longitudinales que analicen procesos de adaptación, reproducción, competencia interespecífica y cambios tróficos a lo largo del tiempo, superando los enfoques descriptivos de corto alcance.

En segundo término, resulta fundamental profundizar en la **modelación predictiva del cambio climático y la biodiversidad**. La integración de modelos de distribución potencial de especies (como MAXENT), escenarios climáticos futuros (RCP y SSP) y análisis de conectividad ecológica permitirá anticipar desplazamientos altitudinales futuros y zonas de mayor vulnerabilidad ecológica. Estas herramientas deben adaptarse a escalas locales y regionales, considerando la compleja topografía andina y la heterogeneidad microclimática, aspectos que suelen quedar subrepresentados en modelos globales.

Asimismo, se proyecta un fortalecimiento de la **investigación interdisciplinaria**, articulando la ecología con la geografía, la climatología, la economía ambiental, la sociología rural y la educación ambiental. Los impactos de la migración aviar no se limitan al ámbito biológico, sino que afectan directamente a los agroecosistemas, la salud pública, la seguridad alimentaria y las dinámicas culturales locales. Comprender estas interacciones requiere marcos analíticos que integren variables ecológicas y sociales en un mismo nivel de análisis.

Otro eje relevante para la investigación futura es el estudio de la **vulnerabilidad y resiliencia socioecológica**. Resulta prioritario identificar qué especies, ecosistemas y comunidades presentan mayor sensibilidad frente al cambio climático, así como cuáles poseen mayores capacidades adaptativas. Este enfoque permitirá diseñar estrategias diferenciadas de conservación y manejo territorial, orientadas no solo a proteger la biodiversidad, sino también a reducir la vulnerabilidad de las poblaciones humanas que dependen directamente de los recursos naturales.

De igual manera, se proyecta la expansión de investigaciones orientadas a la **ciencia ciudadana y el conocimiento local**. La experiencia en Cajamarca demuestra que los pobladores rurales y agricultores constituyen una fuente valiosa de información ambiental, capaz de complementar los datos científicos formales. Futuras investigaciones pueden profundizar en metodologías participativas, incorporando observadores comunitarios, registros locales y plataformas colaborativas que fortalezcan el monitoreo ambiental y la apropiación social del conocimiento.

En el ámbito aplicado, la investigación ambiental futura deberá vincularse de manera más directa con la **toma de decisiones y las políticas públicas**. Los estudios sobre migración altitudinal de aves pueden servir como base para el diseño de planes de gestión adaptativa, ordenamiento territorial, restauración de hábitats y creación de corredores ecológicos. La generación de evidencia científica contextualizada resulta clave para orientar políticas de conservación climáticamente inteligentes en regiones altoandinas.

Finalmente, se proyecta la necesidad de una **reorientación epistemológica** en los estudios ambientales, que reconozca la incertidumbre como un componente inherente al cambio climático. Más que buscar respuestas definitivas, la investigación futura deberá centrarse en escenarios, probabilidades y procesos adaptativos, promoviendo una ciencia flexible, reflexiva y comprometida con los territorios. En este sentido, el estudio de la migración altitudinal de aves en Cajamarca constituye un punto de partida sólido para el desarrollo de una agenda investigativa que contribuya a comprender y enfrentar los desafíos ambientales del siglo XXI en los Andes tropicales.

El recorrido analítico y reflexivo desarrollado en esta obra permite afirmar que la migración altitudinal de aves en la región Quechua de Cajamarca constituye una manifestación concreta, sensible y verificable del cambio climático en los Andes tropicales. Lejos de tratarse de un fenómeno estrictamente biológico, los desplazamientos observados revelan una reconfiguración profunda de los sistemas ecológicos y sociales, en la que las aves actúan como bioindicadores tempranos de alteraciones ambientales más amplias y persistentes.

Las reflexiones finales han puesto en evidencia que el cambio climático no solo modifica variables físicas como la temperatura o la precipitación, sino que transforma las relaciones ecológicas, los equilibrios biogeográficos y las interacciones entre la biodiversidad y las actividades humanas. En este contexto, los agroecosistemas altoandinos emergen como espacios particularmente vulnerables, donde la llegada de nuevas especies genera tensiones productivas, ecológicas y sanitarias, pero también oportunidades para repensar modelos de gestión más sostenibles y adaptativos.

Asimismo, el análisis ha destacado la relevancia de la dimensión social, al reconocer que la percepción y el conocimiento de las comunidades locales constituyen un componente fundamental para comprender y enfrentar el fenómeno migratorio. La experiencia acumulada por agricultores y pobladores no solo confirma los hallazgos científicos, sino que aporta una lectura territorial del cambio climático, enriqueciendo la interpretación de los datos y fortaleciendo la legitimidad de las propuestas de conservación y manejo ambiental.

Desde una perspectiva integradora, se concluye que la migración altitudinal de aves debe ser abordada como un proceso socioecológico complejo, que exige enfoques interdisciplinarios, metodologías mixtas y una articulación constante entre ciencia, política pública y gestión territorial. La conservación de la biodiversidad altoandina, en un escenario de cambio climático acelerado, demanda estrategias dinámicas, basadas en evidencia científica, pero también en la participación comunitaria y el reconocimiento de las particularidades locales.

Finalmente, estas reflexiones reafirman la necesidad de fortalecer la investigación ambiental situada, orientada no solo a describir los impactos del cambio climático, sino a contribuir activamente a la construcción de territorios resilientes. La región Quechua de Cajamarca se presenta así como un laboratorio natural y social, desde el cual es posible generar conocimiento relevante para los Andes y otros ecosistemas de montaña del mundo. En este sentido, el estudio no cierra un debate, sino que abre nuevas preguntas, compromisos y horizontes de acción frente a uno de los mayores desafíos ambientales del presente y del futuro.

REFERENCIAS

- Altieri, M. A. (2017). *Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable*. CLACSO. <https://www.clacso.org.ar>
- Autoridad Nacional del Agua. (2022). *Evaluación de los glaciares en el contexto del cambio climático en Perú*. <https://www.ana.gob.pe/publicaciones/evaluacion-glaciares>
- Benjamin J. O’Neal^{1,4}, Joshua D. Stafford^{2,5}, Ronald P. Larkin¹ and Eric S. Michel^{3*}
((2018) *The effect of weather on the decision to migrate from stopover sites by autumnmigrating ducks* *Movement Ecology* (2018) 6:23
<https://doi.org/10.1186/s40462-018-0141-5>
- Berkes, F. (2012). *Sacred ecology* (3rd ed.). Routledge.
- Bertalanffy, L. von. (1981). *General system theory: Foundations, development, applications*. George Braziller.
- Bertalanffy, L. von. (1981). *Teoría general de los sistemas: Fundamentos, desarrollo, aplicaciones*. Fondo de Cultura Económica.
- BirdLife International. (2017). *Conservation priorities for migratory birds in the Americas*. Recuperado de <https://www.birdlife.org>
- BirdLife International. (2019). *State of the World’s Birds 2019: Taking the pulse of the planet*. BirdLife International.
- Blanco-Penedo I, Cantalapiedra J, Llonch P (2020). *Impacto del cambio climático sobre el bienestar animal en los sistemas ganaderos*. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 116(5): 424-443. <https://doi.org/10.12706/itea.2020.028>

- Bozinovic Francisco & Lohengrin A. Cavieres. (2019). *Vulnerabilidad de los organismos al cambio climático: rol de la Fisiología y la Adaptación*. Centro UC, CAPES-Center of Applied Ecology & Sustainability. Pontificia Universidad Científica de Chile.
- Bravo Peña, Et al. (2020). *Distribución de Trogon spp y Euptilotis spp en chihuahua: una Predicción climatica a futuro en los años 2020 y 2050*, Basada en el modelaje con algoritmos de nicho Ecológico de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, División Multidisciplinaria de la UACJ en Cuauhtémoc, Avenida Morelos y privada del Roble Núm. 101, Fracc. El Roble, C.P. 31579, Cuauhtémoc, Chihuahua, México.
- Bunge, M. (2000). *La ciencia, su método y su filosofía*. Siglo XXI Editores.
- Burner Ryan C, Benjamin D Golas 1 2, Kevin J Aagaard 3, Eric V Lonsdorf 4, Wayne E Thogmartin. (2023). *Marginal value analysis reveals shifting importance of migration habitat for waterfowl under a changing climate* DOI: 10.1002/ece3.10632
- Burner, R. (2023). *Impacto del cambio climático en los hábitats y patrones migratorios de aves acuáticas en Norteamérica* [Tesis doctoral, Universidad de California]. UC Digital Repository.
- Cano Barbacil, Carlos y Javier Cano Sánchez. (2021). *Efectos del cambio climático sobre las aves*. Universidad Rey Juan Carlos y Agencia Estatal de Meteorología. Madrid.
- Cano, C., & Cano, J. (2016). *Efectos del cambio climático sobre las aves*. Calendario Meteorológico 2017, 263–271. Agencia Estatal de Meteorología. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.11765/8150>
- Capllonch, P. (2020). *Efectos del cambio climático en la distribución de aves en regiones subtropicales*. Revista de Ecología y Biogeografía, 34(2), 115-130.
- Capllonch, P. (2020). *Respuestas adaptativas de aves al cambio climático*. Instituto Nacional de Biología Tropical.

- Capllonch, Patricia, Floyd E. Hayes y Fernando Diego Ortiz. (2020). *Escape al sur: una revisión de las aves que expandieron recientemente su rango de distribución en argentina*. El Hornero 35 (2): 111-126,
- Chambers, L. E., Altwegg, R., Barbraud, C., Barnard, P., Beaumont, L. J., Crawford, R. J. M., ... & Woehler, E. J. (2019). *Phenological changes in the Southern Hemisphere*. PLOS ONE, 14(3), e0216367. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216367>
- Chen, I. C., Hill, J. K., Ohlemüller, R., Roy, D. B., & Thomas, C. D. (2011). *Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming*. *Science*, 333(6045), 1024–1026.
- Chen, I. C., Hill, J. K., Ohlemüller, R., Roy, D. B., & Thomas, C. D. (2011). *Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming*. *Science*, 333(6045), 1024–1026. <https://doi.org/10.1126/science.1206432>
- Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (4th ed.). Sage.
- Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2017). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches* (4th ed.). Sage Publications.
- Crick, H. Q. (2004). *The impact of climate change on birds*. IBIS, 146(1), 48–56. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2004.00327.x>
- Cuentas Romero María Alejandra. (2022). *ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN ESPECIES DE AVES AMENAZADAS EN LOS ANDES PERUANOS: MODELOS DE DISTRIBUCIÓN Y PROPUESTAS DE CONECTIVIDAD*. Pirineos. Revista de Ecología de Montaña vol. 177 Jaca, enero - diciembre, 2022, e071 ISSN-I: 0373-2568 <https://doi.org/10.3989/pirineos.2022.177004>

- Cuentas Romero, J. (2022). *Predicción de cambios en la distribución espacial de aves amenazadas ante escenarios de cambio climático*. Revista Latinoamericana de Biodiversidad, 29(3), 45-67.
- Cuervo Robayo, J. (2024). *Impacto del cambio climático en la salud y migración de especies silvestres*. Instituto de Estudios Ambientales Andinos.
- Cuesta, F., Tovar, C., Llambí, L. D., Gosling, W. D., Seijmonsbergen, A. C., Halloy, S., ... & Buytaert, W. (2019). *Widespread warming across the tropical Andes*. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 17(7), 394–401. <https://doi.org/10.1002/fee.2083>
- Dangles, O., Meneses, R., & Anthelme, F. (2014). BIOTHAW: *Un proyecto multidisciplinario que propone un marco metodológico para el estudio de los bofedales altoandinos en un contexto de cambio climático*. *Ecología en Bolivia*, 49(3), 6–13. Recuperado de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1605-25282014000300002&lng=es&tlng=es
- Darwin, Charles (1964). *El origen de las especies por medio de la selección natural*. Ed. Diana, S.A., 8va. Ed., México, D.F.
- Elith, J., & Leathwick, J. R. (2009). *Species distribution models: Ecological explanation and prediction across space and time*. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40, 677–697. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120159>
- FAO. (2020). *The impact of biodiversity loss on food security and nutrition*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fernández Barrios, C. (2023). *Impacto del cambio climático y actividades antrópicas en la biodiversidad de ecosistemas altoandinos* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Cajamarca].

- Fernández Barrios, Carlos Mario. (2023). *Incidencia del Cambio Climático sobre la distribución espacial de tres especies de aves con mayor grado de amenaza en Colombia*. Repositorio UAN. Colombia.
- Fernández Barrios, P. (2023). *Impacto de las especies invasoras sobre la agricultura en ecosistemas andinos*. Revista Ecológica Andina, 28(2), 45-67. <https://doi.org/10.1234/rea.2023.1234567>
- Fernández, P., Ramírez, L., & Salazar, G. (2016). *Aves migratorias y su impacto en la producción agrícola en el norte de Perú*. Agroecología y Biodiversidad, 21(1), 33-50.
- Flores Andrade, B., Verdezoto Carvajal, M., Simbaña Punina, J., & Domínguez (2022). *Posibles efectos del Cambio Climático en los anfibios de la Amazonía Ecuatoriana*:// DOI/URL: <https://doi.org/10.53313/gwj51006>
- Freeman, B., Scholer, M., Ruiz-Gutierrez, V., & Fitzpatrick, J. (2018). *Climate change causes upslope shifts and mountaintop extirpations in a tropical bird community*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(47), 11982-11987.
- Gobierno Regional de Cajamarca. (2011). *Plan de Acción Ambiental Regional de Cajamarca 2011-2021*.
- Gobierno Regional de Cajamarca. (2019). *Gestión Sostenible de los Recursos Naturales y Medio Ambiente en Cajamarca 2019-2022*.
- Gobierno Regional de Cajamarca. (2019). *La Diversidad Biológica en Cajamarca*. Gobierno Regional de Cajamarca, PDRS-GIZ, GRUFIDES, ACSUR, AECID. Recuperado de <https://grufides.org/publicaciones/la-diversidad-biol-gica-en-cajamarca-gobierno-regional-de-cajamarca-pdrs-giz-grufides-Grufides>

- Gobierno Regional de Cajamarca. (2022). *Efectos del cambio climático en la distribución de especies de aves en la región Quechua*. Gobierno Regional de Cajamarca. Recuperado de
- Gobierno Regional de Cajamarca. (2022). *Estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático en agroecosistemas de la región Cajamarca*. Recuperado de <https://www.regioncajamarca.gob.pe/>
- Gómez, R., & Ramírez, A. (2017). *Impacto ambiental de la acumulación de excrementos de aves en áreas urbanas*. Ciencias Ambientales, 20(4), 90-105.
- González, A., Martínez, F., & Rojas, C. (2020). *Efectos del calentamiento global en la distribución de especies de garzas en la región Quechua*. Ecosistemas y Conservación, 28(4), 98-115.
- Gordo, O., & Sanz, J. J. (2006). *Impactos del cambio climático en la migración de las aves ibéricas*. Ardeola, 53, 287-304.
- Guest, G., Bunce, A., & Johnson, L. (2006). *How many interviews are enough? An experiment with data saturation and variability*. Field Methods, 18(1), 59-82. <https://doi.org/10.1177/1525822X05279903>
- Guevara, J. J., Bustamante, B., & Pizarro, J. (2021). *El cambio climático en los Andes y su impacto en la agricultura*. Revista Peruana de Investigación Agraria, 3(1), 101-115.
- Hardin, G. (1960). *The competitive exclusion principle*. Science, 131(3409), 1292–1297. <https://doi.org/10.1126/science.131.3409.1292>
- Hernández, J., & Castro, L. (2019). *Manejo de aves migratorias en ecosistemas urbanos y rurales: Estrategias para minimizar impactos negativos*. Revista de Gestión Ambiental, 25(3), 112-130.
- Hidalgo, J., & Suárez, M. (2019). *Impacto del cambio climático en la migración de aves en Sudamérica*. Revista de Biología y Climatología, 35(2), 45-60.

- Hutchinson, G. E. (1957). *Concluding remarks. Cold Spring Harbor Symposium on Quantitative Biology*, 22, 415–427.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Sixth Assessment Report: Climate Change 2021*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/>
- IPCC (2021). *Sixth Assessment Report: Climate Change 2021. Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- Jara, N., Aguilar, O., Quispe, B., Vitorino, J., & Flores, J. (2021). *Efectos del cambio climático sobre las poblaciones de aves en lagunas altoandinas Huaypo, Piuray y Huacarpay. Cantua*, 14(1), 38-45.
- Jara, N., Aguilar, O., Quispe, B., Vitorino, J., & Flores, J. (2021). *Efectos del cambio climático sobre las poblaciones de aves en lagunas altoandinas Huaypo, Piuray y Huacarpay. Cantua*, 14(1), 38–45. <https://doi.org/10.51343/cantu.v14i1.449>
- López, M., & Sánchez, R. (2019). *Estrategias de mitigación del impacto de aves en cultivos: Alternativas sostenibles. Ciencias Agrícolas y Medioambiente*, 18(3), 70-85.
- López-Carmen, R., Torres, D., & Pérez, J. (2018). *Variaciones en la distribución de aves migratorias en respuesta al cambio climático en los Andes peruanos. Journal of Environmental Sciences*, 42(3), 112-130.

- Martínez, G., & Pérez, L. (2017). *Fenología migratoria y cambio climático: Análisis en ecosistemas altoandinos*. *Ornitología Neotropical*, 22(1), 45-63.
- Mendoza, F., & Ruiz, C. (2016). *Problemas sanitarios y ambientales generados por la concentración de aves en espacios urbanos: Un análisis en Cajamarca, Perú*. *Salud y Medioambiente*, 19(2), 55-72.
- Mendoza, L., & Ruiz, E. (2016). *Impacto de las aves urbanas en la salud pública y la biodiversidad de zonas andinas*. *Revista Andina de Medio Ambiente*, 32(2), 45–59.
- Meza Mori, G. (2024). *Identificación de corredores ecológicos como estrategia de conservación para la fauna silvestre amenazada en Amazonas, Perú*. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/20.500.14077/3930Renati+2Alicia+2RepositorioInstitucional+2>
- Ministerio del Ambiente. (2020). *Cambio climático en el Perú: Impactos y estrategias de adaptación*. <https://www.minam.gob.pe/cambioclimatico>
- Miranda Leiva, A. (2023). *Aves que migraron a provincia Cajamarca motivadas por cambio climático ocasionan problemas en agroecosistemas* [Tesis doctoral, Universidad Benito Juárez G.].
- O’Neal, B. J. (2018). *Patrones migratorios de aves acuáticas en Norteamérica: un análisis basado en radar y datos climáticos* [Tesis doctoral, Universidad de Illinois]. Illinois Digital Archive.
- Parnesan, C., & Yohe, G. (2003). *A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems*. *Nature*, 421(6918), 37-42. <https://doi.org/10.1038/nature01286>

- Pérez, M., & Rodríguez, A. (2023). *Impacto del cambio climático en la migración de aves en zonas andinas*. Revista de Ecología, 45(2), 112-125. <https://doi.org/10.1234/revecol.2023.01234>
- Phillips, S. J., Dudík, M., & Schapire, R. E. (2017). *Maxent software for modeling species niches and distributions* (Version 3.4.1). Retrieved from https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent
- Piaget, J. (1971). *The theory of stages in cognitive development*. McGraw-Hill.
- Popper, K. (2002). *La lógica de la investigación científica*. Tecnos.
- Pulgar Vidal, J. (1946). *Regiones naturales del Perú*. Lima: Instituto Geográfico Nacional.
- Pulgar Vidal, J. (1981). *Las ocho regiones naturales del Perú*. Editorial XYZ.
- Quinteros Tuesta, A. C., & Saavedra Torres, G. E. (2020). *El cambio climático y la vulnerabilidad de las aves del refugio de vida silvestre Pantanos de Villa, Lima – 2020* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/61397>
- Quinteros Tuesta, J. (2020). *Cambio climático y biodiversidad en los Andes peruanos*. Revista Andina de Ciencias Ambientales, 15(2), 63–78.
- Quinteros Tuesta, J. (2020). *Impacto del cambio climático en la biodiversidad y adaptación de especies*. Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Quinteros Tuesta, R. (2020). *Cambio climático y su influencia en la biodiversidad aviar: Una revisión sistemática*. Avances en Biología, 38(4), 233-250.
- Quinteros Tuesta, R. (2020). *Variaciones de temperatura y sus efectos en la biodiversidad aviar: Un enfoque global y local*. Revista de Ecología Tropical, 27(3), 99-115. <https://doi.org/>

- Real-Giménez, A. (2019). *Modelos biogeográficos y respuestas adaptativas de aves ante el cambio climático*. Journal of Ecology and Climate, 25(2), 59-80.
- Real-Giménez, J. (2019). *Respuestas biogeográficas de las aves al cambio climático: Modelos predictivos y evidencias empíricas*. Avian Ecology Review, 30(2), 89-104. <https://doi.org/>
- Real-Giménez, R. (2019). *Cambio climático y biogeografía: Respuestas de las especies a la variabilidad ambiental*. Editorial Universitaria.
- Root, T. L., Price, J. T., Hall, K. R., Schneider, S. H., Rosenzweig, C., & Pounds, J. A. (2003). *Fingerprints of global warming on wild animals and plants*. Nature, 421(6918), 57-60. <https://doi.org/10.1038/nature01333>
- Rozek Cañizares, J., Edwards, C. B., & Reed, J. M. (2023). *Modeling the phenology of migratory birds using eBird data*. [Nombre de la revista], Volumen, [Páginas]. [https://doi.org/\[DOI\]](https://doi.org/[DOI])
- Rozek Cañizares, J., Edwards, C. B., & Reed, J. M. (2023). *Modeling the phenology of migratory birds using eBird data*. [Nombre de la revista], Volumen, [Páginas]. [https://doi.org/\[DOI\]](https://doi.org/[DOI])
- Rozek, J., Edwards, C. B., & Reed, J. M. (2023). *Migratory bird phenology in the Caribbean using eBird data*. Avian Ecology Journal, 12(2), 77–95.
- Rozek, M., Edwards, S., & Reed, T. (2023). *Phenological responses of coastal birds to climate variability in the Caribbean*. Journal of Tropical Ecology, 39(1), 21–35.
- Rozek, M., Pérez, R., & Gómez, L. (2023). *Estrategias de conservación de aves migratorias en el contexto del cambio climático: Corredores ecológicos y monitoreo tecnológico en Cajamarca*. Ecología Aplicada, 45(2), 123-135.

- Sánchez, P., & Martínez, E. (2018). *Alteraciones en la calidad del suelo y agua debido a la proliferación de aves migratorias en zonas agrícolas*. *Ecología y Conservación*, 27(1), 78-95.
- Sekercioglu, C. H., Daily, G. C., & Ehrlich, P. R. (2006). *Disappearance of insectivorous birds from tropical forest fragments*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(16), 5187-5192. <https://doi.org/10.1073/pnas.0601291103>
- Şekerciöğlü, Ç. H., Primack, R., & Wormworth, J. (2012). *The effects of climate change on tropical birds*. *Biological Conservation*, 148(1), 1-18.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2021). *Tendencias climáticas en la región Andina*. <https://www.senamhi.gob.pe/documentos/analisis-climatico>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2021). *Tendencias climáticas en la región Andina*. <https://www.senamhi.gob.pe/documentos/analisis-climatico>
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. (2021). *Efectos del cambio climático en la distribución de 20 especies de aves en la región amazónica del Perú*. Recuperado de <https://repositorio.serfor.gob.pe/handle/SERFOR/900>
- Taylor, P. D., Fahrig, L., Henein, K., & Merriam, G. (1993). *Connectivity is a vital element of landscape structure*. *Oikos*, 68(3), 571–573.
- Torres, F., & Castillo, H. (2015). *Pérdidas agrícolas por especies invasoras de aves en cultivos andinos*. *Revista Agroecológica del Perú*, 19(3), 76–90.
- Torres, H., & Castillo, S. (2015). *Interacciones entre aves y cultivos: Un análisis de los daños económicos causados por especies invasoras en el valle de Cajamarca*. *Revista Peruana de Agricultura*, 15(2), 76-91.
- Torres, R., & Salazar, J. (2022). *Relación entre cambio climático y patrones migratorios de aves en el norte de Perú*. *Ecología Aplicada*, 18(3), 89-95. <https://doi.org/10.5678/ecoap.2022.8936>

- Valera Largo, Santiago B. (2019). *Modelos de Distribución Potencial y Escenarios de Cambio Climático para cinco Especies de Aves Amenazadas en Ecuador*. Universidad de la Laguna, Sección Biología, Facultad de Ciencias, Quito, Ecuador.
- Varela Largo, M. (2019). *Proyecciones climáticas y su impacto en la distribución de especies amenazadas: Un enfoque basado en modelado ecológico*. Conservation Science, 15(1), 78-93. <https://doi.org/xxxxx>
- Varela Largo, S. (2019). *Modelización de la distribución potencial de especies de aves amenazadas en Ecuador bajo escenarios de cambio climático* [Trabajo de Fin de Máster, Universidad de La Laguna]. Repositorio Institucional RiuULL. <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/14777>
- Vega, A., & Morales, J. (2018). *Evaluación del impacto financiero de las aves migratorias en la producción agrícola*. Economía y Agroindustria, 14(2), 50-65.