

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS**



**“DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA COMUNIDAD DE  
AVES Y SUS FACTORES DE INFLUENCIA EN EL DISTRITO DE  
CAJATAMBO 2015 - 2016”**

Presentada por:

**Julio Cesar Salvador Rodriguez**

Tesis para Optar el Título Profesional de:

**BIÓLOGO**

Lima – Perú

2019

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**“DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA COMUNIDAD DE  
AVES Y SUS FACTORES DE INFLUENCIA EN EL DISTRITO DE  
CAJATAMBO 2015 - 2016”**

Presentada por:

**Julio Cesar Salvador Rodriguez**

Tesis para Optar el Título Profesional de:

**BIÓLOGO**

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

---

Dr. Edgar Hugo Sánchez Infantas

**PRESIDENTE**

---

Mg. Sc. Viviana Patricia Castro Cepero

**MIEMBRO**

---

Mg. Sc. Liz Castañeda Córdova

**MIEMBRO**

---

Mg. Sc. Diana Zulema Quinteros Carlos

**ASESORA**

## **DEDICATORIA**

*A mis sistemas complejos y asociación biológica favorita: mi familia, quiénes con sus con su fe y amor, se han esforzado en brindarme todo el apoyo inmensurable para crecer personal y profesionalmente. A mi padre y mi madre, ya que pude ver en sus ojos uno de sus sueños reflejados en mí, pero sin duda este logro les pertenece. A mi “mamita”, quien ha dado todo su esfuerzo para que podamos crecer juntos como familia. Ellos, quienes me enseñaron a querer el interior del país, nuestra raíz, donde los verdaderos peruanos luchan día a día y siente un gran amor por su tierra y sus costumbres.*

## AGRADECIMIENTOS

Al equipo del proyecto “Cajatambo” y al Laboratorio de Ecología de Procesos (LEP), conformado por diferentes profesores, estudiantes y egresados interesados en discutir, conversar y compartir diferentes temas. Especialmente quiero agradecer a la profesora Zulema Quinteros quien con sus conocimientos y amistad que siempre nos comparte veamos con mayor crítica la realidad a diferentes niveles: personal, grupal, regional y nacional. Asimismo, al profesor Edgar Sánchez por sus consejos, críticas y observaciones en el proceso de la tesis.

Al profesor Aldo Ceroni, quien me enseñó sobre las plantas de Cajatambo y con quien discutimos sobre la diversidad biológica del distrito. A las profesoras, Viviana Castro y Liz Castañeda por sus observaciones y comentarios que fueron importantes para culminar este documento.

A todas las personas quienes me han apoyado en cada etapa de la tesis: Mónica Flores, Pablo Ramos, Lissel Arnao, Rachel Quispe, Zarela Reyes, Gonzalo Núñez, Reyna Zuasnabar, Sally Cangalaya, Steven Sevillano, Alexis Diaz y a los estudiantes del curso de “Herramientas para la descripción de ecosistemas” del ciclo 2015-II hasta 2016-II. Especialmente agradezco a Karen Martinez que con sus consejos y ánimos me ha enseñado el valor de la persistencia.

A los cajatambinos, quienes nos han recibido a todo el equipo “Cajatambo” cada dos veces al año con grata espera y apoyo para realizar diferentes investigaciones en sus tierras. Espero que esta investigación pueda dar conocer y valorar un poco más de su riqueza natural y de los procesos ecológicos que ocurren en el distrito.



## Los ríos profundos

José María Arguedas

“En los pueblos, a cierta hora, las aves se dirigen visiblemente a lugares ya conocidos. A los pedregales, a las huertas, a los arbustos que crecen en la orilla de las aguadas. Y según el tiempo, su vuelo es distinto. La gente del lugar no observa estos detalles, pero los viajeros, la gente que ha de irse, no los olvida. Las tuyas prefieren los árboles altos, los jilgueros duermen o descansan en los arbustos amarillos; el chihuaco canta en los árboles de hojas oscuras: el saúco, el eucalipto, el lambras; no va a los sauces. Las tórtolas vuelan a las paredes viejas y horadadas; las torcazas buscan las quebradas, los pequeños bosques de apariencia lejana; prefieren que se les oiga a cierta distancia. El gorrión es el único que está en todos los pueblos y en todas partes. El viuda-pisk’o salta sobre las grandes matas de espino, abre las alas negras, las sacude, y luego grita. Los loros grandes son viajeros. Los loros pequeños prefieren los cactus, los árboles de espino. Cuando empieza a oscurecer se reparten todas esas aves en el cielo; según los pueblos toman diferentes direcciones, y sus viajes los recuerda quien las ha visto, sus trayectos no se confunden en la memoria.”

Cajatambo – Microcuenca de Pumarín

# ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN .....</b>	<b>viii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>ix</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>4</b>
2.1 SISTEMAS COMPLEJOS ADAPTATIVOS .....	4
2.2 COMUNIDAD BIOLÓGICA.....	6
2.3 ESPECIE CLAVE .....	7
2.4 DIVERSIDAD BIOLÓGICA .....	8
2.5 VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL.....	10
2.6 AVES EN ECOSISTEMAS ANDINOS .....	11
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>14</b>
3.1 ÁREA DE ESTUDIO .....	14
3.2 MATERIALES .....	16
3.3 METODOLOGÍA .....	17
3.3.1. Evaluación de comunidad de aves.....	17
3.3.2. Determinación de factores físicos, biológicos y antrópicos .....	18
3.4. DEFINICIONES OPERACIONALES .....	19
3.4.1. Índice de abundancia relativa al espacio (IARE) .....	19
3.4.2. Estimador de la Cobertura basado en la Abundancia (ACE, siglas en inglés)..	19
3.4.3. Tasa de cambio .....	20
3.4.4. Índices de diversidad .....	20
3.4.5. Análisis de conglomerados .....	22
3.4.6 Análisis de Componentes Principales.....	23
3.4.7 Escalamiento multidimensional no métrico .....	23

3.4.8	Atractor.....	24
3.4.9	Porcentaje de Similitud (SIMPER).....	25
3.4.11	Índices de paisaje.....	25
3.4.12	Análisis de Correspondencia Canónica.....	27
3.5	ANÁLISIS DE DATOS.....	27
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES.....</b>	<b>29</b>
4.1	DESCRIPCIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LA COMUNIDAD DE AVES.....	29
4.2	VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA COMUNIDAD DE AVES.....	35
4.2.1	Tasa de cambio temporal de la composición.....	35
4.2.2	Comparación de la abundancia relativa temporal.....	36
4.2.3	Comparación de la diversidad espacial y temporal.....	41
4.2.4	Variación temporal y espacial de la comunidad de aves.....	48
4.3	DESCRIPCIÓN DE LOS FACTORES AMBIENTALES.....	62
4.3.1	Factores biológicos (estructura de la vegetación).....	62
4.3.2	Factores físicos (fisionomía y mosaico de parches).....	64
4.3.3	Factores antrópico.....	68
4.4	RELACIÓN DE LOS FACTORES AMBIENTALES CON LA COMUNIDAD DE AVES.....	69
4.5	DISCUSIONES GENERALES.....	77
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>80</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>82</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>84</b>
<b>VIII.</b>	<b>ANEXO.....</b>	<b>98</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Número de especies entre las principales zonas de registros de aves en los andes centro-occidentales. ....	31
Tabla 2: Tasas de cambio de la composición específica de aves. ....	35
Tabla 3: Índices de diversidad gamma de las evaluaciones totales .....	45
Tabla 4: Propuesta de especies claves según cada atractor, bajo el enfoque espacial y temporal. ....	51
Tabla 5: Propuesta de especies claves según cada atractor, bajo el enfoque espacio-temporal. ....	55
Tabla 6: Dinámica temporal de atractores en la comunidad local de aves, como Sistema Complejo Adaptativo.....	60
Tabla 7: Factores seleccionados por el ACP que representan a la agrupación del total de factores.....	71

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del distrito de Cajatambo .....	14
Figura 2. Mapa de coberturas vegetales del área de estudio. ....	15
Figura 3. Mapa de las subunidades de paisaje del área de estudio .....	16
Figura 4. Similitud de composición de aves entre principales zonas de los andes centro-occidentales, mediante NMDS (índice de Raup-Crick). ....	32
Figura 5. Especies con mayor IARE total en el distrito de Cajatambo (2015-2016) .....	33
Figura 6. Esfuerzo de muestreo de cada evaluación.....	34
Figura 7. Relación entre el promedio de tasa de cambio y su desviación estándar entre diferentes combinaciones de tiempo.....	36
Figura 8. Abundancia relativa de transectos entre diferentes evaluaciones. ....	37
Figura 9. Comparación de la mediana de las abundancias relativas totales entre las evaluaciones.....	38
Figura 10. Índice de Abundancia Relativa al Espacio (IARE) total de las especies más abundantes en las diferentes evaluaciones.....	39
Figura 11. Relación del IARE promedio y su coeficiente de variación entre transectos. ...	40
Figura 12. Riqueza observada de los transectos en todas las evaluaciones, ordenada de manera descendente. ....	41
Figura 13. Shannon-Wiener de los transectos en todas las evaluaciones, ordenada de manera descendente. ....	42
Figura 14. Inversa de Simpson de los transectos en todas las evaluaciones, ordenados de manera descendente. ....	42
Figura 15. Relación del índice de diversidad Shannon-Wiener promedio y su coeficiente de variación de todas las evaluaciones. ....	43
Figura 16. Mapas de isolíneas del índice de diversidad de Shannon-Wiener promedio (A) y su coeficiente de variación de todas las evaluaciones (B). ....	44
Figura 17. Estructura de la abundancia relativa de cada evaluación. ....	46
Figura 18. Comparación de medianas de los índices de diversidad alfa entre las temporadas según A: Riqueza, B: Shannon-Wiener y C: la inversa de Simpson. ....	46
Figura 19. Análisis cluster de la composición (índice de similitud Sorensen-Dice (a) y Morisita (b) entre las evaluaciones .....	48

Figura 20. Análisis de Componentes Principales de la comunidad de aves entre evaluaciones.....	49
Figura 21. Atractores espacio-temporales a partir de las agrupaciones del análisis Cluster (índice de Bray-Curtis).....	52
Figura 22. Corroboración de los atractores espacio-temporales y su relación con las especies de aves, mediante el Análisis de Componentes Principales.....	52
Figura 23. Cobertura acumulada de las formas de vida en los transectos, según estratos de altura (m).....	62
Figura 24. Cobertura acumulada de los estratos en los transectos, según forma de vida....	63
Figura 25. Riqueza y diversidad de Inversa de Simpson de estratos de la vegetación.....	63
Figura 26. Riqueza y diversidad de Inversa de Simpson de formas de vida de la vegetación.....	64
Figura 27. Mapa de rango de altitud del área de estudio.....	64
Figura 28. Mapa de rango de pendiente del área de estudio.....	65
Figura 29. Porcentaje de Paisaje (PLAND) según el tipo de cobertura vegetal en los subpaisajes.....	66
Figura 30. Densidad de Parche (PD) según el tipo de cobertura vegetal en los subpaisajes .....	66
Figura 31. Índice del parche más grande (LPI) según el tipo de cobertura vegetal en los subpaisajes.....	67
Figura 32. Índice de diversidad de Shannon (SHDI) y Simpson (SIDI) en los subpaisajes.....	67
Figura 33. Porcentaje de las tres categorías de Intensidad de Presencia Humana (IPH) en los transectos evaluados.....	68
Figura 34. Agrupación de factores ambientales a nivel de biológico, físico y social, mediante el análisis cluster (índice de similitud de correlación).....	70
Figura 35. Porcentaje de acumulación de varianza agregando componentes principales. ..	71
Figura 36. Asociación de los principales factores con las abundancias relativas de las especies clave de los atractores en las diferentes evaluaciones, mediante el Análisis de Correspondencia Canónica.....	74
Figura 37. Asociación de los principales factores con la diversidad (índice de Simpson invertido) en las diferentes evaluaciones, mediante el Análisis de Correspondencia Canónica.....	77

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Coordenadas UTM de puntos centrales de los transectos de la avifauna evaluada entre el 2015 – 2016. ....	98
ANEXO 2. Formato de cobertura de formas de vida y estratos de la vegetación, adaptado de Küchler y Zonneveld (1988). ....	100
ANEXO 3. Lista de especies registradas en su respectiva clasificación sistemática, código de especie y evaluación registrada (presencia-ausencia).....	101
ANEXO 4. Especies registradas en el distrito de Cajatambo con alguna categoría de conservación y/o endemismo.....	105
ANEXO 5. Índice de Abundancia Relativa al Espacio de los transectos en cada evaluación.....	106
ANEXO 6. Isolíneas de Abundancia Relativa al Espacio de los transectos en cada evaluación.....	107
ANEXO 7. Índices de diversidad de los transectos según su evaluación (Riqueza, Shannon-Wiener e Inversa de Simpson) .....	109
ANEXO 8. Isolíneas de la diversidad (expresada con Shannon-Wiener) de los transectos en cada evaluación.....	110
ANEXO 9. Correlación de Shannon-Wiener y la riqueza en cada evaluación .....	112
ANEXO 10. Correlación de Shannon-Wiener y la equidad de Pielou en cada evaluación.....	112
ANEXO 11. Prueba de Kruskal-Wallis de la riqueza en las evaluaciones. ....	113
ANEXO 12. Prueba de ANOVA del índice Shannon-Wiener en las evaluaciones. ....	113
ANEXO 13. Prueba de Kruskal-Wallis del índice de Simpson invertido en las evaluaciones.....	114
ANEXO 14. Agrupación de transectos en la evaluación “Lluvia 2015”, según la composición de la comunidad de aves (análisis cluster y análisis de componentes principales) y su corroboración (NP-MANOVA). ....	114
ANEXO 15. Agrupación de transectos en la evaluación “Seca 2015”, según la composición de la comunidad de aves (análisis cluster con índice de Morisita y análisis de componentes principales) y su corroboración (NP-MANOVA). ....	115

ANEXO 16. Agrupación de transectos en la evaluación “Lluvia 2016”, según la composición de la comunidad de aves (análisis cluster con índice de Morisita y análisis de componentes principales) y su corroboración (NP-MANOVA). .....	116
ANEXO 17. Agrupación de transectos en la evaluación “Seca 2016”, según la composición de la comunidad de aves (análisis cluster con índice de Morisita y análisis de componentes principales) y su corroboración (NP-MANOVA). .....	117
ANEXO 18 Porcentaje de Similitud (SIMPER) de los atractores de cada evaluación, resaltando sus respectivas especies clave por su abundancia media. ....	118
ANEXO 19. NP-MANOVA de agrupación espacio-temporal en todas las evaluaciones.	121
ANEXO 20. Porcentaje de Similitud de los atractores sus respectivas especies clave por su abundancia media. ....	122
ANEXO 21. NP-MANOVA de agrupación de los factores físicos, biológicos y antrópicos.....	123
ANEXO 22. Elección de los siete primeros componentes principales que integran los factores biológicos, físicos y antrópicos, a partir del Análisis de Componentes Principales. ....	124
ANEXO 23. Determinación de los principales factores físicos, biológicos y antrópicos en sus respectivos componentes principales.....	125
ANEXO 24. Significancia de los ejes de Análisis de Correspondencia Canónica por especies clave de atractores. ....	127
ANEXO 25. Significancia de los ejes del Análisis de Correspondencia Canónica por diversidad (Shannon-Wiener).....	127
ANEXO 26. Especies de aves más comunes del distrito de Cajatambo .....	128

## RESUMEN

Este estudio de caso, pretende reconocer ciertos procesos ecológicos que presentan las comunidades de aves, como sistema complejo adaptativo, en un agroecosistema de la vertiente centro-occidental de los Andes peruanos (distrito de Cajatambo, provincia de Cajatambo, Lima) con una variación altitudinal de 2700 hasta 4600 m.s.n.m. El objetivo es determinar los factores ambientales que definen los patrones de distribución espacio-temporal de la comunidad de aves del distrito entre los años 2015 – 2016, desde el enfoque de Sistemas Complejos Adaptativos. Los registros de aves fueron obtenidos mediante el método de transectos, siendo un total de 44 transectos distribuidos en siete diferentes formaciones vegetales. Los factores ambientales se obtuvieron mediante herramientas de SIG y paisaje, cobertura de estructura vegetal y percepción cognitiva del impacto humano, respectivamente. La determinación de la variación espacio-temporal de la comunidad de aves fue analizada a partir de la diversidad alfa y los atractores. La relación entre las variables comunitarias y los factores ambientales fue descrita con el Análisis de Correspondencia Canónica, previamente comprobados con estadística multivariada. Se reconoce una variación temporal entre temporadas lluviosas y secas, registrando una redundancia funcional de especies granívoras con comportamientos gregarios en las temporadas secas y la dominancia de *Colibri coruscans* en las temporadas lluviosas. Los matorrales y ciertas agriculturas son considerados “fuentes de diversidad” de aves y con diferentes atractores espacio-temporales debido a la complejidad del ambiente (Ley de Ashby). La temporada lluviosa homogeniza las áreas de agricultura y matorral en un mismo atractor favoreciendo en la formación de corredores biológicos. Por último, las relaciones de los factores ambientales con las comunidades de aves se agruparon en: a) factores antrópicos de manera directa e indirecta (atractor de agricultura-matorral), b) altas pendientes y baja intensidad de presencia humana (atractor pajonal-matorral), y c) grado de humedad del suelo (atractor humedal y pajonal-césped).

**Palabras clave:** *comunidad biológica, aves, sistemas complejos adaptativos, diversidad, Cajatambo.*

## ABSTRACT

This case of study aim to recognize some ecological process exhibited by bird communities, as an complex adaptive system, in an agroecosystem located in the central western slope of the Peruvian Andes (Cajamtambo District, Cajatambo province, Lima Region) with an altitude ranging from 2700 to 4600 masl. The goal is to determine environmental factors that defined spatial-temporal distribution patterns of the bird community occurring at the Cajatambo district, between 2015 – 2016, under a Complex Adaptive System approach. Birds were surveyed using the transect method, with a total of 44 transects from across seven vegetal formations. Environmental factors were recorded using GIS and landscape tools, plant coverage structure, and the cognitive perception of human impact, respectively. We analyzed spatial-temporal variation of the bird community under study through alpha diversity and attractors. Moreover, the relationship between community variables and environmental factors was described by using Canonical Correspondence Analysis, previously checked with multivariate statistics. We recognized a temporal variation between wet and dry seasons, exhibiting a functional redundancy of granivorous species with gregarious behavior during the dry seasons, and a dominance of *Colibri coruscans* during the wet season. Scrubs and agriculture fields are considered as “source of diversity” of bird communities with presence of different spatio-temporal attractors due to the complexity of the environment (Ashby’s Law). The wet season tends to homogenize agricultural fields and scrublands a same attractor, thus favoring the formation of biological corridors. Finally, the bird community under study was associated with different environmental factors such as a) the anthropic factor (agriculture-scrub attractor), b) the high slopes and low intensity of human presence (pajonal-scrub attractor), and c) the degree of soil moisture (wetland and bunch grass-short grass attractors).

**Key words:** *biological community, birds, adaptive complex systems, diversidad, Cajatambo.*

## I. INTRODUCCIÓN

El funcionamiento de los ecosistemas, con carácter epistémico y ontológico, tiene importancia en la definición de la gestión de los ecosistemas a diferentes niveles (ambiental, diversidad biológica, entre otros), explicando las particularidades de los elementos y sus relaciones en el sistema. A partir de los paradigmas, como aproximación epistemológica, se refleja la cosmovisión de los procesos ecológicos como base de la racionalidad teórica de las diferentes herramientas, análisis y posibles resultados de la interpretación de los ecosistemas y las decisiones ambientales.

La dinámica de funcionamiento los ecosistemas podría ser unos de los temas importantes en la discusión del enfoque de la gestión de ecosistemas frente a los cambios “más evidentes” que atraviesan en la actualidad. En este caso, se puede comparar el enfoque tradicional de la sucesión ecológica y el enfoque de estados alternativos, a partir de comunidades biológicas. El enfoque de sucesión ecológica tiene énfasis en los cambios progresivos y graduales de la comunidad, con comportamientos predecibles de manera “natural” (Marshall, 1998). En el caso del enfoque de estados alternativos, se reconoce los múltiples estados y cierta incertidumbre en los cambios de estados de la comunidad (Westoby *et al.*, 1989), como comportamiento innato del propio sistema. Este último enfoque reconoce a los ecosistemas como sistemas complejos adaptativos ya que poseen características como la emergencia de propiedades con la interacción de sus partes (la interdependencia y la emergencia), autoorganización, el aprendizaje, razonamiento, entre otros (Earls, 2006; Cumming, 2011).

Los estudios de patrones espaciales (y temporales) describen las variables ambientales que permite interpretar procesos ecológicos, reconocer mecanismos relacionados a su distribución y discutir posibles cambios futuros con la finalidad de reconocer la funcionalidad de los ecosistemas (Maestre y Escudero, 2008). En el caso de las comunidades biológicas, se han estudiado sus patrones espacio-temporales con la finalidad de reconocer propiedades colectivas emergentes en la interacción de diferentes especies, que a su vez

permite realizar conjeturas sobre la causa de sus patrones (Begon *et al.*, 2006). Por ejemplo, se reconocen preferencia de hábitats, gradientes ambientales, dinámicas y comportamientos comunitarios, relaciones con factores ambientales, estrategias para la gestión de la diversidad biológica, entre otros (Sebastián-González *et al.*, 2013).

Las aves pueden considerarse como variables biológicas para la determinación de ciertos procesos ecológicos, implicados en el control biológico y dispersión de semillas y polen. Cody (1985) citado en Gibbons *et al.* (2016) menciona que “las aves son excelentes organismos de estudio de preferencia de hábitat porque son altamente móviles y así encuentran muchos hábitat que elegir”; por lo tanto, su distribución puede ser el resultado de la selección espacial y su variación temporal a nivel de meso-escala. La ventaja de estudiar a las aves es que es uno de los grupos biológicos terrestres con mayor número de especies, presentes en la mayoría de los ecosistemas y son relativamente muy abundantes (Ralph *et al.*, 1996); incluso es uno de los grupos más estudiados y no presenta insuficiencia taxonómica para la determinación de las especies.

En los Andes peruanos, se reconocen ciertos procesos sociales y ecológicos que podrían expresarse en las comunidades biológicas. Como estudio de caso, el distrito de Cajatambo (provincia Cajatambo, departamento de Lima, Perú) atraviesa un cambio de uso de tierra por abandono y por procesos naturales a la vez. Walsh Perú (2009) reconoce el proceso de abandono de tierras de la agricultura de laderas, probablemente relacionado a diferentes sucesos sociales como el terrorismo, la migración, la fragmentación de la provincia, entre otros (Miranda Valdivia, 2011). Arnao (2017) agrega que existen dinámicas propias del sistema debido al cambio, persistencia y retorno de cobertura vegetal. Quinteros y Sánchez (2017) mencionan que la diversidad vegetal (y por extensión a otros grupos biológicos) se desarrolla en tanto las actividades humanas se lo permiten.

La investigación brinda información sobre los patrones de la comunidad de aves (como Sistema Complejo Adaptativo) y sus relaciones con los factores ambientales, en el contexto de áreas de abandono de zonas agrícolas y limitada actividad agropecuaria, con la finalidad de reconocer algunos de los procesos ecológicos en una zona de los Andes centro-occidentales. En ese sentido, la presente investigación de tipo exploratoria tiene por objetivo

general determinar los factores que definen los patrones de distribución espacio-temporal de la comunidad de aves del distrito de Cajatambo en los años 2015 – 2016, desde el enfoque de sistemas complejos adaptativos. Por ende, los objetivos específicos fueron: 1) analizar la variación espacio-temporal de la comunidad de aves en el periodo 2015 – 2016, y 2) determinar los factores ambientales (físicos, biológicos y antrópicos) potencialmente influyentes en la comunidad de aves.

La presente investigación pretende aportar tanto en la discusión de temas ecológicos con respecto a los enfoques de investigación como también en brindar información al distrito de Cajatambo sobre la importancia de la comunidad de aves. En primer lugar, se aplica los conceptos y herramientas para la gestión de diversidad biológica a nivel de comunidades que ayudan en su descripción, bajo el enfoque de Sistema Complejo Adaptativo. En segundo lugar, en el contexto de posibles cambios de uso de tierras para actividades económicas, se pretende revalorar los espacios a partir de los procesos ecológicos que ocurren en la comunidad de aves, como un elemento de las dinámicas de los ecosistemas.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 SISTEMAS COMPLEJOS ADAPTATIVOS

La “ciencia de las partes” es el paradigma científico reduccionista que tiene como eje principal la descomposición del sistema en sus componentes. Earls (2006) menciona que este paradigma se estableció con la propuesta investigación científica de Isaac Newton en la mecánica clásica, con gran éxito y aceptación en todos los campos de la ciencia. Morin (2004) señala que “el conocimiento científico clásico ha explicado lo visible complejo por lo invisible simple mediante las creaciones de dogmas, como leyes que gobiernan los elementos fundamentales de la materia”. Agrega también que el paradigma clásico (simplificador) posee ciertas reglas, por ejemplo: principio de legislar (“ciencia de lo general”), desconsideración del tiempo como proceso irreversible, reducción de partes, Orden-Rey (“indeterminismos como insuficiencia de nuestros conocimientos”), causalidad simple (externa y lineal), disyunción entre el objeto y medio ambiente, como los principales. Sin embargo, en ciertas ciencias (como las sociales), este paradigma no podía explicar ciertos procesos ya que en el conjunto se perdían propiedades que no existen en el nivel de elementos que la componen (Earls, 2006).

No obstante, la ciencia de la complejidad tiene como objetivo interactuar con todas las disciplinas para encontrar principios universales del funcionamiento de los sistemas complejos, entendiendo los eventos *a posteriori* como forma de previsión (Earls, 2006). Este paradigma sigue la tradición de la teoría general de sistemas de von Bertalanffy, incluyendo a nuevos conceptos que surgieron en las últimas cuatro décadas tales como la teoría de catástrofes, la teoría del caos y la complejidad, la termodinámica sin equilibrio, la auto-organización y la teoría de la información (Kay *et al.*, 1999). Los sistemas complejos se han diferenciado tradicionalmente de otros tipos de sistemas por su comportamiento, en lugar de la cantidad o disposición de sus elementos, obteniendo una fuerte conexión con su arquitectura (Cumming 2011). Kay *et al.* (1999) y Cumming (2011) describen las principales

propiedades de los sistemas complejos, tales como: los comportamientos no-lineales, holárquicamente anidados (sistemas dentro de un sistema), causalidad interna (propensión, *sensu* Popper), los múltiples estados estables o atractores, ventana de vitalidad (niveles mínimos y máximos que existe la auto-organización), comportamiento catastrófico (bifurcaciones, discontinuidades y ciclo adaptativo) y caótico (baja predictibilidad).

Las propiedades emergentes, a partir de la integración de elementos de un sistema, es una de las características que estudia este paradigma de la complejidad debido a que se presentan a partir de su auto-organización (Earls, 2006). Desde el punto de vista termodinámico, Kay *et al.* (1999) señalan que la auto-organización está relacionada con el flujo de exergía (energía de alta calidad), utilizado para construir, organizar y mantener sus estructuras en el tiempo. Un sistema abierto con exergía bombeado hacia sí mismo, se aleja del equilibrio; de tal modo que el sistema se resiste, respondiendo espontáneamente con un comportamiento organizado nuevo y reconfigurado. En ese sentido, agregan que estos sistemas mejoran su capacidad de disipación de energía al construir más estructura; sin embargo, fuera de los límites de su distancia del equilibrio (“ventana de vitalidad”), su capacidad organizativa se ve superada y el comportamiento del sistema abandona el dominio de la auto-organización y se vuelve caótico.

Frente a los comportamientos de los sistemas complejos adaptativos, registran patrones que podrían ser expresados en múltiples atractores (estados alternativos). Kay *et al.* (1999) menciona que el término atractor viene de la descripción del comportamiento de un estado fase de un sistema que tiene una propensión a permanecer en un dominio limitado, como una “atracción”. Cumming (2011) agrega que los atractores son combinaciones de valores de parámetros en los que el sistema tiende a moverse. Sin embargo, en un estado fase existen algunas zonas que son atractores y otras que pueden ser completamente insostenibles por un sistema dado. La definición de atractor es interesante ya que intrínsecamente acepta que el sistema evoluciona y cambia la atracción entre los elementos (por ende, su organización), dando la posibilidad de tener diferentes atractores o estados operativos y que puedan divergir repentinamente de cualquiera de éstos (Kay *et al.*, 1999).

La permanencia en un atractor dependerá de las características del sistema, expresados en su resiliencia y transformabilidad. La resiliencia es denominada el grado en el sistema es capaz de autoorganizarse frente a perturbaciones, absorbiendo sus efectos y aún permanecer dentro de un mismo estado o dominio de atracción (Folke *et al.*, 2002; Walker *et al.*, 2004). Esta característica permite al sistema construir e incrementar la capacidad de aprendizaje y adaptación (Carpenter *et al.*, 2001; citado en Folke *et al.*, 2002). En cambio, “la transformabilidad está relacionado a la capacidad de crear un atractor fundamentalmente nuevo cuando las condiciones ecológicas, económicas o sociales (...) hacen que el sistema sea insostenible, para obtener estabilidad mediante la introducción de nuevos componentes y formas de vida, cambiando así las variables de estado, y con frecuencia la escala, que definen al sistema” (Walker *et al.*, 2004).

## **2.2 COMUNIDAD BIOLÓGICA**

La idea de comunidad biológica podría estar ligado a dos definiciones muy contrastantes sobre las relaciones comunitarias en ecología: la teoría del superorganismo de Clements y la teoría individualista de Gleason.

Clements denomina a la comunidad como “unidad ecológica superorganísmica” ya que es como una entidad unida compuesta de elementos no separables, partes que actúan de manera unificada, integrada e interdependiente hacia una agenda común: el mantenimiento de la entidad de la unidad en su conjunto (Marshall, 1998). La sucesión de la comunidad vegetal, según Clements (“monoclimática”), complementa con la idea de desarrollo de un solo tipo de comunidad ya que los factores ambientales de una determinada región climática son determinantes (Eliot, 2007). Además, agrega que esta comunidad es estable ya que está en equilibrio con el clima y no presenta ningún grado de perturbación. Los procesos de este tipo de suceción de las comunidades que describe Clements son similares a la ontogenia de un individuo, desde el nacimiento hasta la madurez, igualando estas comunidades con organismos (Barbour, 1996; citado en Eliot, 2007). Esta descripción es muy criticada debido a que se le considera como “teleológico (finalista) y ortogenético (llega a una única meta), influido por ideas de co-adaptación de múltiples especies de determinada comunidad” (Jaksic & Marone, 2007).

En cambio, Gleason denomina a la comunidad como “asociaciones ecológicas desunidas” ya que es un grupo de organismos distintos, organismos “unitarios” que viven juntos, que actúan de manera individualista y sin una agenda común (Marshall, 1998). Eliot (2007) señala que, desde el concepto de Gleason, los grupos de especies no aparecen, ni se elevan y caen en abundancia sincrónicamente a través del paisaje, ya que las ocurrencias de especies no son interdependientes. En ese sentido, Gleason abogaba como principal mecanismo causal de las comunidades son las respuestas fisiológicas de los organismos al ambiente físico, a diferencia de Clements que enfatizaba al papel de las relaciones biológicas (Jaksic & Marone, 2007).

Marshall (1998) muestra un espectro de las comunidades con respecto a los mecanismos de las comunidades descritos por Gleason (valores cercanos a cero, sin integración comunitaria) y Clements (valores cercanos a uno, con integración unitaria). El autor concluye que las comunidades no presentan los patrones definidos por Gleason y Clements, en su totalidad, sino en ciertos niveles. Por ejemplo, las comunidades de fitoplancton y las comunidades de humedales están más asociados al concepto de comunidad según Gleason y Clements, respectivamente.

### **2.3 ESPECIE CLAVE**

La determinación de especies clave en ecología es uno de los principales retos debido al enfoque de su definición y su alcance. En primera instancia, la especie clave es un tipo de indicador ecológico (dentro del grupo especies sucedáneas) que permite evaluar total o parcialmente los sistemas ecológicos de manera precisa y sencilla (Isasi-catal, 2011). Desde el punto de vista de redes tróficas con arquitectura de tipo pequeños mundos, las especies clave son las especies más conectadas con otras especies dado que su eliminación tiene grandes efectos sobre la estabilidad y persistencia de la red (Bond, 1993; citado en Montoya *et al.*, 2001). En ese sentido la recopilación de información requiere mayor minuciosidad debiendo encontrar las probabilidades de conexión entre diferentes especies en una escala temporal y espacial que muestre cierta confiabilidad, más aún en comunidades con alta riqueza de especies. La importancia del enfoque de especies clave es que la(s) especie(s) podrían influir dinámicamente en cualquier nivel trófico, y a su vez producir una cascada de

efectos, mucho de los cuales son indirectos (Paine,1995). Actualmente, el concepto se ha extendido ya que no solo afecta a otras especies, sino a la estructura y función del sistema natural (Isasi-catal 2011).

## 2.4 DIVERSIDAD BIOLÓGICA

El Convenio de la Diversidad Biológica (CDB) define a la diversidad biológica como la variabilidad de organismos vivos de cualquier tipo fuente, que puede comprender dentro de cada especie (genética), entre las especies (específica) y de los ecosistemas. En muchos casos, algunos autores definen a la diversidad biológica de manera similar a la biodiversidad, como al conjunto de esta riqueza biológica. Margalef (2002), desde una perspectiva ecológica, la define como el resultado de un conjunto de procesos de selección, adaptación mutua y persistencia de una muestra pluriespecífica extraída en determinado espacio y tiempo. Además, agrega que dentro de la diversidad biológica se presentan muestras que son vestigios de selecciones pasadas y otras muestras que son experimentos exploratorios como nuevas alternativas frente a los próximos cambios, confiriéndole a la definición un carácter adaptativo y evolutivo.

El estudio de la diversidad específica en las comunidades podría realizarse en tres niveles, tal como estableció Whittaker (1956, 1960), con la finalidad de comprender los procesos ecológicos de manera integrada. Estos tres niveles fueron denominados como:

- La diversidad alfa es la diversidad de especies de un sitio o comunidad, en un estrato dado o grupo de organismos. Es categorizada como la diversidad más común entre los demás niveles ya que es uno de los temas principales en la ecología de comunidades y la biología de la conservación (Moreno *et al.*, 2011). Krebs (2014) añade que entre las interpretaciones de esta diversidad, al igual que la gamma, inicialmente fueron mediante la riqueza de especies y posteriormente se incluyó la equidad y la heterogeneidad (relación entre riqueza y equidad).
- La diversidad beta es denominada como el grado de cambio o diferenciación en la composición de las comunidades, en relación a una gradiente ambiental u otros

patrones ambientales. Magurran (1988) considera a este nivel de diversidad como la medida de similitud de rango de hábitats o muestras, en términos de la variedad de especies (y muchas veces de sus abundancias) encontradas. Actualmente existe una gran proliferación de conceptos y mediciones de la diversidad beta debido a la magnitud que engloba diferentes dimensiones: recambio de especies, anidamiento, variación y diferenciación de ensambles de especies (Calderón-Patrón *et al.*, 2012). La importancia de la diversidad beta es que sirve para la integración de los cambios en comunidades biológicas en diferentes estructuras del paisaje que presentan variables ambientales específicas (Moreno, 2001).

- La diversidad gamma es la diversidad total de especies de un número de muestras para algún grupo de ambientes, integrando a la diversidad alfa y beta. Esta diversidad es el resultado de los procesos histórico-geográficos que actúan a nivel de mesoescala (Halffter y Moreno, 2005).

Los ecólogos han desarrollado formas de medir la diversidad biológica a partir de los conceptos mencionados, proponiendo múltiples índices relacionados como una forma de indicar el “bienestar” de los sistemas ecológicos, considerado como tema central en la ecología, pero aún debatidos (Magurran, 1988). Actualmente, el concepto de los índices de diversidad está relacionado posiblemente al funcionamiento de los ecosistemas por medio de la estructura de las comunidades (Moreno *et al.*, 2011). Esta complejidad de la definición de la diversidad expresada en datos cuantitativos es una de las discusiones que se ha generado polémica durante más de medio siglo. Magurran (2004) aclara que los índices de medidas de diversidad biológica están basados en tres suposiciones: todas las especies son iguales (no distingue especies en peligro de extinción o contribución hacia el ecosistema), todos los individuos son iguales (no separa a los individuos de mayor *fitness* de otros de su misma especie) y la abundancia de especies ha sido recolectada usando unidades apropiadas y comparables entre sí (no se puede comparar diferentes unidades de medición).

En los años 60 y 70, diferentes autores han elaborado una variedad de índices que actualmente confunden a los investigadores debido a la mala terminología y una serie de posibles medidas (Krebs, 2014). “La idea básica de los índices de diversidad es generar datos

cuantitativos de la variabilidad biológica que pueda ser usado para comparar ‘entidades’ biológicas, compuesto de componentes discretos, en el espacio o en el tiempo” (Heip *et al.*, 1998). Estos investigadores señalan que existe dejadez en utilizar los índices ya que no consideran sus supuestos y errores. Asimismo, Margalef (1991) menciona que la diversidad que se estima por medio de estos índices de diversidad es arbitraria a cierta comunidad (“taxocenosis”) de modo que no representa la diversidad total. Por estas razones es que los índices de diversidad no son sinónimos de la diversidad *per se*, sino son aproximaciones que deben usarse cautelosamente (Jost, 2006).

## 2.5 VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL

La variación espacio-temporal es un conjunto patrones espaciales de los objetos que se desarrolla a través del curso del tiempo en un determinado contexto, desde distribuciones de partículas en la física hasta distribuciones de organismos en la biósfera (Dieckmann *et al.*, 1999). Los estudios en ecología clásica están ligados a estos términos debido a que las especies, mediante sus interacciones intraespecíficas, interespecíficas y con su propio medio, generan sus nichos ecológicos como resultado de sus adaptaciones e historia natural (Krebs, 1985; Ramírez González, 2005; Begon *et al.*, 2006). Tanto las variables abióticas y bióticas (incluyendo las antrópicas) que definen los ecosistemas, presentan generalmente patrones marcados que son clave para entender dichas relaciones ligadas al mantenimiento de su estructura, funcionamiento y dinámica de los ecosistemas (Maestre y Escudero, 2008).

Los tratados de Ecología no prestaban atención especial a aquellos rasgos de la organización de los ecosistemas que se relacionan con la extensión en el espacio de los mismos. Por ejemplo, el uso modelos que prescindían del espacio, como si todos los sucesos ocurrieran en un mismo punto. Wiegand y Martínez (2009) señalan que el espacio no fue considerado de forma explícita a pesar de su importancia desde el nacimiento de la Ecología. A diferencia de los últimos 40 años, se ha incorporado el componente espacial en los estudios ecológicos que llevo a cabo el impulso de nuevas herramientas para caracterizar y analizar las relaciones espaciales. Margalef (1980) señala que los modelos y análisis ecológicos no pueden dejar de lado los cambios espaciales y temporales, pues las especies contribuyen en distinta medida a organizar el ecosistema por su interrelación con otras especies en ambos niveles.

Kattan y Franco (2004) indican que existen múltiples escalas espaciales y temporales donde los factores afectan a la diversidad de especies; así que recomiendan analizar en dos escalas espaciales: 1) escala de la comunidad local relacionado a los factores físicos y ecológicos tales como clima local, ecotonos, competencia y estructura y heterogeneidad de hábitats que juegan un papel determinante en la diversidad de especies, y 2) escala de la comunidad a regional asociado a factores biogeográficos tales como gradientes de área, aislamiento y climáticos, y efectos masivos que son determinantes en la riqueza de especies (componente histórico y evolutivo). Margalef (1991) presenta una sugerencia similar para el estudio de la organización de los ecosistemas, que incluye tener un nivel denominado “relaciones entre sistemas en sus fronteras”. La importancia de este nivel radica en que estas fronteras pueden estar asociadas a gradientes importantes en los factores del medio.

En las últimas décadas, se han desarrollado un conjunto de técnicas y métodos cuantitativos para el análisis los patrones espacio-temporales, que permitió los estudios de ecología de comunidades como un todo (Morín 1999; citado en Sebastián-González *et al.*, 2013) con la finalidad de realizar análisis más globales de las relaciones de las especies entre ellas y con sus hábitats. Dieckmann *et al.* (1999) indican que el desarrollo de las matemáticas, la física teórica y computación abren paso a las nuevas oportunidades para lograr una síntesis de los aspectos espacio-temporales. A pesar de los importantes avances en las técnicas de análisis, éstos no permiten determinar los procesos determinantes en el sistema en estudio; pero proporcionan información básica para sugerir conjeturas, construir y/o validar teorías ecológicas, diseñar y/o mejorar experimentos, gestionar especies y hábitats y minimizar posibles impactos ambientales, entre otros (Maestre y Escudero, 2008).

## **2.6 AVES EN ECOSISTEMAS ANDINOS**

Los Andes tropicales son considerados como centros de diversidad y endemismo de especies de aves (Myers *et al.*, 2000; Fjeldså y Irestedt 2009; Herzog *et al.*, 2012) debido a la gran variedad de estratos altitudinales, por ende a la variabilidad climática y de formaciones vegetales. Claramunt y Cracraft (2015) mencionan que el ancestro común de la mayoría de las especies actuales (Neornites) se originó en Sudamérica, hace 95 millones de años en el Cretácico superior. Herzog *et al.* (2012) reconocen más de 2000 especies de aves y más de

600 son endémicas de los Andes Tropicales, aproximadamente el 22 y 28 por ciento de todas las especies actualmente conocidas, respectivamente.

La zona altoandina es una región de los Andes con condiciones ambientales extremas, donde las diferentes especies se han adaptado, intentan establecerse y mantenerse en estas áreas. Dorst (1957) menciona que las dificultades que atraviesan las especies se ven expresadas en la comparación de la riqueza de fauna con zonas vecinas, especialmente de las estribaciones de la Amazonía oriental de los Andes. Frente a este escenario, se han registrado diferentes tipos de adaptaciones en las especies de aves. Entre las adaptaciones morfológicas, se evidencian que las alas de las aves son más largas por el aire enrarecido y la baja presión, o que los colores son miméticos debido a su tipo de cobertura vegetal (Brack y Mendiola, 2000). Las adaptaciones fisiológicas generalmente están ligadas a la condición de hipoxia y temperatura, como modificaciones en el transporte de oxígeno (Faraci, 1991) y la termorregulación (Londoño *et al.*, 2017). En cuanto a las adaptaciones ecológicas y de comportamiento, las aves buscan lugares más abrigados por lo que construyen nidos hipógeos, entre rocas y vegetación frondosa (Dorst, 1957; Dorst 1962; citado en Brack y Mendiola, 2000). El resultado frente a múltiples factores expresados en estas adaptaciones ha influenciado en la historia natural de las poblaciones de aves expresándose en las distribuciones espacio-temporales (Kattan y Franco, 2004).

Según Herzog *et al.* (2012), las aves son probablemente el grupo de animales mejor conocido pero que aún tiene desafíos para la investigación en los ecosistemas altoandinos. Entre uno de los principales temas que se señalan es referido a las variaciones altitudinales, que incluyen todos los gradientes forestales, relacionados con sus factores y mecanismos que influyen en la diversidad. Se han realizado algunas investigaciones afines a este tema, por ejemplo Sevillano-Ríos y Rodewald (2017) estudiaron la asociación de las comunidades de aves en cuatro tipos básicos de hábitat del Parque Nacional Huascarán: bosques de baja elevación de *Polylepis sericea*, bosques de alta elevación de *Polylepis weberbaueri*, césped de puna y matorral; Martínez y Rechberger (2007) reconocieron los cambios de composición de aves con relación a la altura y sus recursos presentes en un bosque nublado andino en La Paz – Bolivia; López-Ordóñez *et al.* (2013) comentaron sobre las distribuciones altitudinales y geográficas de las especies de aves en los Andes Oeste de Colombia y su relación con el impacto antropogénico en los hábitats presentes, entre otras investigaciones. La relación

entre el hábitat y las aves ha atraído durante mucho tiempo la atención de los investigadores que trabajan para comprender los principios y procesos ecológicos (Gibbons *et al.*, 2016).

Desde el punto de vista de la cosmovisión andina, las aves son protagonistas de mitos, leyendas, simbologías y percepciones de diferentes especies presentes en su entorno. Por ejemplo, en los tiempos preincaicos se consideraba a las especies voladoras (generalmente aves) como parte del mundo superior “Hanan pacha”, dominado por el cóndor al ser considerado como mensajero de los Apus (Qhapaq Amaru, 2012; Morales, 2010). Otros ejemplos denominan a las aves como presagio de muerte (Bascopé Caero, 2001), uso de domesticación y alimentación (Grebe, 1984), indicadores climáticos para la siembra y cosecha (Claverías, 2000), uso de plumas como indumentaria (Hagiwara Grández, 2014), perjudiciales para la producción agrícola y como medicina tradicional (Morales, 2010). Estos conocimientos tradicionales podrían indicar que las características biológicas y ecológicas de las especies o grupos de especies; sin embargo, existe una tendencia de la pérdida del conocimiento debido a la ruptura de la unidad sociedad-naturaleza.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio está ubicada en el distrito de Cajatambo, provincia de Cajatambo, en el departamento de Lima, al noreste de la ciudad capital (aproximadamente en 10°28'S, 76°59'O). Posee un área aproximada de 246.37 km<sup>2</sup> y una variación altitudinal de 1950 hasta 5600 msnm, dentro de las cuencas principales del distrito: Cuchichaca y Pumarinri. El distrito colinda con la Zona Reservada Cordillera Huayhuash y el Área de Conservación Privada Huayllapa.

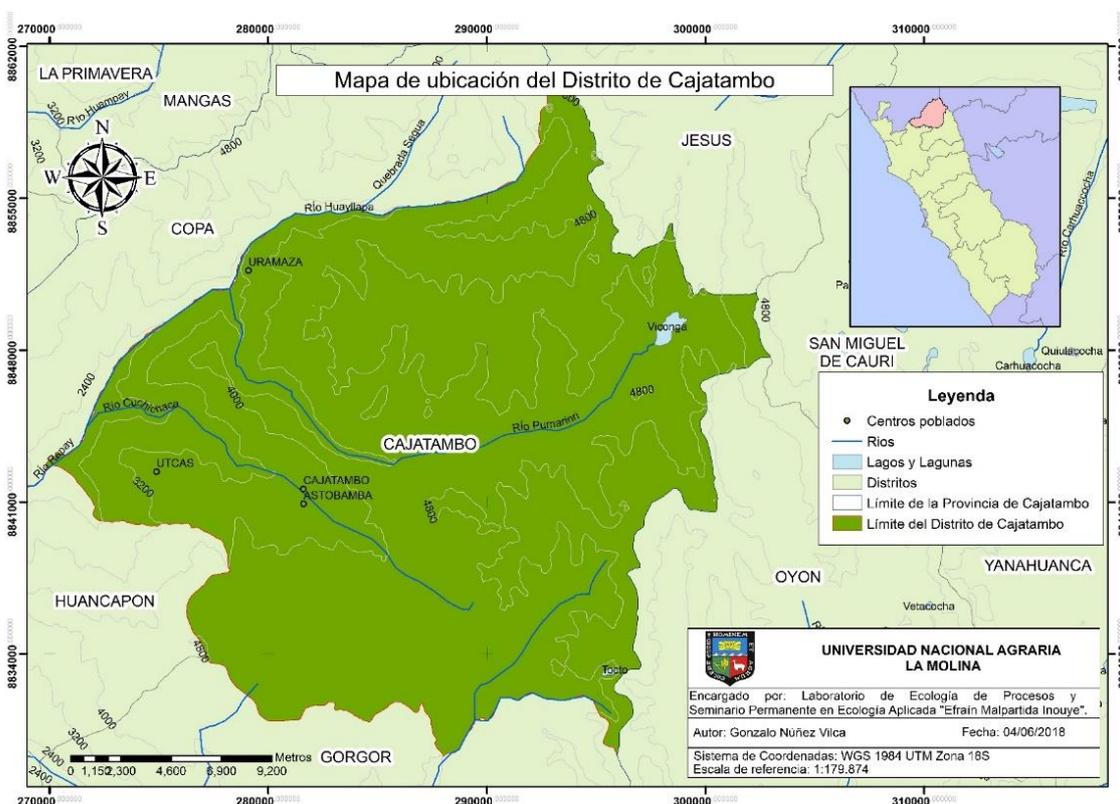
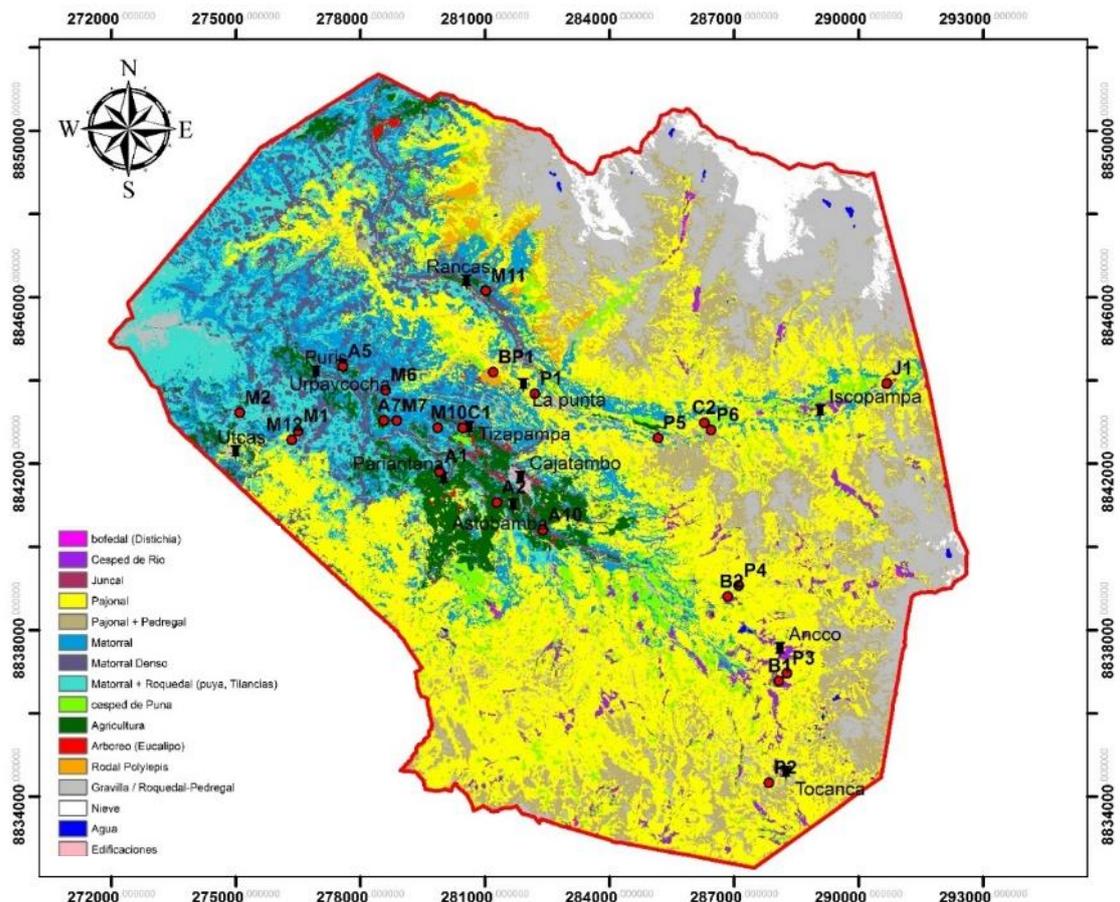


Figura 1. Ubicación del distrito de Cajatambo

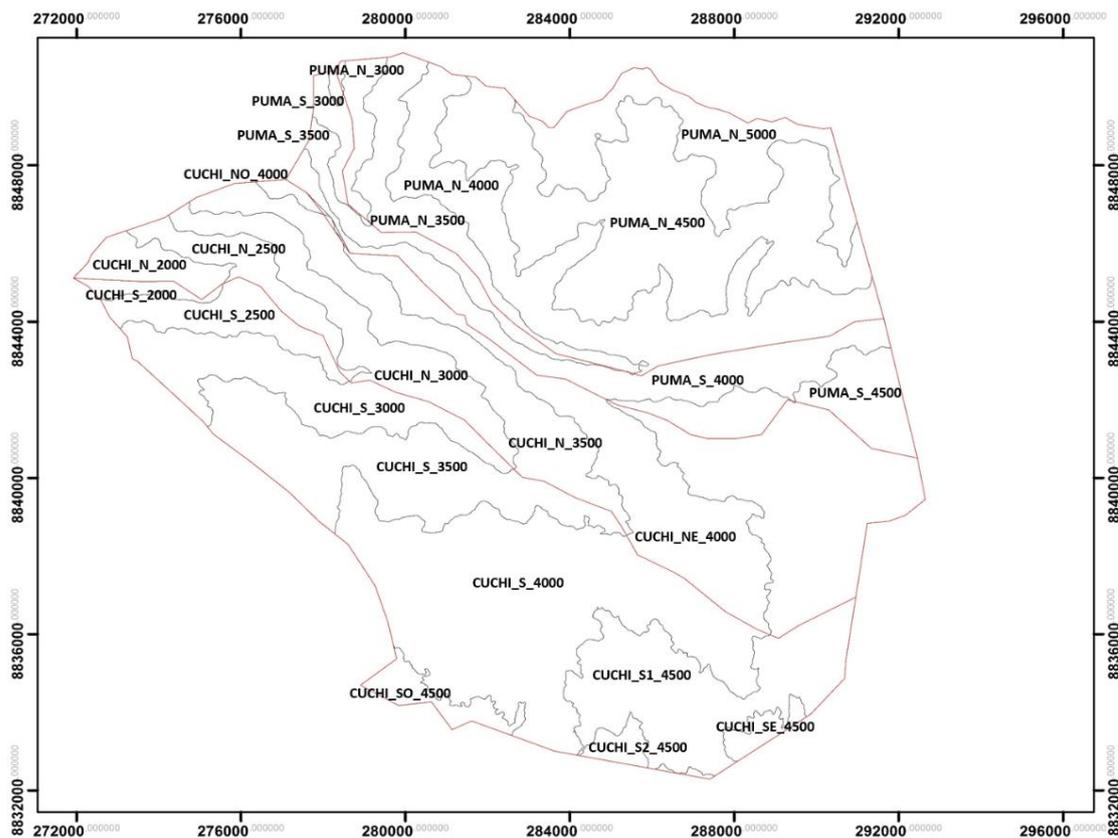
FUENTE: Gonzalo Núñez

Mediante el proyecto “Determinación de criterios para el establecimiento de estándares de calidad ambiental para la diversidad biológica. Estudio de caso: Distrito de Cajatambo”, Arnao (2017) delimitó las formaciones vegetales en el área de estudio a partir de una clasificación supervisada en la imagen satelital GeoEyes del año 2014 (Figura 2). En total se reconocieron 13 formaciones vegetales: Pajonal, Gravilla, Matorral, Pajonal+ pedregal, Matorral+ roquedal, Matorral denso, Césped Puna, Agricultura, Nieve, Césped de rio, Rodal de Eucalipto, Arbóreo (Bosques de *Polylepis*), Agua, Edificaciones, Juncal y Bofedal (Arnao 2017). Además, se dividió el área de estudio en 26 subunidades del paisaje definidos por las microcuencas, exposición e intervalos de altitud de 500 metros, ajustándolo al piso ecológico correspondiente (Figura 3). Cada unidad de paisaje presenta un código asociado a la microcuenca (Cuchi: Cuchichaca o Puma: Pumarinri) y el valor inicial del rango de altitud establecido (en metros).



**Figura 2. Mapa de coberturas vegetales del área de estudio.**

FUENTE: Arnao (2017)



**Figura 3. Mapa de las subunidades de paisaje del área de estudio**

### 3.2 MATERIALES

Materiales de campo:

- Binoculares
- Libreta de campo
- Guía de identificación de aves: *Birds of Peru* (Schulenberg *et al.*, 2010)
- Lápiz y borrador
- GPS

Programas:

- ArcGis 10.4
- Programa EstimateS 9.0
- Paquete estadístico PAST 3.07 y Minitab 16
- Programa FRAGSTATS 4.2
- Microsoft Office: Word y Excel

### 3.3 METODOLOGÍA

#### 3.3.1. Evaluación de comunidad de aves

El método de evaluación fue transectos con franjas limitada a 30 metros en ambos lados y con una longitud de 500 metros, donde se contaron los individuos observados dentro de esta área (Bibby *et al.*, 1992). La distancia fue estimada mediante el conteo de pasos en tramos de 100 metros, realizado por un asistente. La determinación de las especies registradas fue mediante la observación directa, ayudada por los cantos en caso de no reconocerla. En las evaluaciones, se consideró evitar los sesgos metodológicos que mencionan Bibby *et al.* (1992) para realizar el registro de manera sistemática. Por ejemplo, no se contó a los individuos que vuelan en la misma dirección del recorrido desde la espalda del observador para evitar el recuento, se realizó cada transecto con similar esfuerzo y velocidad sin importar el hábitat (aprox. 7 – 9 min/100 m), no se evaluó cuando persisten las condiciones climáticas adversas para los observadores como lluvia o granizo y se realizaron las observaciones entre las 7:30 am – 11:00 am y 1:00 pm – 4:30 pm.

En total fueron evaluados 44 transectos, al menos dos veces en diferentes temporadas, desde los 2798 msnm hasta los 4558 msnm (Anexo 1). La cantidad de muestras fue determinada a partir de la delimitación de las formaciones vegetales y sus respectivas superficies en el área de estudio, mediante el uso de un muestreo estratificado con afijación proporcional al área. Por esta razón, el recorrido de cada transecto fue circunscrito a la formación vegetal predominante. Cabe mencionar que los transectos fueron codificados con la letra inicial de su formación vegetal de la siguiente manera “A” de agricultura, “M” de matorral, “P” de pajonal, “C” de césped, “B” de bofedal, “J” de juncal, “Beu” de Bosque de Eucalipto, “BP” de bosque de *Polylepis*, “G” de gravilla y “AV” de Agricultura-Vivienda.

Las evaluaciones se ejecutaron en dos salidas anuales, tanto en la temporada lluviosa (diciembre - abril) como la temporada seca (julio – setiembre) en los años 2015 – 2016, denominándose Lluvia 2015, Seca 2016, Lluvia 2016 y Seca 2016, respectivamente. El análisis de la comunidad de aves fue con los transectos que se evaluaron en cada muestreo, que en total fueron 24, para obtener una comparación espacio-temporal con los mismos grados de libertad en cada transecto.

### 3.3.2. Determinación de factores físicos, biológicos y antrópicos

Los factores físicos fueron tomados a partir de la forma del terreno (fisiografía) del distrito y del mosaico de paisaje. Los primeros factores fueron la altitud y pendiente (pdnt) de cada transecto obtenidos mediante GPS y el *raster* del Modelo de Elevación Digital (DEM), respectivamente, con ayuda del programa ArcGis 10.4. Los segundos factores fueron los índices a nivel de clase como Porcentaje de Paisaje (PLAND), Índice del parche más grande (LPI) y Densidad de parches (PD), y a nivel de paisaje como Índice de diversidad de Shannon (SHDI) e Índice de diversidad de Simpson (SIDI), de cada sub-paisaje (que incluyen uno o más transectos), mediante el programa FRAGSTATS 4.2 (McGarigal y Barbara, 1995). Estos índices se calcularon a partir de las diferentes subunidades del paisaje establecidas en la figura 3.

Los factores biológicos fueron tomados específicamente de la estructura de la comunidad vegetal. Las variables de vegetación fueron las formas de vida y estrados de la vegetación, a partir de una modificación de la clasificación de Küchler y Zonneveld (1988) propuesto por A. Ceroni (comunicación personal, 20 de octubre de 2017) en un área de 20 x 20 m, donde se obtiene de la matriz de ambas variables (Anexo 2). Las coberturas fueron transformadas con el valor promedio de los intervalos preestablecidos, con la finalidad de obtener valores referentes de cobertura total y diversidad.

El factor antrópico fue nominado como “Intensidad de Presencia humana” (IPH), determinado mediante mutuo consenso inter-cognitivo de percepción de cada transecto con respecto al impacto humano, en diferentes dimensiones (construcciones, contaminación, actividades antrópicas, viviendas, etc). Las personas participantes fueron los miembros del equipo del proyecto quienes conocen los transectos evaluados. Este factor fue hallado a partir de una clasificación de alta, media y baja intensidad de presencia humana (Alta IPH, Media IPH y Baja IPH, respectivamente), registrándose los porcentajes de cada clasificación (E. Sánchez, comunicación personal, 16 de noviembre de 2018). Cabe mencionar que todas las zonas visitadas poseen cierta intensidad de presencia humana, es decir que el 100 por ciento de Baja IPH no significa un lugar prístino o sin perturbación antrópica.

### 3.4. DEFINICIONES OPERACIONALES

#### 3.4.1. Índice de abundancia relativa al espacio (IARE)

En la mayoría de los estudios para la diversidad de aves es una dificultad obtener una la densidad real debido a la metodología usada, es por ello que las abundancias relativas pueden ser buenos estimadores. En este caso el IARE es un buen índice para metodologías, como el transecto, donde se realizan recorridos en el espacio. Quinteros *et al.* (2002) recomiendan este índice ya que existe una relación lineal cuando las densidades de los individuos son bajas. El IARE consta en dividir el número total de individuos de una especie sobre la distancia recorrida multiplicada por 100, interpretándose como número de individuos observados en cada 100 metros (Ind/100 m). Cabe mencionar que cada valor de IARE fue hallado a partir de la distancia recorrida según la escala espacial que se analiza

#### 3.4.2. Estimador de la Cobertura basado en la Abundancia (ACE, siglas en inglés)

Aplicado para conjuntos con varias especies raras, tiene en cuenta la frecuencia de conteos para las especies raras  $f_1, f_2, \dots, f_k, \dots, f_R$ , donde  $R$  es la frecuencia límite entre las especies raras y comunes en la muestra de referencia (Colwell *et al.*, 2012). Las especies abundantes ( $S_{abund}$ ) son las que tienen más  $R$  individuos de la muestra y las especies raras ( $S_{rare}$ ) son las que tienen menos de  $R$  individuos (Chao, 2005). Asimismo, se recomienda usar un  $R$  igual a 10 de manera empírica. La fórmula para obtener la riqueza esperada con ACE (Chao y Lee, 1992; citado en Colwell, 2013) es:

$$S_{obs} = S_{rare} + S_{abund}$$
$$C_{ACE} = 1 - \frac{F_1}{N_{rare}}$$
$$N_{rare} = \sum_{i=1}^{10} iF_i$$
$$\chi_{ACE}^2 = \max \left[ \frac{S_{rare}}{C_{ACE}} \frac{\sum_{i=1}^{10} i(i-1)F_i}{(N_{rare})(N_{rare}-1)} - 1, 0 \right]$$

$$S_{ACE} = S_{abund} + \frac{S_{rare}}{C_{ACE}} + \frac{F_1}{C_{ACE}} V_{ACE}^2$$

$C_{ACE}$ : Cobertura estimada en base a la abundancia

$F_i$ : Frecuencias de especies “i” observadas

$V_{ACE}^2$ : Coeficiente de variación al cuadrado

$N_{rare}$ : Número total de individuos de la especie rara

$S_{rare}$ : Número de especies raras (igual o menor a 10 individuos)

$S_{abund}$ : Número de especies abundantes (mayor a 10 individuos)

### 3.4.3. Tasa de cambio

La tasa de cambio de la composición de especies entre cada evaluación, temporada y año fueron determinados mediante la tasa de renovación (TO) como proponen Smith y Smith (2007):

$$TO = (I + E) / (S_t + S_{t+1})$$

TO: Tasa de renovación en un intervalo de tiempo t y t+1.

I: Tasa de inmigración definido como el número de especies que están en la comunidad en el tiempo t+1 que no estaban presentes en el tiempo t.

E: Tasa de extinción local definido como el número de especies que estaban en la comunidad en el tiempo t y que no están presentes en el tiempo t+1.

S: Número total de especies en la comunidad en los tiempos t y t+1.

La tasa de cambio con valores cercanos a 0 significa que no hay ganancia o pérdida de especies durante la comparación entre tiempo, y los valores cercanos a 1 cuando la mayoría de las especies son reemplazadas en dicho intervalo de tiempo (Smith y Smith, 2017).

### 3.4.4. Índices de diversidad

**a. Shannon – Wiener ( $H'$ ):** Este índice tiene afinidad a la teoría de la información basada en que la diversidad, o información, en un sistema natural puede ser medido de manera similar a la información contenida en un código o mensaje (Magurran, 1988). El objetivo de

la teoría de la información es tratar de medir la cantidad de *orden* (o desorden) que contiene un sistema (Margalef, 1958; citado en Krebs, 1989). Moreno (2001) menciona que el índice asume la selección al azar de los individuos y la representación de todas las especies en la muestra, manifestado en la siguiente ecuación:

$$H' = - \sum_{i=1}^S (p_i)(\log_2 p_i)$$

H': Información contenida en la muestra (bits/individuo)

S: número de especies

p<sub>i</sub>: proporción de la muestra total perteneciente a la i-ésima especie.

En el caso de determinar una sola especie en la comunidad, el valor de H' será igual a cero, en cambio dependiendo de la incertidumbre de la comunidad obtendrá valores más altos. Cabe mencionar que este índice es sensible a cambios de "S" por lo que a su vez podría verse afectado por el esfuerzo de muestreo (Feinsinger, 2001).

**b. Equidad de Pielou (J')**: Mide la proporción de la diversidad observada con la diversidad máxima esperada en la comunidad (Magurran, 1988), representado en la fórmula:

$$J' = \frac{H'}{H'_{max}}$$

H' <sub>max</sub> = ln (S)

S: número de especies

El índice es restringido entre los valores de 0 a 1, en el cual mayores valores representan a las comunidades con similar abundancia entre las especies.

**c. Índice de Simpson (1/D)**: Es una medida de diversidad no paramétrica de la heterogeneidad que está relacionado inversamente con la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie (Krebs, 1989). Debido a esto, el índice está fuertemente influenciado por las especies más dominantes (Moreno, 2001). Uno de los

tipos de índice de diversidad más utilizado de Simpson es la inversa de Simpson, determinado por la fórmula:

$$\frac{1}{D} = \frac{1}{\sum p_i^2}$$

$p_i$ = proporción de la especie  $i$  en la comunidad

Este índice también es denominado como el Número de Hill 2 (N2), en el cual la unidad es representada como “especies igualmente comunes” (Heip *et al.*, 1998). El menor valor de este índice es 1 que representa una comunidad con una especie, por otro lado el mayor valor es el número de especies de la comunidad (Smith y Smith, 2007). Feinsinger (2001) menciona que este índice es sensible a cambios en la equidad de la muestra, por lo que no depende de las especies raras.

### **3.4.5. Análisis de conglomerados**

El análisis de conglomerados o *Cluster* tiene como principal objetivo agrupar elementos en grupos homogéneos de acuerdo a las similitudes o disimilitudes entre ellos, tanto variables como observaciones (Peña, 2002). Pérez López (2004) recomienda emplear varios métodos con el fin de contrastar los resultados, además de aplicar pruebas estadísticas comparativas convencionales entre los grupos. Los tipos de análisis *Cluster* pueden ser jerárquicos o no jerárquicos, donde el primero forma grupos que son dependientes a diferencia que el segundo; por ende el resultado de tipo jerárquico es un dendrograma (Pérez López, 2004). En el paquete estadístico PAST, este análisis no presenta supuestos pero al menos los datos deben ser medibles o representados en presencia/ausencia (Hammer, 2015). Asimismo es necesario tomar en cuenta tres pasos antes de iniciar un análisis de conglomerados: selección de las variables relevantes para identificar a los grupos, elección de la medida de proximidad o similitud entre los individuos y elección de criterio para agrupar individuos en conglomerados.

### **3.4.6 Análisis de Componentes Principales**

El Análisis de Componentes Principales (ACP) tiene como objetivo para reducir o simplificar la dimensión de las variables expresado en componentes principales, cuya interpretación posterior permitirá analizar el problema de manera más simple. Según Pérez López (2004), es común disponer de una serie de variables correlacionadas que al analizarlos son un problema porque impiden evaluar adecuadamente el papel que juega cada variable en el fenómeno estudiado. El fundamento para la elección de las componentes es por medio de sus varianzas, mientras tenga mayor varianza mayor información es la que lleva incorporada dicha componente. En otras palabras, si las variables originales están más correlacionadas la mayor parte de su variabilidad será explicada en pocas componentes (Pérez López, 2004). Hammer (2015) señala que el análisis es exitoso si la mayor parte de la varianza total se explica entre uno a dos componentes principales, a diferencia del caso en que la varianza se distribuye más o menos uniformemente entre los componentes. El supuesto del ACP es que las variables cuantitativas presenten una distribución normal multivariada. Los criterios para la elección del número de componentes óptimos son diversos, tales como el índice de Jolliffe, modelo aleatorio “Broken Stick”, acumulada (Jackson, 1993; Pérez López, 2004; Hammer, 2015) o de manera empírica considerar la cantidad de componentes con mayor al 70 – 80 por ciento de porcentaje de varianza.

### **3.4.7 Escalamiento multidimensional no métrico**

El Escalamiento Multidimensional No Métrico (siglas en inglés, NMDS) se basa en una relación no lineal entre las disimilitudes y las distancias en el plano cartesiano (Ramírez González, 2005). Este tipo multivariado puede interpretar variables con mediciones objetivas y/o valoraciones subjetivas de objetos o conceptos con la finalidad de comprender como los individuos perciben objetos y los esquemas, generalmente ocultos, que están detrás de esa percepción (Pérez López, 2004). El gráfico resultado de este método está compuesto por puntos que representan los objetos dispuestos a diferentes distancias, que son directamente proporcional a la analogía que existe entre ellos, dependiendo del índice de similitud utilizado. Una característica particular del NMDS es que intencionalmente no toma en cuenta las distancias absolutas y que no necesita cumplir algún supuesto, pero si contar dos o más variables ordinales o presencia/ausencia (Hammer, 2015).

Adicionalmente, Kruskal (1964) definió *stress* como medida de “bondad” de ajuste del algoritmo que denota la baja aptitud del modelo con valores altos de *stress*. Los valores oscilan entre 0 y  $(1 - (2/n))^{1/2}$ , siendo  $n$  el número de estímulos. La obtención de *stress* es a partir de la fórmula:

$$Stress = \sqrt{\frac{\sum_{i,j} (f(\delta_{ij}) - d_{ij})^2}{\sum_{i,j} d_{ij}^2}}$$

$f(\delta_{ij})$ : función de disparidades entre el elemento  $i$  y  $j$

$d_{ij}$ : distancia entre el elemento  $i$  y  $j$

### 3.4.8 Atractor

El **atractor espacio-temporal** de una comunidad biológica se puede definir como un estado de agrupación de especies (comunidades) como sistema temporal ya que posee procesos de recambios, adaptaciones y reorganización frente a las variaciones ambientales expresados en patrones espacio-temporales. Un estado (o atractor) es necesariamente una abstracción que abarca una cierta cantidad de variación en el espacio y el tiempo (Westoby *et al.* 1989). La determinación de los atractores se realizó con las agrupaciones de especies sugeridas por la combinación de diferentes análisis multivariados y su respectiva prueba de contraste de las agrupaciones, tales como el análisis de conglomerados y la significancia del Análisis de Variancia Multivariado No Paramétrico (PERMANOVA) (Sánchez y Quinteros, 2017).

Se registraron los comportamientos temporales de los cambios de atractores a nivel local (transecto) como resilientes y transformables. Resiliente se denominó al comportamiento que persiste en el mismo atractor en el tiempo, y transformable al comportamiento de cambio de atractor en el tiempo. Estos comportamientos podrían describirse entre temporadas o años.

### 3.4.9 Porcentaje de Similitud (SIMPER)

El porcentaje de Similitud (SIMPER) es un método para evaluar qué elementos son los principales responsables de una diferencia observada entre grupos de muestras, previamente reconocidas (Clarke, 1993; citado en Hammer, 2015). A partir de la determinación de los atractores, se aplica este método para reconocer a las especies clave que poseen mayor contribución en sus respectivos atractores, aplicando la opción de comparar la disimilitud promedio entre todos los grupos en el programa PAST 2.17 (Hammer, 2015).

En ese sentido, las especies claves se definen como especies que tienen alta contribución a la formación de un atractor espacio-temporal por la importancia de su abundancia, que caracteriza a la estructura de la comunidad, y a su vez se presume su funcionalidad. En este caso, se eligieron a las especies que tenían más de la mitad del valor máximo de las abundancias medias de cada atractor. Cabe mencionar que usar una sola especie para manejar las relaciones de una comunidad más grande y asociada es poco probable que conserve el conjunto de especies y procesos importantes para mantener los ecosistemas naturales (Paine, 1995). Así que es necesario considerar que estas especies son indicadores indirectos de la comunidad según cada atractor, pero que no necesariamente controlan el funcionamiento de la comunidad, al menos a nivel de especies.

### 3.4.11 Índices de paisaje

**a. Porcentaje de paisaje (*Percentage of Landscape - PLAND*):** Representado por la suma de las áreas (m<sup>2</sup>) de todos los parches del tipo parche correspondiente, dividida por el área total del paisaje (m<sup>2</sup>), multiplicada por 100 (para convertirlo en un porcentaje); en otras palabras, PLAND es igual al porcentaje del paisaje que comprende el tipo de parche correspondiente (McGarigal y Barbara, 1995). Este índice es considerado como una medida apropiada de la composición del paisaje. PLAND se expresa en la siguiente fórmula:

$$PLAND = P_i = \frac{\sum_{j=i}^n a_{ij}}{A} (100)$$

P<sub>i</sub>: proporción del paisaje ocupado por el tipo de parche (clase) i

$a_{ij}$ : área del parche  $ij$  ( $m^2$ )

A: área total del parche ( $m^2$ )

**b. Índice del parche más grande (*Largest Patch Index* - LPI):** Denominado como el área ( $m^2$ ) del parche más grande correspondiente de una clase dividido por el área total del paisaje ( $m^2$ ), multiplicado por 100, es decir, es el porcentaje del paisaje que comprende el parche más grande (McGarigal y Barbara, 1995). Este índice es considerado como una medida simple de dominancia de parches. LPI se expresa en la siguiente fórmula:

$$LPI = \frac{j=1^n \max(a_{ij})}{A} (100)$$

$a_{ij}$ = área del parche  $ij$  ( $m^2$ )

A: área total del parche ( $m^2$ )

**c. Densidad de parches (*Patch Density* – PD):** Representa al número de parches de la clase correspondiente dividido por el área total del paisaje ( $m^2$ ), multiplicado por 10 000 y 100 (para convertir a 100 hectáreas). Este índice tiene un valor interpretativo limitado por sí misma porque no transmite información sobre los tamaños y la distribución espacial de los parches (McGarigal y Barbara, 1995). PD se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$PD = \frac{n_i}{A} (10\ 000)(100)$$

$n_i$ : número de parches de la clase  $i$  en el paisaje

A: área total del paisaje ( $m^2$ )

**d. Índice de Diversidad de Shannon (*Shannon's Diversity Index* – SHDI):** Es igual a menos la sumatoria, en todos los tipos de clases, de la abundancia proporcional de cada tipo de parche multiplicada por esa proporción. El índice de diversidad de Shannon es similar al índice de diversidad alfa, pero aplicado al paisaje (McGarigal y Barbara, 1995). El índice se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$SHDI = - \sum_{i=1}^m P_i \ln(P_i)$$

P<sub>i</sub>: proporción del paisaje ocupado por la clase i

**e. Índice de Diversidad de Simpson (*Simpson's Diversity Index* – SIDI):** Es igual a 1 menos la suma, en todas las clases, de la abundancia proporcional de cada tipo de parche al cuadrado. Al igual que el anterior índice, es una medida popular utilizada en ecología comunitaria (McGarigal y Barbara, 1995). SIDI se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$1 - D = 1 - \sum_{i=1}^m P_i^2$$

P<sub>i</sub>: proporción del paisaje ocupado por la clase i

### 3.4.12 Análisis de Correspondencia Canónica

El Análisis de Correspondencia Canónica es un método multivariado muy utilizado en ecología ya que permite relacionar variables biológicas y variables ambientales. Las variables biológicas presentan una tabla por ejemplo abundancias de especies en diferentes sitios ecológicos, y las variables ambientales que junto a la tabla anterior presentan las características ambientales que describe cada sitio (Hammer, 2015).

## 3.5 ANÁLISIS DE DATOS

A partir de todos los transectos de aves, se determinaron la lista de especies total y las abundancias relativas de las especies de todas las evaluaciones. Cabe mencionar que se seleccionaron a los transectos con cuatro evaluaciones con la finalidad de comparar espacio-temporalmente entre transectos. En total, fueron 24 transectos que comparten todas las temporadas de evaluación, entre ellas fueron 5 de agricultura, 2 de bofedal, 1 de bosque de *Polylepis*, 2 de césped, 1 de juncal, 7 de matorral y 6 de pajonal. Incluso, fueron eliminadas algunas especies que tienen el rango muy alto de desplazamiento por ejemplo el cóndor y aguiluchos, como también especies con alta abundancia relativa en un tramo de un transecto.

La descripción de la comunidad de aves fue mediante su composición y abundancia relativa de especies. La composición fue descrita por la presencia de especies en cada temporada y la determinación de especies con importancia para la conservación. La abundancia relativa de aves fue estandarizada por medio del Índice de Abundancia Relativa al Espacio (IARE) (Sánchez *et al.*, 1988; citado en Quinteros, 1992) por consecuencia de la variación de longitud de los transectos, y expresada en un gráfico de histogramas representando a las especies más abundantes. Por último, se determinó el esfuerzo de muestreo de las evaluaciones según el total de transectos analizados, mediante el estimador de riqueza ACE y el análisis de SHE (Riqueza, Shannon y Equidad).

La variación espacio-temporal fue determinada mediante las variables de tasa de cambio (Smith y Smith, 2007), abundancia relativa y diversidad en cada transecto, y se analizó con sus respectivas gráficas de dispersión de promedio de la variable y su coeficiente de variabilidad, incluyendo su significancia estadística temporal según la prueba correspondiente a cada variable. Por otro lado, se aplicaron análisis multivariados para reconocer los atractores (estados) de la comunidad de aves en el espacio y tiempo mediante dos enfoques: 1) espacial y temporal (suma de incidencia de patrones espaciales en el tiempo) y 2) espacio-temporal (emergencia de patrones al incluir el espacio y tiempo en un mismo análisis). A partir de estos atractores, se sugieren sus respectivas especies clave mediante el Porcentaje de Similitud (SIMPER) del paquete estadístico PAST (Hammer, 2015), donde se eligieron a las especies hasta el 50% del valor de porcentaje de contribución máximo según cada atractor. La interpretación de estas variables fue para explicar la complejidad de la comunidad de aves en las zonas a nivel de meso-escala, ya que al usar herramientas de análisis multivariados incluyen simultáneamente la contribución de todas las variables en la definición de los atractores (Sánchez y Quinteros, 2017).

Los factores físicos, biológicos y antrópicos fueron descritos mediante histogramas, según sus niveles de escala (transectos o sub-paisajes). En total, se determinaron 64 factores que posteriormente fueron reducidos a 13 factores mediante la corroboración de análisis multivariados ya que presentan alta variabilidad y ciertas características del ambiente. Finalmente, se utilizaron las principales variables de la comunidad de aves para relacionarlos con los factores ambientales seleccionados, mediante el Análisis de Correspondencia Canónica.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1 DESCRIPCIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LA COMUNIDAD DE AVES

En las cuatro temporadas, entre los años 2015 y 2016, se registraron un total de 102 especies pertenecientes a 27 familias y 12 órdenes. Adicionalmente, se incluyeron 14 especies fuera de la metodología establecida, mediante observación, canto o plumas, reconociendo un total de 116 especies de aves de 32 familias y 15 órdenes (Anexo 3). En comparación con la investigación del año 2015 (Flores, 2017), se incluyeron 17 especies en el listado general. Entre estas especies, dos son introducidas (*Passer domesticus* y *Columba livia*) con una población que se va asentando en la zona urbana del distrito.

El distrito de Cajatambo, incluso la provincia del mismo nombre, es aún considerado como un lugar con vacíos de información biológica, presumiblemente su difícil acceso y/o poco interés desde la conservación de especies. Flores (2017), quien realizó uno de los estudios pioneros de la comunidad de aves, resaltó que la distribución de algunas especies es poco conocida para la zona, tales como la presencia de las dos congéneres de colibrí *Oreotrochilus stella* y *O. melanogaster*; así también, *Zaratornis stresemani*, *Oreomanes fraseri*, *Xenodacnis parina* y algunas especies endémicas. Otras especies que se incluyen en esta investigación no están registradas en el noreste de Lima son *Ochthoeca rufipectoralis*, *Patagioenas fasciata*, *Patagioenas maculosa* y *Picoides fumigatus*, según en los mapas de distribución de Schulenberg *et al.* (2010) y eBird (2018).

El distrito de Cajatambo está ubicado dentro del Área de Importancia para la Conservación de Aves (IBA, sigla en inglés) denominado Cordillera Huayhuash y Nor-Oyón (PE-070), debido principalmente a la presencia de especies restringidas a esta área y sus grados de amenaza (Birdlife International, 2018). En el área de estudio se registraron especies con alguna categoría de conservación y endemismo (Anexo 4), por ejemplo, tres especies de la

lista de la IUCN (Schulenberg *et al.*, 2010), 24 especies en CITES perteneciente a las familias Trochilidae, Falconidae, Psittacidae, Strigidae, Accipitridae y Cathartidae, y cuatro especies en la lista del Decreto Supremo Nro. 004-2014-MINAGRI. Asimismo, se reconocieron a 8 de las 19 especies endémicas del país, registradas en el departamento de Lima, que están asociadas a las áreas de arbustivas, bosques de *Polylepis* y prados de puna, generalmente a la vertiente oeste de los Andes (Koepcke, 1964; Schulenberg *et al.*, 2010). En el caso del registro de especies migratorias fueron cuatro especies: dos fueron migratorios boreales (*Actitis macularius* y *Calidris bairdii*) y las otras dos fueron migratorios australes (*Muscisaxicola cinereus* y *Muscisaxicola flavinucha*) (Schulenberg *et al.*, 2010). Estas especies fueron registradas sólo en los pajonales y bofedales, a más de 4000 msnm, así que estas formaciones vegetales tienen importancia como corredor biológico temporal para especies con similares comportamientos.

Por otro lado, la comparación de la composición mediante las listas de especies de las principales zonas de registros de aves de la vertiente centro-occidental de los Andes con el distrito ayuda a conocer y relacionar la distribución de las comunidades con los hábitats. Entre las principales zonas de registros de aves son la Reserva Paisajística Nor-Yauyos, la Zona Reservada Bosque de Zárate, la Zona Reservada Huayhuash y el Parque Nacional Huascarán. Otra principal zona es el Valle de Santa Eulalia con aproximadamente 200 especies (eBird, 2018), pero no existen listados publicados de este lugar.

La Reserva Paisajística Nor-Yauyos, ubicada entre el departamento de Lima y Junín, con una superficie de 221 268.48 ha y rango altitudinal de 2800 hasta 5800 msnm, aproximadamente. Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA, 2006) registró un total de 102 especies de aves, los cuales poseen 64 especies en común con Cajatambo y el resto de especies generalmente están ligadas a lagos, lagunas, bofedales y juncales, considerados como principales hábitats para su conservación.

La Zona Reservada Bosque de Zárate, ubicada en la provincia de Huarochirí - Lima con una superficie de 545.75 ha y un rango altitudinal de 2500 msnm hasta 3200 msnm Franke y Valencia (1984) reconocieron 72 especies de aves, entre ellas 10 especies que no han sido registradas en el distrito de Cajatambo. Se presume que ciertas especies podrían estar

presentes cerca o dentro del área de estudio, por ejemplo, *Incaspiza pulchra* en áreas de matorrales muy secas, o *Ampelion rubrocristatus* y *Cranioleuca baroni* en matorrales densos muy húmedos, entre otras especies.

La Zona Reservada Cordillera Huayhuash está ubicada en la sierra central del departamento de Lima, Áncash y Huánuco, con una superficie de 67 589 ha y un rango de altitud entre 3660 hasta 6532 m s.n.m. Según Maynard y Waterton (1998) determinaron un total de 62 especies que generalmente tienen preferencias a hábitat de pajonales, matorrales y bosques de *Polylepis*, tales como *Muscisaxicola spp.*, *Asthenes spp.*, *Anairetes spp.*, entre otros. Probablemente el esfuerzo de muestreo de estos investigadores no fue suficiente, así que se debe considerar como información preliminar.

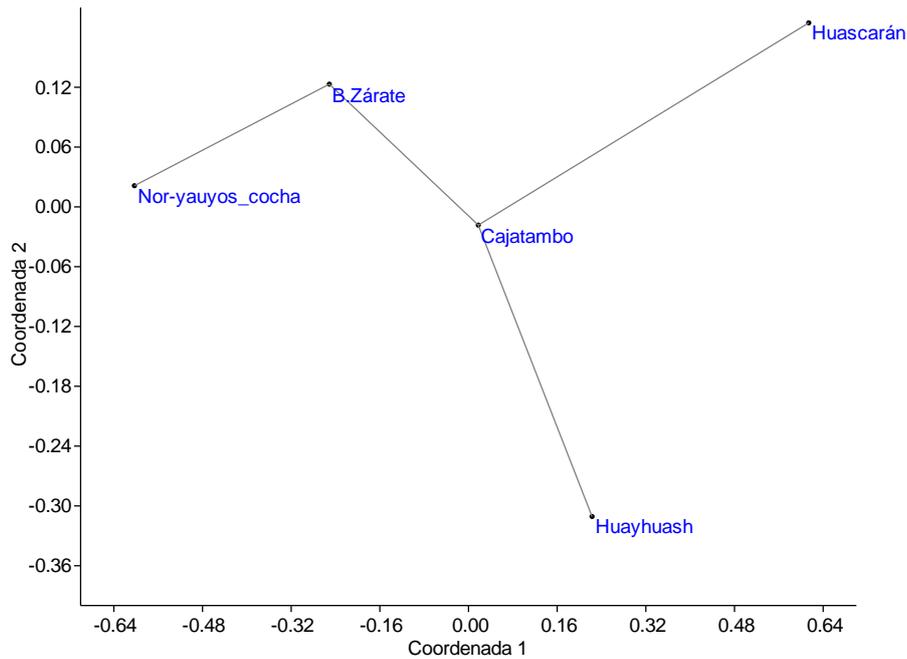
El Parque Nacional Huascarán ubicado a lo largo de ocho provincias del departamento de Ancash, con 340 000 ha de superficie y 3900 hasta 6300 msnm de altitud. Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP, 2017) registró 189 especies, que generalmente están asociados a zonas arbóreas (*Polylepis*) y humedales, es decir a zonas muy húmedas; por ejemplo, *Anairetes alpinus*, *Ampelion rubrocristatus*, *Atlapetes rufigenis*, *Chalcostigma spp.*, *Scytalopus affinis*, entre otros. Este es uno de los *hotspot* de aves dentro de las zonas altoandinas ya que pertenece al IBA PE-068, con nueve especies de importancia para la conservación (Birdlife International, 2018).

**Tabla 1: Número de especies entre las principales zonas de registros de aves en los andes centro-occidentales.**

Lugar	Nro. especies	Fuente
Huascarán	189	SERNANP (2017)
Cajatambo	116	Propia
Nor-Yauyos Cocha	102	INRENA (2006)
Bosque de Zárate	72	Franke y Valencia (1984)
Coordillera Huayhuash	62	Maynard y Waterton (1998)

La comparación entre zonas se reconoce que Cajatambo posee alta similitud de especies de aves entre otras cuatro zonas, mediante el análisis NMDS cualitativo (Figura 4), y que posee

una alta cantidad de especies (Tabla 1), ya que presenta el 50 por ciento de los registros en la vertiente centro-occidental, siendo estas especies no muy raras. El grado de similitud puede estar relacionado con la ubicación geográfica del área de estudio ya que se encuentra latitudinalmente entre estas zonas. Estos resultados sugieren que Cajatambo podría ser considerada como una zona de observación de aves para el público principiante que quiera conocer la mayoría de las especies que pueda encontrar en las zonas mencionadas.



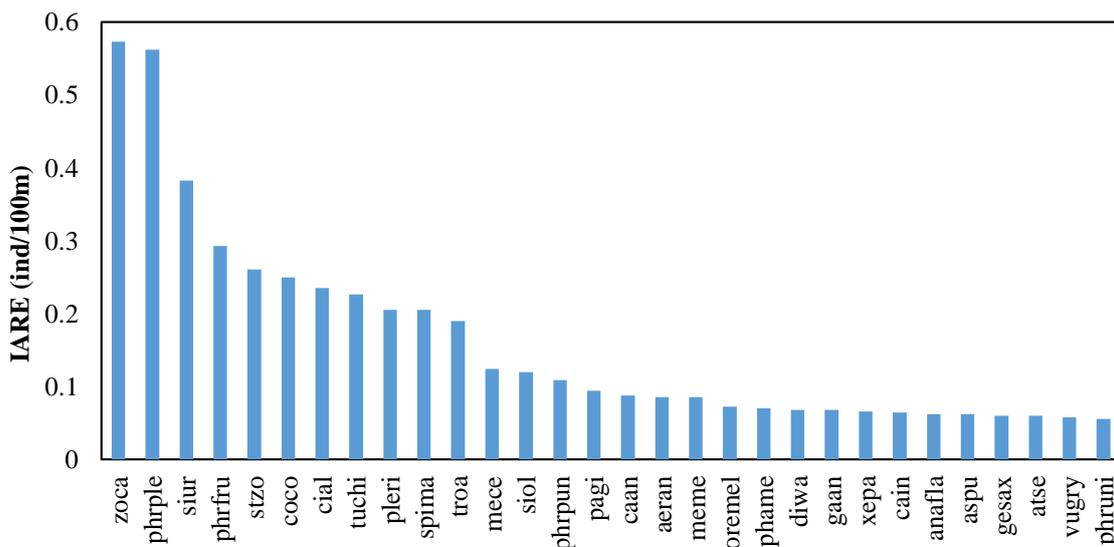
**Figura 4. Similitud de composición de aves entre principales zonas de los andes centro-occidentales, mediante NMFDS (índice de Raup-Crick).**

Sevillano (2017) realizó una compilación de las especies de aves de los Altos Andes del Norte del Perú, que incluyen a la vertiente occidental de la Cordillera Negra, el Callejón de Huaylas, la Cordillera Blanca, los Conchucos, la Cordillera Huayhuash y la cabecera del río Marañón. En total se reconocen 239 especies, que incluyen todas las especies registradas en Cajatambo, excepto *Patagioenas maculosa* y *Oreotrochilus melanogaster*, que podrían agregarse a esta lista.

Entre todas las evaluaciones se registraron 2777 individuos que representa 5.931 ind/100 m, según el IARE. La especie con mayor IARE promedio por cada evaluación fue *Zonotrichia capensis* (0.573 ind/100 m), seguido de *Phrygilus plebejus* (0.562 ind/100 m), *Sicalis*

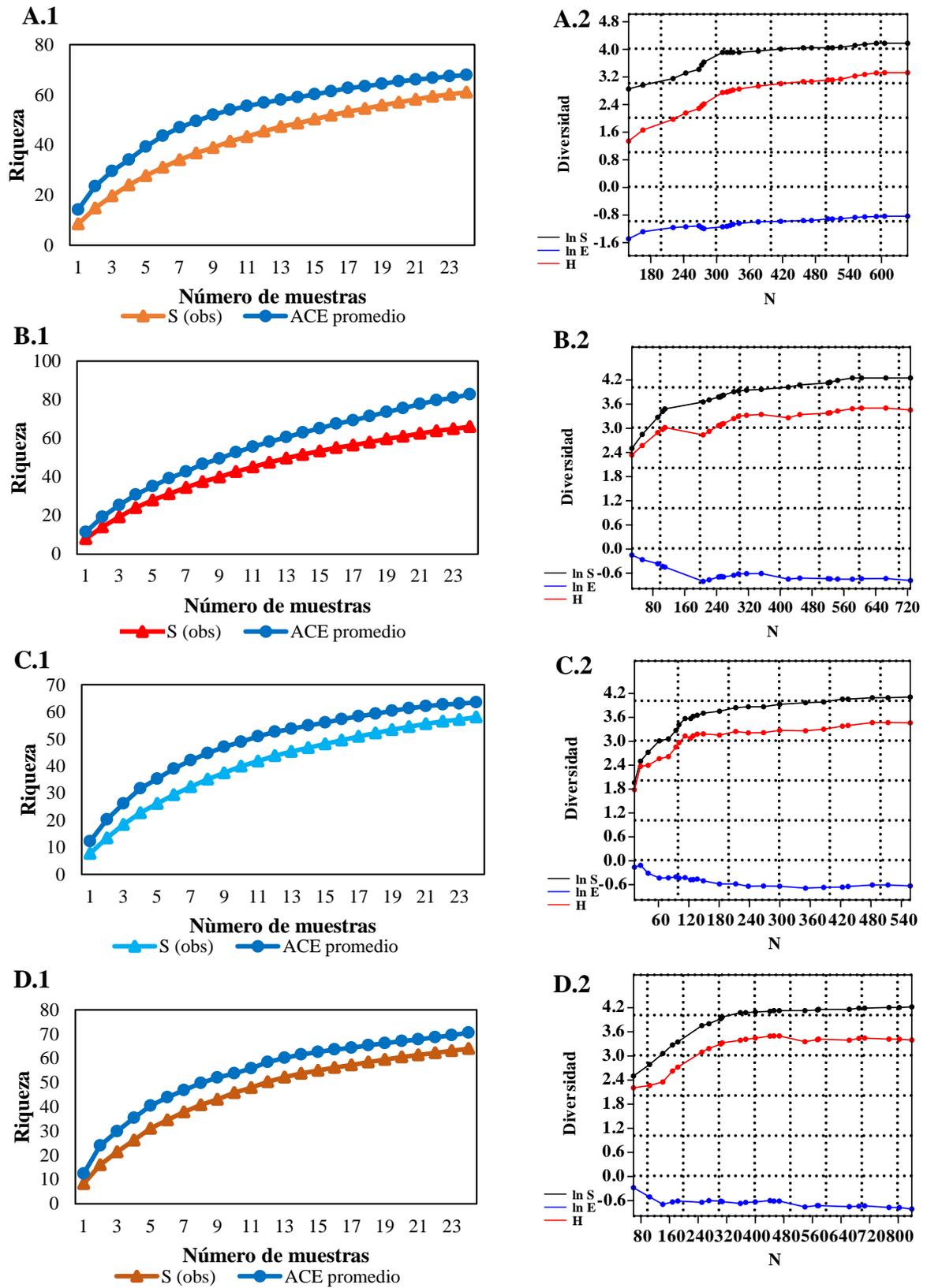
*uropygialis* (0.382 ind/100 m), *Phrygilus fruticeti* (0.293 ind/100 m) y *Colibri coruscans* (0.250 ind/100 m). La Figura 5 muestra a las especies más abundantes, codificados con la abreviación de cada especie según el Anexo 3.

Algunos estudios en zonas altoandinas con actividades antrópicas han reportado a *Zonotrichia capensis* como una de las especies más abundantes. Por ejemplo, Cabrera y Cruz (2012) evaluaron la comunidad de aves relacionado a bosques de *Polylepis* con cierta influencia de la agricultura y la ganadería, donde una de las especies más abundantes fue *Z. capensis* tanto en la temporada lluviosa y seca. Dorst (1957), en la descripción de los hábitats de altiplano andinos del Perú, reconoce a dos especies de aves muy abundantes que son *Phrygilus plebejus* y *Z. capensis*, ambas con congregaciones altas en ciertos espacios y estaciones.



**Figura 5. Especies con mayor IARE total en el distrito de Cajatambo (2015-2016)**

Cabe mencionar que el esfuerzo de muestreo tiene representatividad en cada evaluación mediante el estimador de riqueza ACE y el análisis SHE (Figura 6). Esto se concluye debido a que los resultados de las diferentes evaluaciones presentan una proporción de la riqueza observada y del estimador de riqueza ACE mayores a 80 por ciento aproximadamente y en el caso del análisis SHE se reconocen las asíntotas de los valores de H con la cantidad de muestra registrada. En el caso del esfuerzo de muestreo de los transectos fue bueno con la metodología establecida (Flores, 2017).



**Figura 6. Esfuerzo de muestreo de cada evaluación**

Leyenda: A) Lluvia 2015, B) Seca 2015, C) Lluvia 2016 y D) Seca 2016, según el estimador de riqueza ACE

(1) y el análisis SHE (2)

## 4.2 VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA COMUNIDAD DE AVES

### 4.2.1 Tasa de cambio temporal de la composición

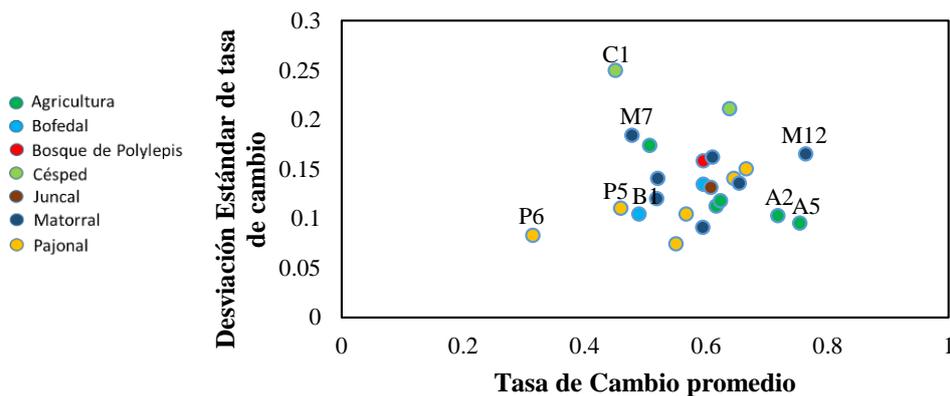
La comparación de tasas de cambio temporales fue entre cada evaluación contigua, temporadas, años y evaluaciones de la misma temporada (Tabla 2). La tasa de cambio con mayor y menor valor fue entre las evaluaciones L16 - S16 (0.323) y entre los años 2015 – 2016 (0.155), respectivamente. Las tasas de cambios están asociado a la presencia-ausencia de aves migratorias, con desplazamientos altitudinales y/o con baja detección. Entre las especies migratorias fueron *Muscisaxicola cinereus* y *Muscisaxicola flavinucha*, ambos son emigrantes australes, ya que se reproducen en Chile y Argentina y luego migran al Perú entre febrero y octubre (Schulenberg *et al.*, 2010). Un caso particular es la aparición de algunos colibríes en la temporada seca como *Polyonymus caroli* y *Myrtis fanny*, por lo que se presume su refugio y/o desplazamiento hacia otras áreas en las temporadas lluviosas. Sin embargo, la gran mayoría de las especies no tienen un patrón definido de inmigración y emigración en estas cuatro evaluaciones, así que se supone que estas especies tienen baja detección por ser muy crípticos o raros de observar (por ejemplo, *Geocerthia serrana*, *Asthenes humilis*, entre otros).

**Tabla 2: Tasas de cambio de la composición específica de aves.**

	L15 - S15	S15 - L16	L16 - S16	L - S	15 - 16	L15 - L16	S15 - S16
Tasa de cambio	0.263	0.24	0.323	0.244	0.155	0.258	0.235

Leyenda: L: evaluación de temporada lluviosa, S: evaluación de temporada seca, 15: año 2015, 16: año 2016

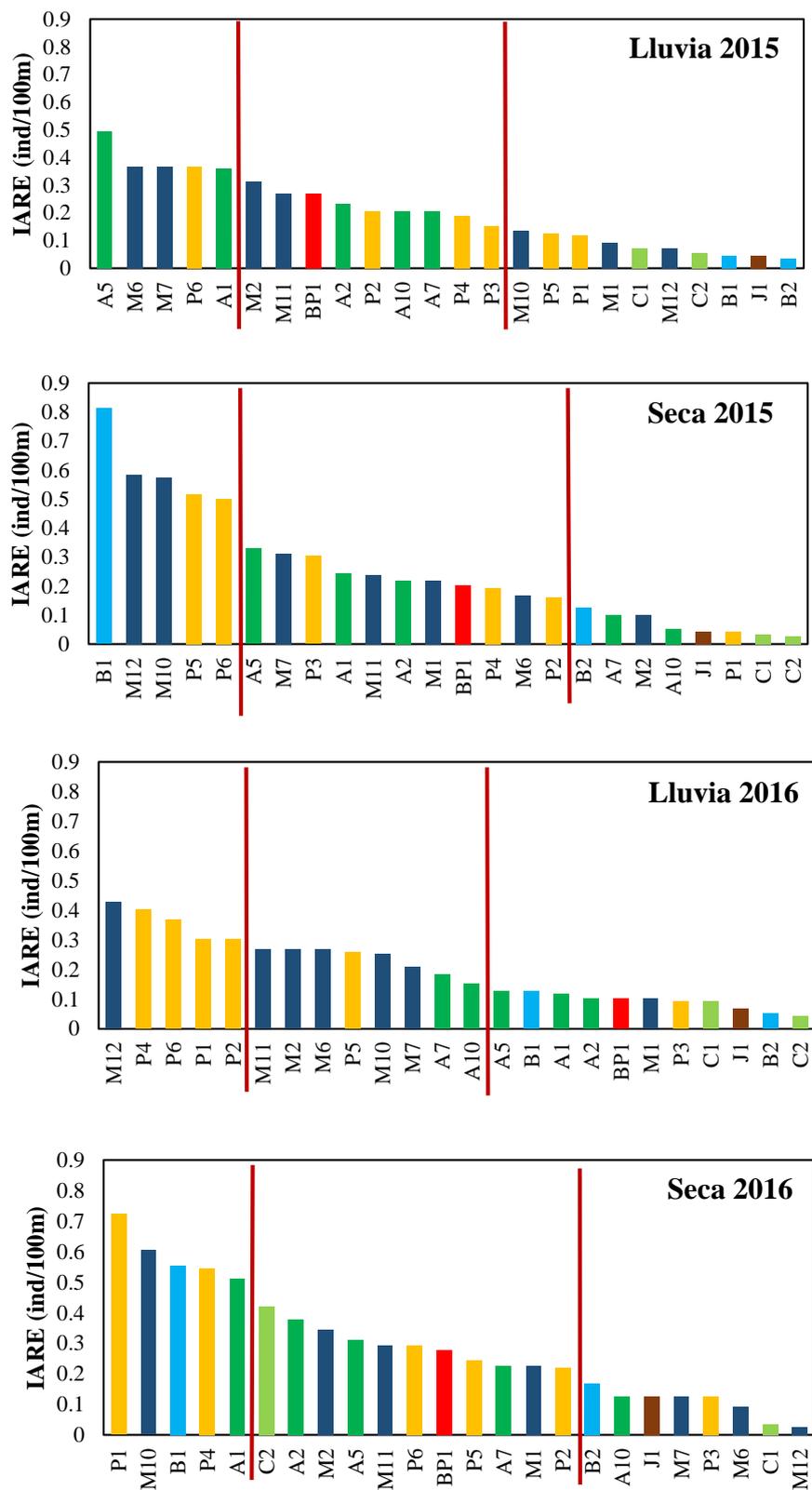
Por otro lado, la relación del promedio de las tasas de cambios temporales y su coeficiente de variación en cada transecto (Figura 7) no registró un patrón de regresión evidente. Se reconoció que la mayoría de los transectos poseen valores medios de tasas de cambio y de variación. Entre los transectos con baja y alta tasas de cambio temporal fueron P6 y A5 – A2, respectivamente.



**Figura 7. Relación entre el promedio de tasa de cambio y su desviación estándar entre diferentes combinaciones de tiempo**

#### 4.2.2 Comparación de la abundancia relativa temporal

La comparación de las abundancias entre las diferentes evaluaciones resultó que las temporadas secas poseen altos valores a diferencia de la temporada lluviosa, siendo la evaluación Seca 2016 con mayor abundancia relativa acumulada (7.059 ind/100 m) (Anexo 5 y 6). Respecto a las principales formaciones vegetales, generalmente los transectos de pajonales y matorrales obtuvieron abundancias relativas alta y media, en cambio los transectos de césped y juncales obtuvieron abundancias relativas bajas en todas las evaluaciones; mientras que los transectos de agricultura fueron muy variables en todas las evaluaciones (Figura 8). Se presume que la variación temporal de las abundancias en áreas de agricultura puede tener dos casos, según el tipo de agricultura: 1) para forrajeo de ganados, pueden estar relacionados al tiempo de descanso de la tierra, proliferando ciertas plantas arvenses (en estado de barbecho) y/o rudelares en ciertas temporadas; 2) con cultivos de pan llevar, puede estar influenciado por la fenología del cultivo, generalmente en los estadios reproductivos.



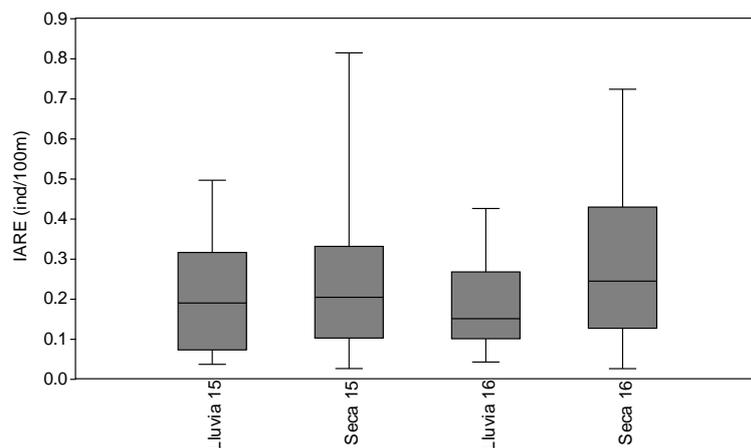
**Figura 8. Abundancia relativa de transectos entre diferentes evaluaciones.**

Leyenda: Las líneas rojas representan la separación entre los transectos con altos, medios y bajos valores.

Agricultura (verde oscuro), bofedal (celeste), bosque de Polylepis (rojo), césped (verde claro), juncal (marrón), matorral (azul), pajonal (amarillo).

El factor de la temporalidad fue registrado en algunos transectos, por ejemplo, presentaron mayor abundancia relativa en las temporadas secas que en las lluviosas en sus respectivos transectos, y viceversa. En el primer caso, se registraron mayores abundancias relativas en las temporadas secas en los transectos M10, B1, M1 y B2. Ambos transectos de bofedales presentaron mayores abundancias relativas que poseen especies muy gregarias temporales como *Plegadis rydghwayi* y *Oressochen melanopterus*; en cambio, ambos transectos de matorrales son atractivos de especies granívoras en la temporada seca. En el segundo caso, los transectos que registraron altas abundancias relativas en las temporadas lluviosas que las temporadas secas fueron M6, P2, C1 y A10. Se presumen que en estos transectos podrían estar asociados al cambio de ciertas características del hábitat en la temporada lluviosa ya sea la humedad en suelo y/o la presencia de especies vegetales (especialmente en floración) que son atractivos para algunas aves.

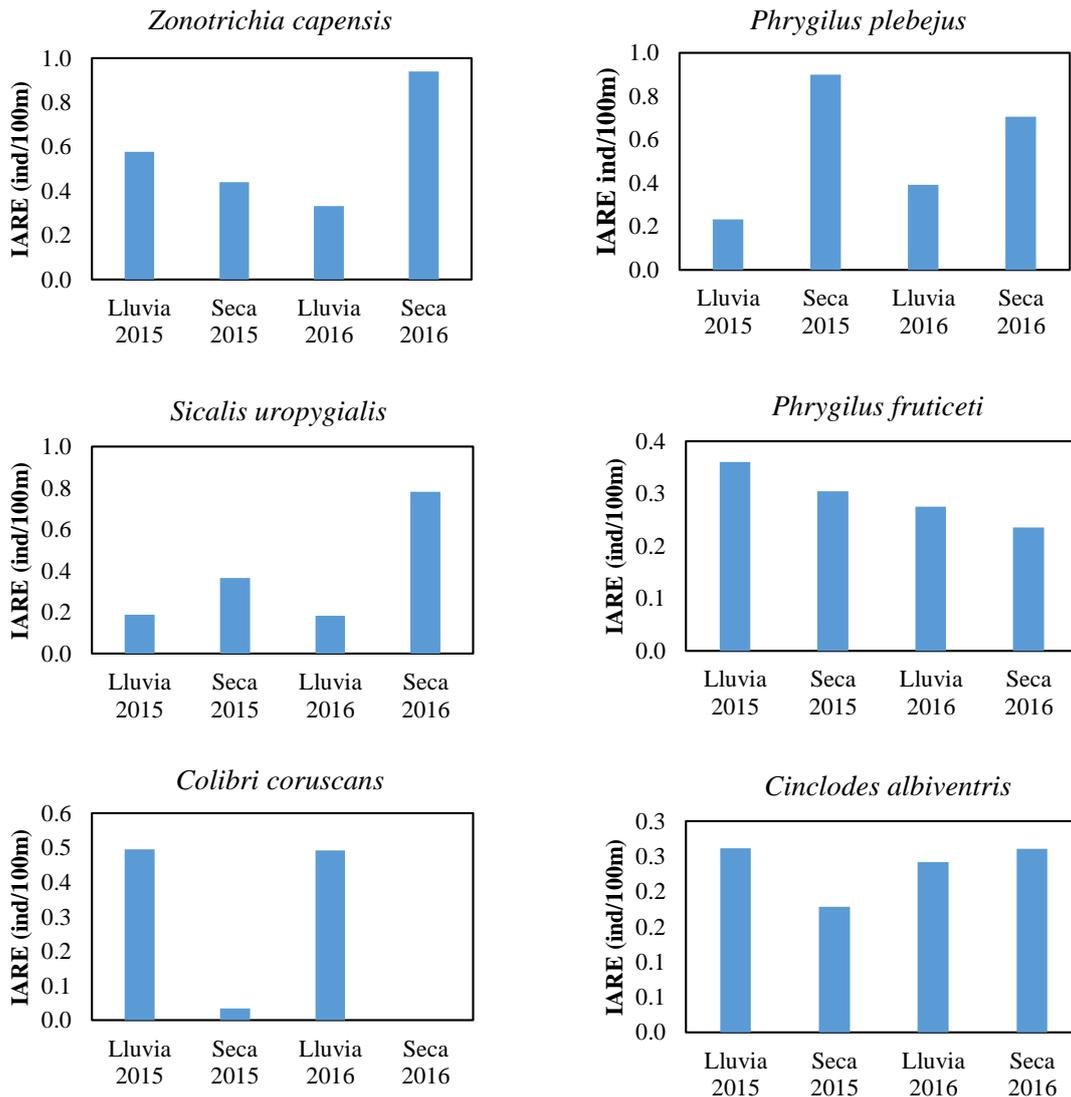
La comparación de las abundancias relativas de las evaluaciones, mediante prueba de Kruskal-Wallis, no obtuvo diferencias significativas ( $X^2= 3.868$ , p-valor= 0.276). Se concluye que no se registró abundancias relativas temporales de aves diferentes entre las cuatro evaluaciones. Sin embargo, se denota que las evaluaciones en temporada seca poseen ciertos transectos con muy altos valores de IARE que en temporada lluviosa (Figura 9).



**Figura 9. Comparación de la mediana de las abundancias relativas totales entre las evaluaciones.**

La variación temporal de la abundancia relativa de las especies fue analizada con las 6 primeras especies más abundantes (Figura 10). Por ejemplo, *Colibri coruscans* tuvo las

abundancias relativas muy altas en la temporada lluviosa que la temporada seca ya que existe alta presencia de flores para forrajear; mientras que *Phrygilus plebejus* y *Sicalis uropygialis* tuvieron altas abundancias en la temporada seca debido a que son especies gregarias en temporadas post-reproductivas (con juveniles). En el caso de *Zonotrichia capensis*, no presentó un patrón estacional ya que puede deberse a su comportamiento oportunista en estos ambientes.

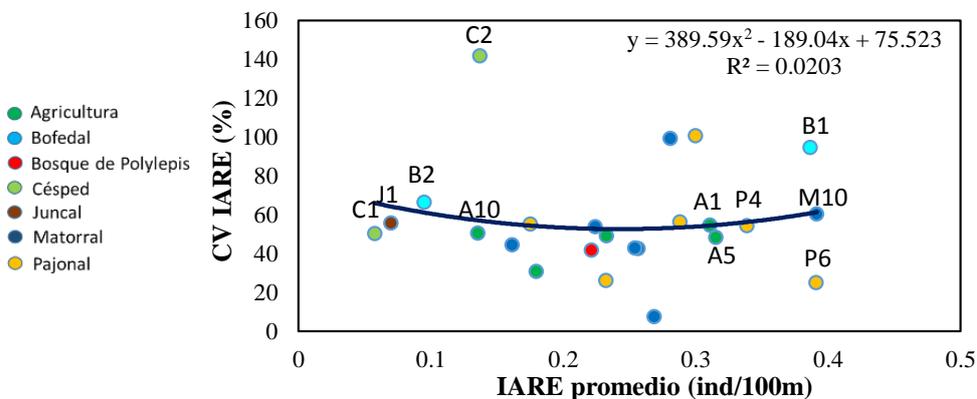


**Figura 10. Índice de Abundancia Relativa al Espacio (IARE) total de las especies más abundantes en las diferentes evaluaciones.**

Franke (2015) clasificó a las especies del Bosque de Zárate en cuatro categorías según la estacionalidad: residentes-constantemente, residentes-variables, estacionales y ocasionales. Entre

las especies residentes-constantas son denominadas como especies con poca variación de la abundancia en el tiempo, por ejemplo, destaca *Z. capensis*; sin embargo, en el presente estudio esta especie registró variaciones en el tiempo. Las especies residentes-variables son especies que tienen mayores abundancias en determinadas temporadas como por ejemplo *Colibri coruscans* que es muy abundante entre los meses de marzo y junio, comportamiento que resulta similar a los resultados obtenidos en este estudio. Las especies estacionales son especies que solo aparecen en cierta temporada en la que se coincide con *Thlypopsis ornata* en la temporada lluviosa (entre febrero y julio), pero no con *Saltator aurantirostris* ya que fue registrado en todas las temporadas. Por último, las especies ocasionales son las que se observan rara vez, que generalmente poseen baja abundancia relativa en ciertas evaluaciones.

La relación del promedio de la abundancia relativa y su coeficiente de variación de cada transecto no presentó un patrón notorio (Figura 11). Sin embargo, con este resultado podría considerarse al transecto P6 como sitio bueno de abundancia relativa total (altos valores de IARE) y con poca variación, teniendo un patrón de poca tasa de recambio de especies y de abundancia en el tiempo. Este lugar es característico por tener zonas de roquedal con pajonales-matorrales achaparrados y pequeñas quebradas húmedas (formándose humedales en las temporadas lluviosas), como también cercano de zonas de pastoreo extensivo y casas muy rurales abandonadas. La presencia de diferentes nidos epigeos podría indicar que es un hábitat idóneo para algunas especies de puna.

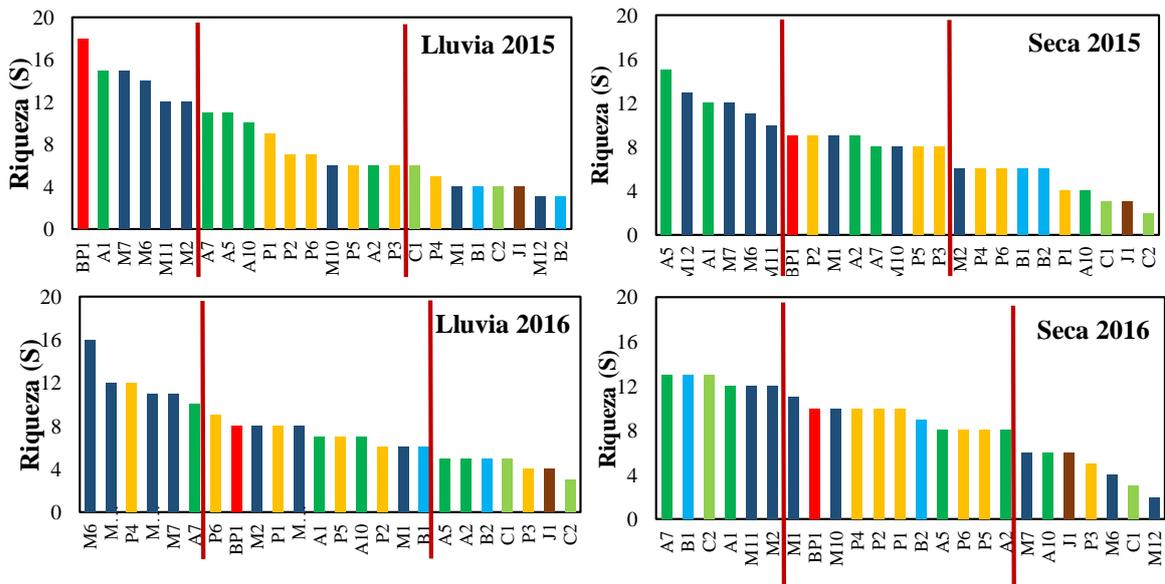


**Figura 11. Relación del IARE promedio y su coeficiente de variación entre transectos.**

### 4.2.3 Comparación de la diversidad espacial y temporal

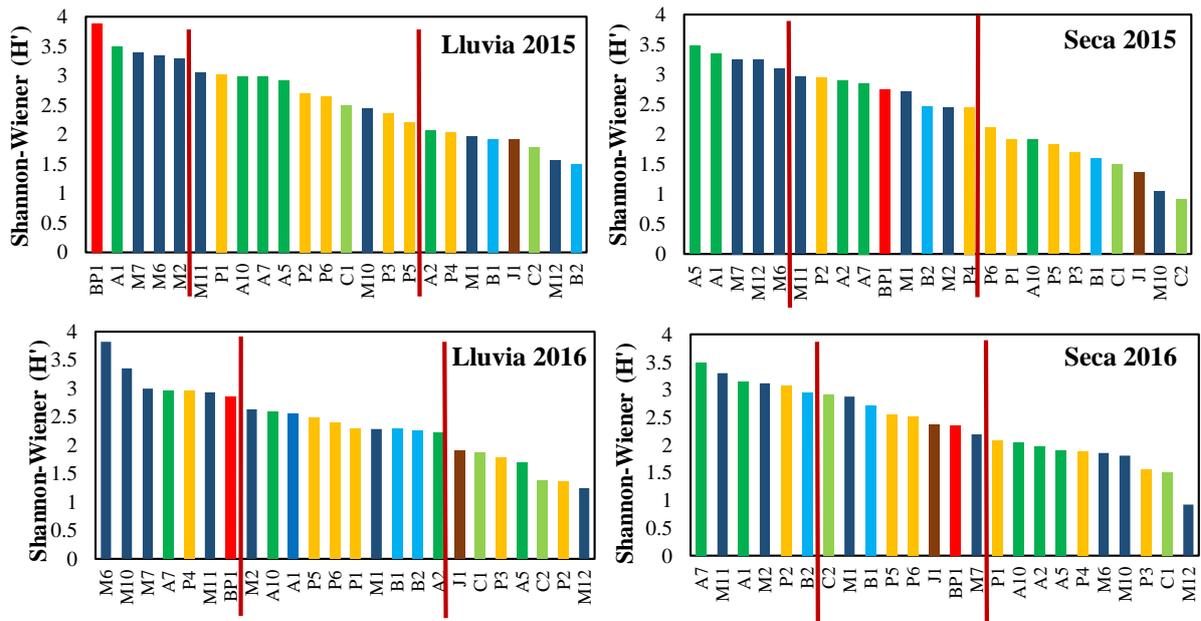
Los índices de diversidad alfa fueron evaluados mediante la riqueza (S), inversa de Simpson (1/D) y Shannon-Wiener (H') para todos los transectos en las diferentes evaluaciones (Anexo 7). Asimismo, se clasificaron en tres niveles según los índices de diversidad de los transectos: valores altos, medios y bajos, separados por una línea roja (Figura 12, 13 y 14) y se elaboraron los mapas de distribución espacial de la diversidad H' por cada evaluación (Anexo 8). En resumen, los tres índices de diversidad mostraron que los transectos con muy altos valores de diversidad recurrentemente en todas las temporadas fueron M6, M7, A7, M11 y A1. Por otro lado, los transectos con muy bajos valores de diversidad fueron C1, J1 y P3, así también los transectos que tuvieron una sola evaluación con valores altos fueron C2 y M12.

Estos resultados reflejan que existen algunos transectos dentro de la formación vegetal de agricultura y matorral que poseen altos valores de diversidad, ya que la mayoría posee valores intermedios. Por otro lado, los transectos con baja diversidad generalmente fueron en las formaciones vegetales de césped y juncal. En el caso del Bosque del Polylepsis (BP1) obtuvo mayor diversidad en la temporada lluviosa que en la temporada seca.



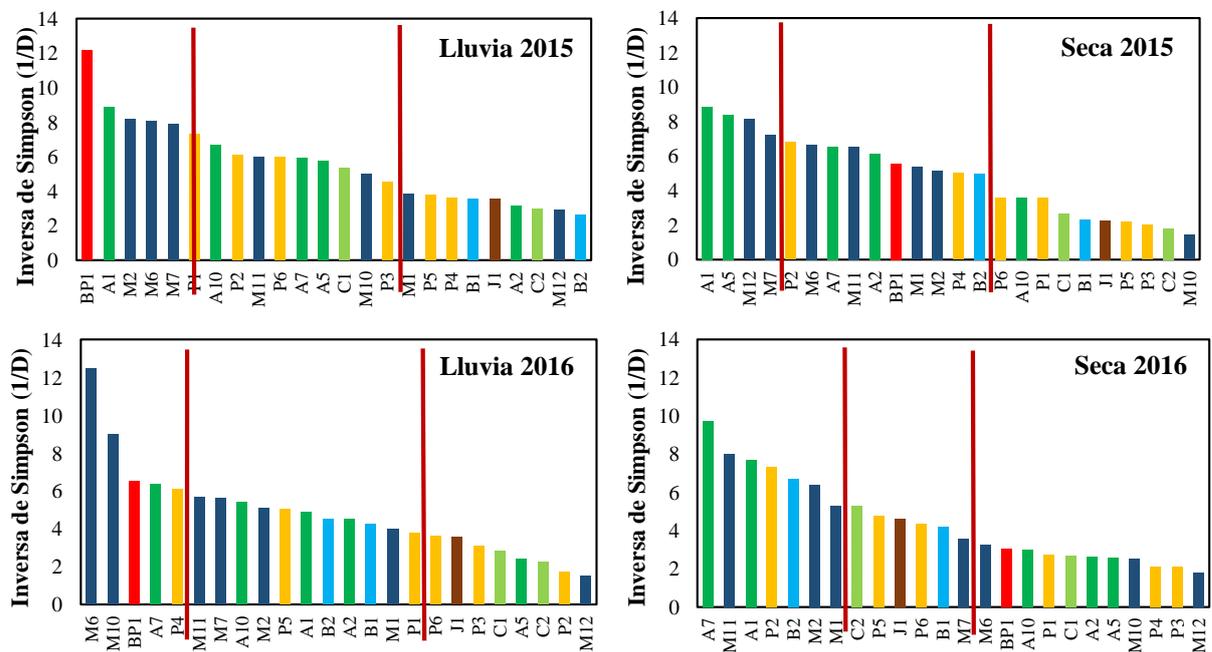
**Figura 12. Riqueza observada de los transectos en todas las evaluaciones, ordenada de manera descendente.**

Leyenda: agricultura (verde oscuro), bofedal (celeste), bosque de Polylepsis (rojo), césped (verde claro), juncal (marrón), matorral (azul), pajonal (amarillo).



**Figura 13. Shannon-Wiener de los transectos en todas las evaluaciones, ordenada de manera descendente.**

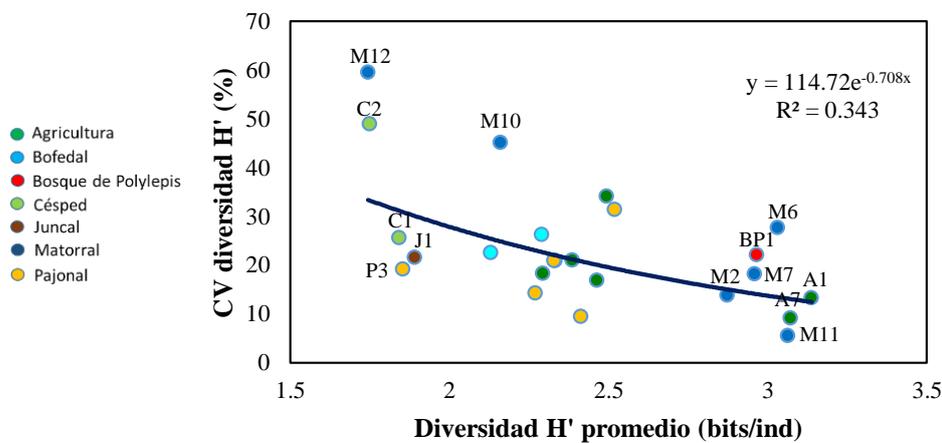
Leyenda: agricultura (verde oscuro), bofedal (celeste), bosque de Polylepis (rojo), césped (verde claro), juncal (marrón), matorral (azul), pajonal (amarillo).



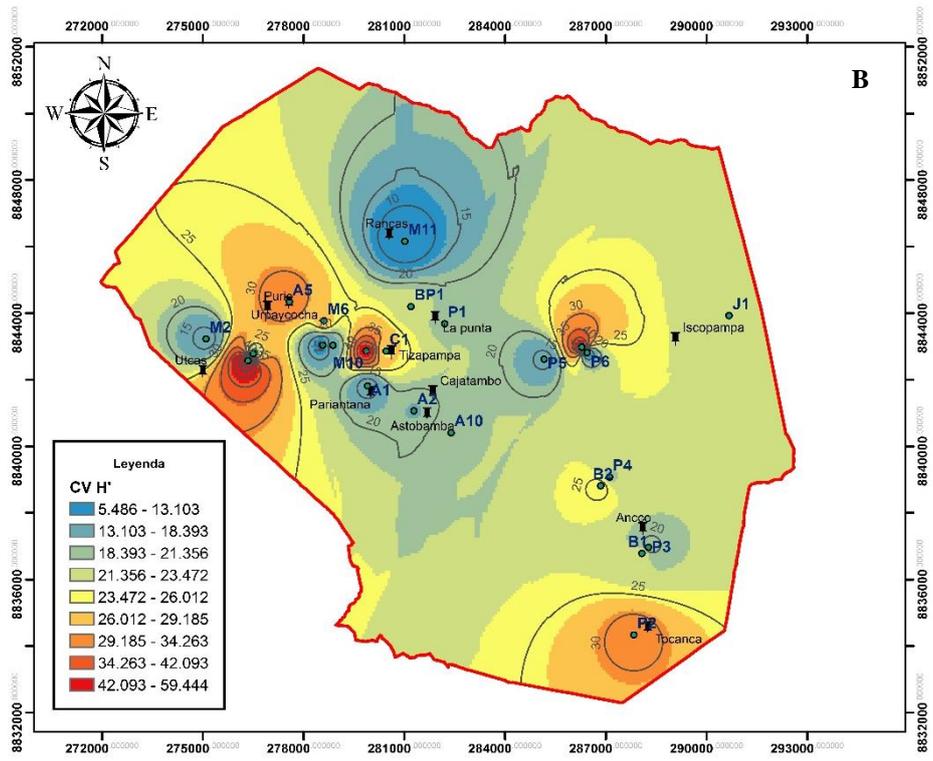
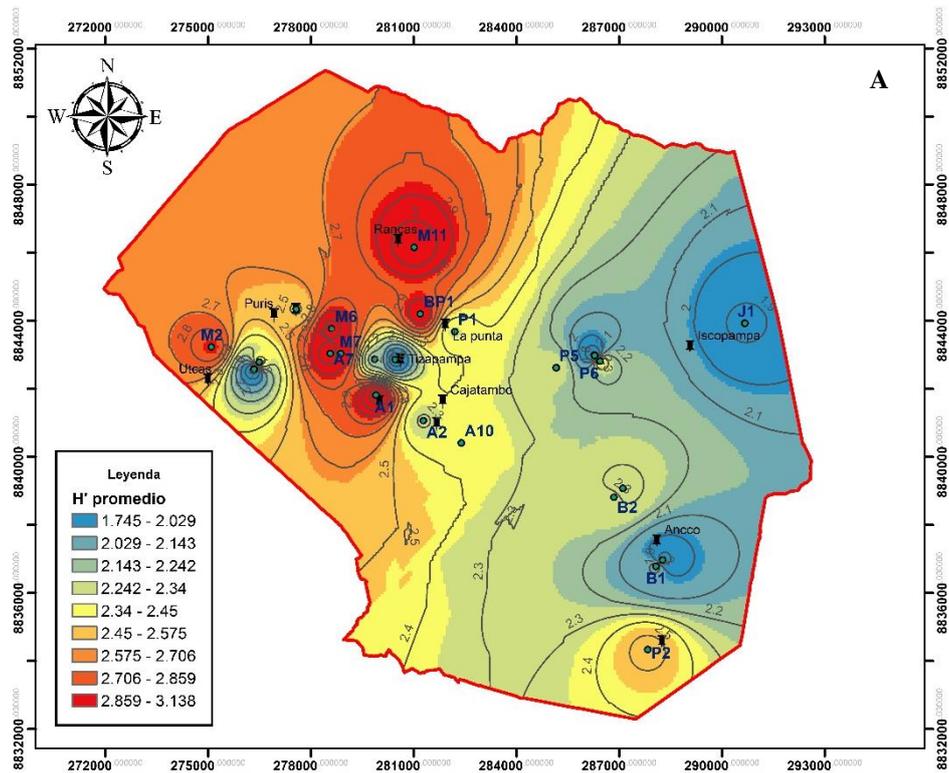
**Figura 14. Inversa de Simpson de los transectos en todas las evaluaciones, ordenados de manera descendente.**

Leyenda: agricultura (verde oscuro), bofedal (celeste), bosque de Polylepis (rojo), césped (verde claro), juncal (marrón), matorral (azul), pajonal (amarillo).

La asociación de la diversidad promedio y su respectivo coeficiente de variación permitió reconocer que los sitios buenos obtuvieron baja variación y los sitios malos obtuvieron alta variación (Figura 15). Los sitios buenos fueron los matorrales (M11, M7, M6, M7 y M2), algunas agriculturas (A7 y A1) y el bosque de *Polylepis* (BP1), con comportamiento de fuente de diversidad. Los sitios malos fueron el matorral M12 y los céspedes (C2 y C1), con comportamiento de sumidero de diversidad. En el caso de M12, se reconoce que el matorral podría categorizarse como otro tipo de matorral ya que la composición de la vegetación dominante es diferente. Otro caso es el transecto M10 que podría ser considerado sumidero, ya que su variación de diversidad podría estar afectado por la dominancia de ciertas especies (por ejemplo, bandadas de *Phrygilus plebejus* en la evaluación Seca 2015), y por su ubicación espacial ya que es el único matorral rodeado con zonas de agricultura y césped. Este resultado sugiere que estos sitios buenos estén relacionados a la disponibilidad de alimento, refugios y/o agua en el tiempo. Este resultado justifica la importancia de los matorrales como fuente de diversidad en el tiempo para las formaciones vegetales aledañas (especialmente de agricultura) debido a que comparten varias especies.



**Figura 15. Relación del índice de diversidad Shannon-Wiener promedio y su coeficiente de variación de todas las evaluaciones.**



**Figura 16. Mapas de isolíneas del índice de diversidad de Shannon-Wiener promedio (A) y su coeficiente de variación de todas las evaluaciones (B).**

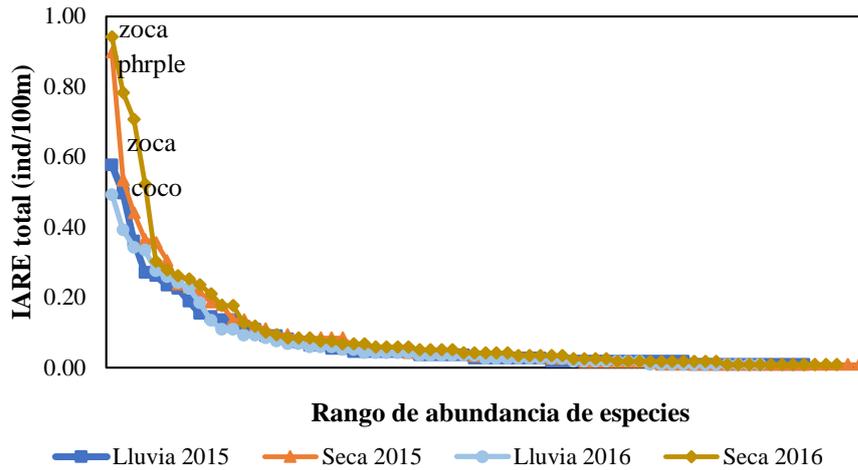
La diversidad, por medio del índice de Shannon, en todas las evaluaciones está más correlacionado con la riqueza (S) que con la equidad de Pielou (J'), resultado similar al que obtuvo Flores (2017) en las dos primeras evaluaciones (Anexo 9 y 10). Este resultado muestra que, a pesar de las dominancias de algunas especies en los transectos, la riqueza tiene más relación con el índice de diversidad de Shannon-Wiener en las evaluaciones.

La diversidad gamma de cada evaluación fue expresada en la riqueza total observada, Shannon-Wiener e Inversa de Simpson como variables de comparación (Tabla 3). La riqueza presentó un ligero patrón estacional ya que en la temporada seca obtuvo mayor número de especies que en la temporada lluviosa, a diferencia del bosque de Zárate (Franke, 2015) y los bosques de *Polylepis* de Huascarán (Sevillano, 2016) donde registraron altas riquezas de especies en la temporada lluviosa. En el caso de los otros índices no presentaron patrones estacionales evidentes, pero coinciden en que evaluación Seca 2015 y Lluvia 2016 obtuvieron mayores valores de diversidad gamma que las otras evaluaciones.

**Tabla 3: Índices de diversidad gamma de las evaluaciones totales**

Índices de diversidad	Lluvia 2015	Seca 2015	Lluvia 2016	Seca 2016
Riqueza observada (S)	64	69	60	67
Shannon-Wiener (H')	4.770	4.960	4.973	4.875
Inversa Simpson (1/D)	15.161	18.943	21.155	17.379

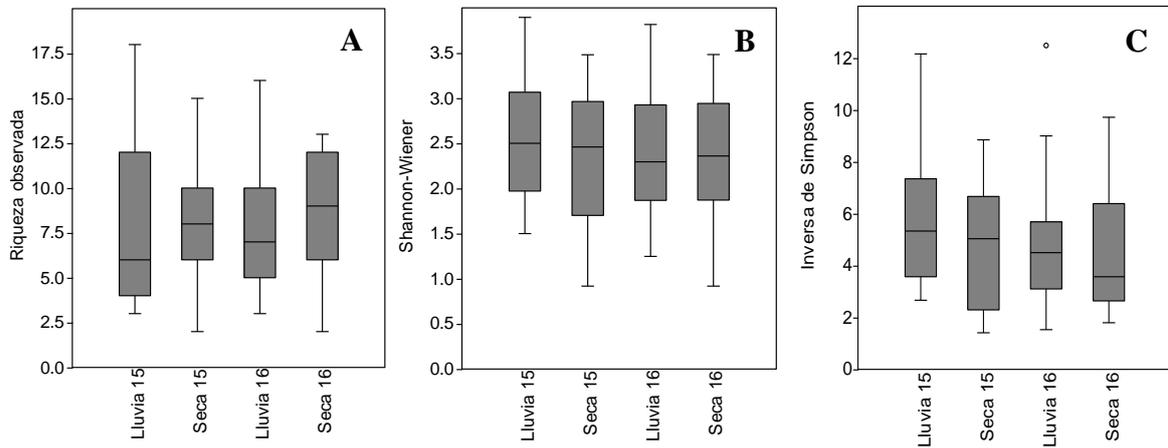
La dominancia de ciertas especies fue registrada en todas las evaluaciones, siendo en las temporadas secas más notorias que en las temporadas lluviosas (Figura 17). En la temporada seca fue dominado por *Phrygilus plebejus* en la evaluación Seca 2015 y *Zonotrichia capensis*, *Sicalis uropygialis* y *P. plebejus* en la evaluación Seca 2016; en cambio, la temporada lluviosa fue dominado por *Z. capensis* y *Colibri coruscans* en la evaluación Lluvia 2015 y *C. coruscans* y *P. plebejus* en Lluvia 2016. Cabe mencionar que las evaluaciones de cada temporada tuvieron similares especies dominantes y estructura, según sus abundancias y número de especies. En resumen, las diferencias entre las evaluaciones son casi nulas con los tres índices de diversidad analizados debido que la interpretación de los índices entre temporadas no muestran diferencias muy notorias, aunque muy ligera diferenciación entre temporadas lluviosas y secas por la riqueza (Moreno *et al.*, 2011).



**Figura 17. Estructura de la abundancia relativa de cada evaluación.**

Leyenda: Etiquetas de las especies más dominantes según la evaluación. *Zonotrichia capensis* (zoca), *Phrygilus plebejus* (phrple) y *Colibri coruscans* (coco).

Por otro lado, se aplicaron pruebas estadísticas para comparar temporalmente los índices de diversidad alfa con los valores de los transectos según la evaluación como de Kruskal-Wallis o ANOVA, dependiendo de la distribución normal de los datos. Mediante estas pruebas, ninguna mostró diferencias entre cada evaluación (Anexo 11, 12 y 13).



**Figura 18. Comparación de medianas de los índices de diversidad alfa entre las temporadas según A: Riqueza, B: Shannon-Wiener y C: la inversa de Simpson.**

La diversidad de la comunidad de aves a partir de los valores de la diversidad alfa de cada transecto fueron variables en el tiempo (indeterminismos), por lo que se sugiere que su

interpretación debe relacionarse a patrones generales de la comunidad. La diversidad alfa espacio-temporal, asociado a las formaciones vegetales, muestra que la alta diversidad en las zonas de agricultura y matorral, pero existe indicio de diferenciación del matorral debido a su menor variabilidad en el tiempo, denominándose como fuentes de diversidad.

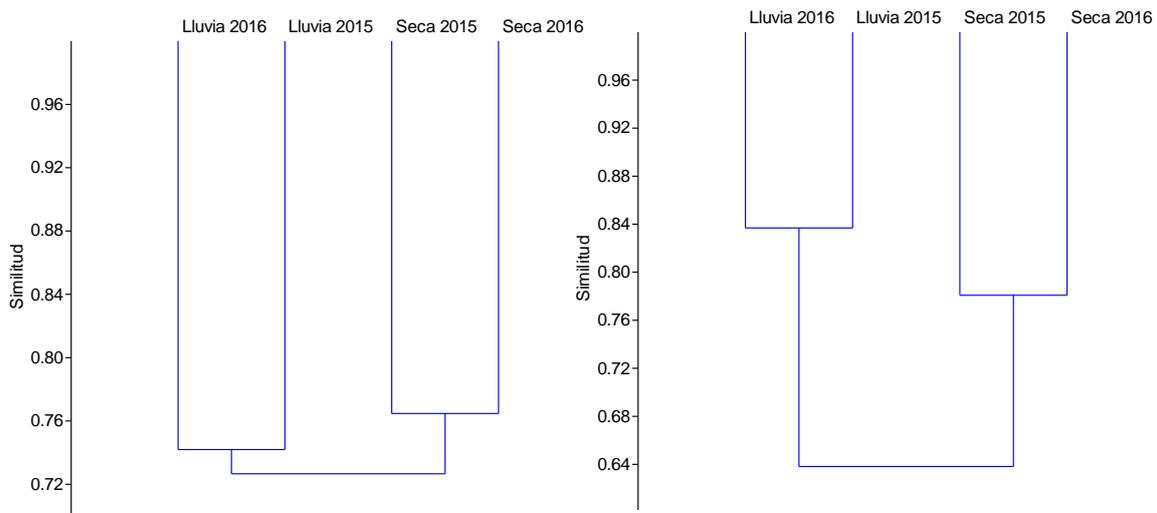
Este resultado muestra que las características de las zonas de agricultura mantienen cierto nivel de complejidad para la comunidad de aves, similar a los matorrales, por ejemplo, con presenta la vegetación matriz (“matorral”) en alrededores y el tipo de agricultura es no convencional (familiar). Es decir, las actividades humanas productivas, dentro de un “agroecosistema”, pueden aportar en la conservación de la biodiversidad (Cunningham *et al.*, 2002). Quinteros y Sánchez (2017) describen que las áreas agro-pecuarias del distrito de Cajatambo están en retroceso, permitiendo que la vegetación natural recupere estos espacios; de modo que la diversidad vegetal avanza como se lo permite la actividad agropecuaria. Este proceso de “matorralización” de zonas agro-pecuarias permite mantener altos valores de diversidad en ciertas zonas. En resumen, se presume que la similitud de la diversidad en las áreas de agricultura y matorral podría estar asociado a la alta heterogeneidad composicional y configuracional de los parches de vegetación más silvestres alrededor de estos transectos de agricultura, que da como resultado altos valores de diversidad si se compara con zonas agrícolas rodeados de parches de vegetación más homogéneas (Fahrig *et al.* 2011). Estas características pueden favorecer a la diversidad biológica ya que provee sitios de reproducción, refugio y forrajeo para varias especies (Revilla *et al.*, 2004; citado en Flores 2017).

A lo dicho en los párrafos anteriores, la mayor aptitud como fuente de diversidad señalada para las zonas de matorrales y de agricultura, es también compartida con el bosque de *Polylepis* (BP1), ya que estos bosques tienen una función de refugio para las aves (Flores, 2017). El Bosque de *Polylepis* presenta ciertas especies que no fueron registrados en otras zonas, es decir que también tiene importancia para la conservación de la biodiversidad. Sevillano (2016) sugiere que el hábitat podría proporcionar un refugio importante o amortiguar los efectos del calentamiento global en el futuro. Con esta observación, se podría agregar que los matorrales altoandinos podrían tener similar función.

## 4.2.4 Variación temporal y espacial de la comunidad de aves

### 4.2.4.1 Variación temporal

La variación temporal de la comunidad fue descrita por el análisis *cluster* mediante el índice de similitud de Sorensen-Dice y de Morisita (Figura 19). Con ambos análisis muestran exploratoriamente que existen dos estados ligados a la temporalidad; sin embargo, mediante la prueba de NP-MANOVA ninguno obtuvo diferencias significativas ( $F_{Dice} = 1.581$ , p-valor  $Dice = 0.330$ ;  $F_{Morisita} = 6.089$ , p-valor  $Morisita = 0.339$ ). Aún existe la posibilidad de encontrar este patrón en las diferentes evaluaciones ya que podría estar afectado por el bajo grado de libertad con las cuatro evaluaciones. Al comparar ambos análisis, se recomendó considerar el índice de similitud cuantitativa (Morisita) para reconocer mejor las diferencias entre temporada lluviosa y seca.



**Figura 19. Análisis cluster de la composición (índice de similitud Sorensen-Dice (a) y Morisita (b) entre las evaluaciones**

Al aplicar el Análisis de Componentes Principales (ACP), retirando del análisis a *Plegadis ridgwayi* debido a su alta abundancia en un solo transecto, se determinó el patrón temporal de la comunidad de aves (Figura 20). El componente 1 (Porcentaje de variancia= 61.689) reconoce la separación de los transectos según la temporada lluviosa y seca. Este componente destaca inversamente proporcional a *Colibri coruscans* (coco) y directamente



lluviosas porque realizan “*displays*” de apareamiento en los árboles de eucaliptos; sin embargo, esta especie tiene desplazamientos altitudinales y/o transversales entre cuencas por ciertas temporadas por lo que sus abundancias son bajas (Steven Sevillano comunicación personal, 22 de febrero de. 2019). En el caso de los granívoros pequeños puede deberse a su comportamiento gregario post-reproducción ya que fueron registrados en bandadas con individuos juveniles. En ese sentido, se sugiere que la metodología de la abundancia relativa podría ser ajustada a la probabilidad de detección de cada especie.

#### **6.2.4.2 Variación espacio-temporal**

La variación espacio-temporal tuvo como resultado los atractores (estados) de la comunidad de aves y sus respectivas especies clave mediante análisis multivariados y SIMPER, respectivamente. El análisis de la variación espacio-temporal se comparó dos enfoques:

**1) Enfoque espacial y temporal:** se obtuvieron los atractores a partir reconocer patrones recurrentes de asociación en cada evaluación en el tiempo (Anexo 14, 15, 16 y 17), denominado “**unión de partes**”. En total se reconocieron cuatro atractores, con sus respectivas especies clave (Anexo 18), que estuvieron relacionados con las formaciones vegetales (Tabla 4):

- “**Pajonal-césped y humedal**” (**grupo color celeste**): compuesto por transectos de bofedales y juncuales (humedales), como también transectos de pajonales-césped que están cerca de los humedales. Las especies clave en este atractor fue *Cinclodes albiventris* y *Sicalis uropygialis* debido a su asociación con estos tipos de formaciones vegetales.
- “**Pajonal-matorral**” (**grupo color morado**): están presentes los transectos P1, P5 y P6 ya que son pajonales con presencia de especies arbustivas. Este grupo obtuvo muy poca variación en el tiempo a diferencia de los otros. La especie clave en este atractor fue *P. plebejus* en todas las evaluaciones ya que son muy frecuentes en esta zona y con altas abundancias en ciertas evaluaciones, sobre todo en la temporada seca.

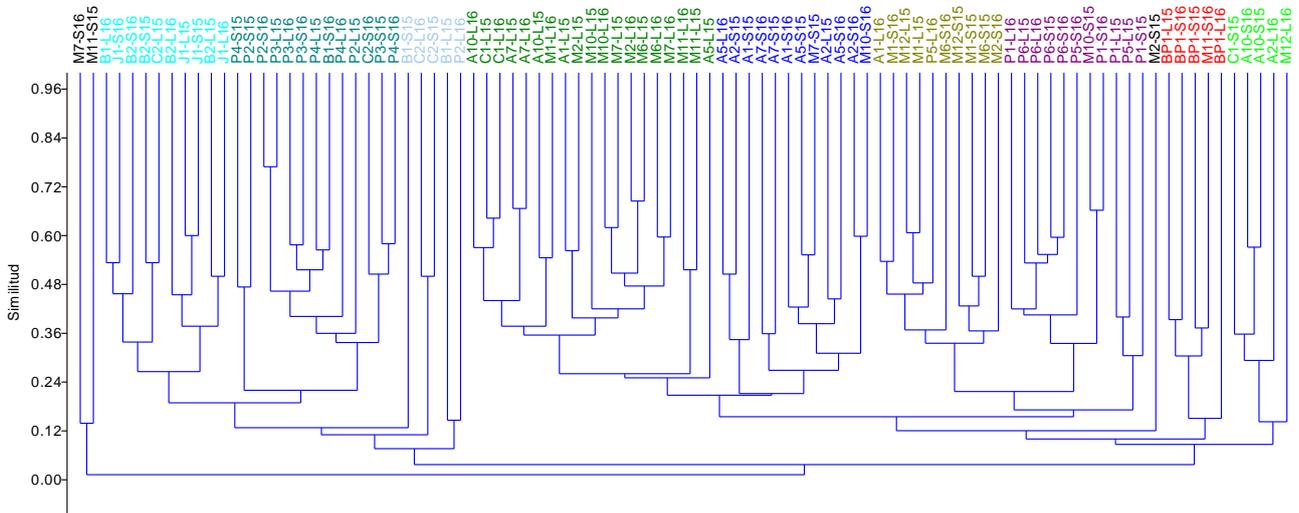
- “Agricultura-matorral 1 y 2” (grupo color verde y azul, respectivamente): asociados la mayoría de los transectos de estas formaciones vegetales y el transecto bosque de Polylepis BP1 en las temporadas secas. Cabe mencionar que en las evaluaciones Lluvia 2015 y Seca 2016 se diferenciaron estos dos tipos atractores. Las especies clave de estos atractores fueron *Zonotrichia capensis* y *Colibri coruscans* por su gran dispersión en estas formaciones vegetales. Es importante mencionar que la última especie es considerado clave solo en las temporadas lluviosas debido su alta dominancia, reconociéndose en este tipo de análisis como único indicio de un posible atractor temporal.

**Tabla 4: Propuesta de especies claves según cada atractor, bajo el enfoque espacial y temporal.**

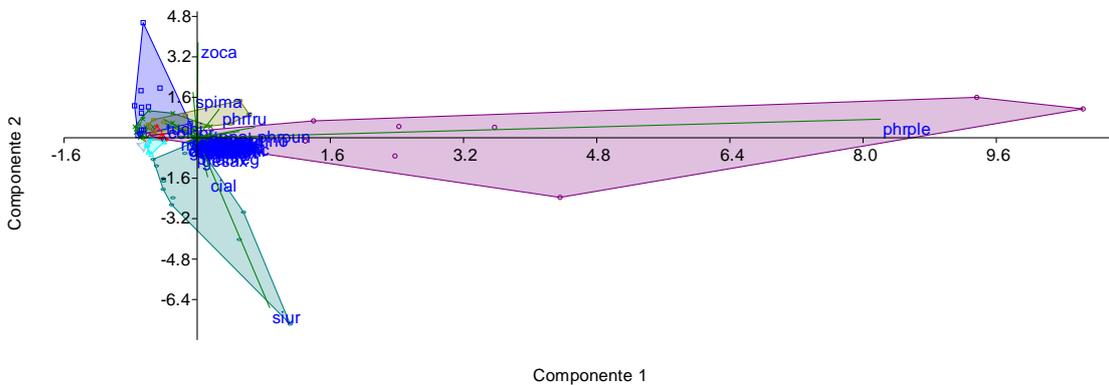
Atractor	Evaluación			
	Lluvia 2015	Seca 2015	Lluvia 2016	Seca 2016
<b>Pajonal-Césped y Humedal (PCH)</b>	<i>C. albiventris</i> <i>S. uropygialis</i>	<i>C. albiventris</i>	<i>C. albiventris</i>	<i>S. uropygialis</i>
<b>Pajonal-Matorral (PM)</b>	<i>P. plebejus</i> <i>T. aedon</i> <i>Z. capensis</i>	<i>P. plebejus</i> , <i>S. olivascens</i>	<i>P. plebejus</i>	<i>P. plebejus</i>
<b>Agricultura y matorral (1) (AM1)</b>	<i>C. coruscans</i> <i>P. fruticeti</i>	<i>Z. capensis</i> , <i>P. fruticeti</i>	<i>C. coruscans</i> <i>Z. capensis</i>	<i>A. andecolus</i> <i>T. chiguanco</i> <i>Z. capensis</i>
<b>Agricultura y matorral (2) (AM2)</b>	<i>Z. capensis</i> <i>P. fruticeti</i>			<i>Z. capensis</i> <i>S. magellanicus</i>

**B) Enfoque espacio-temporal:** se analizaron los atractores a partir de la integración de todos los transectos de todas las evaluaciones, denominado “**integración de partes**”. Con la finalidad de diferenciar cada transecto según su evaluación, se agregó el código “L” si es de temporada lluviosa o “S” si es de temporada seca, además de 15 si fue evaluado en el año 2015 o 16 si fue en el año 2016. Antes del análisis, se retiraron algunos transectos como P5-S15, M12-S16 y C1-S16 debido a su poca similitud con alguno de los grupos ya que presentaron muy pocas especies o especies raras, además de retirar a *Plegadys ridgwayi* ya

que posee una variación alta por obtener pocas observaciones en pocos transectos. En total fueron determinados 9 atractores mediante los análisis multivariados y corroborados con la prueba NP-MANOVA (Figura 21 y 22, Anexo 19).



**Figura 21. Atractores espacio-temporales a partir de las agrupaciones del análisis Cluster (índice de Bray-Curtis)**



**Figura 22. Corroboración de los atractores espacio-temporales y su relación con las especies de aves, mediante el Análisis de Componentes Principales.**

El análisis cluster muestra dos grandes asociaciones de la comunidad de aves (“atractores de macro-escala”) denominadas “Pajonal-césped-humedal” y “Agricultura-matorral-pajonal”, sin ningún efecto de la temporalidad a este nivel de similitud. Seguidamente, sub-grupos (“atractores de meso-escala”) que están relacionados a una o dos formaciones vegetales, variación temporal y/o comportamiento de la comunidad de aves dominante, incluyendo las especies clave de cada atractor (Tabla 5, Anexo 20).

En el atractor de macro-escala “Pajonal-césped y humedal” se determinó tres atractores de meso-escala:

- **“Humedal” (H) (grupo color celeste)**: denominado principalmente a los transectos de bofedales y juncales de las diferentes evaluaciones, ya que ciertos transectos temporalmente pueden tener esta condición muy húmeda que atraen a ciertas especies. Las especies clave de la comunidad fueron principalmente *Cinclodes albiventris* y *Gallinago andina*, debido a que estas especies están asociadas a bofedales y turberas (Stotz *et al.*, 1996; Servat *et al.*, 2010; Gibbons *et al.*, 2016).
- **“Pajonal-césped” (P-C) (grupo color turquesa oscuro)**: relacionado a los transectos que están cercanos a los humedales que conforman pajonales y césped, destacando P3 y P4 en las diferentes evaluaciones. La especie clave de este atractor fue *Sicalis uropygialis*, seguido de *Cinclodes albiventris* que están vinculados a praderas de puna con cierto grado de humedad como bofedales en ciertas temporadas (Stotz *et al.*, 1996; Gibbons *et al.*, 2016; Franke, 2017).
- **“Humedal-césped con spp. gregarias” (H-C spp.) (grupo color acero)**: denominado por la alta abundancia de especies gregarias temporales como *Anas flavirostris* y *Oressochen melanopterus* donde presentan cuerpos de agua o suelos muy húmedos (Stotz *et al.*, 1996; Gibbons *et al.*, 2016). Jaramillo (2005) menciona que la alta abundancia de estas especies es por su comportamiento gregario en temporadas no-reproductivas, incluyendo a *Plegadis ridgwayi*. Es decir, que esta última especie podría incluirse en este atractor a pesar de que fue retirado del análisis.

En el atractor de macro-escala “Agricultura, matorral y/o pajonal” se reconocen 4 atractores de meso-escala:

- **“Agricultura-matorral temporada lluviosa” (A-M II) (grupo color verde oscuro)**: agrupación de diferentes transectos de agricultura y matorral de las temporadas lluviosas. La especie clave fue *Colibri coruscans*, debido a su alta abundancia en esta temporada y su gran distribución en la mayoría de estos transectos, seguido de *Zonotrichia capensis* y *Phrygilus fruticeti*. Estas especies tienen en común su asociación a matorrales montanos húmedo-semi húmedo, además que la primera

especie tiene alta afinidad a zonas con alta densidad de cobertura vegetal y humedad como bosques secundarios y bosques montanos siempreverdes (Stotz *et al.*, 1996).

- **“Agricultura temporada seca” (A s) (grupo color azul)**: representa a los transectos de agricultura en la temporada seca. La especie clave de este atractor fueron *Zonotrichia capensis*, seguido de *Turdus chiguanco*, que están asociados a matorrales secundarios y matorral montano árido (Stotz *et al.*, 1996); además que pueden ser muy tolerantes a diferentes ambientes (Villegas y Garitano-Zavala, 2010). Cabe mencionar que la mayoría de estos transectos fueron dominados por campos de cultivos abiertos para forraje (especialmente de kikuyo y alfalfa) con bordes de arbustivos secos en las temporadas secas.
- **“Matorral temporada seca” (M s) (grupo color beige)**: conformado por los transectos de matorral en las evaluaciones de la temporada seca, exceptuando a M11 ya que generalmente su ambiente es más húmedo que los otros matorrales evaluados. La especie clave fue principalmente *Phrygilus fruticeti*, seguido de *Zonotrichia capensis* que están relacionados a matorrales montanos áridos (Stotz *et al.*, 1996). La especie clave principal tiene preferencias por hábitats con pendiente compuesto de rocas y/o de arbustos en regiones áridas o semi-áridas (Fjeldså y Krabbe, 1990).
- **“Pajonal-matorral” (P-M) (grupo color morado)**: Al igual que el resultado del enfoque anterior, está compuesto por los transectos P1, P6 y P5, diferenciándose de otros pajonales por su relación con matorrales. Cabe mencionar que los dos últimos transectos obtuvieron poco recambio y variación en el tiempo de su composición. La especie clave es *Phrygilus plebejus*, debido a su alta abundancia y alta capacidad de dispersión en estas áreas. Cabe mencionar que se registró un nido de esta especie en el transecto P5 de la evaluación Lluvia 2016, similar a los registros de Hughes (1980) y Pozo-Zamora (2016), ya que anidan preferentemente en el suelo debajo de zonas arbustivas o césped denso. Mediante esta observación presume la importancia de esta mixtura de formaciones vegetales para su reproducción y refugio.
- **“Bosque de *Polylepis* y alrededores” (BP) (grupo color rojo)**: está presente el transecto BP1 en las diferentes evaluaciones. A pesar de su variación temporal en

su composición, la especie clave es *Xenodacnis parina* ya que es una especie muy común en bosques de Polylepis, especialmente asociada a arbustos propios de esta formación vegetal tales como *Gynoxis spp* (Schulenberg *et al.*, 2010).

- “**Agricultura-césped**” (A-C) (**grupo color verde limón**): representado por transectos de agricultura poco densa o césped, generalmente con especies para forraje de ganados con pocos bordes de matorral. La especie clave fue *Metriopelia ceciliae* debido a que está asociado a hábitats abiertos y secos, como campos de cultivos, matorrales y pastizales (Schulenberg *et al.*, 2010).

**Tabla 5: Propuesta de especies claves según cada atractor, bajo el enfoque espacio-temporal.**

Atractor macro-escala	Atractor meso-escala	Especie clave 1	Especie clave 2	Especie clave 3
Asociación de pajonal-césped y humedal	Humedal	<i>C. albiventris</i>	<i>G. andina</i>	
	Pajonal-Césped	<i>S. uropygialis</i>	<i>C. albiventris</i>	
	Humedal c/spp. gregarias	<i>Anas flavirostris</i>	<i>O. melanopterus</i>	
Asociación de agricultura, matorral y/o pajonal	Agricultura-matorral temporada lluviosa	<i>C. coruscans</i>	<i>Z. capensis</i>	<i>P. fruticeti</i>
	Agricultura temporada seca	<i>Z. capensis</i>	<i>T. chiguanco</i>	
	Matorral temporada seca	<i>P. fruticeti</i>	<i>Z. capensis</i>	
	Pajonal-matorral	<i>P. plebejus</i>		
	Polylepis y alrededores	<i>X. parina</i>		
	Agricultura-Césped	<i>M. ceciliae</i>		

Al comparar los dos enfoques de clasificación (“espacial y temporal” y “espacio-temporal”), se discute sus diferencias. El primer enfoque intenta sintetizar la asociación del espacio y tiempo por repetición de las asociaciones espaciales a partir de cada evaluación (“temporal”), obteniendo cuatro atractores. El segundo enfoque integra el espacio y tiempo en un mismo análisis, resultando la emergencia de otros atractores que el primero no reconoció,

incluyendo otras formas de asociación diferentes a las formaciones vegetales; es así que, se obtuvieron nueve atractores con este enfoque. La combinación de diferentes componentes y sus relaciones generan propiedades emergentes, por ende patrones emergentes, que no pueden ser previstas desde las partes (Cumming, 2011). A modo de crítica, generalmente las investigaciones espacio-temporales buscan encontrar patrones a partir del primer enfoque; sin embargo, el segundo enfoque reconoce la complejidad de encontrar patrones a partir de una matriz más grande, pero con resultados con mayor información.

El resultado final de los atractores espacio-temporales fueron en dos escalas diferentes: macro-escala y meso-escala. En el nivel de macro-escala se clasificaron dos tipos asociados a las formaciones vegetales y en el nivel meso-escala en nueve tipos asociados tanto a la(s) formación(es) vegetal(es) predominante(s), temporalidad y/o composición de especies gregarias. La comunidad de aves como sistema es anidado, es decir, que el sistema está conformado por sistemas en sí mismo, comprendiéndose mejor desde múltiples perspectivas de diferentes tipos y escalas (Kay *et al.*, 1999).

Los atractores de macro-escala podrían ser un primer elemento para estratificar espacialmente a la comunidad de aves ya que la composición en su mayoría es diferente. Esta separación podría ser de utilidad para las comparaciones de la variación temporales de largo alcance, ya que en la creación de un programa de monitoreo sería importante reconocer los cambios a diferentes escalas. Por otro lado, desde el punto de vista del intercambio de especies espacio-temporales entre estos dos atractores es muy bajo ya que comparten pocas especies entre estas formaciones vegetales (por ejemplo, *Phrygilus plebejus*).

La temporada de lluvias es uno de los procesos importantes en las comunidades silvestres y antrópicas en zonas áridas o semi-áridas debido a su aporte en el desencadenamiento de diferentes funciones ecosistémicas (Martínez Fernández, 2006). En el caso de la comunidad de aves de las áreas de matorral y agricultura, presentan una alta similitud de composición de especies en las temporadas lluviosas, siendo *Colibri coruscans* indicador de este atractor. Sin embargo, poseen menor similitud en la temporada seca cuando dominan *Zonotrichia capensis* y *Phrygilus fruticeti* en agricultura y matorral, respectivamente. Estos resultados sugieren que la temporada lluviosa indirectamente, mediante generación de recursos

vegetales, homogeniza la composición de aves en agricultura y matorral. La función del agua, en este ejemplo, principalmente es reconectar las redes tróficas mediante la formación corredores biológicos temporales, favoreciendo a la biodiversidad (Martínez Fernández, 2006).

Una peculiaridad entre las asociaciones de atractores es que, en todas las evaluaciones, la composición del bosque de *Polylepis* (BP1) está más asociado al atractor pajonal-matorral (matriz predominante) que al atractor pajonal-césped. La variación temporal de la composición de aves en el bosque de *Polylepis* tuvo mayor similitud con el atractor de matorral en las temporadas secas que en las temporadas húmedas (Anexo 14, 15, 16 y 17). Los bosques de *Polylepis* en las temporadas húmedas mantienen la humedad y protegen del calor a las especies (Sevillano, 2016), agregándose especies de matorrales y pajonales. Este último resultado fue a partir del enfoque “espacial y temporal” que ayudó a explorar posibles patrones locales como la relación del Bosque de *Polylepis* y su matriz de vegetación en el tiempo.

La validación temporal de la clasificación de la distribución espacio-temporal mediante atractores se podría reafirmar al incluir otros transectos que Flores (2017) consideró en el primer año, ya que se observa que ciertos transectos según sus características del hábitat y composición de especies podrían estar asociados a determinados atractores que se propone. Esta clasificación debe ser corroborada en futuras evaluaciones, incluyendo otras variables que podrían explicar o dar indicios de posibles cambios en las asociaciones de la comunidad de aves.

En el caso de la clasificación clave a partir de los datos del año 2015, Flores (2017) sugirió tres especies indicadoras: *Cinclodes albiventris*, *Troglodytes aedon* y *Zonotrichia capensis*, debido a sus comportamientos generalistas por la amplitud de su nicho. Estas tres especies estuvieron asociadas a los estratos de altitud: alto, medio y bajo, respectivamente. Al incluir nuevas observaciones se reconoció las especies clave a partir de los “atractores de meso-escala” espacio-temporal, que incluye indirectamente a la altitud como factor de diferenciación.

Flores (2017) menciona que la especie más abundante es *Zonotrichia capensis*, reconociéndose como una de las especies clave por su alta presencia en el área de estudio. Esta afirmación hasta el momento se podría corroborar ya que en el análisis SIMPER es la especie con mayor contribución. Se podría considerar especies clave de la comunidad de aves del distrito a *P. plebejus*, *S. uropygialis*, *P. fruticeti* y *C. coruscans* ya que presentan alta abundancia relativa y variación entre las evaluaciones. Sin embargo, se sugiere utilizar a los grupos funcionales como variable clave para reconocer los principales procesos ecológicos.

Por otro lado, se describió la dinámica temporal de atractores en los transectos desde el punto de vista de Sistema Complejo Adaptativo (CAS, siglas en inglés) ya que presenta resiliencia y transformabilidad temporal. En este caso se entiende por resiliencia y transformabilidad a la comunidad de aves local (transecto) que se mantiene en un mismo atractor y que tiene dos o más atractores en el tiempo, respectivamente. Con estas terminologías, se han clasificado hasta siete dinámicas temporales de CAS recurrentes en las comunidades de aves (Tabla 6):

- ***Resiliente en todas las observaciones***: representa a los transectos que en todas las evaluaciones estuvo ligado a un solo estado. Este grupo posee el mayor número de transectos (29.2 por ciento de transectos evaluados), que fueron B2, J1, BP1, P1, P3, P4 y P6.
- ***Parcialmente resiliente***: representa a los transectos que poseen tres evaluaciones con un mismo atractor. Los transectos fueron M1, P2, A5 y A2.
- ***Resiliente en temporadas lluviosas y secas***: representa a los transectos que en las temporadas lluviosas obtuvieron un estado y en las evaluaciones secas un estado diferente. En este caso, los transectos coinciden en pertenecer al atractor “A-M II”. Los transectos fueron A7, A10 y M6.
- ***Resiliente en temporada seca, transformable en temporada lluviosa***: representa a los transectos que en las temporadas secas estuvo asociado con un solo atractor y en la temporada lluviosa con atractores diferentes. El único transecto fue A1.

- ***Resiliente temporadas lluviosas, transformable en temporadas seca***: representa a los transectos que en las temporadas lluviosas estuvo asociado con un solo atractor y en la temporada seca con atractores diferentes. Los transectos fueron C1, M2, M7, M10 y M11.
- ***Resiliente en el año 2015 y transformable en el año 2016***: representa a los transectos que en el año 2015 estuvo ligado a un atractor y en el año 2016 fue variable. Los transectos fueron B1 y M12.
- ***Medianamente resiliente y transformable***: representa a los transectos que poseen dos evaluaciones con un mismo atractor. Los transectos fueron P5 y C2.

A partir de estos atractores, se puede reconocer que ciertos transectos pueden tener un estado deseado y no deseado según el objetivo. Desde el punto de vista de la conservación de la diversidad biológica, se puede mencionar que el matorral mejor conservado es en el transecto M11 ya que tiene ligera similitud a los bosques de *Polylepis* en las temporadas secas; caso contrario, M7 se podría considerar como un matorral con poca composición comunitaria de matorral en las temporadas secas, ya que su composición tiene similitud con la agricultura. En ese sentido, se debe mencionar que cada transecto tiene su propia dinámica, exceptuando los transectos resilientes en todas las evaluaciones, que podría tener como punto de comparación para nuevas hipótesis sobre la variación de las comunidades en el tiempo.

La clasificación de Césped como una sola formación vegetal (C1 y C2) podría dividirse ya que la composición y las dinámicas de atractores difieren, excepto por su baja diversidad. El transecto C1 está muy asociado a comportamientos similares a la agricultura y matorral en temporadas lluviosas, y el transecto C2 presenta una composición similar a humedales con especies gregarias en ciertas evaluaciones ya que su dinámica ligeramente caótica. En ese sentido, se sugiere clasificar a las zonas con similares características a estos transectos dos tipos de formación específica: césped agrícola y césped de puna. Por ello, se propone que las dinámicas de los atractores también nos ayudan a clasificar funcionalmente posibles sub-sistemas.

**Tabla 6: Dinámica temporal de atractores en la comunidad local de aves, como Sistema Complejo Adaptativo.**

Transecto	Evaluación				Dinámica temporal de Sistema Complejo Adaptativo
	Lluvia 2015	Seca 2015	Lluvia 2016	Seca 2016	
B2	H	H	H	H	Resiliente en todas las evaluaciones
J1	H	H	H	H	
BP1	BP	BP	BP	BP	
P1	P-M	P-M	P-M	P-M	
P6	P-M	P-M	P-M	P-M	
P3	P-C	P-C	P-C	P-C	
P4	P-C	P-C	P-C	P-C	
P2	P-C	P-C	H	P-C	Parcialmente resiliente
M1	M s	M s	A-M II	M s	
A5	A-M II	A s	A s	A s	
A2	A s	A s	A-C	A s	
A7	A-M II	A s	A-M II	A s	Resiliente en temporadas lluviosas y secas
A10	A-M II	A-C	A-M II	A-C	
M6	A-M II	M s	A-M II	M s	
A1	A-M II	A s	M s	A s	Resiliente en temporada seca, transformable en temporada lluviosa
C1	A-M II	A-C	A-M II	X	Resiliente temporadas lluviosas, transformable en temporadas seca
M2	A-M II	X	A-M II	M s	
M7	A-M II	A s	A-M II	X	
M10	A-M II	P-M	A-M II	A s	
M11	A-M II	X	A-M II	BP	
B1	H	H	H	P-C	Resiliente en el año 2015 y transformable en el año 2016
M12	M s	M s	A-C	X	
P5	P-M	X	M s	P-M	Medianamente resiliente y transformable
C2	H	H	H	P-C	

**Leyenda de colores:**

H	P-C	H spp.	A-M II	A s	M s	P-M	BP	A-C	X
---	-----	--------	--------	-----	-----	-----	----	-----	---

H: humedal, P-C: Pajonal-césped, H spp.: humedal con spp. gregarias, A-M II: Agricultura-matorral en temporada lluviosa, A s: Agricultura en temporada seca, M s: Matorral en temporada seca, P-M: Pajonal-matorral, BP: Bosque de Polylepis y alrededores, A-C: Agricultura-Césped, X: no tienen atractor definido.

La comunidad de aves presentó características básicas de un Sistema Complejo Adaptativo (CAS, siglas en inglés) mediante la interpretación de los patrones espacio-temporales de la diversidad y los atractores. Por ejemplo, se evidenció la **autoorganización** debido a la presencia de constricciones (interacción limitadas y no aleatoria) y al incremento de la complejidad (heterogeneidad entre los elementos) (Earls 2006). En el primer caso, se reconocen asociaciones de la comunidad de aves que fueron determinados como atractores debido a su relación con el hábitat, temporalidad e interacciones entre especies; y en el segundo caso, se registran diferencias de complejidad dada la presencia de más atractores en ciertas formaciones vegetales que en otras. A partir de esta característica se generan sistemas dentro de un mismo sistema (sistemas anidados), denominado **holárquico** (Kay *et al.*, 1999) y con un comportamiento de **múltiples estados** (atractores) en la comunidad de aves, tanto espaciales como temporales. Kay *et al.* (1999) menciona que los sistemas complejos no tiene un estado único preferido en una situación dada, que puede ser función de accidentes histórico u otros factores. Existen otras características de un CAS que puede ser corroborado con los próximos monitoreos biológicos.

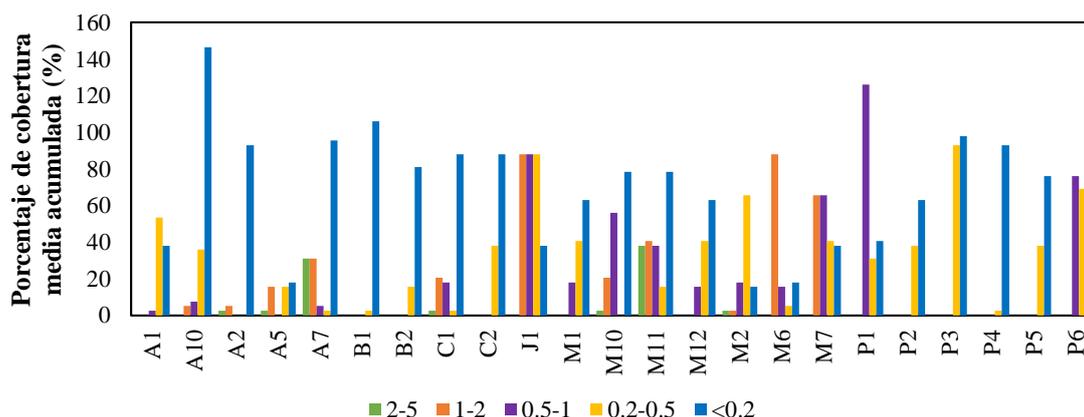
Estos resultados sugieren que las comunidades de aves en agricultura, matorral y alrededores tienden a poseer un comportamiento entre el orden y el caos, denotando su mayor complejidad que las comunidades de otras las formaciones vegetales, en nivel de escala de estudio. Estas características son importantes ya que se reconoce mayor auto-organización y adaptabilidad frente a la estocasticidad ambiental.

Si bien ciertos transectos ubicados en los pajonales y bofedales de altura presentan un solo atractor (resiliente en todas las evaluaciones), hay evidencias que existe temporalidad de la comunidad de aves en humedales altoandinos peruanos. Gibbons *et al.* (2016) reconocieron que ciertos bofedales y céspedes cortos poseen diferencias entre la temporada seca y lluviosa. En el presente estudio probablemente exista temporalidad en el atractor “humedal”; ya que podría deberse a la escala espacial y/o temporal del análisis de estas formaciones vegetales.

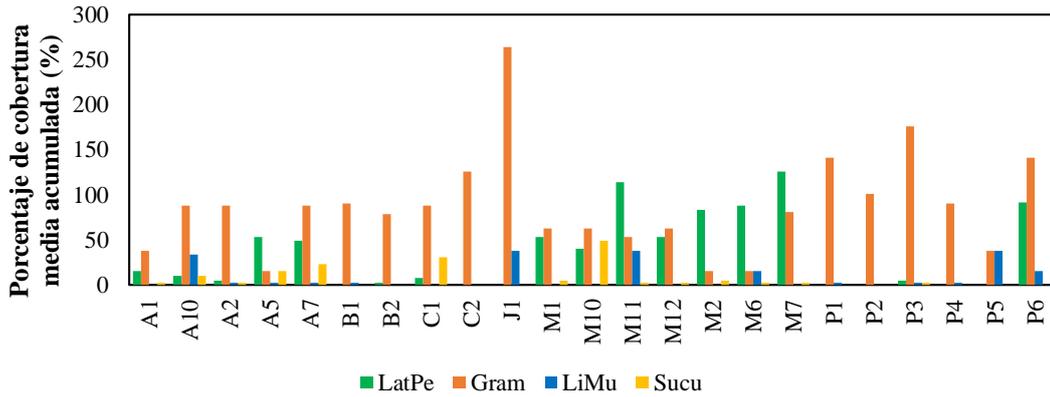
### 4.3 DESCRIPCIÓN DE LOS FACTORES AMBIENTALES

#### 4.3.1 Factores biológicos (estructura de la vegetación)

Las variables de vegetación, a partir de la clasificación de Küchler y Zonneveld (1988) modificado por Ceroni en prensa, fueron la cobertura acumulada media según los estratos (Figura 23) y las formas de vida (Figura 24). En el primer caso, los principales estratos fueron los “<0.2 m” y “0.2 – 0.5 m”, representando la mayor cobertura en la mayoría de los transectos, sobre todo en los transectos de mayor altitud tales como pajonales, césped y bofedales. En cambio, los transectos de matorrales poseen estratos de “0.5 – 1 m” y “1 – 2 m”, y en los transectos de agricultura son variables ya que hay especies vegetales de porte arbóreo y/o arbustivo muy alto que fueron plantados. En el segundo caso, la principal forma de vida fue “Gramíneas (Gram)” con una alta dispersión en todos los transectos, obteniendo altos valores de cobertura en los transectos de pajonales, bofedales y césped. En los transectos de agricultura y matorral, la forma de vida de latifoliada perenne (LatPe) es una de las más dominantes. Weberbauer (1945) menciona que el piso de la “estepa de gramínea con arbustos dispersos” (3000 – 3500 msnm), donde se encuentran los transectos de agricultura y matorral, las plantas leñosas obtienen su mejor desarrollo a lo largo de las corrientes de aguas que llegan a formar a veces bandas angostas de monte.



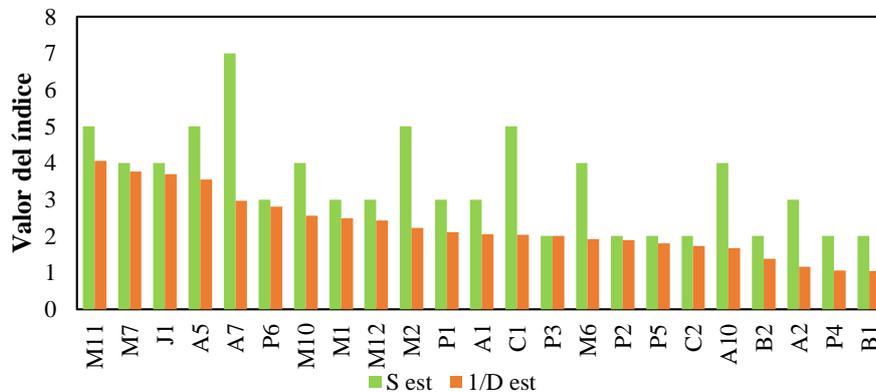
**Figura 23. Cobertura acumulada de las formas de vida en los transectos, según estratos de altura (m).**



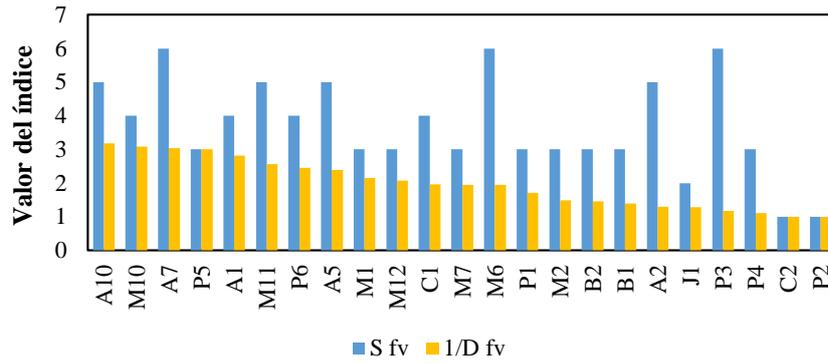
**Figura 24. Cobertura acumulada de los estratos en los transectos, según forma de vida.**

Leyenda: LatPe (Latifoliada Perenne), Gram (Gramínea), LiMu (Liquen y Musgo) y Sucu (Suculentas)

A partir de estos valores, se registró los índices de riqueza (S) y diversidad de la inversa de Simpson (1/D) tanto de los estratos como de las formas de vida (Figura 25 y Figura 26, respectivamente). Los transectos con altos valores en diversidad de estratos y formas de vida fueron algunos transectos de matorral, seguido de algunos transectos de agricultura; además de que algunos transectos de pajonal poseen valores medios de diversidad de formas de vida, tales como P5 solo en formas de vida y P6 en ambos. Weberbauer (1945) menciona que en las vertientes occidentales de los Andes centro-peruanos, el piso donde están presentes los matorrales y agricultura probablemente sea donde se acumula el mayor número de especies vegetales. En este caso, es probable que este piso también presente mayor número de formas de vida (Aldo Ceroni, comunicación personal, 29 de noviembre de 2018).



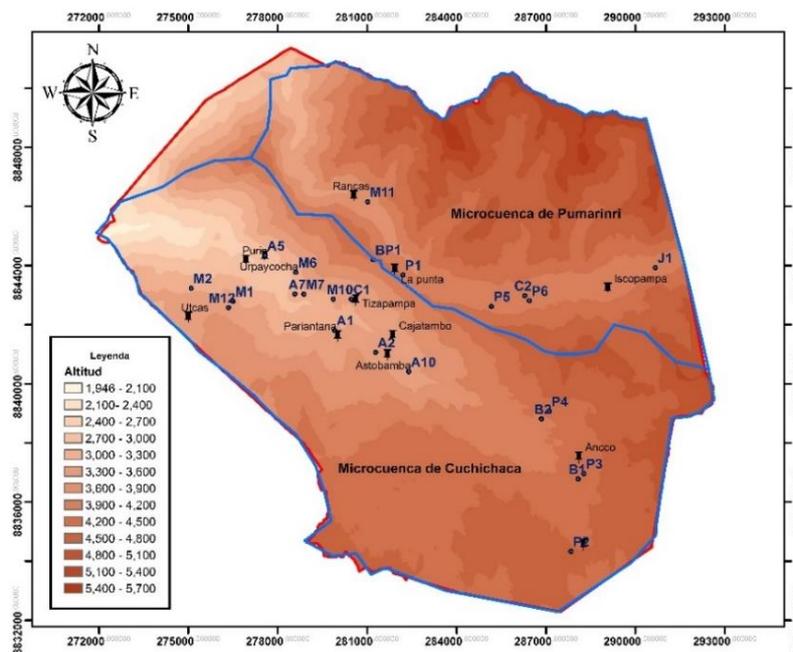
**Figura 25. Riqueza y diversidad de Inversa de Simpson de estratos de la vegetación.**



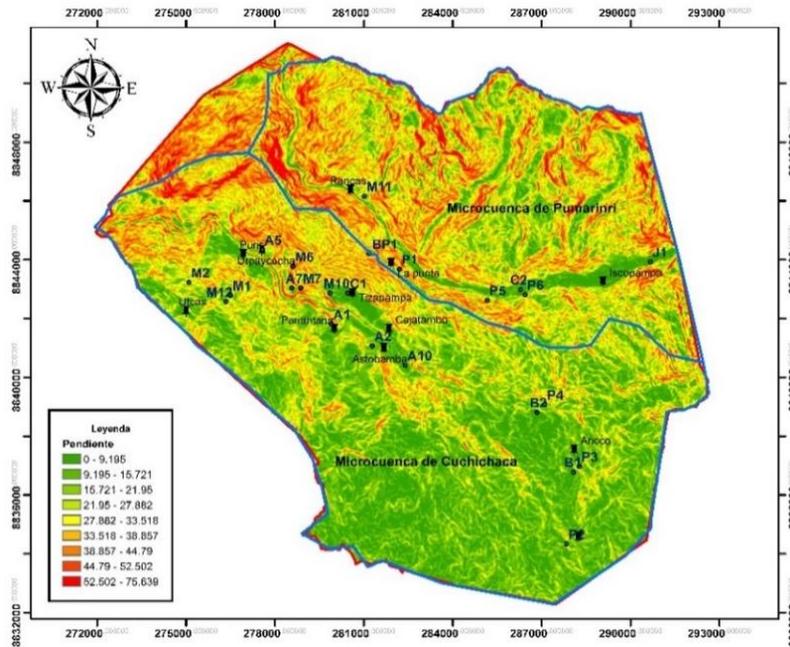
**Figura 26. Riqueza y diversidad de Inversa de Simpson de formas de vida de la vegetación.**

#### 4.3.2 Factores físicos (fisiografía y mosaico de parches)

Existen diferentes factores físicos que podrían influir en los patrones de distribución de las aves en un ecosistema andino, pero se consideró algunos factores que sean por lo menos de tipo nominal. Entre los factores de fisiografía del área fueron la altitud y la pendiente, y los factores de mosaico de parches fueron mediante índices de nivel de clase (PLAND, PD y LPI) y de paisaje (SHDI y SIDI).



**Figura 27. Mapa de rango de altitud del área de estudio.**

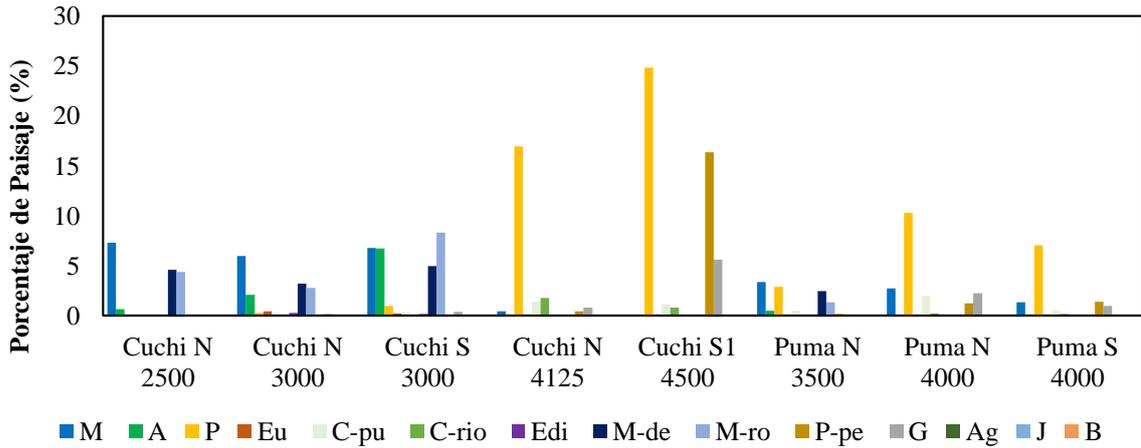


**Figura 28. Mapa de rango de pendiente del área de estudio.**

Los mapas de isolíneas de la altitud y de la pendiente muestran algunas diferencias macroscópicas entre las microcuencas (Figura 27 y 28). Se reconoce que la amplitud entre laderas de la microcuenca Pumarinri es mucho más angosta que Cuchichaca y que la microcuenca de Cuchichaca posee menos variación de pendiente, sobre todo en las zonas más altas. Estas características muestran que en la cuenca alta de Cuchichaca áreas posee mayor exposición al sol, donde la evapotranspiración podría ser mayor que en otras zonas (seco).

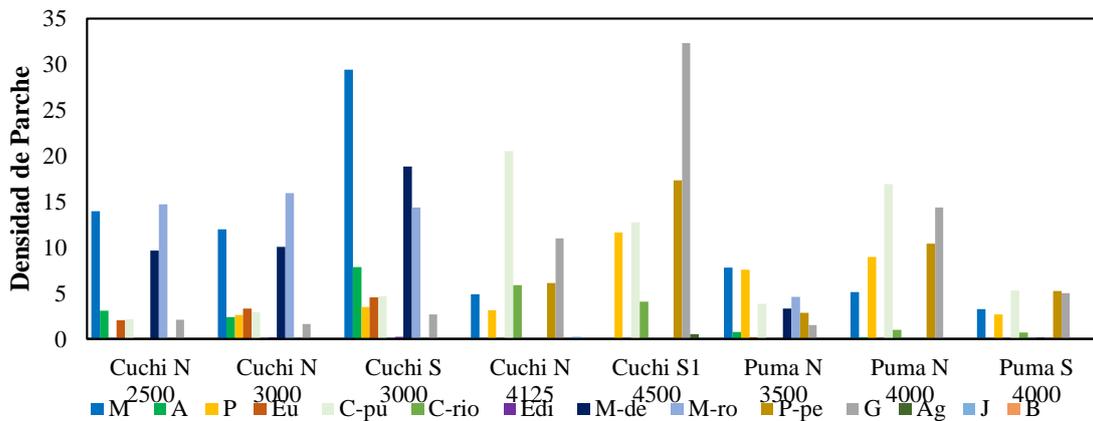
La descripción de los índices de paisaje a nivel de clase fue descrita a partir de los subpaisajes de los transectos, codificada según microcuenca y altitud (Figura 3). En el caso de Porcentaje de Paisaje (PLAND) destaca las zonas con altos valores de pajonal (P) en los subpaisajes altos, seguido de matorral (M) y matorral denso (M-de) en los paisajes medios y bajos (Figura 29). Se registra que los porcentajes de pajonal en Cuchichaca son altos a partir de 4125 msnm, incluso con gran porcentaje de área; sin embargo, en Pumarinri es a partir de 3500 msnm y con menor porcentaje de área. En ambos casos, el porcentaje de área de matorral es inversa al porcentaje de pajonal. Según la Densidad de Parches (PD), se observa que la microcuenca de Cuchichaca posee altos valores de densidad, mayor cantidad de parches en una misma área, que la microcuenca de Pumarinri (Figura 30). En ese sentido,

los altos valores en PLAND y PD de tipos matorral (M, M-de, M-ro) en la microcuenca baja y media de Cuchichaca podrían reflejar indirectamente el grado de fragmentación de los parches de estas formaciones vegetales. Por último, el Índice de Parche más Grande (LPI) corrobora indirectamente el grado de heterogeneidad de la cuenca media y baja de Cuchichaca, y que en ambas microcuencas poseen a los pajonales con una alta área de parche, siendo mucho mayor en Cuchichaca (Figura 31).

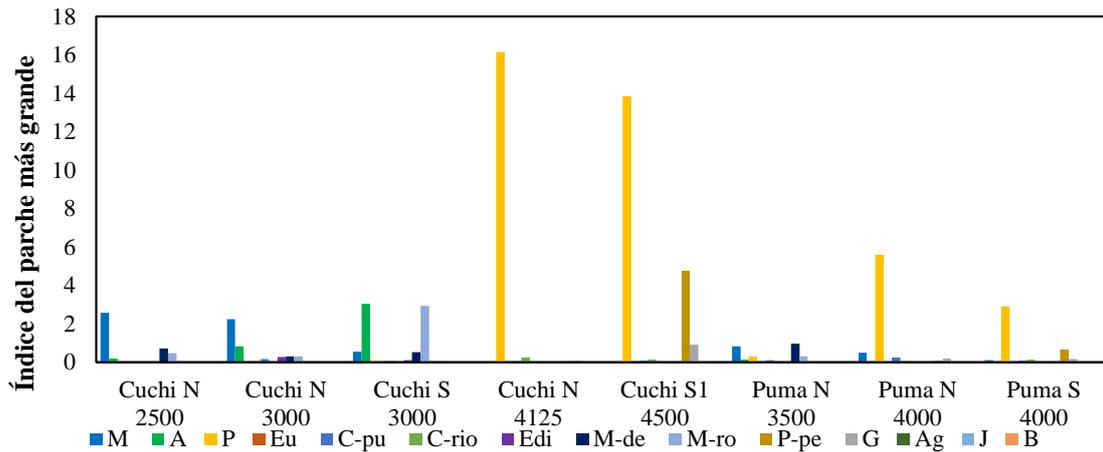


**Figura 29. Porcentaje de Paisaje (PLAND) según el tipo de cobertura vegetal en los subpaisajes.**

Leyenda: M: matorral, A: agricultura, P: pajonal, Eu: relicto de eucaliptos, C-Pu: césped de puna, C-rio: césped de río, Edi: edificaciones, M-de: matorral denso, M-ro: matorral roquedal, P-pe: pajonal pedregal, G: gravilla, Ag: agua, J: juncal, B: bofedal)

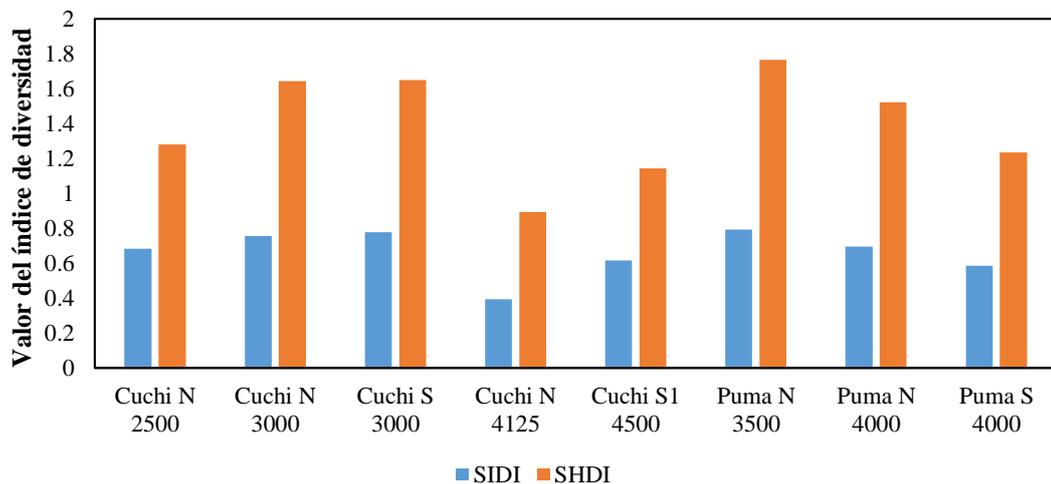


**Figura 30. Densidad de Parche (PD) según el tipo de cobertura vegetal en los subpaisajes**



**Figura 31. Índice del parche más grande (LPI) según el tipo de cobertura vegetal en los subpaisajes.**

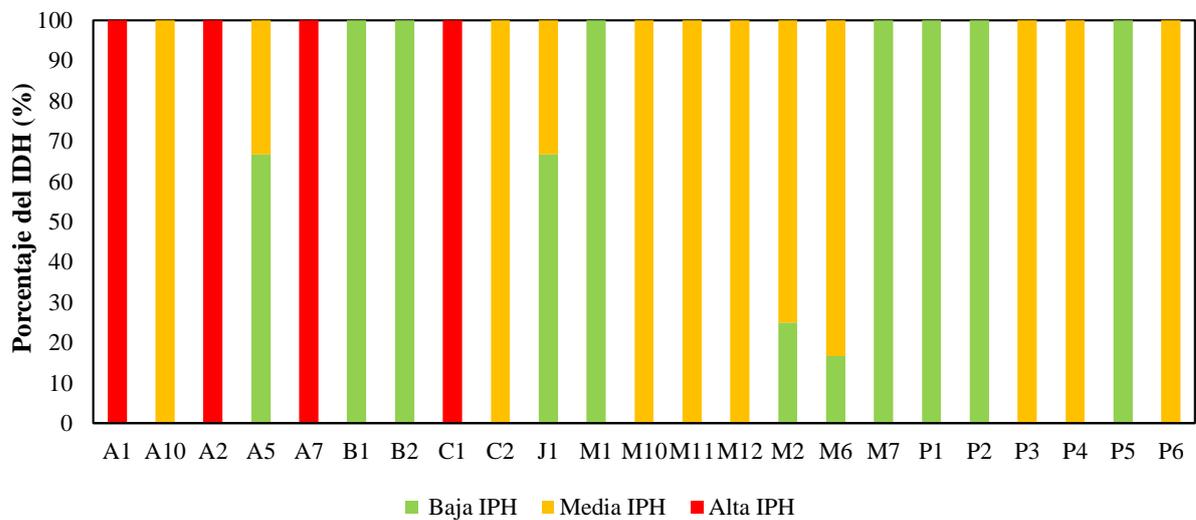
A modo de resumen, se incluyeron los índices de diversidad de paisaje, tanto Shannon (SHDI) y Simpson (SIDI), que afirma la mayor diversidad entre los pisos altitudinales de 3000 y 3500 msnm en la microcuenca de Cuchichaca (Cuchi N 3000 y Cuchi S 3000) y entre 3500 – 4500 msnm en la ladera norte de Pumarinri (Cuchi N 3500 y Cuchi N 4000). Ambos índices obtuvieron similar tendencia en todos los subpaisajes (Figura 32).



**Figura 32. Índice de diversidad de Shannon (SHDI) y Simpson (SIDI) en los subpaisajes.**

### 4.3.3 Factor antrópico

El factor antrópico fue determinado como porcentaje de Intensidad de Presencia Humana (IPH) clasificados tres niveles: baja, media y alta (Figura 33). El indicador de Baja IPH determina que hay ciertos transectos con altos valores destacando los bofedales y algunos pajonales con poca presencia humana, incluido A5, M7 y M1 como únicos transectos de sus respectivas formaciones vegetales. En el caso de Media IPH, generalmente son algunos transectos de matorral y pajonal, así como A10 y C2, y de Alta IPH fueron algunos transectos de agricultura como A1, A2 y A7 y el transecto C1, por sus cercanías a las diferentes actividades agro-pecuarias en sus alrededores. Los diferentes grados de abandono de los transectos de agricultura podrían estar asociados al IPH, que refleja las diferencias dentro de una misma formación vegetal, sobre todo en transectos de agricultura y matorral. Estos resultados muestran que las categorías no están ligadas estrictamente a ciertas formaciones vegetales ya que en cada transecto y sus alrededores se realizan diferentes actividades sociales y culturales.



**Figura 33. Porcentaje de las tres categorías de Intensidad de Presencia Humana (IPH) en los transectos evaluados.**

#### 4.4 RELACIÓN DE LOS FACTORES AMBIENTALES CON LA COMUNIDAD DE AVES

Al contar con 62 factores, fueron eliminados algunos factores mediante el grado de asociación entre factores (redundantes) expresado en el Análisis Clúster mediante el índice de similitud correlación (Figura 34), corroborado con la prueba NP-MANOVA (Anexo 21). Inicialmente difieren los factores asociados a dos ecosistemas determinados como **agricultura-matorral andino** y **pajonal de puna húmeda**, como define MINAM (2017). Cabe mencionar que agricultura y matorral andino son dos ecosistemas diferentes según MINAM. Entre esta separación inicial, existen dos grupos que explica ciertas características compartidas de ambos ecosistemas, como transectos con altas pendientes, estrato menor a 0.2 m, bajas y medias IPH (grupo rosado), además de parches grandes de agricultura y césped de puna como también estratos entre 0.5 a 2 m (grupo morado). Cabe mencionar que el grupo rosado tiene una ligera afinidad al ecosistema de “pajonal de puna húmeda” y el grupo morado a “agricultura-matorral andino”.

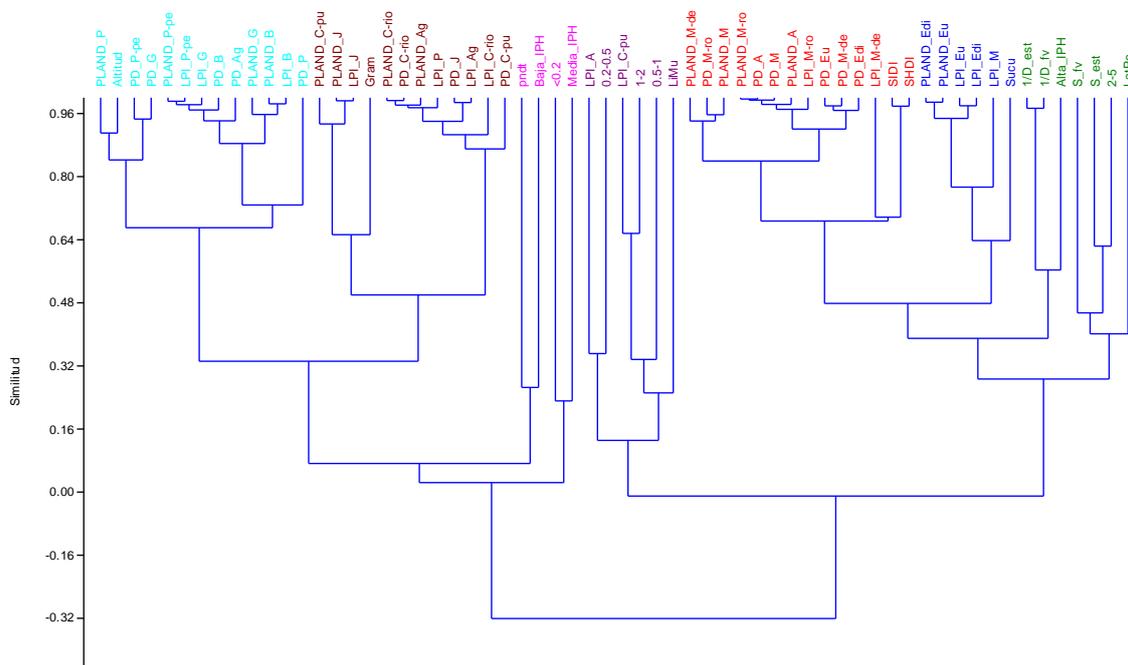
En el ecosistema de agricultura-matorral andino, caracterizado con alta diversidad de estratos y formas de vida vegetales y presencia de latifoliadas perenne (LatPe) (grupo verde), se observan dos grupos:

- 1) **Con artificialidad semi-intensiva a poco intensiva (grupo rojo):** transectos de similar composición del paisaje de agricultura y de los tres tipos de matorrales, y alta diversidad de paisaje.
- 2) **Con artificialidad intensiva (grupo azul):** transectos con asociación a composición del paisaje con pueblos cercanos tanto por el aglomeramiento de edificaciones y plantaciones de eucaliptos (alta riqueza de estratos vegetales), como también la presencia de formas de vida vegetal de suculentas (Sucu), generalmente agaves.

Cabe mencionar que la denominación de *artificialidad* es reflejada por las características de la composición (y configuración, de manera indirecta) del paisaje en ciertas formaciones vegetales (nivel de clase) no naturales. Esto podría reflejar el grado de transformación del paisaje como variable lenta del resultado de las actividades humanas.

El ecosistema de pajonal de puna húmeda se divide en dos grupos:

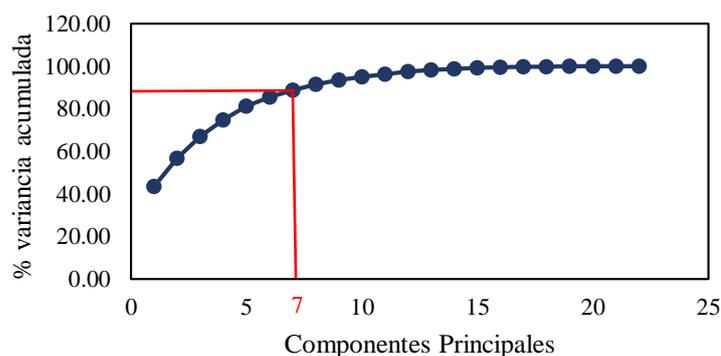
- 1) **Puna baja-media (grupo marrón):** transectos con composición de paisaje de juncuales, césped de río y de puna, algunos están cercanos de ríos y cuerpos de agua, y con alta presencia de tipo de vida de gramíneas (Gram).
- 2) **Puna alta (grupo celeste):** transectos con composición principalmente de bofedales y gravilla, así como cierta la presencia parches de agua y pajonales, como producto de la erosión por la altitud.



**Figura 34. Agrupación de factores ambientales a nivel de biológico, físico y social, mediante el análisis cluster (índice de similitud de correlación).**

Inicialmente se consideró utilizar el Análisis Factorial a partir de la variabilidad de los grupos formados; sin embargo, los supuestos que requiere este análisis no se cumplieron (prueba de KMO y esfericidad de Bartlett determinó que las variables están muy intercorrelacionadas), así que se aplicó la prueba de Análisis de Componentes Principales (Anexo 22). Mediante este análisis se consideró los primeros siete componentes principales debido a que poseen el 88% de la varianza acumulada (Figura 35). A partir de estos componentes se eligieron los factores más correlacionados positiva y negativamente a cada uno de estos componentes (Anexo 23), siendo en total 14 factores. Sin embargo, no se consideró un factor elegido

(PD\_Ag) ya que tiene una alta similitud con otro (PLAND\_B) y que está asociado a un componente principal con bajo porcentaje de varianza. Los factores elegidos según su agrupación y su ecosistema se muestran en la Tabla 7. Estos factores fueron elegidos como representación de otros factores, así que no debe asociarse las variables biológicas únicamente con el factor sino con la interpretación del conjunto de factores.



**Figura 35. Porcentaje de acumulación de varianza agregando componentes principales.**

**Tabla 7: Factores seleccionados por el ACP que representan a la agrupación del total de factores**

Ecosistema	Nombre de la agrupación	Factor seleccionado
Pajonal de puna húmeda	Puna alta (P a)	“PLAND P” y “PLAND B”
	Puna baja- media (P b-m)	“PD J”
Asociación de agricultura-matorral	Diversidad de estratos y formas de vidas vegetales (D veg)	“2-5”
	Con artificialidad intensiva (A-M i)	“Sucu” y “LPI Edi”
	Con artificialidad semi-intensiva a poco intensiva (A-M si)	“PLAND M” y “LPI M-ro”
Intermedio	Pendiente e IPH medio y bajo (Intermedio 1)	“pdnt”, “Media IPH” y “Baja IPH”
	Estratos medios de parches grandes de A y C-pu (Intermedio 2)	“LPI C-pu” y “LPI A”

La interpretación de la interacción de los factores fue basada, casi en su totalidad, por sus características del paisaje ya que incluían mayor variación que otros factores y representaron el 70% de todos los factores. Este resultado podría ser un problema de escala de medición ya que los otros factores parten de una clasificación “cualitativa ordinal”, a diferencia de los factores de paisaje que fueron de una clasificación “cuantitativa continua”. Por esta razón, se recalca que la interpretación de los factores seleccionados debe ser a nivel del conjunto de factores, y no individualmente.

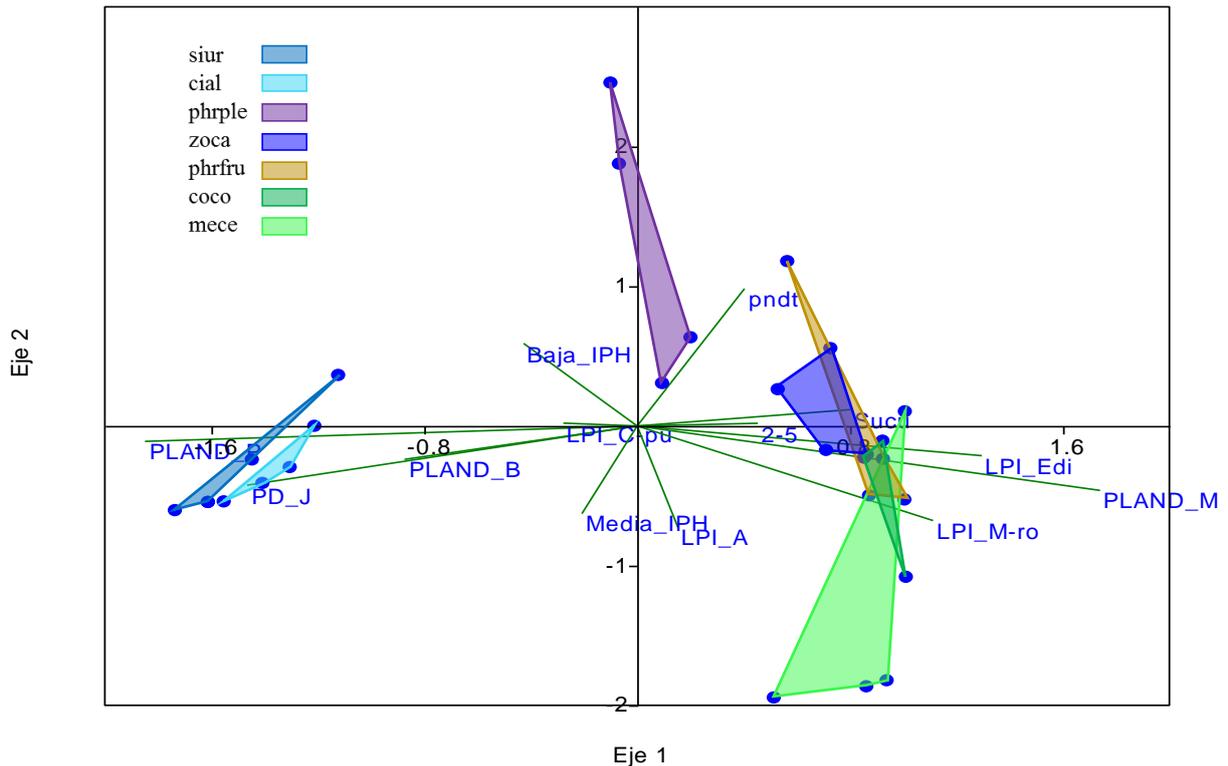
Quinteros y Sánchez (2017) mencionan que “la actividad agropecuaria es uno de los factores clave que controlan la diversidad biológica, en principio la botánica y por extensión del resto de *taxa*”. La intensidad de presencia humana (IPH), que engloba tanto las actividades agropecuarias y otras actividades culturales y sociales, fue seleccionada como factor clave en su clasificación “baja IPH” y “media IPH”. En ese sentido, se ratifica que los factores antrópicos son considerados como uno de los más importantes por su variación en el espacio.

Mediante el Análisis de Correspondencia Canónica, se reconoció las relaciones de los factores elegidos con las variables biológicas (atractores espacio-temporales y diversidad). En el caso de los atractores espacio-temporales fue mediante las abundancias de las especies clave de cada atractor establecido (Figura 36), excepto del atractor “H spp” y “BP” debido a la alta abundancia de su especie clave y al bajo tamaño de parche de *Polylepis* con respecto a su sub-paisaje, respectivamente. Asimismo, se corroboró la significancia del eje 1 de análisis, pero se puede sugerir algunos patrones a partir del eje 2 (Anexo 24):

- Las especies frecuentemente relacionados por el ecosistema agricultura-matorral fueron *Colibri coruscans* (atractor A-M II), *Zonotrichia capensis* (atractor A s) y *Phrygilus fruticeti* (atractor M s). Dentro de este ecosistema, *Colibri coruscans* está asociado a zonas con artificialidad intensiva y semi-intensiva del ambiente (“LPI Eu” y “PLAND\_M”, respectivamente), donde presenta grandes superficies de eucaliptos y especies silvestres con flores atractivas para esta especie en la temporada lluviosa. En el caso de *Zonotrichia capensis* presenta asociación a zonas con artificialidad intensiva (“Sucu” y LPI Edi”) y con alta diversidad de formas de vida y estratos vegetales (“2-5”) y alta presencia humana. La especie *Phrygilus fruticeti* tiene mayor

asociación zonas con artificialidad semi-intensiva a poca intensiva (“PLAND M” y “LPI M-ro”), donde hay alta diversidad de parches de vegetación. Es importante recalcar que estas tres especies están relacionadas espacio-temporalmente por el atractor “A-M II”, así que por esta razón su cercanía con los factores ambientales.

- La especie *Metriopelia ceciliae* (atractor A-C) también está relacionado al ecosistema agricultura-matorral, más asociado con la formación vegetal de agricultura que al matorral. Este resultado se evidencia por su correlación positiva al factor “LPI A” y “Media IPH”, es decir que prefiere agricultura con parches de vegetación extensos de alta cobertura vegetal de bajo estrato (0.2 – 0.5 m), y con la presencia de humana a nivel intermedio. Schulenberg *et al.* (2010) menciona que su hábitat es el matorral montano, usualmente en áreas semiáridas, y a menudo en pueblos.
- La especie *Phrygilus plebejus* (atractor P-M) no tiene definido un tipo de ecosistema ya que estuvo presente en ambos, generalmente entre las formaciones vegetales de pajonales y matorrales. Esta especie se asocia frecuentemente con alta pendiente y baja intensidad de presencia humana, pero solo una temporada (Seca 2015) se relacionó a una zona con artificialidad semi-intensiva (LPI M-ro). La dispersión de las evaluaciones es muy alta debido al comportamiento gregario y amplitud de distribución de esta especie.
- Las especies *Sicalis uropygialis* (atractor P-C) y *Cinclodes albiventris* (atractor H) fueron asociados a los factores de pajonal de puna húmeda, tanto entre la puna alta y baja-media. Entre ambas especies existe ligera diferencia ya que *Cinclodes albiventris* por su asociación con zonas de humedales (estratos altos debido al factor “PLAND B” y “PD J”); en cambio, *Sicalis uropygialis* ligeramente asociado con pajonales de puna baja-media (“PLAND P” y “LPI C-pu”). Estas características de los factores ambientales ligados a ambas especies denotan la importancia de las zonas húmedas de altura en diferentes temporadas.



**Figura 36. Asociación de los principales factores con las abundancias relativas de las especies clave de los atractores en las diferentes evaluaciones, mediante el Análisis de Correspondencia Canónica.**

Leyenda: *Sicalis uropygialis* (siur), *Cinclodes albiventris* (cial), *Phrygilus plebejus* (phrple), *Zonotrichia capensis* (zoca), *Phrygilus fruticeti* (phrfu), *Colibri coruscans* (coco) y *Metriopelia ceciliae* (mece).

Cabe mencionar que la relación de las especies clave no necesariamente explica la totalidad del atractor espacio-temporal por dos razones. Primero es que algunas las especies clave son exclusivos de cada atractor, por ejemplo, *Colibri coruscans* con el atractor Agricultura-Matorral lluviosa, *Sicalis uropygialis* con el atractor Pajonal-Césped y *Phrygilus plebejus* con el atractor Pajonal-Matorral. Segundo, es que según las temporadas podría confundir a las relaciones de los factores con los atractores que poseen temporalidad (A-M II, A s y M s). Por estos motivos, las relaciones de las especies clave de los atractores y los principales factores de influencia sugieren que hay tres grupos muy marcados: Agricultura-Matorral, Pajonal-Matorral y Pajonal-Césped-Humedal.

Las especies *Zonotrichia capensis* y *Phrygilus plebejus* son una de las especies más generalistas debido a su amplitud temporal asociado a los factores ambientales. El "gorrión americano" (*Zonotrichia capensis*), especie clave del atractor "agricultura de temporada

seca”, posee una alta asociación con las actividades humanas en zonas rurales. Villegas y Garitano-Zavala (2010) reportan en La Paz – Bolivia que *Z. capensis* está asociado a cualquier categoría de grado de urbanización ya que pueden ser muy tolerantes a la presencia humana y utilizar una variedad de recursos para sobrevivir. En cambio, Leveau y Leveau (2005) reportan al sureste de Buenos Aires - Argentina que esta especie solo está asociado a zonas rurales. Esta especie, aunque tolera un alto nivel de transformación del paisaje, percibe los cambios en su entorno, prefiriendo las zonas que probablemente signifiquen menor riesgo de ser depredadas (Milesi y Marone, 2015; citado en Tellez-Farfán y Sánchez, 2015). En el caso del “fringilo de pecho cenizo” (*Phrygilus plebejus*), especie clave del atractor “pajonal-matorral”, se reconoce que puede relacionarse generalmente con baja presencia de incidencia humana pero también hasta con media en ciertas evaluaciones. Como mencionan Villegas y Garitano-Zavala (2008), generalmente la especie está restringido a ambiente altos y con menor grado de urbanización, pero existen temporadas que se acercan a otras zonas diferentes a buscar alimento. Cabe mencionar que ambas especies se ha registrado en los dos ecosistemas definidos por los factores.

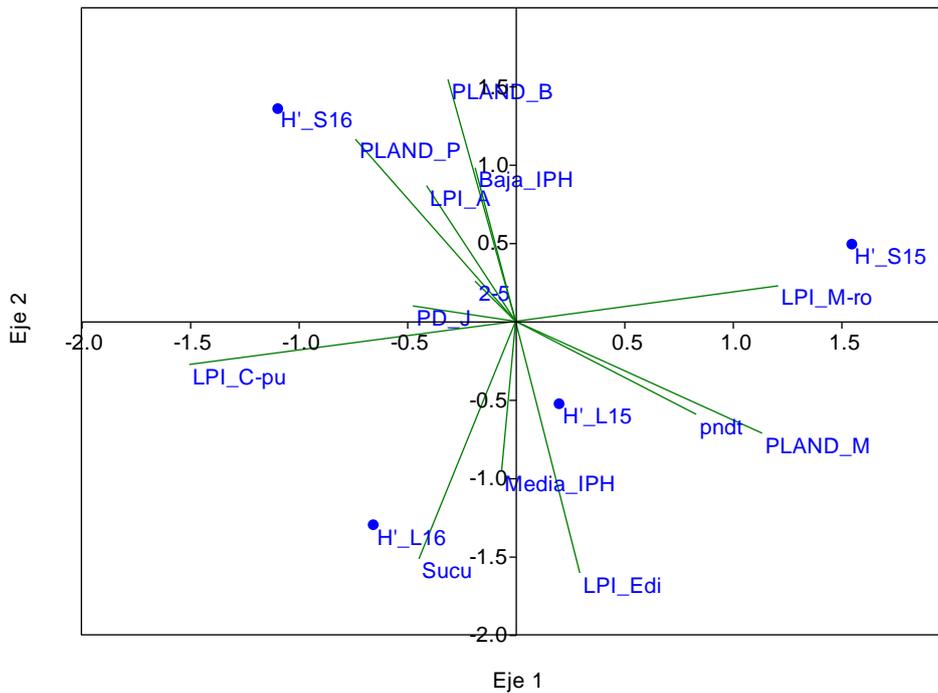
La especie “oreja violeta de vientre azul” (*Colibri coruscans*) es la más dominante en la temporada lluviosa (cerca a su temporada de reproducción) tiene la menor amplitud temporal relacionado a los factores ambientales. Sin embargo, se espera que esta especie también pueda obtener mayor rango amplitud debido a que es una especie territorial y su comportamiento migratorio local, ya que puede estar presente en zonas rurales y urbanas (Kuzmich, 2015).

Las especies que se asociaron a los factores del ecosistema “pajonal de puna húmeda” fueron el “churrete de ala crema” (*Cinclodes albiventris*) y el “chiringüe de lomo brillante” (*Sicalis uropygialis*). Estas dos especies no estuvieron relacionadas con alta incidencia de presencia humana ya que generalmente los transectos de puna no tuvieron mucha presencia humana. Villegas y Garitano-Zavala (2010) menciona que *C. albiventris* es registrado en bajos niveles de urbanización, observándose hasta en zonas de cultivos, con vegetación nativa y pocas casas. No existen registros de asociación de *Sicalis uropygialis* con incidencia de presencia humana, sin embargo, se presume que sea similar a *C. albiventris*.

Las especies clave tuvieron relación a partir de características del paisaje a nivel de clase, ya que la clasificación de los atractores fue principalmente a partir de formaciones vegetales. A diferencia de Flores (2017), no reconoció ningún patrón de asociación entre las especies clave (*Zonotrichia capensis*, *Troglodytes aedon* y *Cinclodes albiventris*) y los factores a partir de paisaje, probablemente porque los factores a nivel de paisaje (“SHDI” e “IJI”) fueron calculados en una escala más amplia de sub-paisaje.

Asimismo, se realizó la relación de los factores con la diversidad alfa (índice Shannon-Wiener) de las cuatro evaluaciones (Figura 37), corroborando la significancia solo del eje 2 (Anexo 25). En el eje 2 se registra la separación de la diversidad de las temporadas lluviosas y secas. La alta diversidad en las temporadas lluviosas (en agricultura y matorral) estuvo asociada a los factores de artificialidad intensiva e incidencia de presencia humana media, y la baja diversidad (en pajonal-césped) a los factores de puna baja-media e intensidad de presencia humana baja. Este resultado sugiere que las zonas con factores ambientales asociados a la modificación antrópica intermedia en el ecosistema de “agricultura-matorral” en temporada lluviosa tiene mayor o igual diversidad que en áreas con menos niveles de presencia antrópica en el mismo ecosistema. Es decir que, existe la tendencia de la homogenización de la diversidad en las temporadas lluviosas a pesar de los factores antrópicos que se creen negativos para la diversidad.

Sánchez (1992) planteó que: “la mayor complejidad del hábitat implica una mayor diversidad de especies de aves, lo que a su vez implica una mayor estabilidad funcional de la avifauna”. Esta conjetura podría corroborarse actualmente ya que en las zonas de agricultura y matorral obtuvieron mayor complejidad debido a los factores físicos, biológicos y antrópicos que modifican el ecosistema. Incluso agrega que en estas formaciones vegetales se espera una mayor “estabilidad funcional” o “redundancia funcional” como mecanismos de la comunidad para la adaptación frente las perturbaciones.



**Figura 37. Asociación de los principales factores con la diversidad (índice de Simpson invertido) en las diferentes evaluaciones, mediante el Análisis de Correspondencia Canónica.**

#### 4.5 DISCUSIONES GENERALES

La distribución espacio-temporal de la comunidad de aves entre el año 2015 y 2016 fue expresada en cuatro variables: tasa de cambio, abundancia relativa, diversidad y los atractores espacio-temporales. Las dos primeras variables de la comunidad de aves obtuvieron patrones muy cambiantes y sensibles a la variación temporal, a diferencia de las dos últimas. Cabe mencionar que la diversidad y los atractores espacio-temporal integran a la tasa de cambio y la abundancia, además que brindan más información integrada de la comunidad de aves. A partir de esta observación, se puede sugerir que estas dos variables pueden ser importantes para el monitoreo biológico de la comunidad de aves en el distrito.

Considerando a la diversidad alfa espacio-temporal como variedad de la composición de especies, a los múltiples estados o atractores como variedad de reorganización de la comunidad a nivel de meso-escala y al comportamiento de sistema complejo como patrones temporales basado en su resiliencia y transformabilidad local (de cada transecto) de la

comunidad de aves; estas variables pueden ser insumo para describir su complejidad a partir de sus patrones de distribución espacio-temporales. Earls (2006) señala que una mayor información del sistema, es decir en la longitud de su descripción, está relacionada directamente con su complejidad. Por medio de la interpretación descrita mediante estas variables, unos de los resultados resaltantes es que las comunidades de aves de las zonas de matorrales y agricultura son más complejos que otras formaciones vegetales (por ejemplo: pajonal-césped), según la escala establecida.

Esta diferencia de complejidad puede deberse a la capacidad de respuesta de las comunidades de aves según la complejidad de su ambiente. Ashby propone que la viabilidad de los sistemas depende de la cantidad de respuestas asociadas a perturbaciones, es decir, a la complejidad de su ambiente. La ley de Ashby menciona que “para un control adecuado, *la complejidad del sistema tiene que ser mayor o igual a la complejidad de su ambiente*, de tal manera que se puedan compensar todas las perturbaciones que inciden en él” (Earls 2006). En ese sentido, la diferencia de complejidad entre las comunidades de aves en las zonas de agricultura-matorral y los pajonales, como principales formaciones vegetales, puede deberse a que el ambiente de la primera tiene mayor complejidad que de la segunda; por ende, las comunidades de aves difieren en sus capacidades de respuesta mediante su complejidad.

Se presume que los cambios ambientales (incluidos los antrópicos) en las zonas de agricultura-matorral son mayores que en los pajonales. Entre los factores temporales se presume que podrían estar relacionados a la variación de la temperatura y cambios de los parches de vegetación (cobertura vegetal). Entre los años 1987 – 2014, Arnao (2017) reconoció que la temperatura muy cálida ha ascendido irregularmente en ambas cuencas, principalmente en la cuenca baja y media, donde se encuentran las zonas de matorrales y agriculturas; en cambio, no existe un notable cambio de la temperatura en las zonas altas de pajonal-césped. Asimismo, Arnao señala la tendencia de disminución de las áreas de cobertura de agricultura y matorral en ambas microcuencas, pero con patrones diferentes; por ejemplo, los matorrales y las agriculturas se aglomeran y fueron abandonadas en determinado piso altitudinal, respectivamente. Caso contrario, los pajonales-céspedes han aumentado de área de estudio, pero han disminuido sus áreas en las zonas bajas y medias de ambas microcuencas en los últimos años. Se reconoce que la mayoría de los cambios más

evidentes en la cobertura se registró en las zonas medias y bajas. En estos pisos altitudinales, históricamente tienen cambios a las actividades humanas (agricultura y ganadería) cercanas a la población.

La similitud entre las asociaciones de los factores ambientales y de la comunidad de aves (atractores espacio-temporales) se registró en la separación de grupos iniciales: en dos ecosistemas (“agricultura- matorral” y “pajonal de puna húmeda”) para los factores ambientales y en dos atractores de macro-escala (“pajonal-césped y humedal” y “agricultura-matorral-pajonal”) para la comunidad de aves; sin embargo, en los grupos de meso-escala difirieron. Por ejemplo, la comunidad de aves de agricultura-matorral presentó estados temporales pero los factores ambientales no poseen variación temporal ya que previamente son considerados poco variables por la escala de tiempo establecida de la investigación. Así también, los factores ambientales de “pajonales de puna húmeda” fue clasificado por estratos altitudinales, pero la comunidad estuvo ligado a las formaciones vegetales y comportamientos gregarios de ciertas especies (atractor “H spp.”). En resumen, se puede mencionar que las características ambientales no son los únicos factores que ordenan a la comunidad de aves, como mencionaba Soberón (2007; citado en Flores, 2017), por ende sus asociaciones no siempre están directamente asociadas a los factores ambientales.

## V. CONCLUSIONES

1. La variación temporal de la comunidad de aves fue manifestada en la composición de las especies entre las temporadas lluviosas y secas. La especie con mayor variación de abundancia relativa en la temporada lluviosa fue *Colibri coruscans* y en la temporada seca fueron *Zonotrichia capensis*, *Phrygilus plebejus* y *Sicalis uropygialis*. En las temporadas secas se registró redundancia funcional de especies granívoras pequeñas con comportamientos gregarios, mientras en la temporada lluviosa se registró solo una especie es muy dominante frente a otras.
2. Los matorrales generalmente aportan en la conservación de la biodiversidad debido a la alta diversidad y baja variación en el tiempo, considerándose como principal “fuente de diversidad”. Asimismo, las zonas de agricultura (con cierta complejidad similar a los matorrales) y el bosque de *Polylepis* obtuvieron un patrón similar.
3. La temporada lluviosa es uno de los procesos importantes para la comunidad de aves ya que homogeniza las áreas de agricultura y matorral, como un solo atractor, favoreciendo en la formación de corredores biológicos temporales mediante la generación hábitats húmedos y a su vez recursos vegetales (flores y frutos).
4. La interpretación de la comunidad biológica de aves en el espacio y tiempo fue gracias a la complementación de la diversidad alfa espacio-temporal y los atractores (como indicadores de la complejidad). Se reconoce que las zonas de matorrales y agricultura presentan mayor complejidad que otras formaciones vegetales debido a la alta complejidad de su ambiente, a diferencia de otras formaciones vegetales (por ejemplo, pajonales y césped).

5. La relación de los atractores, por medio de sus especies clave, y los factores ambientales (abióticos, bióticos y antrópicos) se reconocieron tres tipos de asociaciones según los ecosistemas 1) asociación agricultura-matorral, 2) pajonal de puna húmeda y 3) pajonal-matorral (intermedio entre los dos primeros). Este patrón fue a partir de que los factores ambientales no varían en el tiempo.
6. El atractor de macro escala “Agricultura-matorral y/o Pajonal” presenta dos asociaciones generales diferentes, según los factores ambientales. En el caso de “atractores de agricultura-matorral” estuvo relacionados a factores antrópicos de manera directa e indirecta. En cambio “atractor pajonal-matorral” estuvo asociado con altas pendientes y baja intensidad de presencia humana (factores intermedios entre el ecosistema “asociación agricultura-matorral” y “pajonal de puna húmeda”).
7. El atractor de macro-escala “Pajonal-césped y humedales” estuvo relacionado a factores según los estratos altitudinales, pero se presume que indirectamente se relaciona con el grado de humedad en el suelo ya sea en humedales o pajonales y césped (de río y de puna). Asimismo, se reconoce un atractor denominado “humedal de especies gregarias” que está asociado al comportamiento de las especies en los ambientes húmedos de la puna.
8. La relación de la diversidad y los factores ambientales se diferenció por la temporalidad. En las temporadas lluviosas, la mayor diversidad en agricultura-matorral fue asociada a los factores de artificialidad intensiva” y “media intensidad de presencia humana”; caso contrario, la menor diversidad (pajonales-césped) con los factores de puna baja-media y “baja intensidad de presencia humana”. A pesar de los cambios de estructura del paisaje y los diferentes grados de intensidad de presencia humana en la zona de agricultura –matorral, aún mantiene la alta diversidad que se espera.

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Los resultados de la variación temporal sugieren fuertemente una clasificación de las especies por grupos funcionales para una mejor interpretación biológica y valoración de las funciones ecológicas de las especies. Esto podría afinar mejor la conjetura que la diversidad y los atractores pueden ser considerados como indicadores de diversidad ya que reflejarían mejor la distribución de la energía por medio de diferentes grupos funcionales.
2. Como parte del monitoreo biológico, es necesario continuar con las evaluaciones en cada temporada con la finalidad de reconocer otros patrones emergentes que no se registran en la investigación. Asimismo, se debe incluir a las variables espacio-temporales de la diversidad alfa y los atractores para el monitoreo de la comunidad de aves. En el caso de los atractores espacio-temporales, se sugiere registrar los comportamientos locales según los atractores en el tiempo y realizar modelos de cambio de estados (por ejemplo, Modelo de Estado-Transición) frente procesos exógenos y/o endógenos del Sistema Social-Ecológico.
3. A partir del monitoreo del biológico, como es el caso de las aves, es necesario recopilar información de variables en el espacio-tiempo que puedan complementar la asociación de las variables clave de la comunidad de aves con los procesos ambientales. Estas variables podrían ser precipitación mensual, humedad del suelo, cambio de uso de suelo (actividades agro-pecuarias), variación de la temperatura diaria, etc.
4. Relacionar los atractores con sus respectivos índices de diversidad (específica o funcional) mediante los valores de los transectos como unidad para reconocer los patrones de la distribución de la diversidad a nivel de atractores. A partir de ello,

pueda ser una posibilidad de reconocer la función de las comunidades de cada atractor con respecto a la variación de su estructura y composición.

5. El distrito de Cajatambo es un sitio potencial de observación de aves (*birdwatching*), especialmente para principiantes, ya que posee una variedad de especies que se puede registrar en la región centro-occidental de los Andes peruanos. En este caso, se sugiere estratificar las zonas de observación según la clasificación de atractores espacio-temporales y proponer zonas con alta diversidad y baja variación en el tiempo. Asimismo, se debe considerar que la observación de aves podría complementar con otras actividades ecoturísticas que podría ofrecer el distrito.
6. La complejidad de las relaciones espaciales se registró en la comunidad de aves, por ejemplo, las zonas de agricultura y matorral reflejan la dualidad de las actividades productivas y la conservación de la diversidad biológica. Así que se propone realizar estudios acerca de la Zonificación Ecológica y Económica del distrito, considerando ciertos procesos ecológicos (físicos, biológicos y antrópicos) determinados en ciertas formaciones vegetales y temporadas.
7. Se recomienda documentar la relación de las aves y ser humano con la finalidad de conocer la cosmología, usos tradicionales y actuales, y los problemas que generan las aves. En ese sentido, esta información ayudará a complementar la información presentada y conocer nuevos campos de investigación, incluyendo la parte social.
8. A partir de la clasificación de las dinámicas temporales de atractores en los transectos, se recomienda realizar la determinación de estados deseados y no deseados, incluyendo otros grupos biológicos o integrando más variables ecológicas, desde diferentes enfoques que aporten en la gestión del sistema social-ecológico.
9. Realizar la comparación de la Densidad Real (DR) con el Índice de Abundancia Relativa al Espacio (IARE) con las poblaciones de aves del distrito para reconocer si es un buen indicador del primero, ya que incluye la probabilidad de detección en la metodología de transecto.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arnao, L. (2017). Modelamiento de la estructura del paisaje relacionado con el cambio de temperatura para el distrito de Cajatambo entre 1987 - 2014 (Tesis de maestría inédita). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
2. Bascopé Caero, V. (2001). El sentido de la muerte en la cosmovisión andina; el caso de los valles andinos de Cochabamba. *Chungará* 33(2): 271-277.
3. Barbour, M. G. (1996). Ecological fragmentation in the fifties. En W. Cronon (Ed.), *Uncommon ground: Rethinking the human place in nature* (p. 233–255). New York, Estados Unidos.
4. Begon, M.; Townsend, C. R. & Harper, J. L. (2006). *Ecology. From individual to ecosystems* (4° ed.). Oxford, Reino Unido: Blackwell Publishing Ltd.
5. Bibby, C. J.; Burgess, N. D. & Hill, D. A. (1992). *Bird Census Techniques*. California, Estados Unidos: Elsevier.
6. Birdlife International. (2018). *Important Bird and Biodiversity Areas (IBAs)*. Cambridge, Reino Unido. Recuperada de <http://datazone.birdlife.org/home>
7. Bond, W. J. (1993). Keystone species. En: E. D. Shultze & Mooney, HA (Eds.). 1993. *Biodiversity and ecosystem function* (p. 237-253). Berlin, Alemania: Springer-Verlag.
8. Brack E, A. & Mendiola V. C. (2000). *Ecología del Perú*. Lima, Perú: Asociación Editorial Bruno.
9. Cabrera, L. M. & Cruz, R. (2012). Evaluación de la población de aves en un fragmento de bosque de *Polylepis* sp. (Rosaceae-Rosales) en dos épocas estacionales

(lluvias-secas) en el sector de Kellora (Colcha, Paruro, Cusco) (Tesis de biólogo).  
Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cuzco, Cuzco, Perú.

10. Calderón-Patrón, J. M.; Moreno, C. E & Zuria, I. (2012). La diversidad beta: medio siglo de avances. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83: 879-891. doi: 10.7550/rmb.25510
11. Carpenter S. R.; Walker, B., Anderies J. M. & Abel, N. (2001). From metaphor to measurement: Resilience of what to what? *Ecosystems* 4:765-781.
12. Chao, A; Lee, SM. 1992 Estimating the number of classes via sample coverage. *Journal of the American Statistical Association* 87:210-217. doi: 10.2307/2290471
13. Chao, A. (2005). Species richness estimation. En: Balakrishnan, N; Read, C. B. y Vidakovic, B. (Eds.). New York, Estados Unidos: Wiley.
14. Claramunt, S & Cracraft, J. (2015). A new time tree reveals Earth history's imprint on the evolution of modern birds. *Sciences Advances*, 1:e1501005. doi: 10.1126/sciadv.1501005
15. Claverías, R. (2000). Conocimientos de los campesinos andinos sobre los predictores climáticos: elementos para su verificación. Recuperada de [http://clima.missouri.edu/Articles/Claverias\\_Bioindicadores.pdf](http://clima.missouri.edu/Articles/Claverias_Bioindicadores.pdf)
16. Cody, M. L. (1985). *Habitat Selection in Birds*. Orlando, Estados Unidos: Academic Press.
17. Colwell, R. K.; Chao, A.; Gotelli, N. J.; Lin, S. Y.; Mao, C. X.; Chazdon, R. L. & Longino, J. T. (2012). Models and estimators linking individual-based and sample-based rarefaction, extrapolation and comparison of assemblages. *Journal of Plant Ecology*, 5(1):3-21. doi: 10.1093/jpe/rtr044
18. Colwell, R. K. (2013). *EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9 and earlier. User's Guide and application.* Recuperado de <http://purl.oclc.org/estimates>

19. Cumming, G. S. (2011). *Spatial resilience in Social-Ecological Systems*. Cape Town, Sudáfrica: Springer.
20. Cunningham, A. B.; Scherr, S. J. & Mcneely, J. A. (2002). *Matrix Matters: biodiversity research for rural landscape mosaics*. s.l: Ethnoecology services.
21. Dieckmann, U.; Herben, T. & Law, R. (1999). Spatio-temporal processes in ecological communities. *CWI Quarterly* 12: 213–238. Recuperado de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.145.2803&rep=rep1&mp;type=pdf>.
22. Dorst, J. (1957). The puya stands of the peruvian high plateaux as bird hábitat. *Ibis*, 99: 594-599.
23. Dorst, J. (1962). A propos de la nidification hypogée de quelques oiseaux des hauts Andes péruviennes [Sobre la nidificación hipógea de algunas aves de los altos Andes peruanos]. *L' Oiseau et la Revue Française d'Ornithologie*, 32: 5-14.
24. Earls, J. (2006). *Introducción a la Teoría de los Sistemas Complejos*. IDEA-PUCP. Lima, Perú: Fondo Editorial Pontifica Universidad Católica del Perú.
25. eBird. (2018). *eBird: Una base de datos en línea para la abundancia y distribución de las aves*. New York, Estados Unidos. Recuperdo de <http://www.ebird.org>
26. Eliot, C. (2007). Method and metaphysics in Clements's and Gleason's ecological explanations. *Stud. Hist. Phil. Bio. & Biomed. Sci.*, 38: 85-109.  
doi:10.1016/j.shpsc.2006.12.006
27. Fahrig, L.; Baudry, J.; Brotons, L.; Burel, F. G.; Crist, T. O.; Fuller, R. J.; Sirami, C.; Siritwardena, G. M. & Martin, J. L. (2011). Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. *Ecology Letters*, 14: 101-112.

28. Faraci, F. (1991). Adaptations to hipoxia in birds: How to fly high. *Annu. Rev. Physiology*, 53: 59-70.
29. Feinsinger, P. (2001). *Designing field studies for biodiversity conservation*. The Nature Conservancy. Washington, Estados Unidos: Island Press.
30. Fjeldså, J. & Krabbe, N. (1990). *Birds of the High Andes*. Copenhagen, Dinamarca: Zoological Museum University of Copenhagen.
31. Fjeldså, J. & Irestedt, M. (2009). Diversification of the South American Avifauna: Patterns and Implications for Conservation in the Andes 1. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 96(3): 398-409.
32. Flores, L. M. (2017). *Distribución espacio temporal de la comunidad de aves del distrito de Cajatambo - Lima, Perú durante el año 2015* (Tesis de biólogo inédita). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
33. Folke, C.; Carpenter, S.; Elmqvist, T.; Gunderson, L.; Holling, C. S.; Walker, B.;... ; Svedin, U. (2002). *Resilience and sustainable development: building adaptive capacity in a world of transformations*. The Environmental Advisory Council to the Swedish Government.
34. Franke, I. & Valencia, N. (1984). *Zárate: una Unidad de Conservación*. Lima, Perú: Museo de Historia Natural San Marcos. Recuperado de [https://issuu.com/ifrankej/docs/z\\_rate\\_unidad\\_de\\_conservacion](https://issuu.com/ifrankej/docs/z_rate_unidad_de_conservacion)
35. Franke, I. (16 de enero de 2015). *Estacionalidad de la avifauna del Bosque de Zárate* [mensaje de un blog]. Recuperado de <http://avesecologaymedioambiente.blogspot.pe/2015/01/estacionalidad-de-la-avifauna-del.html>
36. Franke, I. (1 de abril de 2017). *Las aves de los bofedales altoandinos peruanos* [mensaje de un blog]. Recuperado de

<http://avesecologaymedioambiente.blogspot.com/2017/04/las-aves-de-los-bofedales-altoandinos.html>

37. Gibbons, R. E.; Jia, Z. & Villalba, I. (2016). Habitat use and seasonality of birds in the Peruvian puna with an emphasis on peatlands (bofedales). *Boletín UNOP*, 11(2): s.p.
38. Grebe, M. E. (1984). Etnozoología andina: Concepciones e interacciones del hombre andino con la fauna altiplánica. *Estudios Atacameños*, 7: 335-347.
39. Hagiwara Grández, F. (2014). Cosmogonía y cosmovisión en la racionalidad y el pensamiento Cocamama-Cocamilla. *Phainomenon*, 13(1): 55-68.
40. Halffter, G. & Moreno, C. E. (2005). Sobre Diversidad Biológica: el significado de las diversidades alfa, beta y gamma. *Monografías Tercer Milenio*, 4: 5-18.
41. Hammer, Ø. (2015). *Paleontological Statistics: reference manual*. Versión 3.07. Oslo, Noruega: Natural History Museum.
42. Heip, C.; Herman, P. & Soetaert, K. (1998). Indices of diversity and evenness. *Océanis*, 24(2459): 61–87.
43. Herzog, S. K.; Martínez, R.; Jørgensen, P. M. & Tiessen, H. (2012). *Cambio Climático y Biodiversidad en los Andes Tropicales*. s.l.: Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global.
44. Hughes, R. A. (1980). Midwinter breeding by some birds in the high Andes of Southern Peru. *Condor*, 82: 229.
45. Instituto Nacional de Recursos Naturales. (2006). *Reserva Paisajística Nor-Yauyos Cocha: Plan maestro 2006 – 2011*. Recuperado de [http://old.sernanp.gob.pe/sernanp/archivos/biblioteca/publicaciones/R.P. Nor Yauyos /Plan%20Maestro%202006%20-%202011%20RP%20Nor%20Yauyos%20Cochas.pdf](http://old.sernanp.gob.pe/sernanp/archivos/biblioteca/publicaciones/R.P._Nor_Yauyos/Plan%20Maestro%202006%20-%202011%20RP%20Nor%20Yauyos%20Cochas.pdf)

46. Isasi-catal, E. (2011). Los conceptos de especies indicadoras, paraguas, banderas y clave: su uso y abuso en ecología de la conservación. *Interciencia*, 36(1): 31-38.
47. Jackson, D. A. (1993). Stopping rules in principal components analysis: a comparison of heuristical and statistical approaches. *Ecology*, 74: 2204-2214.
48. Jaksic, F. & Marone, L. (2007). *Ecología de comunidades*. Santiago, Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.
49. Jaramillo, A. (2005). *Aves de Chile*. Barcelona, España: Lynx Edicions.
50. Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *OIKOS*, 113(2): 363-375.
51. Kattan, G. H. & Franco, P. (2004). Bird diversity along elevational gradients in the Andes of Colombia: area and mass effects. *Global Ecology and Biogeography*, 13(5): 451-458.
52. Kay, J. J.; Boyle, M.; Regier, H. A. & Francis, G. (1999). An ecosystem approach for sustainability: addressing the challenge of complexity. *Futures*, 31(7): 721-742.
53. Koepcke, M. (1964). *Las aves del Departamento de Lima*. Lima, Perú: Edición de la autora.
54. Krebs, C. (1985). *Ecología – Estudio de la distribución y la abundancia*. México D.F, México: Harper & Row Latinoamericana.
55. Krebs, C. J. (2014). *Ecological methodology*. 3 ed (in preparation). Recuperado de [http://www.zoology.ubc.ca/~krebs/downloads/krebs\\_chapter\\_13\\_2017.pdf](http://www.zoology.ubc.ca/~krebs/downloads/krebs_chapter_13_2017.pdf)
56. Kruskal, J. B. (1964). Nonmetric Multidimensional Scaling: A Numerical Method. *Psychometrika*, 2: 115-129.
57. Kuzmicic, B. M. (2015). Modelo de hábitat para picaflor azul (*Colibri coruscans*) en

la región de Arica y Parinacota (Tesis de biólogo, Universidad de Chile). Recuperada de <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/150954/Modelo-de-habitat-para-picaflor-azul-%28Colibri-coruscans%29-en-la-Region-de-Arica-y-Parinacota.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

58. Küchler, A. W. & Zonneveld, I. Z. (1988). Vegetation mapping. Dordrecht, Holanda: Kluwer Academic Publisher.
59. Leveau, C. M. & Leveau, L. M. (2005). Avian community response to urbanization in the Pampean region, Argentina. *Ornitología Neotropical*, 16: 503-510.
60. Londoño, G. A.; Chappell, M. A.; Jankowski, J. E. & Robinson, S. K. (2017). Do thermoregulatory costs limit altitude distributions of Andean forest birds? *Functional Ecology*, 31: 204-215.
61. López-Ordoñez, J. P.; Cortés-Herrera, J. O.; Paez-Ortíz, C. A. & Gonzáles-Rojas, M. A. (2013). Nuevos registros y comentarios sobre la distribución de algunas especies de aves en los Andes Occidentales de Colombia. *Ornitología Colombiana*, 13: 21-36.
62. Maestre, F. & Escudero, A. (2008). Introducción. En Maestre, F.; Escudero, A. & Bonet, A (Eds.). *Introducción al análisis espacial de datos en ecología y ciencias ambientales: Métodos y Aplicaciones* (p. 1- 34). Madrid, España: DYKINSON, S.L.
63. Magurran, A. E. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. New Jersey, Estados Unidos: Princeton University Press.
64. Magurran, A. (2004). *Measuring Biological Diversity*. Oxford, Reino Unido: Blackwell publishing. Ltd.
65. Margalef, R. (1958). Information theory in ecology. *General systems*, 3: 36-71.
66. Margalef, R. (1980). *Biósfera: entre la termodinámica y el juego*. Barcelona, España: Ediciones Omega S.A.

67. Margalef, R. (1991). *Ecología*. Barcelona, España: Ediciones Omega S.A..
68. Margalef, R. (2002). Diversidad y biodiversidad. En: Pineda, F.D (Ed.). *La diversidad biológica de España* (p. 3-6). Barcelona, España: Prentice Hall.
69. Marshall, A. (1998). A postmodern natural history of the world: eviscerating the GUT's from ecology and environmentalism. *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, 29(1): 137-164.
70. Martínez Fernández, J. (2006). Agua y sostenibilidad: algunas claves desde los sistemas áridos. *Polis Revista Latinoamericana*, 14: 1-13.
71. Martínez, O. & Rechberger, J. (2007). Características de la avifauna en una gradiente altitudinal de un bosque nublado andino en La Paz, Bolivia. *Rev. Peru. Biol.*, 14(2): 225-236.
72. Maynard, E. & Waterton, R. (1998). *An Oxford University expedition to the high altitude Polylepis forests of the Cordillera Huayhuash, central Peru*. Oxford, Reino Unido: Peru 96 Expedition.
73. McGarigal, K. & Barbara, M. (1995). *FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*. Oregon, Estados Unidos: Gen. Tech. Rep. PNW-GET-351.
74. Milesi F. A & Marone, L. (2015). Exploration and exploitation of foraging patches by desert sparrows: environmental indicators and local evaluation of spatially correlated costs and benefits. *J Avian Biol.*, 46(3): 225-235.
75. Ministerio del Ambiente (MINAM). 2017. Mapa nacional de ecosistemas del Perú. Memoria descriptiva. Rescatado de <http://geoservidor.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/Memoria-Descriptiva-Mapa-Nacional-de-Ecosistemas-version-final.pdf>

76. Ministerio del Ambiente (MINAM). 2019. La biodiversidad en cifras. Sexto informe nacional sobre la Diversidad Biológica. Lima, Peru: Ministerio del Ambiente.
77. Miranda Valdivia, F. (2011). Cajatambo: tradición, quechua y desintegración regional. *Investigaciones Sociales*, 15(26): 175-211.
78. Montoya, J. M.; Solé, R. V & Rodríguez, M. A. (2001). La arquitectura de la naturaleza: complejidad y fragilidad en redes ecológicas. *Ecosistemas*, 10(2):s.p.
79. Morales, V. (2010). Visión y conocimiento etnozoológico andino de la fauna silvestre: Municipio de Inquisivi, Bolivia. Cochabamba, Bolivia: Agroecología Universidad Cochabamba (AGRUCO).
80. Moreno, C. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. Zaragoza, España: M&T- Manuales y Tesis SEA.
81. Moreno, C. E.; Barragán, F.; Pineda, E. & Pavón, N. (2011). Reanálisis de la diversidad alfa: Alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82(4): 1249-1261.
82. Morín, E. (2004). La epistemología de la complejidad. *Gazeta de Antropología*, 20: 1-14.
83. Morín, P. J. (1999). *Community Ecology*. London, Reino Unido: Blackwell Science.
84. Myers, N.; Mittermeier, R. A.; Mittermeier, C. G.; da Fonseca, G. A. B & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(February): 853-858.
85. Paine, R. T. (1995). A conversation on refining the concept of keystone species. *Conservation Biology*, 9(4): 962-964.

86. Peña, D. (2002). Análisis de datos multivariantes. Madrid, España: McGraw-Hill Interamericana de España.
87. Pérez López, C. (2004). Técnicas de análisis multivariante de datos. Aplicaciones con SPSS. Madrid, España: Pearson Educación S.A.
88. Pozo-Zamora, G. M. (2016). Descripción del nido, huevos y polluelos del Frigilo Pechicinerero "*Phrygilus plebejus*" (Aves: Emberizidae) de la provincia de Pichincha, Ecuador. Avances en Ciencias e Ingeniería, 6(2): 16-18.
89. Qhapaq Amaru, J. (2012). Inka Pachaqaway – Cosmovisión andina. Lima, Perú: Investigación y estudios Inkásicos.
90. Quinteros, D. Z. (1992). Determinación de los patrones de uso temporal y espacial de los cultivos de maíz por las aves granívoras en el campus de la UNALM (Tesis de biólogo). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
91. Quinteros, D. Z.; Sánchez, E. & Tovar, H. (2002). Relación entre la abundancia relativa y densidad real en tres poblaciones de aves. Ecología Aplicada, 1: 95-104.
92. Quinteros, D. Z. & Sánchez, E. (2017). Descripción del sistema agrario del distrito de Cajatambo (Lima) y clasificación de los productores a partir de una encuesta. Ecología Aplicada, 16(2): 165-175.
93. Ralph, J.; Geupel, G.; Pyle, P.; Martin, T. E.; DeSante, D. F. & Borja, M. (1996). Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres. California, Estados Unidos: United States Department of Agriculture Bulletin.
94. Ramírez González, A. (2005). Ecología aplicada. Diseño y análisis estadístico. Bogotá, Colombia: Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
95. Revilla, E.; Wiegand, T.; Palomares, F.; Ferreras, P. & Delibes, M. (2004). Effects of matrix heterogeneity on animal dispersal: from individual behavior to metapopulation

- level parameters. *The American Naturalist*, 164(5): 130-154.
96. Rusch, V. (2008). Conservación de la biodiversidad en sistemas productivos. Forestaciones del Noreste de la Patagonia. Bariloche, Colombia: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – INTA EEA.
97. Sánchez, E. (1992). Diversidad y estabilidad de Comunidades de aves en la Reserva Nacional de Lachay (Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperada de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1805/L20.S3-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
98. Sánchez, E. & Quinteros, D. Z. (2017). Pertinencia del concepto de estándar de calidad ambiental (ECA) en la gestión de sistemas ambientales con varios estados alternativos. Estudio de caso de una experiencia peruana. *Ecología Aplicada*, 16(2): 151-164.
99. Sánchez, E.; Riveros, J. C.; Falero, M. (1988). Desarrollo de técnicas de evaluación y manejo poblacional de Psittácidos (loros y pericos) en el Departamento de Piura. Primer informe de avance. Lima, Perú: Centro de Investigaciones de Zonas Áridas – CIZA: Dirección General Forestal y Fauna.
100. Schulenberg, T. S.; Stotz, D. F.; Lane, D. F.; O’Neill, J. P. & Parker III, T.A. (2010). *Birds of Peru*. New Jersey, Estados Unidos: Princeton.
101. Sebastián-González, E.; Botella, F. & Sánchez-Zapata, J. A. (2013). Patrones, procesos y conservación de comunidades: el caso de las aves acuáticas en humedales artificiales. *Revista Catalana d’Ornitologia*, 29: 75-92.
102. Servat, G. P; Caballero, K. C.; Velásquez, J. L. (2010). Lista anotada de las aves de la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca (Arequipa, Perú) En: Zeballos, H.; Ochoa, J. A & López, J. (Eds.). *Diversidad biológica de la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca, Arequipa – Moquegua PROFONANPE, SERNANP.*

103. Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado. (2017). Plan Maestro del Parque Nacional Huascarán 2017 -2021. Rescatado de [http://old.sernanp.gob.pe/sernanp/archivos/baselegal/Resoluciones\\_Presidenciales/2017/RP%20064-2017-SERNANP.compressed.pdf](http://old.sernanp.gob.pe/sernanp/archivos/baselegal/Resoluciones_Presidenciales/2017/RP%20064-2017-SERNANP.compressed.pdf)
104. Sevillano, S. (2016). Diversity, ecology and conservation of bird communities of Polylepis woodlands in the northern Andes of Peru (Tesis de maestría, Cornell University. Rescatado de [https://www.researchgate.net/publication/313519213\\_Diversity\\_Ecology\\_And\\_Conservation\\_Of\\_Bird\\_Communities\\_Of\\_Polylepis\\_Woodlands\\_In\\_The\\_Northern\\_Andes\\_Of\\_Peru](https://www.researchgate.net/publication/313519213_Diversity_Ecology_And_Conservation_Of_Bird_Communities_Of_Polylepis_Woodlands_In_The_Northern_Andes_Of_Peru)
105. Sevillano, S. (2017). Breve historia de la ornitología en los Altos Andes del Norte del Perú y su importancia para la conservación. *Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña*, 2: 87-102.
106. Sevillano-Ríos, S. C.; Rodewald, A.D. (2017). Avian community structure and hábitat use of Polylepis forests along an elevation gradient. *PeerJ*, 5: e3220. doi: [10.7717/peerj.3220](https://doi.org/10.7717/peerj.3220)
107. Smith, T. M. & Smith, R. L. (2007). *Ecología*. 6 ed. Martín-Romo, M (Ed.). Madrid, España: Pearson Educación.
108. Soberón, J. (2007). Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. *Ecology Letters*, 10: 1115-1123. doi: 10.1111/j.1461-0248.2007.01107.x
109. Stotz, D. F.; Fitzpatrick, J. W.; Parker III, T. A. & Moskovits, D. K. (1996). *Neotropical birds. Ecology and conservation*. Chicago, Estados Unidos: The University of Chicago Press.
110. Tellez-Farfán, L. & Sánchez, F. A. (2015). Forrajeo de *Zonotrichia capensis* (Passeriformes : Emberizidae) y valor del parche en cercas vivas jóvenes de la sabana de Bogotá. *Acta Biológica Colombiana*, 21(2): 379-385. doi:

111. Villegas, M. & Garitano-Zavala, Á. (2008). Las comunidades de aves como indicadores ecológicos para programas de monitoreo ambiental en la ciudad de La Paz , Bolivia. *Ecología en Bolivia*, 43(2): 146-153.
112. Villegas, M. & Garitano-Zavala, Á. (2010). Bird community responses to different urban conditions in La Paz , Bolivia. *Urban Ecosyst* 13:375-391. doi: 10.1007/s11252-010-0126-7
113. Walker, B.; Holling, C. S.; Carpenter, S. R. & Kinzig, A. (2004). Resilience, adaptability and transformability in Social-Ecological Systems. *Ecology and Society*, 9(2): 5
114. Walsh Perú. (2009). Estudio de Impacto Ambiental (EIA) del Proyecto Central Hidroeléctrica Rapay Salto 1 y Salto 2. Resumen ejecutivo Proyecto N° ELE-1127.
115. Weberbauer, A. (1945). El mundo vegetal de los Andes Peruanos. Estudio fitogeográfico. Lima, Perú: Ministerio de Agricultura.
116. Whittaker, R. H. (1956). Vegetation of the Great Smoky Mountains. *Ecological Monographs*, 26: 1-80.
117. Whittaker, R. H. (1960). Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California. *Ecological Monographs*, 30: 279-338.
118. Wiegand, T. & Martínez, I. (2009). Reseña de "Introducción al análisis espacial de datos en ecología y ciencias ambientales: Métodos y Aplicaciones, de Fernando T. Maestre, Adrián Escudero y Andreu Bonet. *Ecosistemas*, 18(1): 92-94.
119. Zambrano, S. (2010). Distribución y abundancia de las aves del Bosque de Zárate, 2004-2005 (Tesis de biólogo). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

## VIII. ANEXO

### ANEXO 1. Coordenadas UTM de puntos centrales de los transectos de la avifauna evaluada entre el 2015 – 2016.

Transecto	Coordenadas UTM		Altitud	Ubicación
	Latitud	Longitud		
A1	279908	8841808	3392	Pariantana
A2	281289	8841062	3445	Entrada a Ocopata
A3	280203	8841381	3489	Pariantana
A4	281107	8840528	3597	Ocopata
A5	277580	8844340	2850	Urpaycocha
A6	278325	8843574	2934	Tupicocha
A7	278572	8843034	3096	Cruzjirca
A8	280816	8846157	3663	Rancas
A10	282400	8840404	3453	Tabin
A11	282630	8841292	3601	Ambarroco
A12	281178	8841499	3347	Jagapampa
A13	282406	8841255	3503	Colca
A14	277571	8843599	2835	Puris
Beu1	277873	8841333	3453	Entrada a Siscan
B1	288082	8836777	4279	Huaylashtoclanca
B2	286851	8838809	4172	Ucupi
BP1	281200	8844196	4258	San Cristobal
C1	280464	8842856	3301	Tizapampa
C2	286289	8842979	4023	Iscu
C3	281106	8839795	3772	Camino a Milpoj
G2	288325	8834281	4526	Tocanca
J1	290676	8843924	4072	Iscu

Continuación

Transecto	Coordenadas UTM		Altitud	Ubicación
	Latitud	Longitud		
M1	276504	8842782	3358	Piyau
M2	275098	8843224	3238	Cilcay
M3	283175	8841944	3962	Cruce
M4	280045	8843505	3540	"Guitarra"
M5	281839	8843004	3846	Entrada a Mina
M6	278612	8843767	3144	Cotaparaco
M7	278879	8843031	3161	Cruzjirca
M8	282230	8844269	3918	Camino Rancas
M9	277298	8843871	2798	Puris
M10	279865	8842861	3314	Cashatambo
M11	281021	8846153	3705	Puente Rancas
M12	276349	8842570	3452	Piyau
M14	281748	8842342	3444	Entrada Guitarra
P1	282205	8843677	4142	La Punta
P2	287841	8834329	4558	Tocanca
P3	288276	8836964	4377	Huaylashtoclanca
P4	287115	8839072	4273	Ucupi
P5	285170	8842616	4074	Camino Viconga
P6	286450	8842807	4056	Iscu
P7	280657	8839158	3934	Ocopata
P8	281795	8843766	4187	San Cristobal
AV	280871	8842448	3327	Tizapampa

**ANEXO 2. Formato de cobertura de formas de vida y estratos de la vegetación,  
adaptado de Küchler y Zonneveld (1988)**

**FORMATO DE COBERTURA DE FORMAS DE VIDA Y ESTRATOS DE VEGETACIÓN**

TRANSECTO: \_\_\_\_\_ COORDENADAS: 18L \_\_\_\_\_ ALTURA: \_\_\_\_\_  
 OBSERVADOR: \_\_\_\_\_ ANOTADOR: \_\_\_\_\_ LUGAR: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_  
 PAISAJE: EXPOSICIÓN: \_\_\_\_\_ PENDIENTE: \_\_\_\_\_ SUELO: HUMEDAD: \_\_\_\_\_ TIPO DE SUELO: \_\_\_\_\_

ESTRATOS	LENOSAS						HERBACEA						ESPECIALES								
	LATPE	LATCA	ACIPE	ACICA	ÁFILA	GRAMI	LATHER	LIMU	LIA	SUCU	PENA	BAMI	EPI	Tamaño Cob.							
> 35 M																					
20 - 35																					
10 - 20																					
5 - 10																					
2 - 5																					
1 - 2																					
0.5 - 1																					
0.2 - 0.5																					
< 0.2																					

**Observaciones:**

---

Leyenda:

Suelo:

Humedad: Capacidad de carga, Húmedo, Seco / Tipo de suelo: Rocoso, Pedregoso, Arenoso, Franco, Arcilloso, Limoso

Formas de vida

LATIFOLIADA PERENNE	LATPE	LATIFOLIADA HERBÁCEA	LATHER	ACICA	ACICULADA CADUCIFOLIA	SUCULENTA	SUCU	COBERTURA (%)	COD.	TAMAÑO	COD.
LATIFOLIADA CADUCIFOLIA	LATCA	LÍQUEN-MUSGO	LIMU	ÁFILA	ÁFILA	PENACHO	PENA	76-100	5	GRANDE	g
ACICULADA PERENNE	ACIPE	LUNAS	LIA	GRAMINIFORMES	GRAMI	BAIBÚ	BAMI	51-75	4	MEDIANA	ms
						EPÍFITAS	EPI	26-50	3	PEQUEÑA	p
								06-25	2		
								0-5	1		

**ANEXO 3. Lista de especies registradas en su respectiva clasificación sistemática,  
código de especie y evaluación registrada (presencia-ausencia).**

Orden	Familia	Especie	Cod sp.	Lluvia 2015	Seca 2015	Lluvia 2016	Seca 2016
Tinamiformes	Tinamidae	<i>Nothoprocta pentlandii</i>	nope	0	1	1	0
		<i>Nothoprocta ornata</i>	noor	1	1	1	0
Anseriformes	Anatidae	<i>Anas flavirostris</i>	anafla	1	0	1	0
		<i>Lophonetta specularioides</i>	lope	0	0	1	1
		<i>Oressochen melanopterus</i>	oremel	0	1	1	1
Pelecaniformes	Threskiornithidae	<i>Plegadis ridgwayi</i>	pleri	0	1	0	1
Cathartiformes	Cathartidae	<i>Vultur gryphus</i>	vugry	1	1	1	1
Accipitriformes	Accipitridae	<i>Geranoaetus melanoleucus</i>	gemel	1	1	1	1
		<i>Geranoaetus polyosoma</i>	gepol	1	1	1	1
Gruiformes	Rallidae	<i>Gallinula galeata</i>	gaga	0	1	0	1
		<i>Pardirallus sanguinolentus</i>	pasa	0	0	0	1
Charadriiformes	Charadriidae	<i>Vanellus resplendens</i>	vare	0	1	1	0
	Thinocoridae	<i>Thinocorus orbignyianus</i>	thior	1	0	0	1
	Scolopacidae	<i>Calidris bairdii</i>	caba	0	0	0	1
		<i>Gallinago andina</i>	gaan	1	1	1	1
		<i>Actitis macularius</i>	acma	0	0	0	1
Laridae	<i>Chroicocephalus serranus</i>	chrser	0	0	0	1	
Columbiformes	Columbidae	<i>Zenaida auriculata</i>	zeau	1	1	1	1
		<i>Metriopelia melanoptera</i>	meme	1	1	1	1
		<i>Metriopelia ceciliae</i>	mece	1	1	1	1
		<i>Patagioenas maculosa</i>	pama	0	0	1	0
		<i>Patagioenas fasciata</i>	pafa	0	0	1	1
		<i>Columbina cruziana</i>	cocru	0	1	0	1
		<i>Leptotila verreauxi</i>	leve	0	0	1	1
Strigiformes	Strigidae	<i>Glaucidium peruanum</i>	glape	0	0	1	0
		<i>Bubo virginianus</i>	buvi	0	1	0	0
Caprimulgiformes	Caprimulgidae	<i>Systellura longirostris</i>	sylo	0	0	0	1
Apodiformes	Apodidae	<i>Streptoprocne zonaris</i>	stzo	1	0	1	1
		<i>Aeronautes andecolus</i>	aeran	1	1	1	1

Continuación

Orden	Familia	Especie	Cod sp.	Lluvia 2015	Seca 2015	Lluvia 2016	Seca 2016
Apodiformes	Trochilidae	<i>Colibri coruscans</i>	coco	1	1	1	1
		<i>Patagona gigas</i>	pagi	1	1	1	1
		<i>Metallura phoebe</i>	mepho	1	1	1	1
		<i>Oreotrochilus melanogaster</i>	ormel	1	0	0	0
		<i>Oreotrochilus estella</i>	ores	1	1	1	0
		<i>Lesbia nuna</i>	lenu	1	1	1	1
		<i>Aglaeactis cupripennis</i>	agcu	1	1	1	1
		<i>Metallura tyrianthina</i>	mety	0	1	1	1
		<i>Polyonymus caroli</i>	poca	0	1	1	1
		<i>Myrtis fanny</i>	myfa	0	1	0	1
		<i>Rhodopis vesper</i>	rhove	0	1	0	0
		<i>Thaumastura cora</i>	thaco	0	1	0	1
Piciformes	Picidae	<i>Colaptes atricollis</i>	coat	1	1	1	0
		<i>Colaptes rupicola</i>	coru	1	1	1	1
		<i>Picoides fumigatus</i>	pifu	0	0	1	1
Falconiformes	Falconidae	<i>Phalcoboenus megalopterus</i>	phame	1	1	1	1
		<i>Falco sparverius</i>	faspa	1	1	1	1
		<i>Falco peregrinus</i>	faper	0	0	1	1
		<i>Falco femoralis</i>	fafem	0	1	1	1
Psittaciformes	Psittacidae	<i>Psittacara wagleri</i>	psiwa	1	0	1	1
		<i>Psilopsiagon aurifrons</i>	psiau	0	1	0	0
		<i>Bolborhynchus orbynesius</i>	bolor	1	0	1	0
Passeriformes	Grallariidae	<i>Grallaria andicolus</i>	graan	1	1	1	1
	Furnariidae	<i>Geositta saxicolina</i>	gesax	1	1	1	1
		<i>Geositta tenuirostris</i>	geten	0	1	1	1
		<i>Geocerthia serrana</i>	geser	1	1	0	1
		<i>Upucerthia validirostris</i>	upuva	1	0	1	1
		<i>Cinclodes albiventris</i>	cial	1	1	1	1
		<i>Leptasthenura pileata</i>	lepi	1	0	1	1
		<i>Asthenes pudibunda</i>	aspu	1	1	1	1
		<i>Asthenes modesta</i>	asmo	0	1	0	1
		<i>Asthenes humilis</i>	ashu	1	0	0	1

Continuación

Orden	Familia	Especie	Cod sp.	Lluvia 2015	Seca 2015	Lluvia 2016	Seca 2016
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Anairetes reguloides</i>	anre	1	1	1	1
		<i>Anairetes flavirostris</i>	anaifla	0	1	0	1
		<i>Muscisaxicola juninensis</i>	mujun	1	1	1	1
		<i>Muscisaxicola griseus</i>	mugri	1	0	1	1
		<i>Muscisaxicola rufivertex</i>	muruf	0	1	1	0
		<i>Muscisaxicola maculirostris</i>	mumac	0	0	1	1
		<i>Muscisaxicola flavinucha</i>	mufla	0	0	0	1
		<i>Muscisaxicola cinereus</i>	mucin	0	1	0	1
		<i>Agriornis montanus</i>	agmo	1	1	1	1
		<i>Myiotheretes striaticollis</i>	myst	1	1	1	1
		<i>Polioxolmis rufipennis</i>	poru	1	0	1	1
		<i>Ochthoeca leucophrys</i>	ocle	1	1	1	1
		<i>Ochthoeca rufipectoralis</i>	ocru	0	0	1	0
		<i>Ochthoeca oenanthoides</i>	ocoe	0	0	0	1
		<i>Myiarchus tuberculifer</i>	mytu	1	1	1	0
		<i>Camptostoma obsoletum</i>	caob	0	1	0	0
	Cotingidae	<i>Zaratornis stresemanni</i>	zast	1	0	0	0
	Hirundinidae	<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>	pycy	0	1	0	0
		<i>Orochelidon andecola</i>	oran	1	1	1	1
		<i>Orochelidon murina</i>	ormu	0	0	0	1
	Troglodytidae	<i>Troglodytes aedon</i>	troa	1	1	1	1
	Turdidae	<i>Turdus fuscater</i>	tufus	1	0	1	1
		<i>Turdus chiguanco</i>	tuchi	1	1	1	1
	Motacillidae	<i>Anthus furcatus</i>	anfu	1	1	1	1
	Thraupidae	<i>Pipraeidea melanonota</i>	pime	1	0	0	0
		<i>Pipraeidea bonariensis</i>	pibo	1	1	1	1
		<i>Conirostrum cinereum</i>	coci	1	1	1	1
		<i>Oreomanes fraseri</i>	orfra	1	0	0	0
		<i>Xenodacnis parina</i>	xepa	1	0	1	1
		<i>Diglossa sittoides</i>	disi	0	0	1	0
		<i>Diglossa brunneiventris</i>	dibru	1	1	1	1
<i>Phrygilus plebejus</i>	phrple	1	1	1	1		

Continuación

Orden	Familia	Especie	Cod sp.	Lluvia 2015	Seca 2015	Lluvia 2016	Seca 2016
Passeriformes	Thraupidae	<i>Phrygilus punensis</i>	phrpun	1	1	1	1
		<i>Phrygilus fruticeti</i>	phrfrut	1	1	1	1
		<i>Phrygilus unicolor</i>	phruni	1	1	0	1
		<i>Phrygilus alaudinus</i>	phrala	0	0	1	1
		<i>Sicalis uropygialis</i>	siur	1	1	1	1
		<i>Sicalis olivascens</i>	siol	1	1	1	0
		<i>Thlypopsis ornata</i>	thlor	1	1	1	0
		<i>Catamenia analis</i>	caan	0	1	1	1
		<i>Catamenia inornata</i>	cain	1	1	1	1
		<i>Poospiza hispaniolensis</i>	poohis	0	0	0	1
		<i>Sporophila simplex</i>	sposi	0	0	0	1
		<i>Saltator aurantiirostris</i>	salau	1	1	1	1
	Emberizidae	<i>Zonotrichia capensis</i>	zoca	1	1	1	1
		<i>Atlapetes seebohmi</i>	atse	1	1	1	1
		<i>Atlapetes nationi</i>	atna	1	1	0	0
	Cardinalidae	<i>Pheucticus chrysogaster</i>	phech	1	1	1	1
		<i>Piranga flava</i>	pifla	1	1	1	1
	Icteridae	<i>Dives waczewiczi</i>	diwa	1	1	1	1
	Fringillidae	<i>Spinus magellanicus</i>	spima	1	1	1	1
		<i>Spinus crassirostris</i>	spicra	0	0	1	0
		<i>Spinus atratus</i>	spiatr	1	1	1	1
	Passeridae	<i>Passer domesticus</i>	pado	0	0	0	1

**ANEXO 4. Especies registradas en el distrito de Cajatambo con alguna categoría de conservación y/o endemismo**

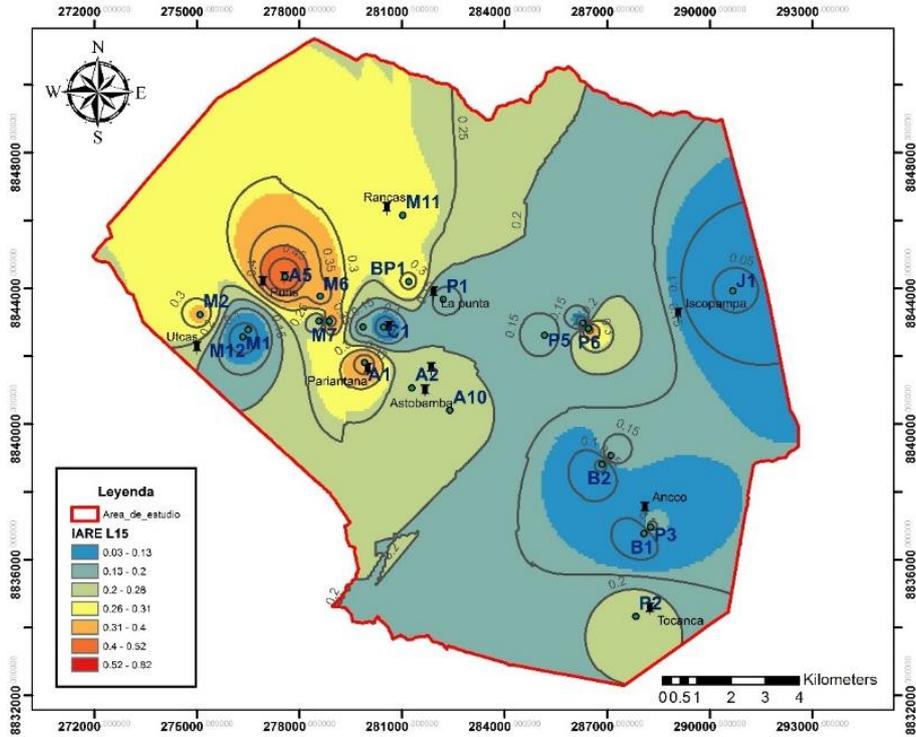
Orden	Familia	Especie	IUCN	CITES	D.S.	E
Cathartiformes	Cathartidae	<i>Vultur gryphus</i>	NT	Apéndice I	EN	
Accipitriformes	Accipitridae	<i>Geranoaetus melanoleucus</i>	LC	Apéndice II		
		<i>Geranoaetus polyosoma</i>	LC	Apéndice II		
Strigiformes	Strigidae	<i>Glaucidium peruanum</i>	LC	Apéndice II		
		<i>Bubo virginianus</i>	LC	Apéndice II		
Apodiformes	Trochilidae	<i>Colibri coruscans</i>	LC	Apéndice II		
		<i>Patagona gigas</i>	LC	Apéndice II		
		<i>Metallura phoebe</i>	LC	Apéndice II		E
		<i>Oreotrochilus melanogaster</i>	LC	Apéndice II		E
		<i>Oreotrochilus estella</i>	LC	Apéndice II		
		<i>Lesbia nuna</i>	LC	Apéndice II		
		<i>Aglaeactis cupripennis</i>	LC	Apéndice II		
		<i>Metallura tyrianthina</i>	LC	Apéndice II		
		<i>Polygonymus caroli</i>	LC	Apéndice II		E
		<i>Myrtis fanny</i>	LC	Apéndice II		
		<i>Rhodopis vesper</i>	LC	Apéndice II		
		<i>Thaumastura cora</i>	LC	Apéndice II		
Piciformes	Picidae	<i>Colaptes atricollis</i>	LC			E
Falconiformes	Falconidae	<i>Phalcoboenus megalopterus</i>	LC	Apéndice II		
		<i>Falco sparverius</i>	LC	Apéndice II		
		<i>Falco peregrinus</i>	LC	Apéndice I	NT	
		<i>Falco femoralis</i>	LC	Apéndice II		
Psittaciformes	Psittacidae	<i>Psittacara wagleri</i>	LC	Apéndice II		
		<i>Psilopsiagon aurifrons</i>	LC	Apéndice II		
		<i>Bolborhynchus orbynesius</i>	LC	Apéndice II		
Passeriformes	Furnariidae	<i>Geocerthia serrana</i>	LC			E
		<i>Leptasthenura pileata</i>	LC			E
		<i>Geositta saxicolina</i>	LC			E
	Cotingidae	<i>Zaratornis stresemanni</i>	VU		VU	E
	Thraupidae	<i>Oreomanes fraseri</i>	NT		NT	
	Emberizidae	<i>Atlapetes nationi</i>	LC			E

**ANEXO 5. Índice de Abundancia Relativa al Espacio de los transectos en cada evaluación.**

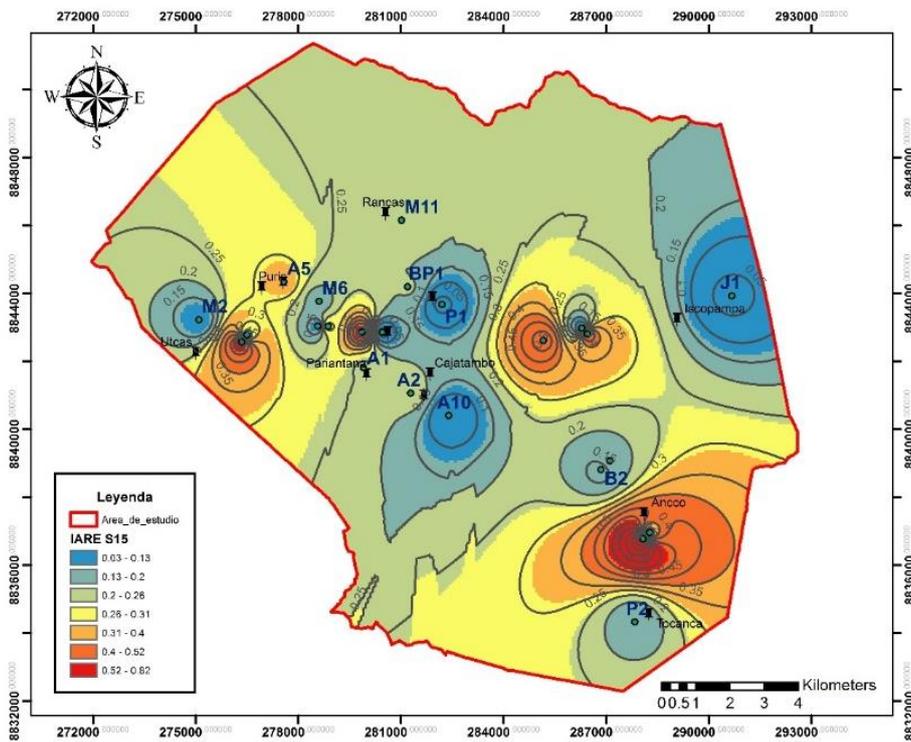
<b>Transecto</b>	<b>L15</b>	<b>S15</b>	<b>L16</b>	<b>S16</b>
A1	1.270	0.246	0.117	0.513
A2	0.234	0.220	0.100	0.378
A5	0.495	0.331	0.125	0.311
A7	0.207	0.102	0.183	0.227
A10	0.216	0.051	0.150	0.126
B1	0.045	0.814	0.125	0.563
B2	0.036	0.127	0.050	0.168
BP1	0.306	0.203	0.100	0.277
C1	0.072	0.034	0.092	0.034
C2	0.054	0.025	0.042	0.429
J1	0.045	0.042	0.067	0.126
M1	0.099	0.220	0.100	0.227
M2	0.315	0.102	0.267	0.345
M6	0.369	0.169	0.267	0.092
M7	0.369	0.314	0.208	0.126
M10	0.135	0.576	0.250	0.605
M11	0.270	0.246	0.267	0.294
M12	0.072	0.602	0.425	0.025
P1	0.135	0.042	0.300	0.723
P2	0.234	0.161	0.308	0.227
P3	0.162	0.314	0.092	0.134
P4	0.189	0.195	0.400	0.571
P5	0.135	0.517	0.258	0.244
P6	0.378	0.525	0.367	0.294
<b>Total IARE</b>	<b>5.847</b>	<b>6.178</b>	<b>4.658</b>	<b>7.059</b>

**ANEXO 6. Isóneas de Abundancia Relativa al Espacio de los transectos en cada evaluación.**

**“Lluvia 2015”**

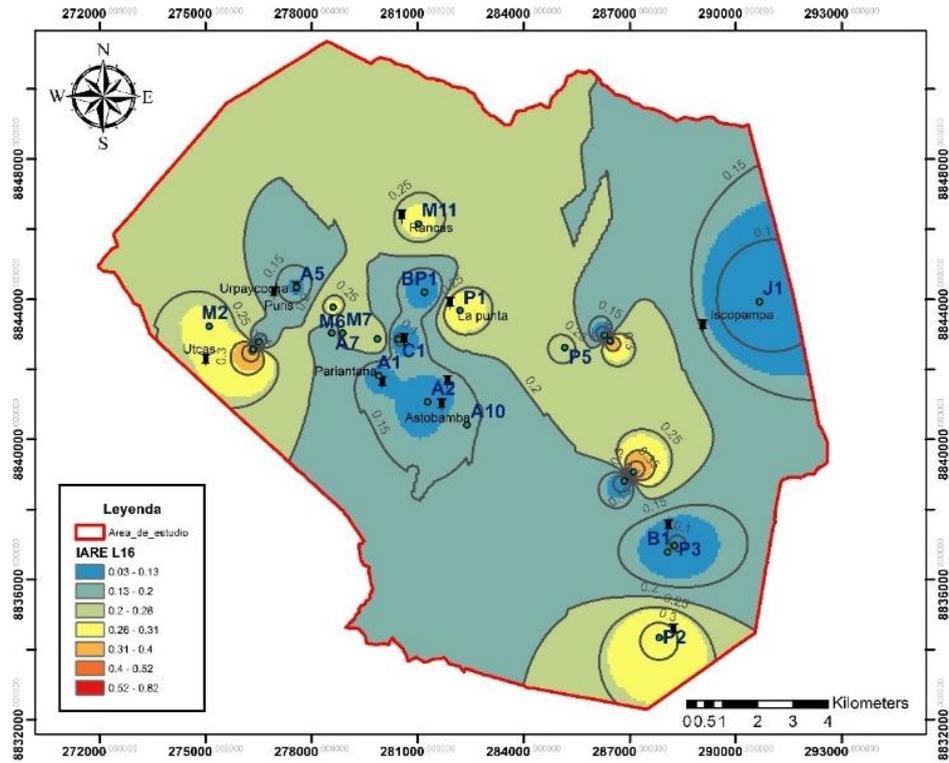


**“Seca 2015”**

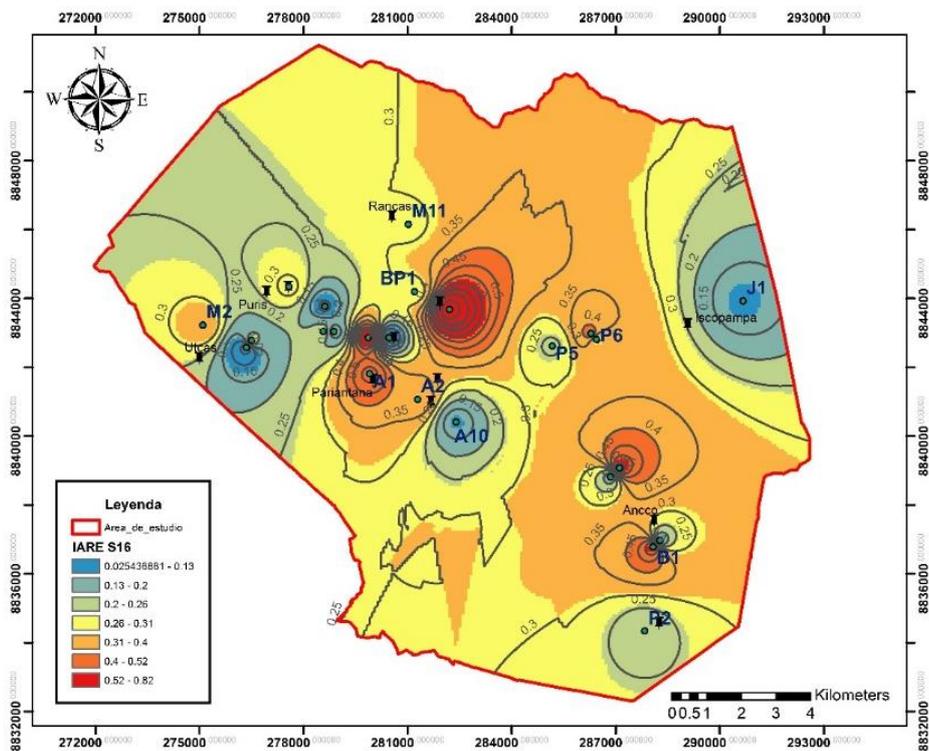


Continuación

### “Lluvia 2016”



### “Seca 2016”

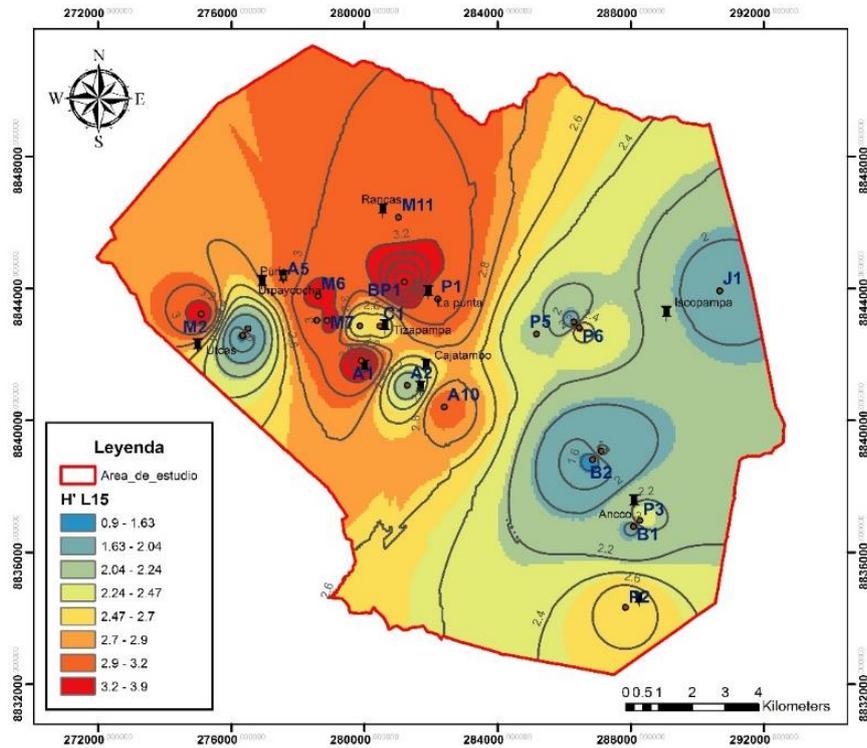


**ANEXO 7. Índices de diversidad de los transectos según su evaluación (Riqueza, Shannon-Wiener e Inversa de Simpson)**

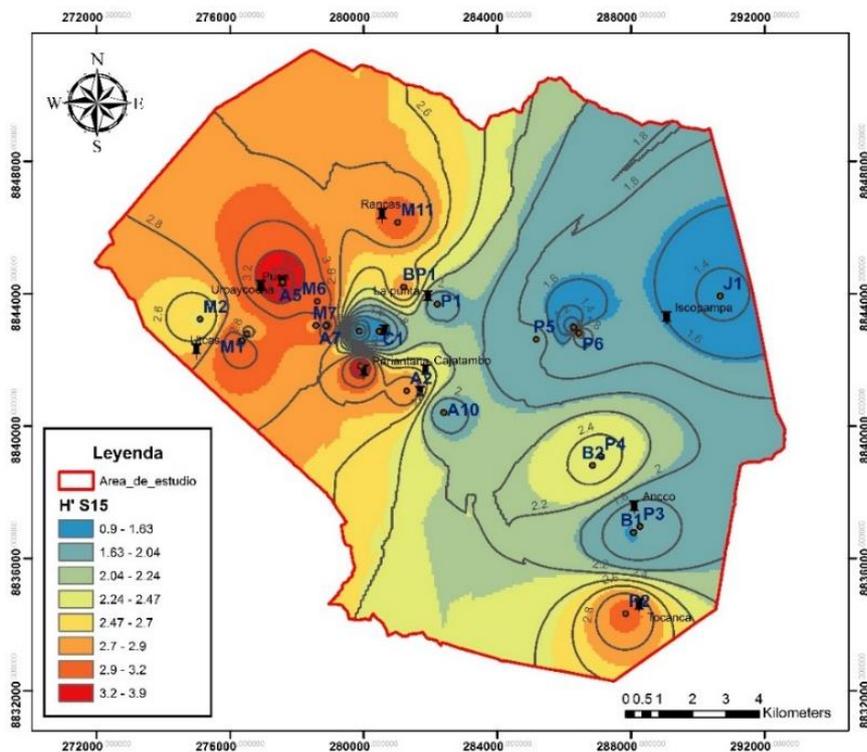
Transecto	Riqueza (S)				Shannon-Wiener (H')				Inversa de Simpson (1/D)			
	L15	S15	L16	S16	L15	S15	L16	S16	L15	S15	L16	S16
A1	15	12	7	12	3,496	3,348	2,549	3,16	8,889	8,85	4,9	7,675
A2	6	9	5	8	2,067	2,903	2,229	1,976	3,189	6,146	4,5	2,64
A5	11	15	5	8	2,917	3,481	1,688	1,891	5,784	8,403	2,42	2,578
A7	11	8	10	13	2,991	2,855	2,959	3,483	5,945	6,545	6,369	9,718
A10	10	4	7	6	2,992	1,919	2,594	2,04	6,698	3,6	5,4	3
B1	4	6	6	13	1,922	1,603	2,282	2,718	3,571	2,295	4,244	4,165
B2	3	6	5	9	1,5	2,466	2,252	2,942	2,667	5	4,5	6,667
BP1	18	9	8	10	3,895	2,751	2,855	2,36	12,162	5,537	6,545	3,067
C1	6	3	5	3	2,5	1,5	1,868	1,5	5,333	2,667	2,814	2,667
C2	4	2	3	13	1,792	0,918	1,371	2,917	3	1,8	2,273	5,297
J1	4	3	4	6	1,922	1,371	1,906	2,366	3,571	2,273	3,555	4,591
M1	4	9	6	11	1,971	2,727	2,284	2,874	3,846	5,365	4	5,322
M2	12	6	8	12	3,291	2,46	2,626	3,116	8,224	5,144	5,068	6,39
M6	14	11	16	4	3,347	3,109	3,816	1,858	8,045	6,667	12,488	3,27
M7	15	12	11	6	3,395	3,255	2,992	2,197	7,893	7,241	5,631	3,571
M10	6	8	12	10	2,44	1,051	3,35	1,806	5	1,412	9,001	2,512
M11	12	10	11	12	3,066	2,963	2,926	3,299	5,999	6,532	5,688	8,006
M12	3	13	8	2	1,561	3,25	1,248	0,918	2,909	8,137	1,533	1,8
P1	9	4	8	10	3,027	1,922	2,295	2,089	7,348	3,571	3,768	2,745
P2	7	9	6	10	2,699	2,945	1,361	3,074	6,079	6,812	1,733	7,348
P3	6	8	4	5	2,369	1,702	1,79	1,56	4,587	2,006	3,103	2,103
P4	5	6	12	10	2,034	2,457	2,955	1,871	3,644	5,038	6,094	2,114
P5	6	8	7	8	2,217	1,838	2,481	2,545	3,769	2,222	5,03	4,751
P6	7	6	9	8	2,65	2,114	2,383	2,509	5,981	3,615	3,598	4,329

**ANEXO 8. Isolíneas de la diversidad (expresada con Shannon-Wiener) de los transectos en cada evaluación.**

**“Lluvia 2015”**

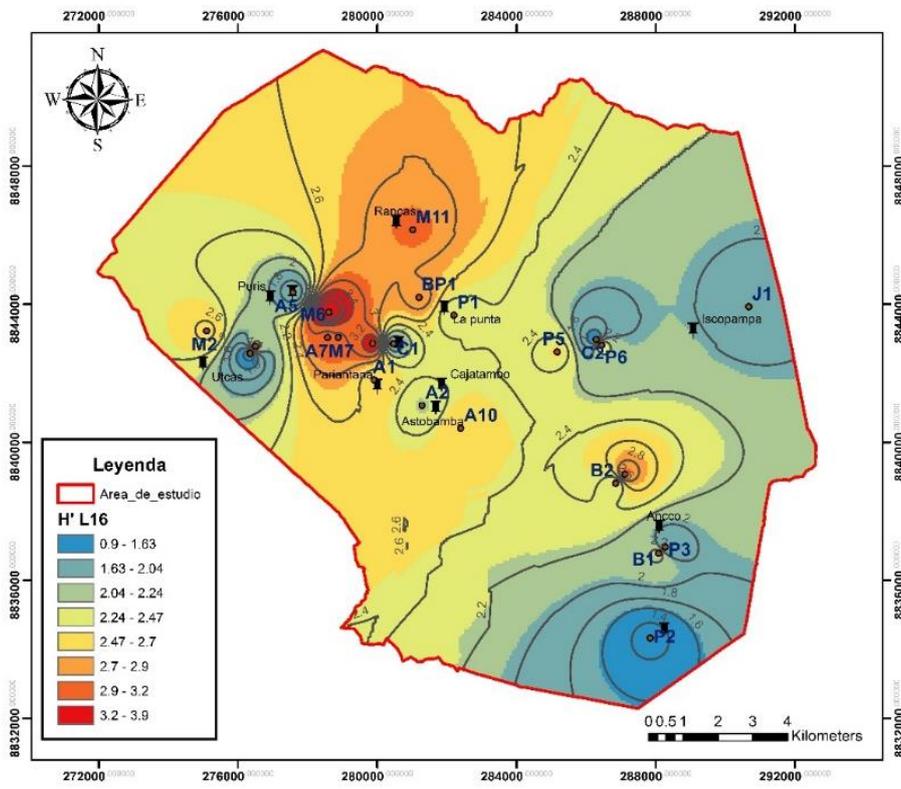


**“Seca 2015”**

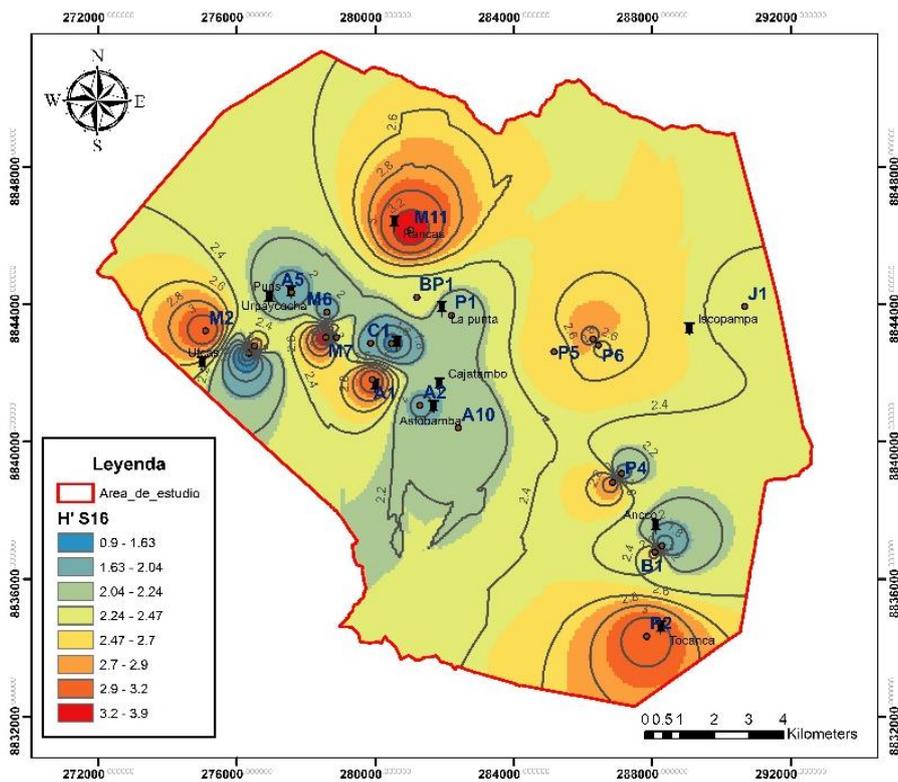


Continuación

### “Lluvia 2016”

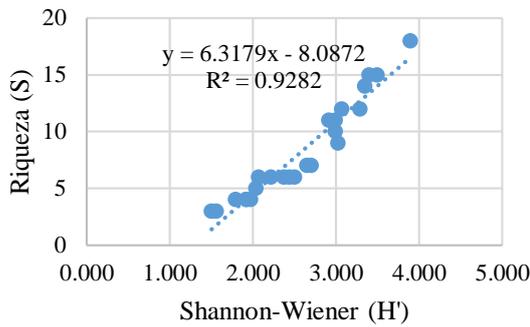


### “Seca 201”

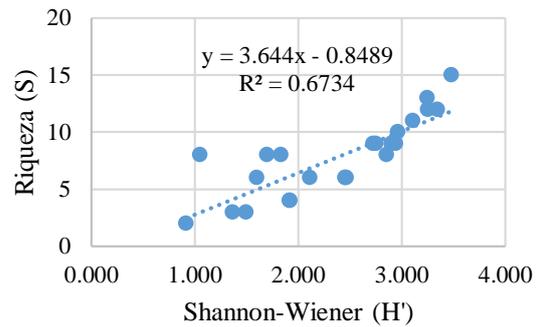


## ANEXO 9. Correlación de Shannon-Wiener y la riqueza en cada evaluación

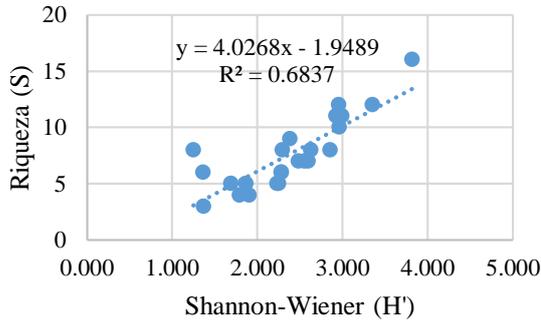
**Lluvia 2015**



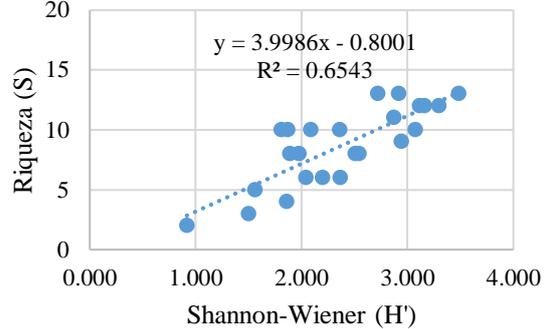
**Seca 2015**



**Lluvia 2016**

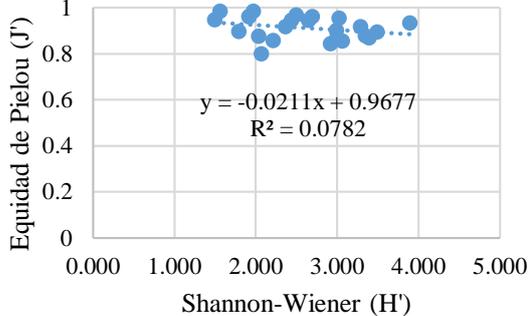


**Seca 2016**

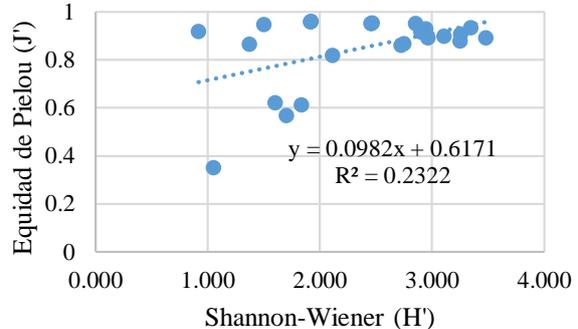


## ANEXO 10. Correlación de Shannon-Wiener y la equidad de Pielou en cada evaluación.

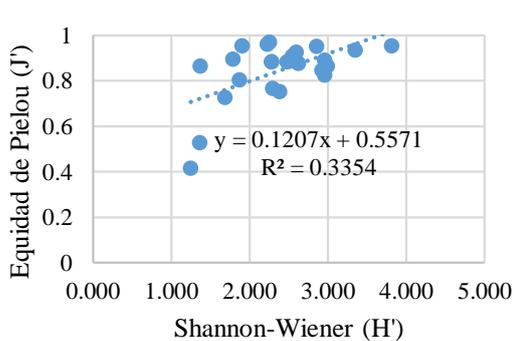
**Lluvia 2015**



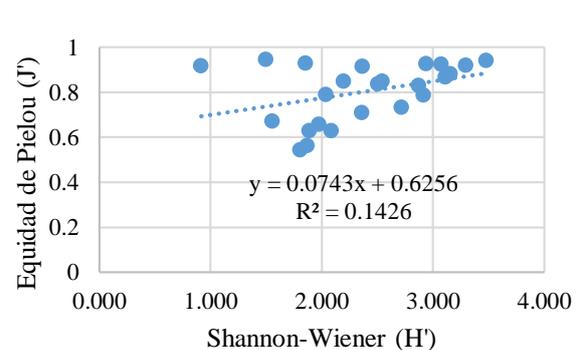
**Seca 2015**



**Lluvia 2016**



**Seca 2016**



### ANEXO 11. Prueba de Kruskal-Wallis de la riqueza en las evaluaciones.

H (X <sup>2</sup> )	1.889
p-valor	0.5917

<b>Evaluación</b>	<b>Lluvia 2015</b>	<b>Seca 2015</b>	<b>Lluvia 2016</b>	<b>Seca 2016</b>
<b>L15</b>		0.942	0.934	0.488
<b>S15</b>			0.717	0.280
<b>L16</b>				0.150
<b>S16</b>				

### ANEXO 12. Prueba de ANOVA del índice Shannon-Wiener en las evaluaciones.

	Sum of sqrs	df	Mean square	F	p(same)
Between groups:	0,797	3	0,266	0,5759	0,6323
Within groups:	42,453	92	0,461		
Total:	43,25	95			
omega <sup>2</sup> :	-0,013				
Levene's test for homogeneity of variance, based on means:					
p(same) =	0,524				
Based on medians:					
p(same) =	0,634				

Welch F test in the case of unequal variances:

F=0.5824, df=51.03, p=0.6293

Tukey's pairwise comparisons

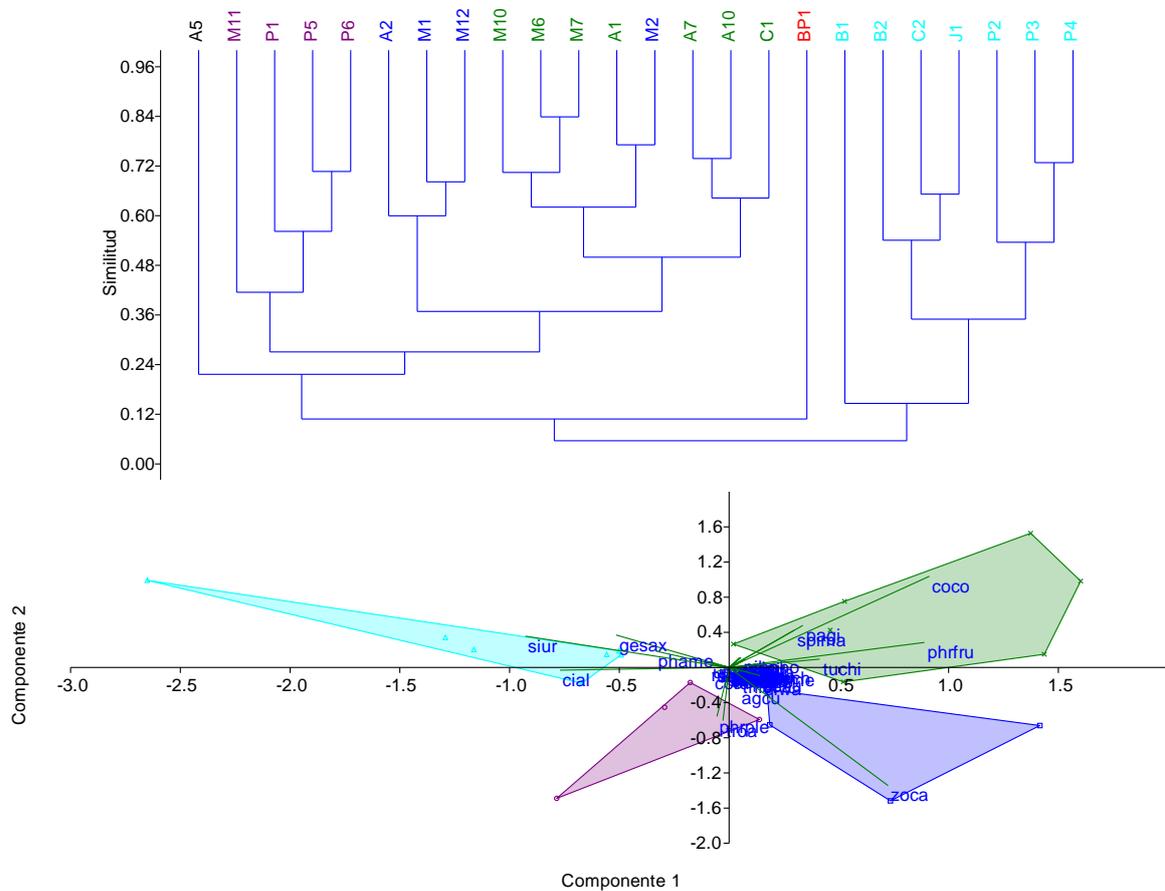
<b>Evaluación</b>	<b>L15</b>	<b>S15</b>	<b>L16</b>	<b>S16</b>
<b>L15</b>		0,694	0,713	0,714
<b>S15</b>			1	1
<b>L16</b>				1
<b>S16</b>				

**ANEXO 13. Prueba de Kruskal-Wallis del índice de Simpson invertido en las evaluaciones.**

H (X<sup>2</sup>)            3.861  
 p-valor            0.277

Evaluación	Lluvia 2015	Seca 2015	Lluvia 2016	Seca 2016
Lluvia 2015		0.359	0.184	0.045
Seca 2015			0.643	0.503
Lluvia 2016				0.571
Seca 2016				

**ANEXO 14. Agrupación de transectos en la evaluación “Lluvia 2015”, según la composición de la comunidad de aves (análisis cluster y análisis de componentes principales) y su corroboración (NP-MANOVA).**



Continuación

Permutación N: 9999

Total sum of squares: 6.64

Within-group sum of squares: 2.546

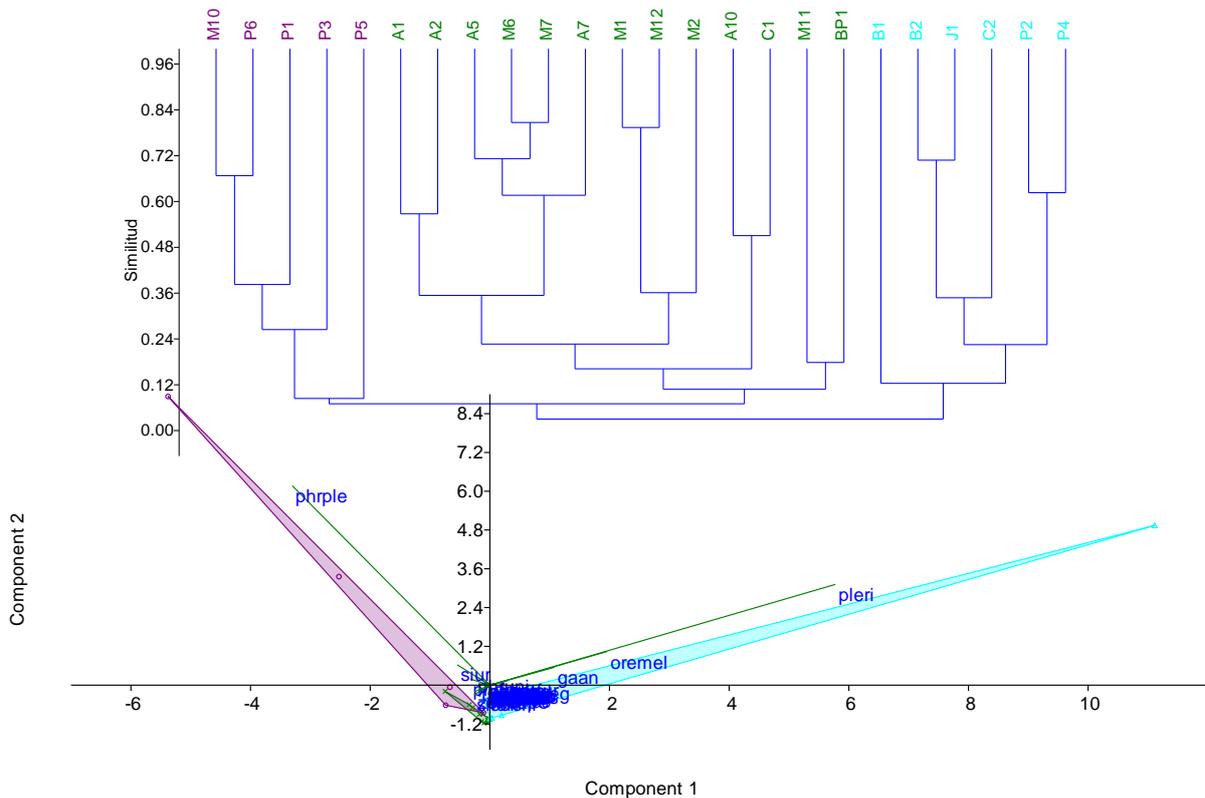
F: 9.65

p(same): 0.0001

Pairwise comparisons: p values, sequential Bonferroni significance

Grupo	AM1	AM2	PM	PCH
AM1		0.0058	0.0018	0.0003
AM2			0.0291	0.0097
PM				0.0033
PCH				

**ANEXO 15. Agrupación de transectos en la evaluación “Seca 2015”, según la composición de la comunidad de aves (análisis cluster con índice de Morisita y análisis de componentes principales) y su corroboración (NP-MANOVA).**



Continuación

Permutación N: 9999

Total sum of squares: 9.249

Within-group sum of squares: 6.398

F: 4.678

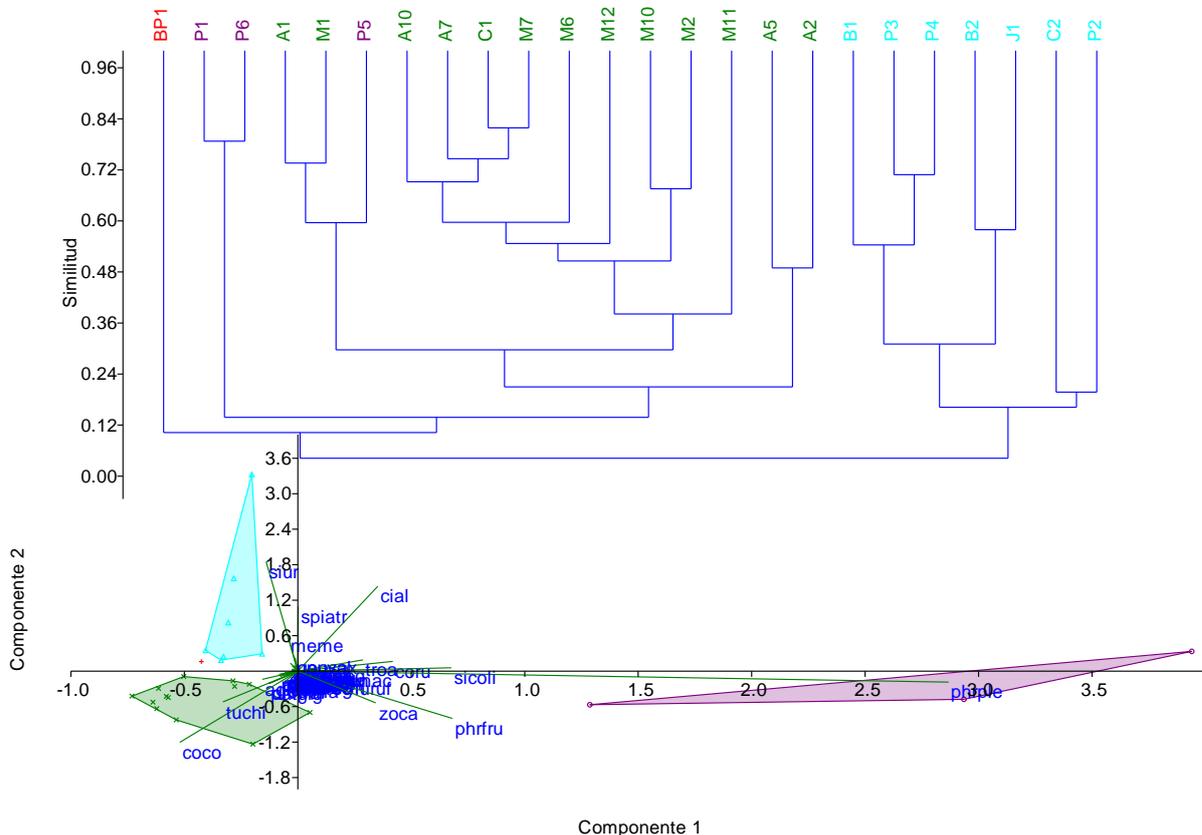
p(same): 0.0001

Pairwise comparisons: p values, sequential Bonferroni significance

Grupos	AM1	PCH	PM
AM1		0.0001	0.0002
PCH			0.0047
PM			

Leyenda: En casilleros coloreados existe diferencia significativa con  $\alpha= 0.05$ .

**ANEXO 16. Agrupación de transectos en la evaluación “Lluvia 2016”, según la composición de la comunidad de aves (análisis cluster con índice de Morisita y análisis de componentes principales) y su corroboración (NP-MANOVA).**



Continuación

Permutación N: 9999

Total sum of squares: 7.588

Within-group sum of squares: 4.107

F: 8.478

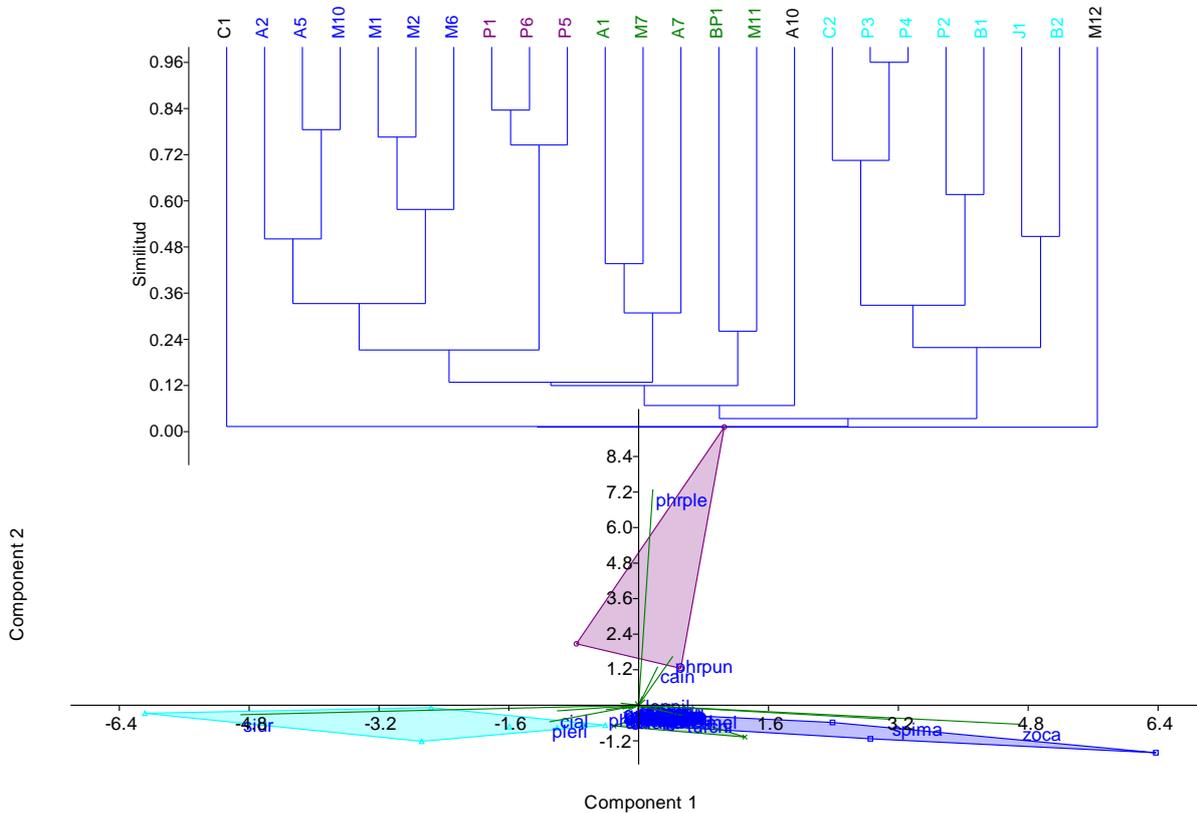
p(same): 0.0001

Pairwise comparisons: p values, sequential Bonferroni significance

Grupo	AM1	PM	PCH
AM1		0.0017	0.0001
PM			0.0076
PCH			

Leyenda: En casilleros coloreados existe diferencia significativa con  $\alpha= 0.05$ .

**ANEXO 17. Agrupación de transectos en la evaluación “Seca 2016”, según la composición de la comunidad de aves (análisis cluster con índice de Morisita y análisis de componentes principales) y su corroboración (NP-MANOVA).**



Continuación

Total sum of squares: 7.617

Within-group sum of squares: 3.645

F: 6.174

p(same): 0.0001

Pairwise comparisons: p values, sequential Bonferroni significance

<b>Grupo</b>	PCH	AM2	AM1	PM
PCH		0.0007	0.0012	0.008
AM2			0.0029	0.0112
AM1				0.0175
PM				

Leyenda: En casilleros coloreados existe diferencia significativa con  $\alpha= 0.05$ .

**ANEXO 18 Porcentaje de Similitud (SIMPER) de los atractores de cada evaluación, resaltando sus respectivas especies clave por su abundancia media.**

**Lluvia 2015**

<b>Taxon</b>	<b>Av. dissim</b>	<b>Contrib. %</b>	<b>Cumulative %</b>	<b>Abun. Media AM1</b>	<b>Abun. Media AM2</b>	<b>Abun. Media PM</b>	<b>Abun. Media PCH</b>
zoncap	0.078	46.310	46.310	0.579	1.520	0.700	0.048
phrfu	0.028	16.780	63.090	0.714	0.779	0.150	0.000
colcor	0.014	8.526	71.620	1.160	0.188	0.150	0.000
cinalb	0.014	8.158	79.770	0.000	0.000	0.400	0.705
phrple	0.011	6.373	86.150	0.114	0.250	0.800	0.057
troaed	0.010	5.629	91.780	0.057	0.188	0.900	0.048
turchi	0.004	2.405	94.180	0.579	0.250	0.000	0.000
sicuro	0.003	1.714	95.900	0.000	0.000	0.200	0.610
divwar	0.001	0.802	96.700	0.157	0.212	0.000	0.000
aglcup	0.001	0.770	97.470	0.057	0.000	0.550	0.000

Continuación

**Seca 2015**

<b>Taxon</b>	<b>Av. dissim</b>	<b>Contrib. %</b>	<b>Cumulative %</b>	<b>Abun. Media AM1</b>	<b>Abun. Media PCH</b>	<b>Abun. Media PM</b>
phrple	0.026	51.130	51.130	0.185	0.200	3.520
troaed	0.009	18.060	69.180	0.277	0.000	0.400
zoncap	0.004	8.428	77.610	0.719	0.000	0.240
cinalb	0.004	7.223	84.830	0.015	0.533	0.160
phrfu	0.002	4.224	89.060	0.431	0.000	0.320
astpud	0.002	3.247	92.310	0.215	0.067	0.000
colrup	0.001	2.541	94.850	0.031	0.167	0.000
sicoli	0.001	2.120	96.970	0.039	0.000	1.600
phameg	0.000	0.721	97.690	0.031	0.133	0.160
phruni	0.000	0.684	98.370	0.062	0.000	0.480

**Lluvia 2016**

<b>Taxon</b>	<b>Av. dissim</b>	<b>Contrib. %</b>	<b>Cumulative %</b>	<b>Abun. Media AM1</b>	<b>Abun. Media PM</b>	<b>Abun. Media PCH</b>
zoncap	0.028	38.080	38.080	0.400	0.800	0.057
phrple	0.014	19.330	57.410	0.062	2.800	0.029
phrfu	0.010	14.210	71.620	0.277	1.000	0.000
cinalb	0.008	11.390	83.000	0.031	0.400	0.657
troaed	0.004	6.072	89.080	0.092	0.400	0.152
colcor	0.002	3.132	92.210	0.877	0.067	0.000
catana	0.002	2.236	94.440	0.077	0.000	0.057
musruf	0.001	1.390	95.830	0.000	0.467	0.029
oremel	0.001	1.383	97.220	0.046	0.000	0.057
musjun	0.000	0.557	97.770	0.000	0.067	0.114

Continuación

**Seca 2016**

<b>Taxon</b>	<b>Av. dissim</b>	<b>Contrib. %</b>	<b>Cumulative %</b>	<b>Abun. Media PCH</b>	<b>Abun. Media AM2</b>	<b>Abun. Media AM1</b>	<b>Abun. Media PM</b>
zoncap	0.039	45.550	45.550	0.029	2.670	0.660	0.933
seguro	0.009	10.860	56.420	2.460	0.000	0.000	0.467
phrple	0.008	9.590	66.010	0.229	0.067	0.040	4.870
phrpun	0.007	7.566	73.570	0.029	0.500	0.080	1.130
spimag	0.006	6.458	80.030	0.000	1.730	0.240	0.267
aerand	0.005	5.413	85.440	0.286	0.033	0.760	0.000
turchi	0.002	1.819	87.260	0.000	0.233	0.680	0.000
troaed	0.001	1.723	88.990	0.000	0.100	0.370	0.133
cinalb	0.001	1.657	90.640	0.829	0.000	0.000	0.133
catino	0.001	1.496	92.140	0.000	0.033	0.410	0.667

Leyenda: muy importante = verde; importante= amarillo, medio importante= anaranjado.

Grupos: PCH: pajonal-césped y humedal; AM1: agricultura-matorral 1; AM2: agricultura-matorral 2; PM: pajonal-matorral.

## ANEXO 19. NP-MANOVA de agrupación espacio-temporal en todas las evaluaciones.

Permutación N: 9999

Total sum of squares:

35.15

Within-group sum of squares:

19.6

F: 8.031

p(same): 0.0001

Pairwise comparisons: p values, sequential Bonferroni significance

<b>Grupo</b>	A-C	A-M ll	M s	A s	BP	P-M	H	P-C	H spp.
A-C		0.0001	0.0007	0.0003	0.0081	0.0004	0.0002	0.0002	0.0074
A-M ll			0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
M s				0.0001	0.0005	0.0001	0.0002	0.0001	0.0005
A s					0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002
BP						0.0004	0.0006	0.0002	0.0099
P-M							0.0001	0.0001	0.0002
H								0.0001	0.0086
P-C									0.0003
H spp.									

Leyenda: En casilleros coloreados existe diferencia significativa con  $\alpha = 0.05$ .

Grupos: A-C: agricultura-césped; A-M ll: agricultura-matorral lluviosa; M s: matorral seco; A s: agricultura seca; BP: bosque de Polylepis; P-M: pajonal-matorral; H: humedal; P-C: pajonal-césped; H spp.: humedal con spp. gregarias.

**ANEXO 20. Porcentaje de Similitud de los atractores sus respectivas especies clave por su abundancia media.**

Taxon	Av. dissim	Contrib. %	Cumulative %	Abun. Media A-C	Abun. Media A-M II	Abun. Media Ms	Abun. Media As	Abun. Media BP	Abun. Media P-M	Abun. Media H	Abun. Media P-C	Abun. Media H spp.
zocap	7.989	8.798	8.798	0.12	0.589	0.995	2.05	0.16	0.6	0.0733	0.0154	0
phrple	7.747	8.532	17.33	0.04	0.116	0.42	0.05	0.12	3.67	0.02	0.292	0
siur	6.583	7.249	24.58	0	0	0	0	0.04	0.527	0.1	2.3	0.12
phrfu	4.783	5.268	29.85	0	0.532	1.24	0.0833	0	0.309	0	0	0
coco	4.703	5.18	35.03	0.12	1.14	0.02	0.0333	0.04	0.0364	0	0	0
cial	4.65	5.121	40.15	0	0.0316	0	0	0.04	0.327	0.58	0.949	0.12
tuchi	4.059	4.471	44.62	0.32	0.392	0	1.03	0	0	0	0	0
spima	2.987	3.29	47.91	0	0.189	0.16	0.883	0.44	0.0727	0	0.0308	0
troa	2.858	3.147	51.06	0.04	0.187	0.12	0.221	0.32	0.509	0.0333	0.0821	0
mece	2.192	2.414	53.47	2.04	0.0526	0	0	0	0	0	0.0154	0
gaan	1.652	1.819	55.29	0	0	0	0	0	0	0.36	0.0308	0.48
phrpun	1.616	1.78	57.07	0	0.0211	0.24	0.192	0.12	0.309	0	0.0308	0
caan	1.455	1.603	58.67	0	0.0526	0.4	0.233	0	0	0.04	0	0
pagi	1.441	1.587	60.26	0	0.276	0.06	0.108	0.12	0.0182	0	0	0
xepa	1.432	1.577	61.83	0	0	0	0	1.24	0	0	0	0
gesax	1.413	1.556	63.39	0	0	0	0	0	0.0182	0.08	0.415	0
phame	1.37	1.509	64.9	0	0	0.04	0	0	0	0.06	0.369	0.08
oremel	1.365	1.503	66.4	0	0.0316	0	0	0	0	0.08	0.0769	0.88
diwa	1.31	1.442	67.85	0	0.197	0	0.221	0	0	0	0	0
cain	1.289	1.42	69.26	0	0	0	0.0708	0.36	0.182	0.14	0	0
anafla	1.289	1.419	70.68	0	0	0	0	0	0	0	0	1.16
faspa	1.26	1.387	72.07	0.32	0.0658	0	0.137	0	0	0	0	0

Leyenda: muy importante = verde; importante= amarillo, medio importante= anaranjado.

## ANEXO 21. NP-MANOVA de agrupación de los factores físicos, biológicos y antrópicos.

Permutación N: 9999

Total sum of squares:

35.88

Within-group sum of squares: 7.071

F: 37.35

p(same): 0.0001

Pairwise comparisons: p values, uncorrected significance

<b>Grupos</b>	A-M i	D veg	A-M si	Intermedio 2	P a	P b-m	Intermedio 1
A-M i		0,008	0,000	0,003	0,000	0,000	0,006
D veg			0,001	0,001	0,000	0,000	0,035
A-M si				0,000	0,000	0,000	0,000
Intermedio 2					0,000	0,000	0,408
P a						0,000	0,008
P b-m							0,021
Intermedio 1							

Leyenda: En casilleros coloreados existe diferencia significativa con  $\alpha= 0.05$ .

Grupos: A-M i: agricultura y matorral con artificialidad intensiva (A-M i); D veg: diversidad de estratos y formas de vida vegetales; A-M si: agricultura y matorral con artificialidad semi-intensiva a poco intensiva; Intermedio 2: Estratos medios de parches grandes de A y C-pu; P a: puna alta; P b-m: puna baja-media; Intermedio 1: pendiente e IPH medio y bajo.

**ANEXO 22. Elección de los siete primeros componentes principales que integran los factores biológicos, físicos y antrópicos, a partir del Análisis de Componentes Principales.**

PC	Eigenvalue	% variance	% var. acum.
1	28.241	43.569	43.57
2	8.509	13.128	56.70
3	6.694	10.328	67.03
4	5.075	7.830	74.85
5	4.229	6.524	81.38
6	2.692	4.153	85.53
7	2.170	3.348	88.88
8	1.791	2.764	91.64
9	1.241	1.915	93.56
10	0.919	1.417	94.98
11	0.864	1.334	96.31
12	0.810	1.250	97.56
13	0.474	0.731	98.29
14	0.397	0.612	98.90
15	0.259	0.400	99.30
16	0.187	0.288	99.59
17	0.162	0.251	99.84
18	0.065	0.100	99.94
19	0.025	0.039	99.98
20	0.010	0.015	100.00
21	0.002	0.003	100.00
22	0.001	0.001	100.00

Leyenda: Casilleros coloreados fueron los componentes principales considerados.

**ANEXO 23. Determinación de los principales factores físicos, biológicos y antrópicos en sus respectivos componentes principales.**

Factor	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4	Eje 5	Eje 6	Eje 7
PLAND_Eu	0.818	0.076	-0.104	-0.188	0.393	0.293	0.128
Sucu	0.464	-0.032	-0.219	-0.172	0.541	-0.076	0.097
PLAND_Edi	0.819	0.091	-0.017	-0.143	0.348	0.314	0.161
LPI_M	0.649	0.036	-0.461	-0.199	0.453	0.062	-0.041
LPI_Eu	0.682	0.042	-0.345	-0.264	0.501	0.270	0.103
LPI_Edi	0.714	0.064	-0.236	-0.214	0.461	0.317	0.153
l/D_est	0.465	0.005	0.457	0.216	0.374	-0.316	-0.388
l/D_fv	0.427	-0.070	0.398	0.253	0.472	-0.382	-0.387
Alta_IPH	0.439	0.023	0.191	-0.025	0.468	-0.220	-0.254
S_fv	0.502	-0.464	-0.132	-0.213	0.100	-0.325	0.206
LatPe	0.503	0.029	-0.431	-0.176	-0.298	0.037	0.313
S_est	0.682	0.080	-0.392	-0.006	0.241	-0.266	0.011
2 - 5	0.228	-0.020	-0.346	-0.033	0.136	-0.687	0.151
PLAND_M-de	0.919	0.091	0.331	-0.026	-0.010	-0.010	0.044
PD_M-ro	0.939	0.080	0.095	-0.141	0.214	0.128	0.052
PLAND_M	0.956	0.122	0.119	0.088	0.090	0.067	-0.014
PLAND_M-ro	0.792	0.106	0.566	0.081	-0.144	0.056	0.041
PD_A	0.764	0.115	0.592	0.110	-0.152	0.087	0.051
PD_M	0.777	0.039	0.577	0.156	-0.135	0.083	0.059
PLAND_A	0.740	0.120	0.594	0.118	-0.141	0.127	0.101
LPI_M-ro	0.633	0.112	0.685	0.171	-0.259	0.050	0.066
PD_Eu	0.896	0.109	0.351	-0.025	0.087	0.200	0.081
PD_M-de	0.872	0.109	0.451	0.024	-0.035	0.107	0.066
PD_Edi	0.832	0.121	0.406	0.025	0.051	0.237	0.140
LPI_M-de	0.771	0.056	0.136	-0.001	-0.142	-0.391	0.082
SIDI	0.826	0.499	-0.103	0.199	-0.024	-0.077	0.041
SHDI	0.832	0.387	-0.151	0.286	0.015	-0.052	0.094
LPI_A	0.247	0.337	0.258	0.839	0.037	0.191	-0.013
0.2-0.5	-0.236	0.187	0.047	0.410	-0.468	0.249	0.158
LPI_C-pu	-0.057	0.273	-0.667	0.434	0.473	0.169	0.053
1 - 2	0.218	0.163	-0.644	0.213	0.217	0.196	0.028

Leyenda: Elección a partir de los valores máximos (amarillo) y mínimos (celeste) en cada componente principal

Continuación

Factor	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4	Eje 5	Eje 6	Eje 7
0.5-1	0.002	0.111	-0.593	0.165	-0.336	0.217	-0.174
LiMu	-0.052	0.051	-0.353	0.359	-0.334	-0.434	0.047
PLAND_P	-0.964	0.041	0.187	-0.107	0.103	0.013	0.072
Altitud	-0.941	-0.003	0.096	0.052	-0.132	-0.043	0.062
PD_P-pe	-0.905	0.408	-0.019	0.097	0.035	-0.045	0.003
PD_G	-0.830	0.482	0.193	-0.026	0.171	0.029	0.060
PLAND_P-pe	-0.519	0.748	0.130	-0.370	0.044	-0.081	0.067
LPI_P-pe	-0.479	0.736	0.106	-0.442	-0.031	-0.093	0.044
LPI_G	-0.512	0.792	0.172	-0.261	0.015	-0.034	0.054
PD_B	-0.484	0.810	0.140	-0.227	0.143	-0.056	0.084
PD_Ag	-0.487	0.636	0.295	-0.450	0.167	-0.050	0.125
PLAND_G	-0.687	0.710	0.116	-0.026	0.058	-0.001	0.019
PLAND_B	-0.522	0.823	0.083	-0.018	0.174	-0.026	0.057
LPI_B	-0.531	0.804	0.037	0.142	0.191	-0.003	0.034
PD_P	-0.473	0.705	0.015	0.350	0.090	-0.166	0.182
PLAND_C-pu	-0.823	-0.035	0.053	0.481	0.236	0.107	0.048
PLAND_C-rio	-0.771	-0.456	0.280	-0.172	0.202	0.085	0.112
PLAND_Ag	-0.760	-0.290	0.357	-0.266	0.250	0.064	0.156
PLAND_J	-0.627	-0.148	-0.014	0.668	0.281	0.159	-0.012
PD_C-pu	-0.849	-0.253	0.240	0.250	0.226	0.125	0.079
PD_C-rio	-0.817	-0.349	0.291	-0.188	0.206	0.079	0.116
PD_J	-0.630	-0.643	0.265	-0.065	0.226	0.106	0.111
LPI_P	-0.888	-0.242	0.251	-0.122	0.200	0.074	0.098
LPI_C-rio	-0.871	-0.415	0.142	-0.172	-0.007	0.074	0.008
LPI_Ag	-0.679	-0.533	0.327	-0.136	0.234	0.096	0.133
LPI_J	-0.579	-0.064	-0.054	0.725	0.267	0.154	-0.029
Gram	-0.535	0.078	-0.190	0.522	0.094	0.098	-0.010
pndt	-0.017	0.110	-0.442	-0.439	-0.495	0.296	0.007
Baja_IPH	-0.376	0.156	-0.033	-0.282	-0.198	0.284	-0.624
<0.2	-0.221	-0.286	0.199	0.082	0.184	-0.414	0.298
Media_IPH	0.006	-0.170	-0.124	0.295	-0.191	-0.095	0.815

**ANEXO 24. Significancia de los ejes de Análisis de Correspondencia Canónica por especies clave de atractores.**

<b>Eje</b>	<b>Eigenval</b>	<b>p-valor</b>
1	0.8095	0.009901
2	0.4981	0.495
3	0.3422	0.505
4	0.239	0.6535
5	0.1556	0.8713
6	0.127	0.802
7	0.102	0.6436
8	0.06293	0.8614
9	0.05282	0.5347
10	0.03575	0.6436
11	0.02339	0.8317
12	0.01967	0.3069
13	6.22E-17	0.06931

Leyenda: En casilleros coloreados existe diferencia significativa con  $\alpha= 0.05$ .

**ANEXO 25. Significancia de los ejes del Análisis de Correspondencia Canónica por diversidad (Shannon-Wiener).**

<b>Eje</b>	<b>Eigenval</b>	<b>p-valor</b>
1	0.01525	0.3663
2	0.0135	0.009901
3	0.002603	0.7525

Leyenda: En casilleros coloreados existe diferencia significativa con  $\alpha= 0.05$ .

**ANEXO 26. Especies de aves más comunes del distrito de Cajatambo**



*Zonotrichia capensis* (zoca)



*Phrygilus plebejus* (phrple)



*Sicalis uropygialis* (siur)



*Colibri coruscans* (coco)



*Phrygilus fruticeti* (phrfu)



*Cinclodes albiventris* (cial)