

Applying Two-Eyed Seeing to Pair Indigenous Ecological Calendars and Community Science Data for Biodiversity Monitoring in Amazonia

Keywords: Amazonia; biodiversity monitoring; citizen science; collaborative research; community science; Indigenous communities; Indigenous ecological knowledge; rights holders; participatory research.

Manuscript type: Original Article.

Journal target: Ecology and Evolution.

This manuscript was compiled on September 11, 2026

Applying Two-Eyed Seeing to Pair Indigenous Ecological Calendars and Community Science Data for Biodiversity Monitoring in Amazonia

Orlando Acevedo-Charry^{1,2,3,4,5*}, Gloria A. Rivera-Velasco⁶, Luis Enrique Llanos Rodríguez⁷, Walter Gabriel (Siorú) Estrada^{8,9}, Fernando Cediel^{5,10}, Agripino González¹¹, Yenifer Soledad López Peña¹², Sebastián Guerrero-Peláez¹³, Yorneida González⁷, Fabián Rodríguez Álvarez⁷, Yei-son Fabian Hernández Yate¹³, Luis Fernando Jaramillo¹⁴, Miguel Ángel Portura⁷, Zuania Colón-Piñeiro^{3,15}, Scott K. Robinson³, Ana María Garrido Corredor^{4,15}, and Miguel A. Acevedo²

1. School of Natural Resources and Environment, University of Florida, Gainesville, FL-32611, USA;
2. Department of Wildlife Ecology and Conservation, University of Florida, Gainesville, FL-32611, USA;
3. Florida Museum of Natural History, University of Florida, Gainesville, FL-32611, USA;
4. Tropical Conservation and Development Program, Center for Latin American Studies, University of Florida, Gainesville, FL-32611, USA;
5. eBird Colombia, Reviewers;
6. Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA, Semillero de Etno-Ornitología, Mitú, Vaupés, Colombia. (Nasa people);
7. Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA, Semillero de Etno-Ornitología, Mitú, Vaupés, Colombia. (Pamiwã people);
8. Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA, Semillero de Etno-Ornitología, Mitú, Vaupés, Colombia. (Siriano people);
9. Asociación de Autoridades Tradicionales Aledaños a la Carretera (Mitú-Bogotá Cachivera) – AATAC, Mitú, Vaupés, Colombia;
10. Grupo de Ecología y Evolución de Vertebrados, Instituto de Biología, Universidad de Antio-

quia, Medellín, Colombia;

11. Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA, Semillero de Etno-Ornitología, Mitú, Vaupés, Colombia. (Tuyuca people);

12. Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA, Semillero de Etno-Ornitología, Mitú, Vaupés, Colombia. (Desana people);

13. Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA, Semillero de Etno-Ornitología, Mitú, Vaupés, Colombia. (no Indigenous ethnicity);

14. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, Mitú, Vaupés, Colombia;

15. Department of Biology, University of Florida, Gainesville, FL-32611, USA;

16. Department of Anthropology, University of Florida, Gainesville, FL-32611, USA;

* Corresponding author; e-mail: acevedocharry@gmail.com.

Running title: Two-Eyed Seeing guiding principle in Amazonia

Data Availability Statement

All data generated during the course of this study are available in Zenodo (Acevedo-Charry *et al.*

3 2026). eBird data are freely available (upon request) on the eBird data portal website.

Code Availability Statement

All analyses were conducted in the software R version 4.3.3 (R Development Core Team 2026).

6 The code is available in Zenodo (Acevedo-Charry *et al.* 2026).

Conflict of Interest

The authors have no conflict of interest to declare.

9 **Author Contributions**

Orlando Acevedo-Charry conducted literature searches, led analysis, and wrote with support and feedback from Gloria Rivera, Walter Estrada, Agripino González, Yenifer López, Sebastián Guerrero, Yorneida González, Fabián Rodríguez, Yeison Hernández, Ana Garrido, Zuania Colón-Piñeiro, Fernando Cediel, Scott Robinson, and Miguel Acevedo. Gloria Rivera, Walter Estrada, Luis Llanos, Agripino González, Yenifer López, Sebastián Guerrero, Yorneida González, Fabián Rodríguez, Yeison Hernández, Fernando Jaramillo, and Miguel Portura conducted ethnographic fieldwork. All authors contributed critically to the draft and gave final approval for publication.

Abstract

18 Pairing Indigenous and Western ecological knowledge can enhance our understanding of phe-
nological patterns, but epistemological differences, power imbalances, and histories of exclu-
sion often limit this integration. To address these challenges, we adopted the Two-Eyed See-
21 ing conceptual framework, which emphasizes learning from the strengths of both knowledge
systems through co-developing questions, sharing knowledge mobilization, and co-producing
insights. Our biocultural conservation dialogues brought together local ethnographic leaders,
24 Indigenous scholars, and Western researchers in ecology and anthropology in Amazonia. Within
the Pamiwā Indigenous territory in the Colombian Amazon, we co-developed research questions
about seasonal variation in bird diversity (species richness, composition, and the relative abun-
27 dance of culturally important species), as well as the effects of climate change. We documented
and mobilized knowledge from both systems: Indigenous knowledge collected by Elders and
apprentices during an ethno-ornithology education program was condensed into a culturally
30 embedded ecological calendar, while data from the Western-oriented eBird community science
platform (mainly contributed by avitourists) provided a second line of evidence. We compared
these datasets to assess similarities and differences. Our findings revealed both convergence and
33 divergence. Patterns in species richness and the relative abundance of culturally important birds
were broadly similar, while species composition showed more variation over the year. These
differences reflect distinct approaches: Indigenous observers draw on culturally embedded ex-
36 perience, environmental change, and resource use, whereas avitourists focus on spotting more
and rarer birds. Biocultural conservation thus requires integrative, adaptive methods. Our study
shows that the Two-Eyed Seeing framework can guide the pairing of Indigenous and Western
39 knowledge systems, providing a tool for long-term biodiversity monitoring that aligns global
platforms like eBird with local priorities and helps safeguard biodiversity and cultural, ancestral,
and spiritual values. Iterative ecological calendars, framed by Two-Eyed Seeing, offer adaptive
42 strategies for communities to monitor biodiversity and manage their territories.

1 Introduction

A growing movement in ecology calls for shifting away from hegemonic Western frameworks as the sole means of understanding biodiversity patterns toward more equitable relationships among diverse knowledge systems (Gavin *et al.* 2015; Gazing Wolf *et al.* 2024; Levis *et al.* 2024; Reid *et al.* 2021). This shift demands transformative collaborations grounded in mutual respect and reciprocal learning (Armstrong *et al.* 2025; Kainer *et al.* 2009; Levis *et al.* 2024; Reid *et al.* 2024). Indigenous and Western ecological knowledge systems can co-create knowledge (Armstrong *et al.* 2025; Nuñez 2024; Reid *et al.* 2021), complementing each other's insights at different temporal, spatial, and biocultural scales (Jessen *et al.* 2022; Kainer *et al.* 2009). Despite their differences in ontologies (nature of reality), epistemologies (theory of knowledge and how it is generated and validated), axiologies (nature of values), and methodologies (procedures to answer research questions), failure to come together and coexist across knowledge systems threatens biocultural heritage (Couée 2024; Fonseca-Cepeda *et al.* 2019; Kassam *et al.* 2023), including the ways of living of the people coexisting in the territory. This can lead to suboptimal, inadequate, or incomplete knowledge that accelerates biodiversity loss and cultural erosion (Bridgewater & Rotherham 2019). Conversely, working together (Bartlett *et al.* 2012; Reid *et al.* 2021; Stern & Humphries 2022; Turner & Reid 2022) exacerbates the potential to yield a more accurate and comprehensive understanding of biodiversity grounded in cultural importance (Hernandez *et al.* 2024; Reid *et al.* 2021; Reyes-García *et al.* 2023), highlighting the importance of Indigenous knowledge, thus improving biodiversity management and future conservation (Cochran *et al.* 2016; Gavin *et al.* 2015; Kassam *et al.* 2023).

Indigenous and Western ecological knowledge share an endeavor to understand biodiversity patterns (Armstrong *et al.* 2025; Jessen *et al.* 2022; Nuñez 2024). Indigenous ecological knowledge is the multi-generational understanding of human, environmental, territorial, and spiritual connections reflected in environmental patterns in flora, fauna, and abiotic drivers maintained and transmitted by Indigenous peoples (Jessen *et al.* 2022). These knowledge systems have guided

69 territorial governance for millennia (Gazing Wolf *et al.* 2024; Levis *et al.* 2024). For example, ecological calendars such as those developed by the Tiquié River peoples in Brazil (Ciclos Anuais) encode phenological observations into culturally embedded frameworks that inform land use, 72 harvesting, and ceremonial practices (Cochran *et al.* 2016; Jiménez *et al.* 2023; Kassam *et al.* 2023; Rozzi *et al.* 2023). Western ecological knowledge similarly seeks to characterize phenological patterns, such as species' distributions (Rushing *et al.* 2019), population fluctuations (Socolar *et al.* 75 2025), and acoustic activity (Aide 2023; Howells *et al.* 2025; Somervuo *et al.* 2025) as indicators of ecological responses to environmental change in more or less predictive cycles. Recently, Western scientists have also been leveraging data from community, participatory, or citizen science 78 initiatives to improve our understanding of phenology in biodiversity (Amano *et al.* 2016; Amaral *et al.* 2025; Kelling *et al.* 2019). These volunteer-collected observations occur at various times and places throughout the world (Amaral *et al.* 2025; Kelling *et al.* 2019; Youngflesh *et al.* 2022), 81 including Indigenous territories (Moreno-Salazar *et al.* 2023). Yet, as global community science initiatives expand into Indigenous territories, the lack of adaptive methodologies and inclusive data governance frameworks raises critical questions about how biodiversity data are collected, 84 shared, and used, particularly for Indigenous communities that actively participate in biological conservation with cultural and livelihood priorities (Reid *et al.* 2024). In this sense, data from community science initiatives offer an opportunity to foster collaboration between Indigenous 87 and Western ecological knowledge.

Even though the co-creation of knowledge from Indigenous and Western actors has the potential to transform our understanding of nature, this complementarity is challenged by epistemological differences, power asymmetries, and the historical legacy of exclusion (Gazing Wolf *et al.* 90 2024; Reid *et al.* 2024). Mi'kmaw Elder Dr. Albert Marshall defined *Etuaptmumk* (Two-Eyed Seeing) as "*learning to see from one eye with the strengths of Indigenous ways of knowing, and to see from the 93 other eye with the strengths of Western ways of knowing, and to use both of these eyes together*" (Bartlett *et al.* 2012). These strengths depend on the question or motivation. For example, Armstrong *et al.* (2025) used the Two-Eyed Seeing conceptual framework for educational purposes, while Reid

96 *et al.* (2021) contextualized its use in fisheries research and management to co-develop questions,
document and mobilize knowledge, and co-produce insights that inform decisions. This guid-
ing principle therefore strongly involves education, the transmission of Indigenous knowledge,
99 and recognition of the limitations of Western science in understanding a system and guiding
collective action that impacts Indigenous ways of life. It explicitly incorporates "*the notion that
knowledge transforms the holder and that the holder bears a responsibility to act on that knowledge*" (Reid
102 *et al.* 2021).

Here, we applied Two-Eyed Seeing as our guiding principle, motivated by the goal of un-
derstanding bird phenology and recent shifts in diversity patterns in response to global change
105 in Amazonia (Figure 1). In the Vaupés context, Indigenous researchers describe Two-Eyed See-
ing as analogous to looking with both eyes of the same body. For example, when observing a
Maloka or *pami kerami*, one may see only a physical structure and admire its aesthetic qualities,
108 such as its design and patterns. However, when viewed through its ceremonial significance and
its orientation toward the sun, the maloka can also be understood as representing the duality
of life, sunrise, and sunset. Similarly, in relation to birds, a birdwatcher who hears the antbird
111 *Hypocnemoides melanopogon* vocalizing may search for it and even use playback recordings until
it can be seen and documented. For an Indigenous fisherman, however, hearing the bird's song
alone may already provide information about whether fishing conditions will be favorable or un-
114 favorable. In this perspective, the bird's vocalization conveys meaning and reflects a relationship
with nature, without requiring visual confirmation of its presence. These examples illustrate the
importance of seeing with both eyes, thereby avoiding a narrow or incomplete understanding of
117 the world around us. One eye reflects Indigenous knowledge rooted in territory, oral tradition,
spirituality, and lived experience, while the other reflects knowledge acquired through engage-
ment with Western science. Neither eye should dominate the other; rather, both contribute to a
120 broader and clearer field of vision that enables a more holistic understanding of environmental
change and stewardship. Accordingly, our research follows the six beneficial steps identified by
Reid *et al.* (2021) for applying Two-Eyed Seeing to the study of bird phenology and its potential

123 responses to global change. First, we established a long-term relationship through biocultural
 conservation and biodiversity monitoring in Amazonia (step 1). Second, we identified a shared
 research interest in bird phenology and environmental change (step 2). Together, these steps
 126 helped us identify knowledge gaps and the tools needed to address them (step 3), leading to
 the co-development of the present study (step 4). Community representatives subsequently co-
 evaluated and validated the study (step 5; see 1.1). Finally, completing the cycle proposed by
 129 Reid *et al.* (2021) (step 6), we shared recognition through the authorship of this manuscript and
 discuss the co-benefits arising from our findings.

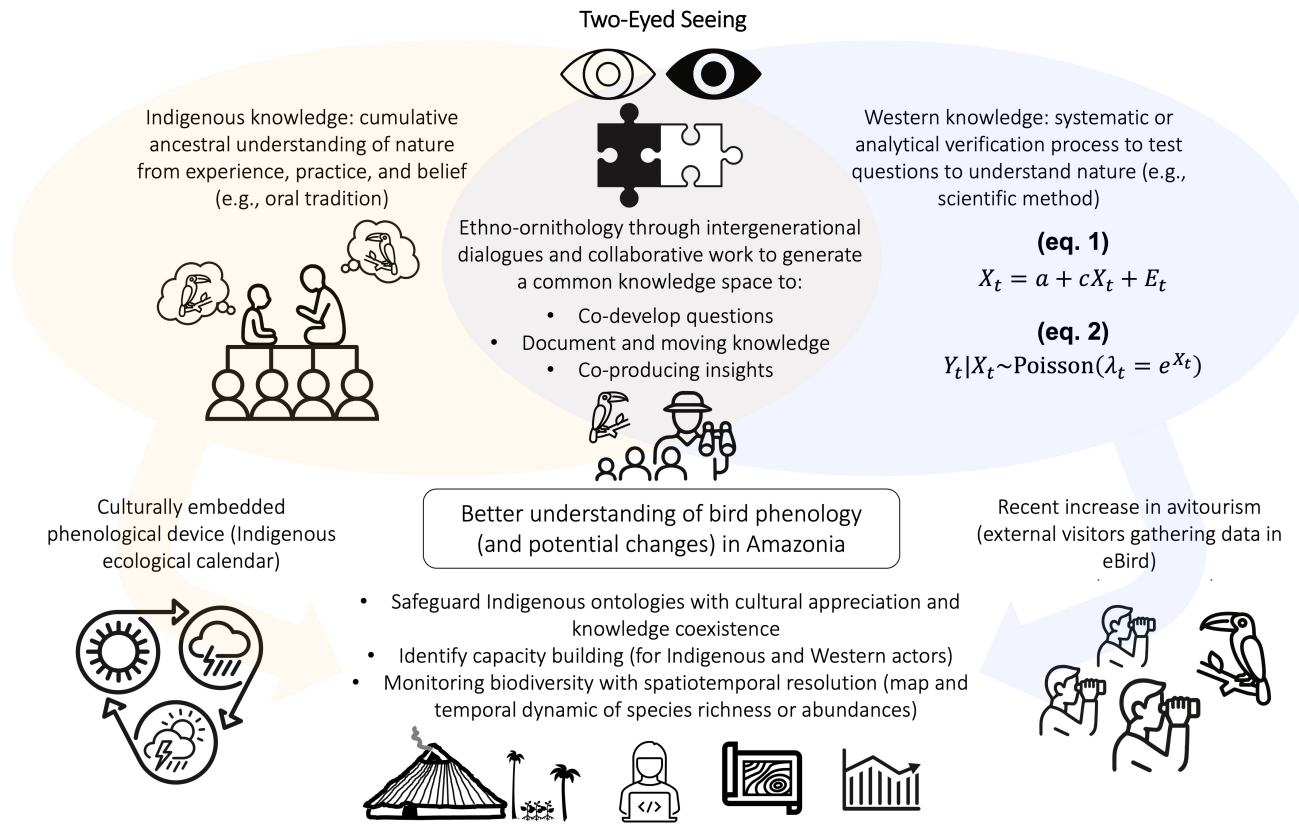


Figure 1: Pairing Indigenous and Western knowledge transforms our understanding of nature, but this might be challenging. Applying Two-Eyed Seeing as a guiding principle (Bartlett *et al.* 2012) provides an effective way to do it. This principle encourages mutual respect, collaboration, and coexistence of different ways of knowing, drawing on their *strengths*, rather than choosing one over the other. For example, the Indigenous knowledge on bird phenology preserved through oral tradition (illustration of a (...)

Figure 1: (...) conversation about birds between Indigenous Elders and apprentices) can be paired with systematic and analytical procedures from Western knowledge (represented by a state-space model of population dynamics with submodels for ecological –eq.1– and observational –eq.2– processes). We exemplify this through an ethno-ornithological education curriculum developed in Mitú, Vaupés, Colombian Amazonia. Through intergenerational dialogues between Indigenous Elders and apprentices, and collaborative work with Western academics, we prioritize research questions, document and disseminate knowledge, and co-produce insights into bird phenology in Amazonia and the potential effects of global change. These two knowledge systems (circles) provide datasets (arrows) of a culturally embedded phenological device (ecological calendar from Indigenous knowledge) and a recent increase in external visitors to the territory submitting observations to community science platforms (eBird data from Western knowledge; see Supporting Information A figures S1 and S2). Pairing the ecological calendar with critical analyses of community science data, we applied Two-Eyed Seeing for long-term biodiversity monitoring in a local context. The bottom illustrations represent capacity building in both Indigenous (*Maloka* and its associated *chagra*) and Western knowledge (a computer). The map and time-series dynamics (e.g., species richness or abundance of culturally important species) also represent spatiotemporal resolution monitoring. Figure designed by Hollis Wooley at the FLMNH-Graphics division and modified by the lead author after editorial feedback. This figure is translated to Spanish in the Supporting Information B, Figure S4.

Drawing on Indigenous and Western ecological knowledge systems, we focus on Amazonian bird phenology to highlight the use of Two-Eyed Seeing as a guiding principle (Figure 1). Birds hold deep cultural and ecological significance across societies, serving as indicators of seasonal change, ecosystem health, and communal meaning (Acevedo-Charry & Contreras-Herrera 2015; EtnoOrnitologia 2016; Lees *et al.* 2022; Massardo & Rozzi 2004). Beyond its bird richness (Echeverry-Galvis *et al.* 2022; Moreno-Salazar *et al.* 2023), our study region in the Colombian Amazonia is important for analyzing biocultural richness (Hernandez *et al.* 2024; Maffi 2018). Colombia is the second ranked country in Latin America (after Brazil) with the highest number of ethnic groups, having more ethnic groups than Peru, Bolivia, or Mexico (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Furthermore, more than 34 languages are spoken in the

141 Vaupés River basin (see T. C. Chacon presentation in the Max Planck Institute for the Science of Human History), making it a global case study in ethnic and linguistic diversity (Maffi 2018).

Indigenous communities from the Colombian Amazon interpret temporal changes in the
144 presence, perceived abundance, and composition of bird species as reflections of ecological cycles, guiding decisions on harvesting forest resources, agriculture, and ceremonial practices (EtnoOrnitologia 2016, 2018; Rivera Velasco & EtnoOrnitologia 2022). These observations are embedded
147 in oral traditions and synthesized in ecological calendars (Rivera-Velasco *et al.* 2026), which encode multi-generational knowledge of phenological patterns. For example, the seasonal vocal activity of species such as *Monasa morphoeus* signals the onset of the dry season for the Pamiwã
150 people (Cubeo: Tukano linguistic family) and informs land-use decisions such as slash-and-burn agriculture (EtnoOrnitologia 2016; see more examples in 2.5). Therefore, the Pamiwã ecological calendar could represent species that support cultural identity through religious, spiritual, and
153 social cohesion (i.e., culturally important species as defined by Reyes-García *et al.* (2023)), rather than the stricter definition of "Cultural Keystone Species" (Garibaldi & Turner 2004). Indigenous bird assessment is relational and experiential, grounded in lived interactions with the landscape
156 and guided by cosmological narratives, worldviews, and ecological stewardship. These experiential understandings of nature are not fixed in time nor in space. Thus, Indigenous people are aware of the variability of natural events and changes occurring in these dimensions (Victoria-
159 Lacy *et al.* 2025).

Western ecological scientists survey birds applying standardized quantitative methods that
prioritize repeatability and data quality. These standardized approaches can potentially be repli-
162 cated in some semistructured community science efforts such as eBird, a global community science initiative that collects species lists (or checklists as sampling events in the platform), abundance estimates, and observation metadata from volunteer participants (Kelling *et al.* 2019; Sullivan *et al.* 2014). While eBird data can be leveraged to conduct macroecological research
165 (Acevedo-Charry *et al.* 2025; Johnston *et al.* 2025; Kelling *et al.* 2019), its implementation in highly biodiverse regions such as Indigenous territories may unintentionally reinforce power asymme-

tries and neocolonial dynamics, privileging the priorities and knowledge of external actors over local communities (Soares *et al.* 2023). Indigenous and rural peoples are entitled to govern access to their territories and to make decisions about how biodiversity data is collected there (Gavin *et al.* 2015; Gazing Wolf *et al.* 2024). They should also be able to use these data for the benefit of their own stewardship and governance strategies (Ramírez-Castañeda *et al.* 2022; Reid *et al.* 2024). eBird data is provided by volunteer birdwatchers, mainly observing birds for recreation (Ocampo-Peñuela *et al.* 2025; Sullivan *et al.* 2014). Thus, using eBird data in ecological analyses requires refinement to address biases and limitations inherent in community science datasets (Boyd *et al.* 2023; Johnston *et al.* 2021, 2023). These data refinements can inform local governance and stewardship decisions by Indigenous communities, providing accurate spatial and temporal information on birds in their territories (Acevedo-Charry *et al.* 2025; Johnston *et al.* 2021). Despite differing epistemologies and methodologies, comparing Indigenous ecological calendars with quality-refined community science data using the Two-Eyed Seeing framework as a guiding principle (i.e., leveraging the *strengths* of the two knowledge systems reflected in these two data sources) could offer a promising path towards more inclusive and spatiotemporally grounded biodiversity monitoring. This is especially critical as increased tourist visits to Indigenous territories have led to greater biodiversity data collection (Moreno-Salazar *et al.* 2023; Ocampo-Peñuela *et al.* 2025), raising questions about data ownership and use (Soares *et al.* 2023).

In this study, we pair Indigenous and Western knowledge with the Two-Eyed Seeing guiding principle to better quantify seasonal variability in biodiversity patterns in the Colombian Amazon. Our approach addresses the urgent need for inclusive biodiversity monitoring frameworks that integrate local priorities with global data infrastructures, particularly amid accelerating environmental and socioeconomic change. To meet this goal, we compared temporal patterns in bird species richness, composition, and relative abundance derived from the Pamiwã Indigenous calendar and from quality-refined eBird records gathered within their territory. If the biodiversity patterns from these two data sources are either too similar or too divergent, pairing the knowledge systems that they represent may be limited. However, if key similarities emerge alongside

modest differences, knowledge co-existence is possible, resulting in a more robust understanding of phenological biodiversity patterns in Amazonia. Our results support this latter possibility. We therefore discuss strategies for improving eBird data collection from avitourist visitors, fostering its use in updates to the Indigenous ecological calendar, and enhancing our understanding of seasonal biodiversity dynamics while supporting more equitable, locally targeted monitoring practices.

1.1 Positionality Statement and Knowledge Coexistence

This study brings together researchers from different backgrounds and skill sets as co-authors. The authors identify themselves as knowledge holders from Indigenous communities, research and education institutions in and outside Amazonia, and Western academics with interest in bird ecology, quantitative/integrative biology, and anthropology.

Gloria A. Rivera-Velasco (from the Nasa people) is leading a series of activities within an ethno-ornithological education program that has included intergenerational dialogues between Elders and apprentices in the primary public institution for technical and vocational training in Vaupés, the National Learning Service (Servicio Nacional de Aprendizaje–SENA in Mitú, see 2.2). She has promoted this training after identifying worrying trends of lack of cultural appropriation of Indigenous knowledge by the youth Indigenous people in Vaupés. Pamiwā Elders Luis Enrique Llanos Rodríguez, Jose López Ortiz, and the late Luis Rodríguez Herrera have imparted their Indigenous knowledge through oral tradition to apprentices Walter Gabriel (Siorú) Estrada (Siriano), Miguel Ángel Portura (Tukano), Agripino González (Tuyuca), Yenifer Soledad López Peña (Desana), Yorneida González (Pamiwā), and Fabián Rodríguez Álvarez (Pamiwā), among others (see 4-Acknowledgments and 2.2-Methods). Gloria’s leadership in consolidating these intergenerational dialogues has been supported by the scholars Sebastián Guerrero-Peláez (SENA), Yeison Fabian Hernández Yate (SENA), and Luis Fernando Jaramillo (Instituto Sinchi), among others (see 4-Acknowledgments). During manuscript development, Indigenous coauthors repeatedly emphasized that the purpose of the ethno-ornithology program is not only bird iden-

tification but also strengthening Indigenous identity, reinforcing the value of Indigenous knowl-
edge among younger generations, and demonstrating that Indigenous science is equally valid as
Western science. These perspectives shaped our interpretation of Two-Eyed Seeing and informed
the framing of this manuscript (Figure 1). Gloria, in her leadership position, contacted the lead
author to pair the Indigenous knowledge (ethno-) with Western knowledge (-ornithology) to *use*
both these eyes together (Bartlett *et al.* 2012; Marshall 2008; Reid *et al.* 2021).

Orlando Acevedo-Charry is an ecologist who led the current effort from the ancestral ter-
ritory of the late Potano (Timucua) and Seminole (Alachua Seminole) people. Orlando openly
acknowledges the privileges afforded by his gender (male), race (white Latino), and birthplace
(the capital city of Colombia, Bogotá D.C.; ancestral territory of the late Muisca people). Despite
his mixed ancestry and bias towards Western training, Orlando has received Indigenous knowl-
edge from Elders across several territories in the Neotropics, acting here as a knowledge holder
transformed by that knowledge. Thus, he carries a responsibility to hold place for Indigenous
voices (among other minorities) in academic spaces, with the support of scholar colleagues, col-
laborators, and mentors Zuania Colón-Piñero, Fernando Cediell, Ana María Garrido Corredor,
Scott K. Robinson, and Miguel A. Acevedo, among others (see 4-Acknowledgments). Senior
authors Scott and Miguel contributed Western knowledge in avian biology and quantitative ecol-
ogy, respectively. Furthermore, Fernando and Orlando serve as volunteer eBird reviewers in
Colombia. Along with Scott, they are enthusiastic birdwatchers who contribute data to eBird
from different regions around the world. This expertise (Western knowledge of ornithology,
quantitative ecology, and critical use of community science data) supports the expectations and
interests of the Indigenous coauthors.

The Pamiwā territory is a strategic geographic location with a vast oral tradition, including
tales featuring birds as central characters (EtnoOrnitologia 2016, 2018; Rivera-Velasco *et al.* 2026;
Rivera Velasco & EtnoOrnitologia 2022), or, in other words, culturally important species (Her-
nandez *et al.* 2024; Reyes-García *et al.* 2023). This region has also experienced an exponential
increase in visits by birdwatchers from outside the territory (yearly submission records used

as a proxy for visits; Figure S1). Furthermore, intergenerational dialogues identified a recent
249 increase in heat perception by the Indigenous people during daily activities of maintenance of
small-scale shifting agriculture plots (*chagras*) as well as seasonal shifts in the annual patterns
of precipitation, being more unpredictable and extreme (from strong droughts to heavy rains
252 out of the traditional rainy season). These three components (Indigenous knowledge ground in
oral tradition, recent increase of Western influence through avitourism, and perceived patterns
of climate change) drive our co-developing of questions, identifying three principal, not exclu-
255 sive knowledge holders: 1) Indigenous people (Elders, apprentices, and facilitators), 2) Western
scientists (Seniors, early careers, and facilitators), and 3) avitourists (visitors with a main interest
of birdwatching for recreation). We consider Western scientists and avitourists to hold mainly
258 Western ways of knowing.

The dialogues and consensus buildings among the authors included over 10 years of activities
of the ethno-ornithology program in the SENA (led and synthesized by Gloria and her team in
261 Mitú), visits of the leading and the two senior authors to Mitú (2022-2023; see 2023 eBird trip re-
port), and virtual calls open to all authors (2023-2026), using a WhatsApp group chat for specific
inquiries and logistics coordination. Gloria and Walter facilitated these forms of communication,
264 representing the team in Mitú, while Orlando and Ana María represented the team outside Mitú
(Medellín, Colombia, and Gainesville, USA), with insights from the different authors. For ex-
ample, Fernando and Orlando led a meeting with Walter, Gloria, Agripino, Fabian, and Miguel
267 (Portura) to define shared birding locations (eBird hotspots) to support long-term monitoring of
birds in the Indigenous territory. Similarly, Gloria and Walter led the discussion about the selec-
tion of culturally important species, narrowing the list for analysis from 258 (the total number
270 of species included in the Indigenous calendar) to eight species, while Zuania and Orlando led
the analysis of patterns of climate change from the knowledge shared by the Indigenous coau-
thors through Gloria and Walter. To break language barriers across the list of authors, Orlando
273 translated all versions of the manuscript, including the responses to reviewers, from English to
Spanish (see Supporting Information B and C), while Gloria and Walter shared responses and

perspectives on these translated documents with the team in Mitú. Orlando back-translated these
276 perspectives and responses from Spanish to English, with the help and validation of Gloria and
Walter, to develop the final version of the manuscript.

In this research, we map bird diversity terms from the Indigenous or Western scientific lens,
279 respectively, as: "the amount of different birds, with different songs, colors, and behaviors" as
"species richness"; "which of those different birds are there" as "species composition"; and "the
quantity of each different bird, from few and spaced individuals to vast groups" as "relative
282 abundance". Data from Indigenous knowledge were synthesized in the ecological calendar and
bird tales by the Indigenous communities in Mitú (EthnoOrnitologia 2016, 2018), while data to
inform Western science metrics were obtained through systematic and analytical assessment of
285 eBird data (Johnston *et al.* 2021; Kelling *et al.* 2019; Sullivan *et al.* 2014). In this context, we co-
developed the following questions: How do the seasonality patterns of bird diversity (species
richness, composition, and relative abundance) in these two datasets reflect similarities or differ-
288 ences between the two knowledge systems? How can the Western knowledge dataset in eBird
align with Indigenous knowledge in Amazonia? Are the shifts in climatic seasonality identified
by Indigenous people replicated in Western knowledge tools?

291 We hypothesized that species richness will be higher in eBird than in the Indigenous ecolog-
ical calendar, due to the Western rooting of this community science platform (i.e., similar taxo-
nomic species from Western knowledge can be lumped into a single species by the Indigenous
294 knowledge), as well as the competitive nature of the participants (looking for more and rarer
birds). These discrepancies will reflect differences in species' occurrence patterns between the
two data sets (composition). Nonetheless, we predict that the annual pattern of species richness
297 will be similar between the two data sources, reflecting similarities between the two knowledge
systems. We also hypothesized that seasonal variation in relative abundance in the ecological
calendar would be mirrored by corresponding variations in eBird data for culturally important
300 species that serve as cues across three thematic topics: resource use, onset of climatic seasons,
and seasonal migrations. Furthermore, we expected that Western knowledge tools would iden-

tify similar shifts in climatic variation to those identified in Indigenous knowledge (warmer
303 temperatures and more variable rainfall). We expected that applying the Two-Eyed Seeing conceptual framework as our guiding principle would benefit Indigenous ways of living by pairing Western tools (community science data, analytical approaches) with Indigenous knowledge. The
306 inevitable Western influence on Indigenous youth in Amazonia is disconnecting them from Elders' knowledge. Therefore, we see Two-Eyed Seeing as an applicable principle for highlighting Indigenous knowledge and giving Indigenous people rightful agency in the face of external dynamics (such as Western economic development through avitourism and global change). The
309 personal experience of Indigenous co-authors validated this.

2 Methods

2.1 Study Site: The Pamiwã People Territory in the Colombian Amazon

We compared bird diversity patterns from an Indigenous ecological calendar and community science records in the multi-ethnic region of Vaupés, Colombian Amazonia (Figure 2). Our study
315 centers on the Pamiwã people (Cubeo: Tukano linguistic family), whose territory spans the area between the Querarí and Vaupés rivers, along the Cuduyarí River in the upper Rio Negro basin (indicated in red in Figure 2). This region lies within Colombia's eastern sandy belt, characterized
318 by nutrient-poor white-sand ecosystems, *igapó* floodplain forests, and clay-soil *terra firme* forests (Olivares 1955; Olivares & Hernández Camacho 1962). Biogeographically, it shares affinities with the Guianan Amazon and is part of the Imeri bird area of endemism (Braga *et al.* 2022; Silva
321 *et al.* 2005). Local communities rely on shifting agriculture, fishing, hunting, and collecting non-timber forest products for subsistence. In this context, a public institution under the Colombian Ministry of Labor, the SENA, provides the primary opportunity for technical and vocational
324 training. For more than a decade, SENA has hosted a specialized program in ethno-ornithology, including ethnographic research on Indigenous knowledge and bird identification paired with Western knowledge (see section 2.2).

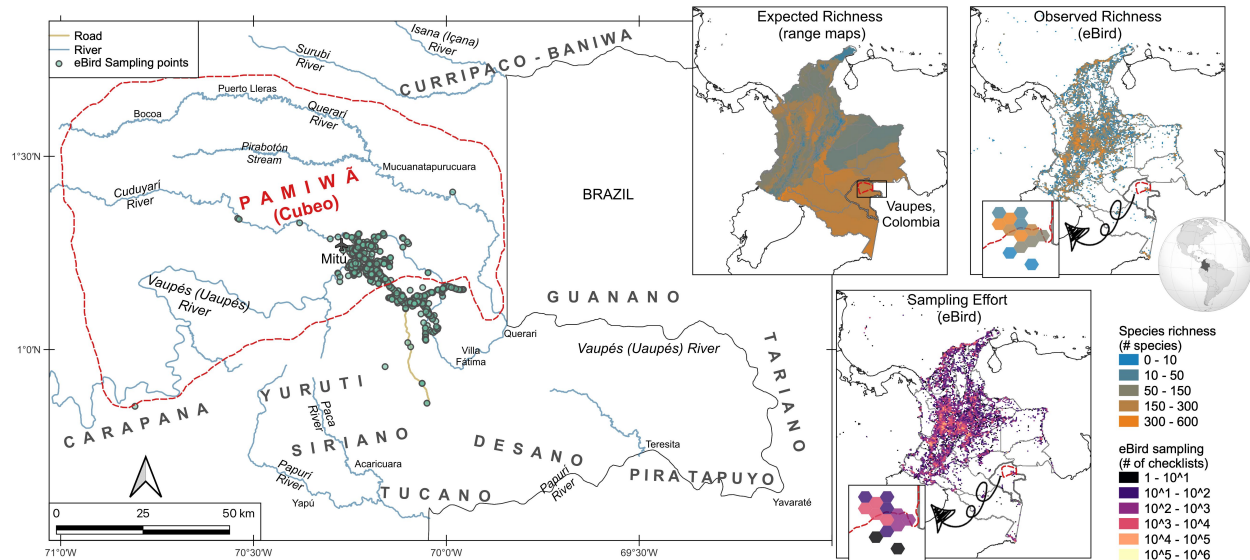


Figure 2: Location of the Pamiwã people territory (red dashed line), in the Colombian Amazonia. The territory map is based on the comprehensive life plan of the Cubeo Indigenous Union (PIVI – UIC, in Spanish). The map shows other communities of interest as references, including various indigenous territories, highlighting the region’s multi-ethnic population. Sampling events from the community science platform eBird ($n = 4468$) are concentrated around the city of Mitú and extend along a central road, trails, rivers, and streams, between 1997 and 2025, mainly by external visitors (avitourists). Inset maps show expected bird richness from range maps (using Suárez-Castro *et al.* 2024), as well as observed richness and sampling effort from eBird, at a hexagonal grid resolution of 100 km^2 (10 km spacing between cell centers). This highlights the bias in data availability relative to the region’s expected diversity (400–600 species). This figure is also used in Figure S5 of the Supporting Information B.

Colombian bird conservation strategies have identified the Vaupés region as a key area for socio-cultural and nature-based economic development (Moreno-Salazar *et al.* 2023). Mitú has become a focal point for eBird submissions in the Colombian Amazon (Figures 2 and S1; Suárez-Castro *et al.* 2024), a trend driven by growing avitourism activity (Echeverri *et al.* 2022; Ocampo-Peñuela *et al.* 2025; Schwoerer & Dawson 2022). While this growth supports national and local economies (Schwoerer & Dawson 2022), it also introduces external technologies and perspectives that risk eroding biocultural heritage (Gordillo Jordan *et al.* 2008; Stronza *et al.* 2019). For example,

standardizing bird names can obscure culturally embedded meanings, especially when regional or Indigenous names are bypassed (Sicard-Ayala *et al.* 2019). In Latin America, many birdwatchers and ornithologists prefer scientific names to avoid miscommunication, whereas birders from the Global North often favor standardized English common names. Despite these differences, the temporal and spatial resolution of eBird records submitted by volunteer participants helps fill critical gaps in biodiversity monitoring (Acevedo-Charry *et al.* 2025; Backstrom *et al.* 2024). Analytical approaches to these data represent the strengths of Western knowledge (Figure 1). Nonetheless, the social and ecological impacts of ecotourism remain poorly monitored and inconsistently defined (Stronza *et al.* 2019). Thus, we leverage SENA’s ongoing ethno-ornithology training in Mitú, which includes intergenerational knowledge dialogues, to underpin the construction of the Pamiwã ecological calendar and showcase the strength of Indigenous knowledge (Figure 1). This convergence between the Pamiwã people’s remarkable relationship with birds and the expanding presence of avitourism offers a unique opportunity to align community-led research with global biodiversity monitoring initiatives, while safeguarding cultural integrity.

2.2 The Pamiwã Indigenous Ecological Calendar

We leverage data consolidated by the SENA ethno-ornithology technical training, which developed the Pamiwã Indigenous ecological calendar (Rivera-Velasco *et al.* 2026). This calendar is based on oral tradition tales that potentially reflect phenological patterns associated with annual climatic seasonality and documents the monthly presence of bird species identified by local communities around Mitú. We define this presence as potential because the sampling, biased towards presence-only, differs from that of Western ornithology (including semi-structured birdwatching; see Kelling *et al.* (2019)). This ecological calendar incorporates oral traditions, including tales that feature birds as central characters and highlight Indigenous bird names (EtnoOrnitologia 2016, 2018; Rivera Velasco & EtnoOrnitologia 2022). Here, we indicate Indigenous linguistics by italicizing and underlining, with strike-through for glottal pronunciation and a tilde for nasal pronunciation. To align with the ethnographic worldview of many Amazonian peoples (Correa R.

1981; Jiménez *et al.* 2023), we present a chronology distinct from the Western annual calendar. Based on the Indigenous knowledge imparted by Elders, the calendar traditionally begins with the cold wave during the Austral winter, between June and August, known as 'friaaje' (Holzmann *et al.* 2025; Jiménez *et al.* 2023) or Arú. The Pamiwā people define this climatic event as the flowering time of the Guama tree (*Inga edulis*). After this event comes the first season, Pamurimi, the transition from wet to dry, which traditionally extends from around mid-August to late November. The second is Hirimi, the dry season around December to mid-March. The third, Okorimi, is the wet season between mid-March and mid-August, with a peak in rainfall from May to July, ending in the following year Arú (Rivera-Velasco *et al.* 2026).

The calendar was developed through a participatory process led by Gloria Rivera, with support from scholars in Mitú and the active involvement of Indigenous Elders and apprentices (see 1.1-Positionality; Rivera-Velasco *et al.* 2026). First, they visited 17 Indigenous communities in rural Mitú, documenting bird behaviors and resource use. These listing events have occurred at least once a week each month from 2016 to the present. However, the sampling has not recorded effort nor followed standardized methods such as point counts or linear transects. In addition, the imperfect detection of birds during students' training in bird identification constitutes incomplete sampling (i.e., not all birds are reported), which means that not including a species from the sampling does not imply a lack of detection in Western ecological sciences (assumed absence). Second, the students engaged in mapping and knowledge dialogues with Elders to discuss the species lists and deepen their ecological understanding of these birds through oral traditions of Indigenous knowledge (Figure 1). These intergenerational dialogues occurred less frequently than the listing events (typically once or twice a year) because of funding and logistical constraints. These two activities followed institutional methods for establishing cultural context within SENA (Van der Hammen *et al.* 2012). Species identities in Western classification were confirmed during these two activities with the use of the Colombian bird field guide book (Ayerbe Quiñones 2022). Species identified were included in the calendar at a monthly resolution, highlighting oral traditions and community worldviews (EtnoOrnitologia 2016, 2018; Rivera Ve-

lasco & EtnoOrnitologia 2022). This participatory effort not only enabled the tracking of bird phenological patterns through Indigenous perspectives but also empowered trained alumni to guide birdwatching tourism in the region, contributing to the regional avifaunal inventory (Carrillo Chica *et al.* 2018) and the local economy. This calendar provides data for our comparative analysis with eBird, offering a unique opportunity to pair Indigenous and Western knowledge systems through these datasets.

2.3 Bird Records From a Community Science Platform

We downloaded eBird data from the Vaupés department spanning from October 1997 (first record) to April 2025 (eBird data portal). After four days of records in October 1997, the eBird database shows a gap until April 2009, followed by an exponential increase in yearly submissions (Figure S1). The prevalence of historical and incidental sampling events (known as checklists in eBird), which are largely unsuitable for ecological analyses (see below and Johnston *et al.* 2021), was highest between 2009 and 2018. The most reliable data are concentrated between March 2011 and April 2025, which aligns with the Indigenous calendar data collected between 2016 and 2025 (see 2.2).

The eBird dataset includes submissions from avitourists visiting the Indigenous territory, often accompanied by local researchers who may or may not have eBird accounts. We spatially filtered records within the latitude range 0.85°N–1.7°N and the longitude range 71.0°W–69.84°W, representing the Pamiwã territory and surrounding areas (Figure 2). Each eBird checklist includes metadata such as protocol/observation type, sampling duration, distance traveled, date, time, and observer group size, which is similar to standardized Western monitoring programs, though semistructured to encourage broad participation (Kelling *et al.* 2019). Checklists are categorized as “complete” or “incomplete,” depending on whether observers reported all detected species or not (e.g., targeted specific taxa). To clean and standardize the dataset, we flagged observations lacking abundance estimates (e.g., count = X) as “NA”, assigned stationary checklists a distance of 0 km, and extracted temporal variables (year, month, week, day of year) from

each record (Johnston *et al.* 2021; Strimas-Mackey *et al.* 2023). To estimate relative abundance per
414 species, we calculated the total number of individuals per sampling event (checklist). Our critical
assessment of eBird revealed data biases and identified opportunities to improve locally relevant
biodiversity monitoring (see Discussion).

417 We classified each eBird checklist into five categories based on metadata and sampling reso-
lution (Table 1). The “Ultrafine” category applied the most restrictive filters, targeting assumed
high-quality, homogeneous sampling that mimics standardized sampling (Callaghan *et al.* 2023).
420 The “Fine” category was slightly less restrictive, still aligned with best practices to improve spa-
tiotemporal resolution in the heterogeneous landscape of the Pamiwā territory. The “Coarse”
category followed general effort-filtering recommendations (Johnston *et al.* 2021), including sam-
423 pling events with broader spatial coverage (e.g., up to 5 km) that may span multiple habitats.
This is an important consideration given that many Indigenous shifting agricultural plots and
white-sand ecosystems in the region are < 5 km in diameter. Some complete checklists could not
426 be assigned to these categories and were grouped as “To improve”, highlighting opportunities
for capacity building and visitor guidance to enhance data utility. Incomplete checklists were
classified as “Not applicable”, which is a standard exclusion in eBird data refinement (Johnston
429 *et al.* 2021).

Analyses of eBird data required refinement based on metadata (Johnston *et al.* 2021, 2023),
providing an opportunity to discuss coexistence strategies between Western and Indigenous
432 knowledge. To foster aggregated results useful for local community management and stew-
ardship of their territories, we also reviewed shared birding locations on the platform (“eBird
hotspots”). Subsequent analyses focused on data from the Ultrafine, Fine, and Coarse categories,
435 spanning records from March 2011 to April 2025.

Table 1: Categories of eBird observations used in this study based on metadata filters and sampling resolution conventional in eBird data refinement for ecological inference (Johnston *et al.* 2021)

Category	Protocol	Duration (minutes)	Distance (km)	Number of observers	Abundance filter
Ultrafine	Stationary	20-30	0	1	≤ 15 total individuals per list
Fine	Stationary or travelling	10-60	0-1	1-10	NAs removed
Coarse	Stationary or travelling	10-300	0-5	1-10	NAs removed
To improve	Any other	1-9, 300-1440	>5	>10	NAs included
Not applicable (Incomplete)	Any	Any	Any	Any	NAs included

2.4 Comparison of Seasonal Species Richness and Composition Between Indigenous and Western Datasets

438 We compared seasonal variation in species richness as inferred from the Pamiwā ecological calendar and eBird datasets. We assigned each eBird sampling event to the seasons recognized in the Pamiwā ecological calendar (transition – *Pamurimī*, dry – *Hirimī*, and wet – *Okorimī*), based on 441 the corresponding months. These two data sources operate at different spatiotemporal scales and sample structures (see 2.2 and 2.3). To compare them, we use the Indigenous calendar’s absolute species richness for each month and the monthly mean species richness from eBird data. To compare 444 temporal patterns in species composition, we focused on the species listed in the Pamiwā ecological calendar and analyzed their annual presence in the eBird data. Although the Indigenous calendar provides what seems to be presence-only data without spatial, daily, or multi-year 447 resolution, we treated seasonal commonness as a proxy for perceived relative abundance in this

dataset developed from Indigenous knowledge. The refined (or filtered) eBird data provide a similar monthly presence output, allowing comparison in common terms with the Indigenous ecological calendar.

2.5 Seasonal Relative Abundance Variation for Culturally Important Species

We analyzed data on bird species culturally important to the Pamiwā people, focusing on signaling resource use, the onset of climatic seasons for landscape management, and seasonal migrations into and out of the Indigenous territory. We assumed that a higher eBird relative abundance for each species corresponds to a higher proportion of months with reported presence in each season of the Indigenous ecological calendar. Pamiwā people maintain strong relationships with many birds (EtnoOrnitologia 2016, 2018; Rivera Velasco & EtnoOrnitologia 2022). Therefore, we selected eight species signaling transitions in the Indigenous ecological calendar, organized into three thematic topics that delimit important agricultural milestones and ecological transitions to the community.

The first topic concerns the readiness of Pupuña fruit (*Bactris gasipaes*: Arecaceae, Peach Palm) for community consumption. This process includes increased song activity from Irējui (*Thraupis episcopus*, Blue-gray Tanager and *Thraupis palmarum*, Palm Tanager) during the onset of Palm fruiting. Subsequently, Pinikabo (*Cissopis leverianus*, Magpie Tanager) or Pinikaco (*Ramphocelus carbo*, Silver-beaked Tanager) actively consumes the fruit when it is fully ripe (EtnoOrnitologia 2018). Annual yields of Pupuña occur in September-October and February-March in this part of Amazonia.

The second topic marks the onset of climatic seasons as indicated by the perceived increases in the relative abundance and vocal activity of two species. First, Piabecó (*Monasa morphoeus*, White-fronted Nunbird) signals the beginning of the dry season (Hirimi), guiding the community's slash-and-burn or shifting agricultural practices (chagras in December EtnoOrnitologia 2016). Conversely, Vecoro ñuiko (*Crotophaga major*, Greater Ani) signals the onset of the wet season (Okorimɛ) with the first rains in March (EtnoOrnitologia 2018). These seasonal transitions are

474 embedded in oral traditions: *Piabecó* vocalizations are associated with a sarcastic humor during sunny days (EtnoOrnitologia 2016), while *Vecoro ñuiko* is said to have been punished by Kubay, an anthropomorphic figure akin to the Sun-Father in Tukano-Desana cosmology (Reichel-Dolmatoff 477 1976), forcing it to remain hidden in the sky most of the year and reappear only with the rains and rising fish shoals (EtnoOrnitologia 2018).

The final topic relates to seasonal migrations. A Pamiwã tale says that each year, many birds 480 fly at the onset of the wet season (*Okorimĩ*, March) to repair and maintain the ancestral *Maloka* of an Elder woman, returning in October-November (*Pamurimĩ*; EtnoOrnitologia 2018). These birds travel in large flocks, moving in a single direction in an orderly manner. Upon their return, their 483 plumage is said to be less vibrant, having used their freshest feathers to restore the Elder's *Maloka* as protection against the rains. The central figure in this tale is *Kava yai* (*Mycteria americana*, Wood Stork). However, our collaborative team also recognized similar migratory traits in *Kuito aũ yarabe* 486 (*Tyrannus savana*, Fork-tailed Flycatcher).

To assess the hypothesis that seasonal variation in relative abundance in the calendar would be mirrored by corresponding variations in eBird data for these culturally important species, we 489 defined relative abundance in eBird as the proportion of individuals of each species relative to the total number of individuals recorded per checklist. Values closer to one indicated higher relative abundance, while values near 0 suggested lower relative abundance compared to other 492 species in the same sampling event.

2.6 Shifts of Climate Seasonality in Amazonia

To assess how the Indigenous perspective of recent shifts in climate seasonality is reflected in 495 Western knowledge tools and could affect interannual variation of bird phenology, we analyzed historical seasonal cycles based on satellite data within the same polygon used to download eBird records (latitude range 0.85°N–1.7°N and longitude range 71.0°W–69.84°W; Figure 2). We used 498 data from the NASA tool Geospatial Interactive Online Visualization and Analysis Infrastructure (Giovanni), extracting the time series, area-averaged values of 2-meter air temperature (mini-

mum, maximum, and mean), and bias-corrected total surface precipitation at a monthly tempo-
501 ral resolution (Global Modeling and Assimilation Office (GMAO) 2015). Given that Indigenous
knowledge represents a baseline of climatic seasonality, recent deviations in Western knowledge
tools such as Giovanni might indicate climatic shifts from that baseline; both knowledge systems
504 will coincide in these changes. Therefore, we used harmonic regression to model the long-term
average annual seasonality. We used the first 15 years (1980-1995) of the satellite time series as
training data to forecast dynamics from 1995 to 2026 (the last month in the dataset: May 2026).
507 We present the average monthly fit of the training dataset through the lens of the Indigenous
knowledge represented by the ecological calendar. Furthermore, the harmonic regression al-
lowed us to compare the monthly measure with the fitted values (training and forecast), with
510 positive residuals indicating values higher than expected and negative residuals indicating the
opposite. We expected an increase in positive residuals (values higher than expected) for the
three temperature variables, while wider residual ranges for precipitation (greater variation in
513 recent decades).

Data Availability Statement

All data generated during the course of this study are available in Zenodo (Acevedo-Charry *et al.*
516 2026). eBird data are freely available (upon request) on the eBird data portal website.

Code Availability Statement

All analyses were conducted in the software R version 4.3.3 (R Development Core Team 2026).
519 The code is available in Zenodo (Acevedo-Charry *et al.* 2026).

3 Results

3.1 Monthly Species Richness and Composition in the Indigenous Calendar and eBird Data

We found key similarities, but also modest differences, in species richness quantified from data derived from Indigenous and Western knowledge (Figure 3). In terms of similarities, the dry season (Hirimi; December-February) was the one with higher species richness (Figure 3). This season also had the highest cumulative sampling effort in eBird (Figure S2). However, eBird data summarized at the monthly temporal resolution revealed higher species richness than the Indigenous ecological calendar (Figure 3). Thus, despite similarities in seasonal patterns, our analyses also reveal modest differences in species richness, suggesting opportunities to complement the two knowledge systems by applying a Two-Eyed Seeing guiding principle.

The Pamiwā people reported 258 bird species in their territory across the seasons of their Indigenous ecological calendar (Figures 4 and S4), in contrast to 587 species recorded in eBird (checklists categorized as Ultrafine, Fine, and Coarse) or the regional pool expected of 460 species from terrestrial birds range maps (Suárez-Castro *et al.* 2024; Figure 3). Only five species in the Indigenous calendar were not recovered from the refined eBird dataset: Koró (*Eudocimus albus*), Taitiru kirabu juaki (*Mitu tomentosum*), Kava yai (*Mycteria americana*), Ōroko umedi (*Trogon collaris*), and Bede cuchara (*Zebrilus undulatus*). However, notable discrepancies in monthly species presence emerged between the two datasets, particularly at the end of the transition wet-dry season (October-November), during the dry season (February), and in the middle of the wet season (May). These patterns reveal differences in seasonal occurrence across species between the two datasets. For example, five species were more commonly reported during the wet season (Okorimi) in the Indigenous calendar: Ōrokō – *Trogon viridis* (Green-backed Trogon); Harabi koreovaimu ñemini kodeiboaki – *Bucco macrodactylus* (Chestnut-capped Puffbird); Mi takaka ñemiki –

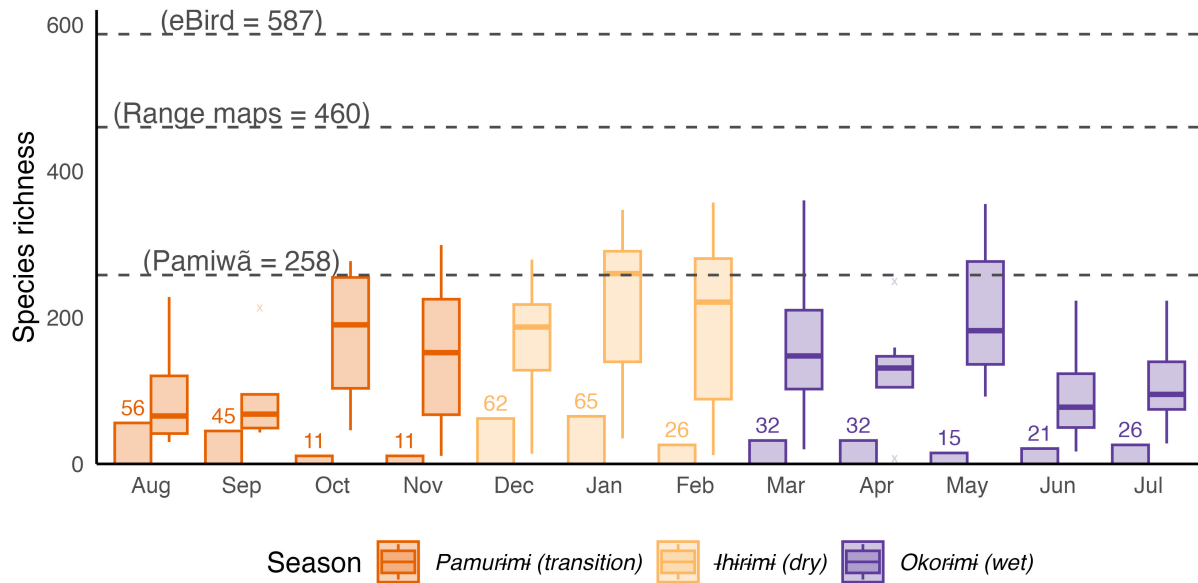


Figure 3: Indigenous calendar and eBird species richness across three climatic seasons. Boxplot of monthly species richness from eBird, showing the interquartile range (IQR), median, and whiskers to $\pm 1.5 \times \text{IQR}$ (5 to 12 years with data per month). Colored bars indicate richness from Indigenous ecological knowledge (with the associated number of species above each bar). Dashed lines indicate the expected regional pool of species: quality-refined eBird, range maps of terrestrial resident birds from Suárez-Castro *et al.* (2024), and the total number of species in the ecological calendar of the Pamiwā people. This figure is also used in Figure S6 of the Supporting Information B.

Neotantes niger (Black Bushbird); *Kuito aũ yarabe* – *Tyrannus savana* (Fork-tailed Flycatcher); and *Veami mihikiñemini kavekiaki* – *Sporophila angolensis* (Chestnut-bellied Seed-finch). One species, *Ōpōkība* / *Ōpō kiyiri* / *Ōpokiyiri* – *Brotogeris cyanoptera* (Cobalt-winged Parakeet), was more commonly reported during the dry season (*Ihirimi*). In contrast, eBird data showed less distinct seasonal variation for the presence of these species, with some appearing consistently across all months (*T. viridis*, *B. cyanoptera*, and *S. angolensis*), and others more frequently recorded in dry (*B. macrodactylus*), dry and wet (*N. niger*), or dry and wet-dry transition seasons (*T. savana*). While seasonal presence patterns diverge between the two sources, these differences may enhance the value of pairing Indigenous and Western knowledge systems through data integration. For instance, birds may not necessarily leave the Indigenous territory, suggesting that seasonal vari-

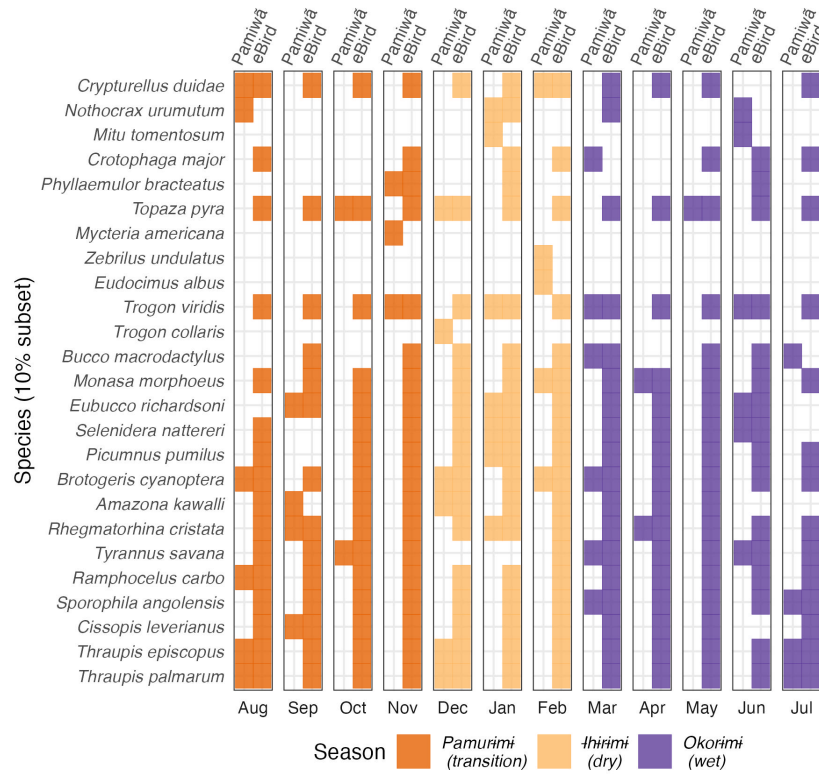


Figure 4: Heatmap showing the presence of 26 out of 258 bird species from the Indigenous ecological calendar of the Pamiwã people, Colombian Amazonia, and the eBird data in the same region, after applying data refinement by metadata filtering (see Figure S7 for all species). Each row represents a species, while the columns represent the months of the year, categorized into three seasons (colors) and separated by dataset.

ation may reflect changes in the salience or perception of human-bird interactions rather than changes in occurrence alone, potentially reflected in other biodiversity metrics such as relative abundance in eBird.

3.2 Seasonal Variation in Relative Abundance for Culturally Important Species

We found similarities between the relative abundances of birds estimated from eBird and those in the Indigenous calendar for eight culturally important species (Figure 5). For species associated with the readiness of the *Pupuña* fruit for community consumption, Indigenous ecological

knowledge identified higher relative abundance during August, October, December, March, and July for Irējui, the Pamiwã name referring to *T. episcopus* and *T. palmarum*. The eBird data showed matching increases in relative abundance for *T. episcopus* in August, December, and March of some years, though the pattern was less evident for *T. palmarum*. Notably, the expected March peak in *T. episcopus* abundance appeared to extend one month before and after the Pamiwã calendar's prediction, while for *T. palmarum* was delayed by approximately two months. The Pamiwã calendar also indicated higher abundance during September-October and March for Pinikabo (*C. leverianus*), as reflected in eBird data, with increases in October and March in some years. The Pamiwã people also mentioned Pinikaco (*R. carbo*) as a similarly named species that also consumes Pupuña when the fruit is fully ripe and ready for harvest. According to the Pamiwã calendar, this tanager showed higher relative abundance in August, October, December, and March, aligning with a general increase in relative abundance from October to April in eBird data, especially peaking in December.

Two species that signal the onset of the dry and wet climatic seasons also showed similar relative abundances between eBird and the Indigenous calendar. According to the Pamiwã calendar, Piabecó (*M. morphoeus*) shows higher relative abundance in December, marking the beginning of the dry season, but also in February and April. The eBird data showed increases in relative abundance for this species in November, January, March, and May (Figure 5). Therefore, the anticipated increase in relative abundance from the Indigenous calendar appeared misaligned for about a month. Furthermore, the Pamiwã calendar identified Vecoro ñuiko (*C. major*) exclusively in March, coinciding with the onset of the rainy season. eBird data also showed a notable increase in abundance during the wet season, peaking in May and aligning with peak rainfall rather than its onset.

Species associated with seasonal migrations showed partial similarities. The Pamiwã calendar identified two peaks in the relative abundance of Kava yai (*M. americana*), in November and March (Figure 5). After data refinement, eBird yielded no records of this species for relative abundance calculations. In contrast, the indicated increased abundance of Kuito aũ yarabe (*T. savana*) during

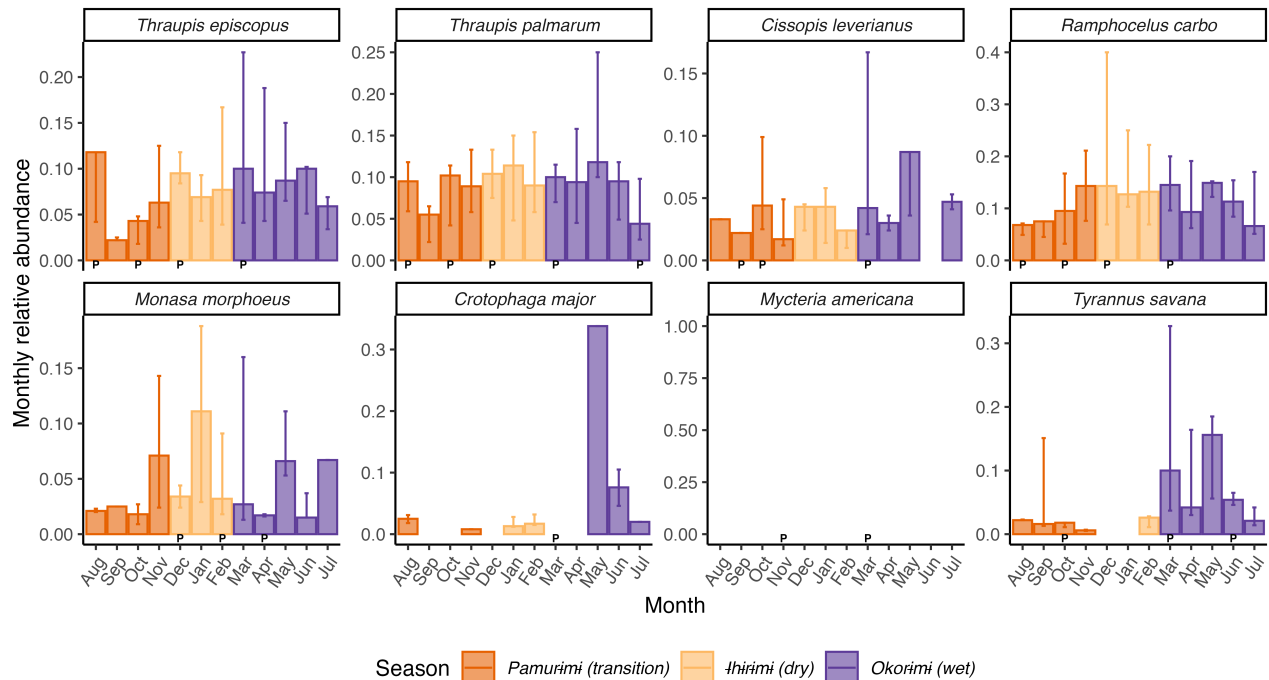


Figure 5: Monthly peak relative abundance estimated from eBird (bars with error lines indicating 25-75 % range) partially matched the seasonal abundance recognized in the Pamiwã ecological calendar (letter "P" above months) for eight culturally important species. These include four frugivores that signal the readiness of the *Pupuña* palm (top) for community consumption, species that mark the onset of the dry (*Monasa morphoeus*) or wet (*Crotophaga major*) seasons, and seasonal migratory species (*Mycteria americana* and *Tyrannus savana*). This figure is also used in Figure S8 of the Supporting Information B.

October, March, and June in the Pamiwã calendar was partially reflected in eBird data with a peak in abundance during the wet season, particularly in March. Although the other peaks do not align precisely with the Indigenous calendar, they may correspond to migratory behavior described by the Pamiwã people; specifically, the movement of large flocks traveling in a single direction and in an orderly fashion (EtnoOrnitologia 2018). Such behavior could occur at both the beginning and end of the species' passage through Amazonia (Jahn *et al.* 2016).

3.3 Shifts in Climate From Indigenous Knowledge Baseline

Climatic data from remote sensing confirm increased temperatures and more variable precipitation in recent years (Figures 6 and S3). The ecological calendar begins with lower temperatures and reduced precipitation during the Ariú. Indigenous knowledge from oral tradition indicates that precipitation remains lower after Ariú, which coincides with our baseline (satellite data between 1980 and 1995). Baseline precipitation suggests a small peak in rainfall between November and December, while temperature peaks occur in September, November, and March. The increase in precipitation between May and June correlates with a reduction in temperature relative to these baseline values, reflecting the seasonality observed in Indigenous knowledge. However, data from 1995 to 2026 (up to May) show a homogenization of temperatures across the year, with values above the baseline. Specifically, the clearest warming trend occurred in minimum temperature (Figure S3). This overall increase in temperature aligns with Indigenous people's perceptions of the challenges they face in their daily activities of maintaining chagras. Furthermore, the reported increase in rainfall variability by the Indigenous people was also supported by Western data, with the heaviest rains in April and May, unexpected peaks in February, and a shift of the suggested small peak in rains from November-December to August-September. Together, these results pair Indigenous and Western insights on climate change, with potential carryover effects on bird phenology in Amazonia.

4 Discussion

Our comparative analysis of the Pamiwã ecological calendar and filtered eBird records reveals similarities and modest differences in patterns of phenological bird diversity, supporting the application of the Two-Eyed Seeing framework as a guiding principle for better understanding bird phenology in Amazonia. While seasonal patterns of species richness and relative abundance partially coincided between the two data sources, discrepancies in monthly species presence may highlight distinct relationships between the knowledge holders and the birds. Importantly, the

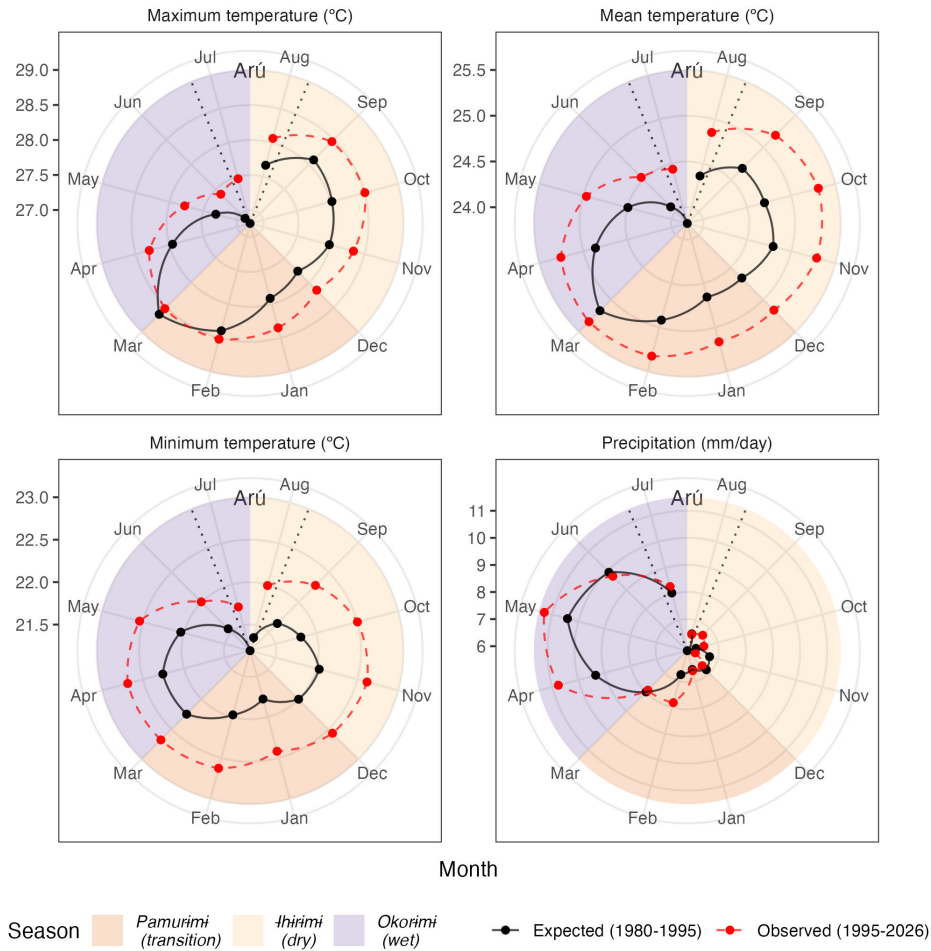


Figure 6: Circular plots of average monthly climatic data for two periods in the Pamiwā territory, Colombian Amazonia. Baseline of climatic seasonality by Indigenous knowledge (background colors, seasons interpreted from oral tradition) coincides with expected fit values of a harmonic regression between 1980 and 1995 (black solid lines and dots). Red dots and dashed lines indicate average monthly values reported between 1995 and 2026 (see Figure S3). The Indigenous calendar begins with the *Arú*, indicated within the dotted lines (July-August). This figure is also used in Figure S9 of the Supporting Information B.

statistical analyses presented here remain rooted in Western ecological methods. We do not
 621 present the comparison of the ecological calendar and eBird records as Two-Eyed Seeing in itself.
 Rather, Two-Eyed Seeing served as the guiding principle through which Indigenous and Western
 collaborators co-developed questions, mobilized knowledge, interpreted findings, and evaluated
 624 their implications for stewardship and biodiversity monitoring. Indigenous coauthors empha-

sized that knowledge is not static but constantly renewed through observation, oral tradition, and lived experience in territory. Thus, differences between datasets should not necessarily be interpreted as errors or deficiencies (methodological). Rather, they may partly reflect differences in epistemologies, ontologies, and axiologies, although methodological and observational factors likely contribute as well. In this sense, Indigenous knowledge is not simply a record of past ecological conditions but an ongoing process of monitoring and interpretation.

Indigenous people experience culturally grounded cues, such as behavior or vocal activity, that convey spiritual meaning about birds, and these are accumulated over generations (EtnoOrnitologia 2016, 2018; Rivera Velasco & EtnoOrnitologia 2022). These are reflected in Indigenous knowledge tales that occur in different months within the ecological calendar, which we assimilate into our methods as monthly presences that might differ from conventional occurrences in Western knowledge data. Although we interpret these mentions as indicators of seasonal prominence, future work should evaluate more directly how narrative occurrence corresponds to ecological observations. eBird contributors, as Western knowledge holders, also experience culturally grounded cues, observing birds with different goals, such as finding more or rarer birds within an expected code of honor (often valuing skills over mindfulness experiences; Callaghan *et al.* 2025; Hochachka *et al.* 2012; Sullivan *et al.* 2014). Indigenous coauthors interpret differences between datasets as reflecting eBird's spatial sampling bias (as shown in Figure 2), in contrast to their historically grounded exploration and use of their territory. Western coauthors interpret mentions of species in the Indigenous calendar as specific relational experiences, more akin to relative abundance (a species is mentioned in tales when its presence is more evident and culturally important) than to conventional occurrence in the Western knowledge system. We see strong potential to pair Indigenous and Western knowledge for biodiversity monitoring in Indigenous territories, despite recognizing the different motivations, values, nature of reality, and theory of knowledge between several knowledge holders (Soares *et al.* 2023), as long as the coexistence of knowledge is acknowledged (Reid *et al.* 2021, 2024). As authors, we have experienced a knowledge transformation through this exercise and have the responsibility to act on that knowledge,

implementing Two-Eyed Seeing as a guiding principle in our Amazonian context to co-develop questions, document and mobilize knowledge, and co-produce insights among knowledge holders (Bartlett *et al.* 2012; Reid *et al.* 2021).

The Two-Eyed Seeing guiding principle led our integration strategy (Figure 1). Originally applied in health and healing workshops (Marshall 2008), this guiding principle uses concentric illustrated circles to represent layers of Indigenous knowledge: physical, relational, and sacred (Bartlett *et al.* 2012). Our results suggest that both Indigenous and Western knowledge systems share empirical foundations for their relationships with bird diversity, allowing for common understandings of where, when, and what to observe. Although we did not directly assess observer motivations or their values, we assume that both Indigenous people and avitourists maintain personal relationships with bird diversity, whether as cohabitants, resources, or sources of joy that ultimately contribute to mental wellness (Arias-Henao 2024; Hammoud *et al.* 2022). Monthly species richness variation (Figure 3), therefore, includes a perceptual bias from the two types of observers: either traditionally embedded relationships (Indigenous) or temporal preferences for visiting and searching for rare species (avitourists). The innermost circle, representing sacred and spiritual knowledge, remains challenging to interpret through Western perspectives, yet its inclusion is essential when visiting Indigenous territories for birdwatching. We cannot incorporate spiritual meanings from Indigenous knowledge into Western knowledge, but we can recognize them and incorporate ethical relationships from Indigenous communities (M. Schmidt Comm. Pers.).

By including a multiple-evidence-base approach that pairs Indigenous and Western knowledge systems, we framed our research to identify future training opportunities and improve data collection. For Western knowledge holders, we recognize that eBird observers have brought a wealth of Western knowledge by birding in Indigenous territories, but their contribution will be enhanced if they align with local priorities and practices. Birdwatching in Indigenous territories requires understanding cultural landscapes and local livelihoods, rather than relying solely on local guides' species-identification proficiency as a pull factor for avitourism (Echeverri *et al.* 2025).

These observations can serve as early warnings of change, given that birds are crucial indicators of temporal and environmental shifts within Indigenous knowledge. Indigenous coauthors emphasized that higher-quality eBird data will reinforce a general understanding of bird diversity in their territory, strengthen their Indigenous knowledge of that territory, and highlight the rediscovery of birds across worldviews, including parallels in coexistence between Indigenous and Western knowledge. Furthermore, our research identifies how to improve the collection of birdwatching data in eBird to support local interests in aligning Indigenous ontologies with global practices of Western bird monitoring. This foretells how data infrastructures can benefit from bottom-up perspectives (Indigenous priorities) amid global initiatives (aviturismo and participatory science).

Our metadata analysis revealed that only 6.1% of eBird records met the Ultrafine or Fine checklist standards (172 and 8330 records, respectively; Figure 7). These categories may offer higher spatiotemporal resolution, which could improve understanding of ecological phenology and spatial dynamics (Fink *et al.* 2020; Hochachka *et al.* 2012; Johnston *et al.* 2021). Although the Coarse category adds useful data (43,015 records), most eBird records so far fall into our "To improve" category (Table 1). We suggest that eBird users aiming to support Indigenous monitoring can reduce checklist duration to less than 5 hours (ideally 20 minutes to 1 hour) and sample distance to less than 1 km to improve spatiotemporal resolution. Combinations of these sampling schemes, tailored to different habitats (separate lists for open areas, shifting agriculture, and white-sand ecosystems), will enhance the value of eBird observations for ecological inference. In fact, these are the suggested "eBird rules and best practices", so our recommendations can be extrapolated to other systems bridging local interest with global monitoring initiatives. These adjustments would shift records into higher-quality categories (Johnston *et al.* 2021, 2025), thereby improving ecological insights and supporting Indigenous governance and stewardship during global environmental change (Cou  e 2024).

Our case study is not isolated, highlighting the power of partnerships pairing Indigenous and Western knowledge systems. For example, taxonomic characterization of caribou in the

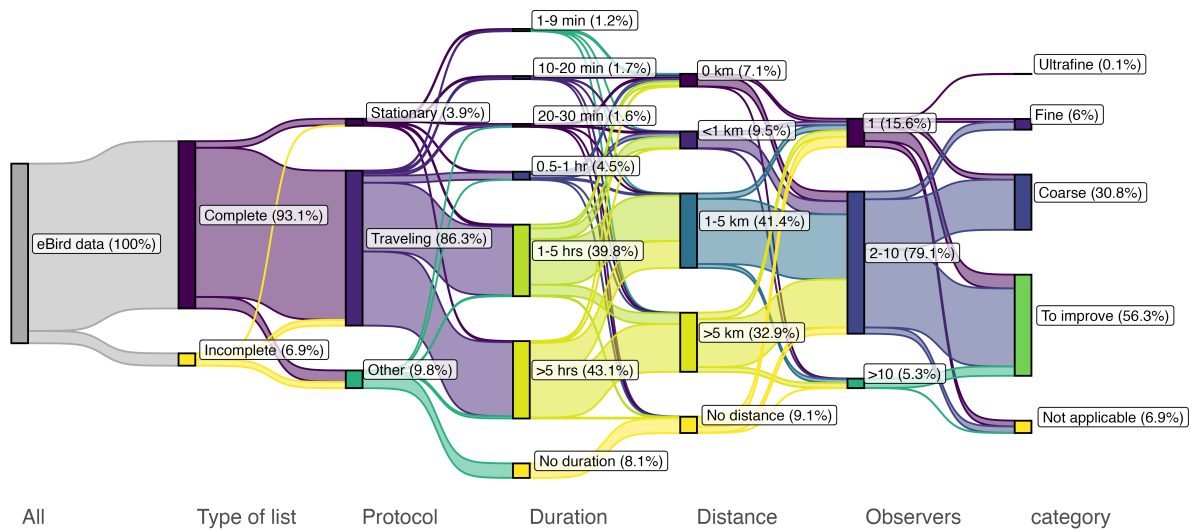


Figure 7: Sankey plot summarizing eBird observation metadata in the Pamiwā Indigenous territory (Figure 2). Although eBird has accumulated almost 140,000 records in this region, less than 40% could be used with confidence for most analyses (combining Ultrafine, Fine, and Coarse categories; see Table 1). This figure is also used in Figure S10 of the Supporting Information B.

Sahtú Region of the Northwest Territories of Canada prioritized mutual learning among Sahtú Dene and Métis communities and Western scientists to understand biodiversity patterns that inform applied conservation (Polfus *et al.* 2016). Similarly, cultural-led burns reconnecting with ancestral land management knowledge of the Muwekma Ohlone Tribe in California, USA, have promoted recolonization of fire-adapted plants endemic to the chaparral habitat in the Bay Area ("Intentional burning awakens a fire follower: Indigenous connections"). In the Amazonian context, the recent description of *táam* (*Attalea taam*) for Western science highlights the importance and long-term knowledge of this palm for the Cacua people in Vaupés, including participatory ecology and taxonomic insights with an innovative and inspiring "Participatory Indigenous peer review" for the publication (Copete *et al.* 2026). Additionally, Indigenous tales from the Magüta (Tikuna), Kukama-kukamiria, Shipibo-Konibo, Desana, Yepamahsã (Tukano), Utāpino-pona (Tuyuka), Medzeniakonai (Baniwa), and Enawenê-Nawê peoples have informed the understanding of the socio-cultural-ecological migration of fishes across different rivers (Victoria-Lacy *et al.* 2025).

We synthesize Indigenous tales of the Pamiwá people to inform the ecological calendar and to identify culturally important species related to resource use, the onset of seasonality for landscape management, and migration, and we compare these patterns with systematic refinement of eBird data. Although we could not follow the same "Participatory Indigenous peer review" as in Copete *et al.* (2026) due to logistical constraints, here we provide an example of applying Two-Eyed Seeing across distances, demonstrating that we can come together and co-create knowledge if we are willing. Furthermore, Indigenous researchers interpreted recent climatic changes not only through meteorological conditions but also through changes in bird behavior, agricultural production, river dynamics, and daily life. For example, Elders have noted shifts in the timing of bird vocalizations that traditionally signal seasonal transitions, increasing heat perception, and greater unpredictability in seasonal flooding. These observations reinforce that ecological calendars capture social and ecological dimensions of environmental change that are often absent from conventional climatic datasets. Importantly, the potential of iterative updates of the ecological calendar should not be viewed solely as improvements in documentation, but also as reflections of interannual ecological change occurring in the Indigenous territories. Some discrepancies between eBird-derived phenological patterns and those represented in the ecological calendar, including shifts of approximately one month in abundance peaks for certain culturally important species (Figure 5), may therefore reflect ongoing environmental change rather than observational differences alone, particularly given the documented increases in temperature and precipitation variability identified from both Indigenous observations and satellite-based climatic analyses (Figures 6 and S3). Through iterative updates, ecological calendars can document how ecological cues and seasonal relationships change through time, providing a culturally grounded record of climate-driven phenological change alongside Western monitoring approaches.

In this context, we advocate for birding with a purpose: birding *for* and *with* the people. While avitourism can provide biodiversity data and economic opportunities Moreno-Salazar *et al.* (2023), it should not be viewed as the sole pathway for biodiversity monitoring in Indigenous territories. Recent discussions on Indigenous data sovereignty emphasize that biodiversity data

generated on Indigenous lands should provide collective benefits while supporting Indigenous authority over data access, reuse, and stewardship (Tattersall *et al.* 2025). Thus, alongside opportunities generated by avitourism and community science platforms such as eBird, long-term monitoring efforts should prioritize building local capacity in bird identification, data management, and governance (Halmai *et al.* 2025; Tattersall *et al.* 2025). This could mean shifting hegemonic epistemological practices so that local communities that have served as stewards of biodiversity can also have a say in why and how data are collected, stored, analyzed, and disseminated, thereby contributing to decision-making processes related to territorial governance. If communities choose to engage with global biodiversity databases, either by receiving visitors and/or providing data from their Indigenous knowledge, participation should occur on terms defined by local priorities and protocols, rather than creating dependence on external experts or on continued tourism growth without local awareness.

Our ongoing collaboration leverages these outcomes to guide capacity-building initiatives. Through field meetings and online calls, we identified ways to update the calendar, some of which align with eBird's structure (Lees *et al.* 2020), but importantly always with respect and as a means to reinforce Indigenous ontologies and promote co-existence in knowledge systems. For example, Indigenous researchers recognized the importance of ancillary information during the observation process and provided details on the spatial, temporal, and effort requirements for their observations. Western researchers recognized the tight relationship between these communities and birds, noting seasonal signaling and landscape management. To support more meaningful collaboration between eBird users and local Indigenous researchers, we also revised the eBird hotspots in Mitú (Hochachka *et al.* 2012), thereby linking community science observations to Indigenous interests. Thus, we invite eBird users to shift their mindset from "healthy competition" towards "quality of submission". Furthermore, interdisciplinary research including other groups, like fishes (Victoria-Lacy *et al.* 2025) or biotic interactions (such as dispersers of palms Copete *et al.* 2026), is a promising way to promote future research at the intersection of anthropology/social sciences/ecology (see also Reid *et al.* 2021). Indigenous coauthors emphasized

774 that one goal of this collaboration is to challenge persistent stereotypes that Indigenous knowl-
edge is less valuable than Western science. Through the Two-Eyed Seeing guiding principle,
the objective is not to replace Indigenous knowledge with standardized monitoring tools, but
777 to strengthen Indigenous knowledge systems while creating opportunities for dialogue across
knowledge traditions (Armstrong *et al.* 2025; Bartlett *et al.* 2012; Reid *et al.* 2021). In this context,
biodiversity monitoring can contribute to the development and recognition of Indigenous science
780 grounded in oral tradition, environmental stewardship, and long-term observation of territorial
change.

Biocultural conservation requires a mixture of methods, each subject to interpretation and
783 inherent uncertainty (Bridgewater & Rotherham 2019). Future work could incorporate more ro-
bust analyses of seasonal change using quantitative tools, such as ecological change point models
(Ponciano *et al.* 2018; Figure 1), or macro-demographic estimates such as population persistence
786 (Acevedo-Charry *et al.* 2025), recruitment, and survivorship (Socolar *et al.* 2025). Future work can
also expand local communities' perspectives on avitourism in their territory. Ongoing dialogues
will strengthen Indigenous knowledge systems and clarify protocols for governance and data
789 use during environmental change.

In conclusion, by using the Two-Eyed Seeing guiding principle, we may learn more than we
can by seeing in either way alone. We propose that the relationship between local communities
792 and the birds, as expressed in ecological calendars, can serve as a culturally grounded baseline
for long-term monitoring amid global environmental change (Couée 2024). Despite long-time
recognition of congruence between Indigenous and Western knowledge (Diamond 1966; Wal-
795 lace 1890, p. 121), Western scientists have failed to value Indigenous knowledge (Gazing Wolf
et al. 2024; Reid *et al.* 2024). Fortunately, this pattern seems to be changing (see Athayde *et al.*
2025; Copete *et al.* 2026; Polfus *et al.* 2016; Victoria-Lacy *et al.* 2025). Strengthening local capacity
798 through tailored use of eBird is one pathway forward. Yet eBird users visiting the region play
a major role by linking their observations to the iterative assessment of Indigenous ecological
calendars. The Two-Eyed Seeing guiding principle will allow visitors to connect with Indigenous

community knowledge and expand their recreational birdwatching experience into new knowledge, transforming their perspectives and taking responsibility to act on that knowledge (Bartlett *et al.* 2012; Reid *et al.* 2021).

Similarly, the Two-Eyed Seeing guiding principle will allow Indigenous people to defend their rights and governance over data gathering and analysis, including the temporal and spatial resolution needed to adapt to climate change and reinforce biocultural conservation before external pressure further erodes ancestral knowledge. However, improved biodiversity monitoring alone is insufficient to ensure successful climate adaptation. Rather, monitoring tools such as ecological calendars can support adaptation when embedded within Indigenous governance systems, territorial rights, and ongoing stewardship practices that guide responses to environmental change. Beyond tracking bird diversity, we envision the ecological calendar as a dynamic tool, developed within a theory-of-change framework. Our proposed theory of change begins with collaborative monitoring and knowledge exchange, which strengthens local capacity and updates ecological calendars. These processes support informed territorial governance and stewardship decisions through a multiple-evidence base, thereby enhancing communities' ability to respond to environmental change while maintaining biocultural values. Such iterative devices would empower Indigenous communities to monitor, interpret, and respond to environmental transformations on their own terms, while also guiding Western scientists to generate more applicable and useful inferences.

Beyond improving biodiversity monitoring, our collaboration seeks to strengthen Indigenous science itself. Indigenous Elders maintain detailed understandings of environmental variability, seasonal transitions, species behavior, and ecological change developed through long-term observation and oral transmission. The recurring correspondence between ecological calendar observations and quantitative biodiversity datasets does not validate Indigenous knowledge through Western science. Rather, it demonstrates opportunities for respectful coexistence between different knowledge traditions that can jointly inform stewardship and conservation in Amazonia.

Acknowledgments

To the late Pamiwã Elder Luis Rodríguez Herrera. We would like to recognize the important influence of Jorge Gonzalez (Tropenbos International), the first instructor of birdwatching at SENA Mitú, who planted the seed that led to the establishment of the SENA's Ethno-Ornithology research group and facilitated crucial training in birding guidance from Diego Calderón. Diego also connected the lead author with the birding community at Mitú. We invited Jorge González and Florencio Castaño (Pamiwã) to participate in the manuscript, but received no response. We also could not contact Pamiwã Elder José López Ortiz to invite him as a coauthor of this manuscript, but his knowledge imparted to the SENA apprentices was crucial to the research presented here. Former members from, and collaborators of, the SENA's Ethno-Ornithology research group also included: Elders Raúl Fernández (Miadava), José Trujillo García (Tukano), José María Leiter Barazana (Carapana), and Rocío Leyter Da Silva (Carapana); apprentices Manuel Claudio Fernández (Miadawã), Raúl Fernández (Miadawã), Fernando López Pereira (Bará), Cesar Augusto Ramirez González (Kubeo), Zaiza Danova Rodríguez Rivera (Pamiwã), William González, Francisco Montaña, Juan Gallego, José Luis Arroyave, Geovanny Martínez Trujillo (Pamiwã), Marlin Yurani Betancur Ramírez (Itana-Pamiwã), Daisy Jasmin Carnero Leyter (Tariana), Angela Llanos Rodríguez (Pamiwã), Libarto Peña Calle (Tukano), Emilio Arango Acuña (Pamiwã), Laureano Francisco Martínez Hernández (Pamiwã), Quiteria Peña (Tukano), Edimilsa Lima Márquez (Tuyuca), Juan Vanegas Valencia (Itano), Jean Carlos González González, Luz Yadira Martínez Veloz, Felix Enrique Cubides González (Pamiwã), and many others that we missed to mention. Different researchers in the Tropical Conservation and Development program at the University of Florida provided rewarding conversations and discussions about this study; special thanks to Dr Karen Kainer, Dr Bette Loiselle, Dr Emilio Bruna, Dr Vanessa Luna, Dr Claudia Garnica-Díaz, Dr Marianne Schmidt, and Dr Pilar Useche, as well as graduate students Carolina Simon-Pardo, Angélica Nunes, Wania Cardoso, Ana Luisa Melo Ferreira, Brian Khumalo, and Elion Beaton. We are grateful to (at least) two anonymous reviewers who provided invaluable suggestions on

a previous version of this manuscript. We are also grateful to editors Arley Muth and Emily McKinnon for their support and encouragement as we navigated ongoing platform issues with editorial assistants. A particular mention to eBird users within the top-10 “eBirders” following our suggested best practices in Mitú: Guillermo Saborío Vega (Arenal, Costa Rica), Jorge Gabriel Campos (Arenal, Costa Rica), José Castaño (Medellín, Antioquia, Colombia), Glenn Seeholzer (Cornell Lab of Ornithology), Iván Lau (Medellín, Antioquia, Colombia), Juan López (Medellín, Antioquia, Colombia), Ana C. Rojas (no public profile), Magui Rojas (no public profile), Elvis Felipe Quintero Quintero (Restrepo, Meta, Colombia), and the joint account of John-Mary Clark (Rhydyclafdy, United Kingdom). Finally, this research received funding support from a Ron Magill Conservation Scholarship, the University of Florida (TCD, WEC, SNRE, FLMNH), and an Exploration Fund Club Grant from The Explorers Club.

References

- Acevedo-Charry, O. & Contreras-Herrera, J. L. (2015). *A las aves de mi llano: Un recuento de avifauna desde el folclore de la Orinoquia colombiana*. In: *Saberes etnozoológicos latinoamericanos*, rafael monroy, alejandro garcía flores, josé manuel pino moreno, eraldo medeiros costa neto edn. Universidad Estadual de Feira de Santana & Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Feira de Santana, Bahia, Brazil & Cuernavaca, Morelos, México, pp. 227–263.
- Acevedo-Charry, O., Ponciano, J. M., Poli, C. L., Jeffrey, B. M., Fletcher Jr, R. J., Echeverry-Galvis, M. A., Loiselle, B. A., Robinson, S. K. & Acevedo, M. A. (2025). Monitoring population extinction risk with community science data. *Journal of Applied Ecology*, Accepted.
- Acevedo-Charry, O., Rivera-Velasco, G., Gonzalez, A., Estrada, W. G., Rodriguez Rivera, Z., Castano, F., Lopez Ortis, J., Llanos, L. E., Guerrero-Pelaez, S. & Espitia Romero, J. (2026). Code for applying two-eyed seeing to pair indigenous ecological calendars and community science data for biodiversity monitoring in amazonia. URL <https://doi.org/10.5281/zenodo.21681889>. Zenodo.

Aide, T. M. (2023). *Biodiversity* (Wilson & Peters, 1988) revisited: How has tropical conservation science changed in the last 35 years? *Biotropica*, 55, 729–736.

Amano, T., Lamming, J. D. L. & Sutherland, W. J. (2016). Spatial gaps in global biodiversity information and the role of citizen science. *BioScience*, 66, 393–400.

Amaral, B. R., Youngflesh, C., Tingley, M. & Miller, D. A. W. (2025). Shifting gears in a shifting climate: Birds adjust migration speed in response to spring vegetation green-up. *Diversity and Distributions*, 31, e70033.

Arias-Henao, J. D. (2024). Etnografía Multiespecies: Teoría, técnicas y desafíos actuales. *Jangwa Pana*, 23, 1–15.

Armstrong, C. L., Farmer, A., Hogue, M. & Bastien, H. (2025). Harley’s course—integrating teachings from western and indigenous sciences in an undergraduate biology course. *Ecology and Evolution*, 15, e71824.

Athayde, S., Utsunomiya, R., Victoria-Lacy, L., Beveridge, C., Jenkins, C. N., Laufer, J., Heilpern, S., Olivas, P. & Anderson, E. P. (2025). Interdependencies between indigenous peoples, local communities, and freshwater systems in a changing amazon. *Conservation Biology*, 39, e70034.

Ayerbe Quiñones, F. (2022). *Guía ilustrada de la avifauna colombiana, Tercera edición*. Wildlife Conservation Society, Bogotá D.C., Colombia.

Backstrom, L. J., Callaghan, C. T., Leseberg, N. P., Sanderson, C., Fuller, R. A. & Watson, J. E. (2024). Assessing adequacy of citizen science datasets for biodiversity monitoring. *Ecology and Evolution*, 14, e10857.

Bartlett, C., Marshall, M. & Marshall, A. (2012). Two-Eyed Seeing and other lessons learned within a co-learning journey of bringing together indigenous and mainstream knowledges and ways of knowing. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 2, 331–340.

Boyd, R. J., Powney, G. D. & Pescott, O. L. (2023). We need to talk about nonprobability samples. *Trends in Ecology & Evolution*, 38, 521–531.

903 Braga, P. L. M., Borges, S. H., Peres, C. A., Loiselle, B. A., Blake, J. G., Menger, J., Bueno, A. S.,
Anciães, M., Teófilo, F. H., Maximiano, M. F. A., Souza, A. H. N., Boss, R. & Baccaro, F. B.
(2022). Connecting Amazonian historical biogeography and local assemblages of understory
906 birds: Recurrent guild proportionality within areas of endemism. *Journal of Biogeography*, 49,
324–338.

Bridgewater, P. & Rotherham, I. D. (2019). A critical perspective on the concept of biocultural
909 diversity and its emerging role in nature and heritage conservation. *People and Nature*, 1, 291–
304.

Callaghan, C. T., Chase, J. M. & McGlinn, D. J. (2023). Anthropogenic habitat modification causes
912 nonlinear multiscale bird diversity declines. *Ecography*, e06759.

Callaghan, C. T., Mason, B. M., Echeverri, A. & Ocampo-Peñuela, N. (2025). Birdwatchers' atti-
tudes and preferences that influence their decisions to engage in local, national, and interna-
915 tional birdwatching trips. *Journal of Ecotourism*, 1–23.

Carrillo Chica, E., Jaramillo, L. F. & Portura, M. A. (2018). La avifauna del departamento de
Vaupés, Escudo Guayanés, Amazonia colombiana. *Revista Colombia Amazónica*, 11, 121–148.

918 Cochran, F. V., Brunsell, N. A., Cabalzar, A., Van Der Veld, P.-J., Azevedo, E., Azevedo, R. A.,
Pedrosa, R. A. & Winegar, L. J. (2016). Indigenous ecological calendars define scales for climate
change and sustainability assessments. *Sustainability Science*, 11, 69–89.

921 Copete, J. C., López-Pérez, S., López-Gallego, J. C., López-Navarro, D., Pavón, H., López, L.,
Isaza, C., Balzlev, H. & Cámara-Leret, R. (2026). *Attalea taam*—a new palm species well known
by the cacua indigenous people. *Phytotaxa*, 739, 83–93.

- 924 Correa R., F. (1981). Por el camino de la Anaconda Ancestral - Sobre organización social entre los Taiwano del Vaupés. *Revista Colombiana de Antropología*, 23, 39–108.
- Couée, I. (2024). The importance of worldwide linguistic and cultural diversity for climate change
927 resilience. *Ecology Letters*, 27, e14410.
- Diamond, J. M. (1966). Zoological classification system of a primitive people. *Science*, 151, 1102–1104.
- 930 Echeverri, A., Batista, N. M., Wolny, S., Herrera-R, G. A., Andrade-Rivas, F., Bailey, A., Cardenas-Navarrete, A., Dávila Arenas, A., Díaz-Salazar, A. F., Hernandez, K. V. *et al.* (2025). Toward sustainable biocultural ecotourism: An integrated spatial analysis of cultural and biodiversity
933 richness in colombia. *People and Nature*, 7, 194–214.
- Echeverri, A., Smith, J. R., MacArthur-Waltz, D., Lauck, K. S., Anderson, C. B., Monge Vargas, R., Alvarado Quesada, I., Wood, S. A., Chaplin-Kramer, R. & Daily, G. C. (2022). Biodiversity
936 and infrastructure interact to drive tourism to and within costa rica. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119, e2107662119.
- Echeverry-Galvis, M. A., Acevedo-Charry, O., Avendaño, J. E., Stiles, F. G., Estela, F. A. & Cuervo, A. M. (2022). Lista oficial de las aves de Colombia 2022: Adiciones, cambios taxonómicos y actualizaciones de estado. *Ornitología Colombiana*, 22, 25–51.
- EtnoOrnitologia, A. M. (2016). *Vaupés - entre plumas, sonidos y colores*. Primera edición edn. SENA
942 - SENNOVA, Mitú, Vaupés. II.
- EtnoOrnitologia, A. M. (2018). *Vaupés entre plumajes, sonidos y colores*, vol. 2. SENA - SENNOVA, Mitú, Vaupés. II.
- 945 Fink, D., Auer, T., Johnston, A., Ruiz-Gutierrez, V., Hochachka, W. M. & Kelling, S. (2020). Modeling avian full annual cycle distribution and population trends with citizen science data. *Ecological Applications*, 30.

- 948 Fonseca-Cepeda, V., Idrobo, C. J. & Restrepo, S. (2019). The changing chagras: traditional ecological knowledge transformations in the Colombian Amazon. *Ecology and Society*, 24, art8.
- Garibaldi, A. & Turner, N. (2004). Cultural keystone species: implications for ecological conservation and restoration. *Ecology and society*, 9.
- 951 Gavin, M. C., McCarter, J., Mead, A., Berkes, F., Stepp, J. R., Peterson, D. & Tang, R. (2015). Defining biocultural approaches to conservation. *Trends in ecology & evolution*, 30, 140–145.
- 954 Gazing Wolf, J., Ignace, D. D., David-Chavez, D. M., Jennings, L. L., Smiles, D., Blanchard, P., Simmons, E., Doan-Crider, D., Plenty Sweetgrass-She Kills, R., Montgomery, M., Nelson, M. K., Black Elk, L., Black Elk, L., Bridge, G., Chischilly, A. M., Deer, K., Deerin Water, K., Ecoffey, T., Vergun, J., Wildcat, D. & Rattling Leaf, J. (2024). Centering indigenous knowledges in ecology and beyond. *Frontiers in Ecology and the Environment*.
- 957 Global Modeling and Assimilation Office (GMAO) (2015). MERRA-2 statD_2d_slv_Nx 2d, monthly, aggregated statistics, single-level, assimilation, single-level diagnostics v5.12.4, greenbelt, md, usa, goddard earth sciences data and information services center (ges disc). Accessed 05.10.26.
- 960 Gordillo Jordan, J. F., Hunt, C. & Stronza, A. L. (2008). An ecotourism partnership in the Peruvian Amazon: the case of Posada Amazonas. In: *Ecotourism and conservation in the Americas* (eds. Stronza, A. L. & Durham, W. H.), 1st edn. CABI, UK. ISBN 978-1-84593-400-2 978-1-84593-437-8, pp. 30–48. URL <http://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/9781845934002.0030>.
- 966 Halmai, N. B., Taitingfong, R., Jennings, L. L., Yracheta, J., Garba, I., Lund, J. R., Curley, C. A., Claw, K. G., Taulii, M., Garrison, N. *et al.* (2025). Indigenous data sovereignty in genomics and human genetics: genomic equity and justice for indigenous peoples. *Annual Review of Genomics and Human Genetics*, 26.

- Hammoud, R., Tognin, S., Burgess, L., Bergou, N., Smythe, M., Gibbons, J., Davidson, N., Afifi, A., Bakolis, I. & Mechelli, A. (2022). Smartphone-based ecological momentary assessment reveals mental health benefits of birdlife. *Scientific Reports*, 12, 17589.
- Hernandez, K. V., Andrade-Rivas, F., Zapata, F., Batista, N., Cárdenas-Navarrete, A., Dávila Arenas, A., A. Herrera-R, G., Langhans, K. E., Levey, D., Neill, A. *et al.* (2024). Nearly half of colombian artisan craft plant species lack national and international vulnerability assessments. *Ecosystems and People*, 20, 2420080.
- Hochachka, W. M., Fink, D., Hutchinson, R. A., Sheldon, D., Wong, W.-K. & Kelling, S. (2012). Data-intensive science applied to broad-scale citizen science. *Trends in ecology & evolution*, 27, 130–137.
- Holzmann, K. L., Alonso-Alonso, P., Correa-Carmona, Y., Pinos, A., Yon, F., Brehm, G., Keller, A., Steffan-Dewenter, I. & Peters, M. K. (2025). Cold waves in the amazon rainforest and their ecological impact. *Biology Letters*, 21, 20240591.
- Howells, N., Lees, A. C., Barlow, J., Berenguer, E., Rossi, L. C., Sueur, J., Sullivan, M. J., Gabriel Ramos, Y. & Metcalf, O. C. (2025). Temporal patterns of Amazonian insect acoustic activity. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 380, 20240337.
- Jahn, A. E., Seavy, N. E., Bejarano, V., Guzmán, M. B., Provinciato, I. C. C., Pizo, M. A. & MacPherson, M. (2016). Intra-tropical migration and wintering areas of Fork-tailed Flycatchers (*Tyrannus savana*) breeding in São Paulo, Brazil. *Revista Brasileira de Ornitologia*, 24, 116–121.
- Jessen, T. D., Ban, N. C., Claxton, N. X. & Darimont, C. T. (2022). Contributions of Indigenous Knowledge to ecological and evolutionary understanding. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 20, 93–101.
- Jiménez, A. D., Cárdenas Carrillo, C. A., Ariza Tello, A., Echeverri, J. A., González, A. D., Gutiérrez, H. R., Matta, N. E., Rojas Tafur, T. H., Román Tiquidimas, D., Venegas, C. S. & De Venegoechea, C. (2023). Indigenous ecological calendars and seasonal vector-borne diseases in the

- 996 Colombian Amazon: an intercultural and interdisciplinary approach. *Acta Amazonica*, 53, 177–186.
- Johnston, A., Hochachka, W. M., Strimas-Mackey, M. E., Ruiz Gutierrez, V., Robinson, O. J.,
999 Miller, E. T., Auer, T., Kelling, S. T. & Fink, D. (2021). Analytical guidelines to increase the value of community science data: An example using eBird data to estimate species distributions. *Diversity and Distributions*, 27, 1265–1277.
- 1002 Johnston, A., Matechou, E. & Dennis, E. B. (2023). Outstanding challenges and future directions for biodiversity monitoring using citizen science data. *Methods in Ecology and Evolution*, 14, 103–116.
- 1005 Johnston, A., Rodewald, A. D., Strimas-Mackey, M., Auer, T., Hochachka, W. M., Stillman, A., Davis, C. L., Ruiz-Gutierrez, V., Dokter, A. M., Miller, E. T., Robinson, O., Ligocki, S., Jaromczyk, L. O., Crowley, C., Wood, C. L. & Fink, D. (2025). North American bird declines are
1008 greates where species are most abundant. *Science*, 388, 532–537.
- Kainer, K. A., DiGiano, M. L., Duchelle, A. E., Wadt, L. H. O., Bruna, E. & Dain, J. L. (2009). Partnering for greater success: Local stakeholders and research in tropical biology and conservation. *Biotropica*, 41, 555–562.
1011
- Kassam, K. S., Ruelle, M., Dunn, C. P., Pandya, R. & Wyndham, F. (2023). *Rhythms of the Earth*—Editorial Introduction. *GeoHealth*, 7, e2023GH000815.
- 1014 Kelling, S. T., Johnston, A., Bonn, A., Fink, D., Ruiz-Gutierrez, V., Bonney, R., Fernandez, M., Hochachka, W. M., Julliard, R., Kraemer, R. & Guralnick, R. (2019). Using semistructured surveys to improve citizen science data for monitoring biodiversity. *BioScience*, 69, 170–179.
- 1017 Lees, A. C., Haskell, L., Allinson, T., Bezeng, S. B., Burfield, I. J., Renjifo, L. M., Rosenberg, K. V., Viswanathan, A. & Butchart, S. H. (2022). State of the World’s birds. *Annual Review of Environment and Resources*, 47, 231–260.

- 1020 Lees, A. C., Rosenberg, K. V., Ruiz-Gutierrez, V., Marsden, S., Schulenberg, T. S. & Rodewald, A. D. (2020). A roadmap to identifying and filling shortfalls in Neotropical ornithology. *The Auk*, 137, ukaa048.
- 1023 Levis, C., Rezende, J. S., Barreto, J. P. L., Barreto, S. S., Baniwa, F., Sateré-Mawé, C., Zuker, F., Alencar, A., Mugge, M., de Moraes, R. S., Fuentes, A., Hirota, M., Fausto, C. & Biehl, J. (2024). Indigenizing conservation science for a sustainable Amazon. *Science*, 386, 1229–1232.
- 1026 Maffi, L. (2018). *Biocultural Diversity*. John Wiley & Sons, Ltd. ISBN 9781118924396, pp. 1–14. URL <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781118924396.wbiea1797>.
- Marshall, M. (2008). Health and healing - dead and dying: women's roles within. Workshop training materials, Integrative Science, NS, Canada.
- 1029 Massardo, F. & Rozzi, R. (2004). Etno-ornitología Yagan y Lafkenche en los bosques templados de Sudamerica austral. *Ornitologia Neotropical*, 15, 395–407.
- 1032 Moreno-Salazar, N., Maldonado, O., Falk, C., Carantón-Ayala, D., Baptiste, M. P. & Fierro, K. (2023). *Estrategia Nacional para la Conservación de las Aves de Colombia (ENCA) 2030*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- 1035 Nuñez, M. (2024). Indigenous science has a lot to contribute to ecology. URL <https://appliedecologistsblog.com/2024/06/13/indigenous-science-has-a-lot-to-contribute-to-ecology/>.
- 1038 Ocampo-Peñuela, N., de Alfaro, S., Neate-Clegg, M. H., de Alfaro, L., Bjegovic, K. & Winton, R. S. (2025). Human development, societal stability and bird capital predict global tourist ebirding activity. *People and Nature*.
- 1041 Olivares, A. (1955). Algunas aves de la comisaría del Vaupés (Colombia). *Caldasia*, 7, 259–275.
- Olivares, A. & Hernández Camacho, J. (1962). Aves de la comisaría del Vaupés (Colombia). *Revista de Biología Tropical*, 10, 61–90.

- 1044 Polfus, J. L., Manseau, M., Simmons, D., Neyelle, M., Bayha, W., Andrew, F., Andrew, L., Klütsch,
C. F., Rice, K. & Wilson, P. (2016). Łeghągots' enetę (learning together) the importance of
indigenous perspectives in the identification of biological variation. *Ecology and Society*, 21.
- 1047 Ponciano, J. M., Taper, M. L. & Dennis, B. (2018). Ecological change points: The strength of
density dependence and the loss of history. *Theoretical Population Biology*, 121, 45–59.
- R Development Core Team (2026). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R
1050 Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Ramírez-Castañeda, V., Westeen, E. P., Frederick, J., Amini, S., Wait, D. R., Achmadi, A. S.,
Andayani, N., Arida, E., Arifin, U., Bernal, M. A., Bonaccorso, E., Bonachita Sanguila, M.,
1053 Brown, R. M., Che, J., Condori, F. P., Hartiningtias, D., Hiller, A. E., Iskandar, D. T., Jiménez,
R. A., Khelifa, R., Márquez, R., Martínez-Fonseca, J. G., Parra, J. L., Peñalba, J. V., Pinto-
García, L., Razafindratsima, O. H., Ron, S. R., Souza, S., Supriatna, J., Bowie, R. C. K., Cicero,
1056 C., McGuire, J. A. & Tarvin, R. D. (2022). A set of principles and practical suggestions for
equitable fieldwork in biology. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119, e2122667119.
- Reichel-Dolmatoff, G. (1976). Cosmology as ecological analysis: A view from the rain forest.
1059 *Man*, 11, 307.
- Reid, A. J., Eckert, L. E., Lane, J.-F., Young, N., Hinch, S. G., Darimont, C. T., Cooke, S. J.,
Ban, N. C. & Marshall, A. (2021). “two-eyed seeing”: An indigenous framework to transform
1062 fisheries research and management. *Fish and Fisheries*, 22, 243–261.
- Reid, A. J., McGregor, D. A., Menzies, A. K., Eckert, L. E., Febria, C. M. & Popp, J. N. (2024).
Ecological research ‘in a good way’ means ethical and equitable relationships with Indigenous
1065 Peoples and Lands. *Nature Ecology & Evolution*, 8, 595–598.
- Reyes-García, V., Cámara-Leret, R., Halpern, B. S., O'hara, C., Renard, D., Zafra-Calvo, N. & Díaz,
S. (2023). Biocultural vulnerability exposes threats of culturally important species. *Proceedings*
1068 *of the National Academy of Sciences*, 120, e2217303120.

- Rivera-Velasco, G., Gonzalez, A., Estrada, W. G., Rodriguez Rivera, Z., Castano, F., Lopez Ortis, J., Llanos, L. E., Guerrero-Pelaez, S., Espitia Romero, J. & Acevedo-Charry, O. (2026). Calendario ecológico sobre las aves desde la cosmovisión pamiwã (cubeo) en el departamento del vaupés, amazonía colombiana. URL <https://doi.org/10.32942/X2K08X>. In Review in *Ornitología Colombiana*.
- 1071
- Rivera Velasco, G. A. & EtnoOrnitología, A. M. (2022). *Vaupés entre plumajes, sonidos y colores - Las aves cuentan sus historias tradicionales*, vol. 3. SENA - SENNOVA, Mitú, Vaupés.
- 1074
- Rozzi, R., Álvarez, R., Castro, V., Núñez, D., Ojeda, J., Tauro, A. & Massardo, F. (2023). Biocultural calendars across four ethnolinguistic communities in Southwestern South America. *GeoHealth*, 7, e2022GH000623.
- 1077
- Rushing, C. S., Royle, J. A., Ziolkowski, D. J. & Pardieck, K. L. (2019). Modeling spatially and temporally complex range dynamics when detection is imperfect. *Scientific Reports*, 9, 12805.
- 1080
- Schwoerer, T. & Dawson, N. G. (2022). Small sight—Big might: Economic impact of bird tourism shows opportunities for rural communities and biodiversity conservation. *PLoS ONE*, 17, e0268594.
- 1083
- Sicard-Ayala, A. M., Jaramillo-Mejía, L. & Ayerbe-Quiñones, F. (2019). Un ave, muchos nombres: un pluriverso. *Ornitología Colombiana*, 17, eC01.
- 1086
- Silva, J. M. C. d., Rylands, A. B. & Fonseca, G. A. B. d. (2005). The fate of the Amazonian areas of endemism. *Conservation Biology*, 19, 689–694.
- Soares, L., Cockle, K. L., Inzunza, E. R., Ibarra, J. T., Miño, C. I., Zuluaga, S., Bonaccorso, E., Ríos-Orjuela, J. C., Montaña-Centellas, F. A., Freile, J. F., Echeverry-Galvis, M. A., Bonaparte, E. B., Diele-Viegas, L. M., Speziale, K., Cabrera-Cruz, S. A., Acevedo-Charry, O., Velarde, E., Lima, C. C., Ojeda, V. S., Fontana, C. S., Echeverri, A., Lambertucci, S. A., Macedo, R. H., Esquivel, A., Latta, S. C., Ruvalcaba-Ortega, I., Alves, M. A. S., Santiago-Alarcon, D., Bodrati,
- 1089
- 1092

A., González-García, F., Fariña, N., Martínez-Gómez, J. E., Ortega-Álvarez, R., Montellano,
 M. G. N., Ribas, C. C., Bosque, C., Giacomo, A. S. D., Areta, J. I., Emer, C., Valdés, L. M.,
 1095 González, C., Rebollo, M. E., Mangini, G., Lara, C., Pizarro, J. C., Cueto, V. R., Bolaños-Sittler,
 P. R., Ornelas, J. F., Acosta, M., Cenizo, M., Marini, M. A., Vázquez-Reyes, L. D., González-
 Oreja, J. A., Bugoni, L., Quiroga, M., Ferretti, V., Manica, L. T., Grande, J. M., Rodríguez-
 1098 Gómez, F., Diaz, S., Büttner, N., Montesana, L., Campos-Cerqueira, M., López, F. G., Guaraldo,
 A. C., MacGregor-Fors, I., Aguiar-Silva, F. H., Miyaki, C., Ippi, S., Mérida, E., Kopuchian,
 C., Cornelius, C., Enríquez, P. L., Ocampo-Peñuela, N., Renton, K., Salazar, J. C., Sandoval,
 1101 L., Sandoval, J. C., Astudillo, P. X., Davis, A. O., Cantero, N., Ocampo, D., Humberto, O.,
 Gomez, M., Borges, S. H., Cordoba-Cordoba, S., Pietrek, A. G., de Araújo, C. B., Fernández,
 G., Marcos, J., Capurucho, G., Gutiérrez-Ramos, N. A., Ferreira, A., Costa, L. M., Soldatini,
 1104 C., Madden, H. M., Santillán, M. A., Jiménez-Uzcátegui, G., Jordan, E. A., Freitas, G. H. S.,
 Pulgarin-R, P. C., Almazán-Núñez, R. C., Altamirano, T., Gomez, M. R., Velazquez, M. C., Irala,
 R., Gandoy, F. A., Trigueros, A. C., Ferreyra, C. A., Albores-Barajas, Y., Tellkamp, M., Oliveira,
 1107 C. D., Weiler, A., Arizmendi, M. d. C., Tossas, A. G., Zarza, R., Serra, G., Villegas-Patraca, R.,
 Di Sallo, F. G., Valentim, C., Noriega, J. I., Alayon García, G., de la Peña, M. R., Fraga, R. M. &
 Ribeiro Martins, P. V. (2023). Neotropical ornithology: Reckoning with historical assumptions,
 1110 removing systemic barriers, and reimagining the future. *Ornithological Application*, 125, 1–31.

Socolar, J., Galtbalt, B., Johnston, A., La Sorte, F. A., Robinson, O. J., Rosenberg, K. V. & Dok-
 ter, A. M. (2025). Seasonal macro-demography of North American bird populations revealed
 1113 through participatory science. *Ecography*, 2025, e07349.

Somervuo, P., Roslin, T., Fisher, B. L., Hardwick, B., Kerdraon, D., Raharinjanahary, D., Rajoeli-
 son, E. T., Lauha, P., Griem, L., Lehikoinen, P. *et al.* (2025). Human contributions to global
 1116 soundscapes are less predictable than the acoustic rhythms of wildlife. *Nature Ecology & Evo-*
lution, 1–14.

- 1119 Stern, E. R. & Humphries, M. M. (2022). Interweaving local, expert, and Indigenous knowledge
into quantitative wildlife analyses: A systematic review. *Biological Conservation*, 266, 109444.
- Strimas-Mackey, M., Hochachka, W. M., Ruiz Gutierrez, V., Robinson, O. J., Miller, E. T., Auer,
T., Kelling, S., Fink, D. & Johnson, A. (2023). Best practices for using eBird data. URL <https://doi.org/10.5281/zenodo.3620739>.
1122
- Stronza, A. L., Hunt, C. A. & Fitzgerald, L. A. (2019). Ecotourism for conservation? *Annual
Review of Environment and Resources*, 44, 229–253.
- 1125 Sullivan, B. L., Aycrigg, J. L., Barry, J. H., Bonney, R. E., Bruns, N., Cooper, C. B., Damoulas,
T., Dhondt, A. A., Dietterich, T., Farnsworth, A., Fink, D., Fitzpatrick, J. W., Fredericks, T.,
Gerbracht, J., Gomes, C., Hochachka, W. M., Iliff, M. J., Lagoze, C., La Sorte, F. A., Merrifield,
1128 M., Morris, W., Phillips, T. B., Reynolds, M., Rodewald, A. D., Rosenberg, K. V., Trautmann,
N. M., Wiggins, A., Winkler, D. W., Wong, W.-K., Wood, C. L., Yu, J. & Kelling, S. (2014). The
eBird enterprise: An integrated approach to development and application of citizen science.
1131 *Biological Conservation*, 169, 31–40.
- Suárez-Castro, A. F., Acevedo-Charry, O., Romero Jiménez, L. H., Noguera-Urbano, E. A.,
Ayerbe-Quiñones, F. & Ocampo-Peñuela, N. (2024). Integrating multiple data sources to de-
1134 velop range and area of habitat maps tailored for local contexts. *Diversity and Distributions*, 30,
e13917.
- Tattersall, E., Cardinal-McTeague, W., Myers-Smith, I., Jenkins, D. A. & Burton, A. C. (2025).
1137 Affirming indigenous data sovereignty in collaborative wildlife conservation in the era of open
data. *People and Nature*, 7, 2659–2677.
- Turner, N. J. & Reid, A. J. (2022). “When the wild roses bloom”: Indigenous knowledge and
1140 environmental change in northwestern North America. *GeoHealth*, 6, e2022GH000612.
- Van der Hammen, M. C., Frieri, S., Zamora, N. C. & Navarrete, M. P. (2012). Herramientas para
la formación en contextos interculturales.

- 1143 Victoria-Lacy, L., Couto, T., Piland, N. C., Dámaso, J., Fernandes, S., Athayde, S. *et al.* (2025).
Amazonian fish migration as a social–cultural–ecological process. *People and Nature*.
- Wallace, A. R. (1890). *A Narrative of Travels on the Amazon and Rio Negro: With an Account of the*
1146 *Native Tribes, and Observations of the Climate, Geography, and Natural History of the Amazon Valley*,
vol. 8. Ward, Lock.
- Youngflesh, C., Saracco, J. F., Siegel, R. B. & Tingley, M. W. (2022). Abiotic conditions shape spatial
1149 and temporal morphological variation in North American birds. *Nature Ecology & Evolution*, 6,
1860–1870.

1152 **A Supporting Figures**

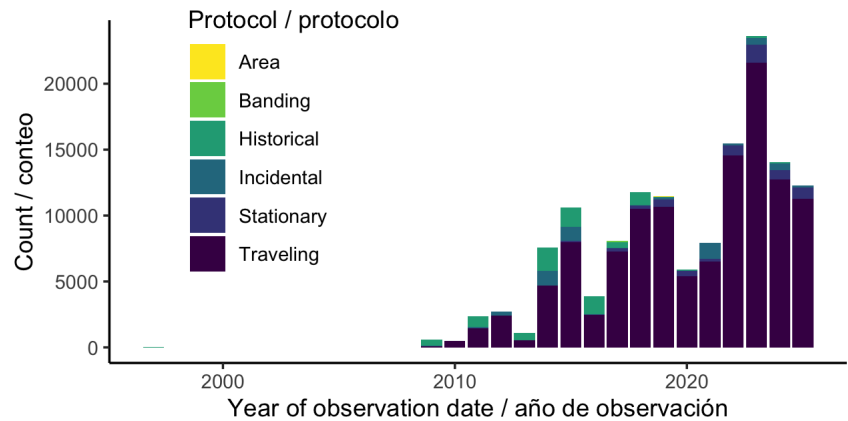


Figure S1: Number of records through time and protocol. It is evident that there is an increase in reporting for the Indigenous territory.

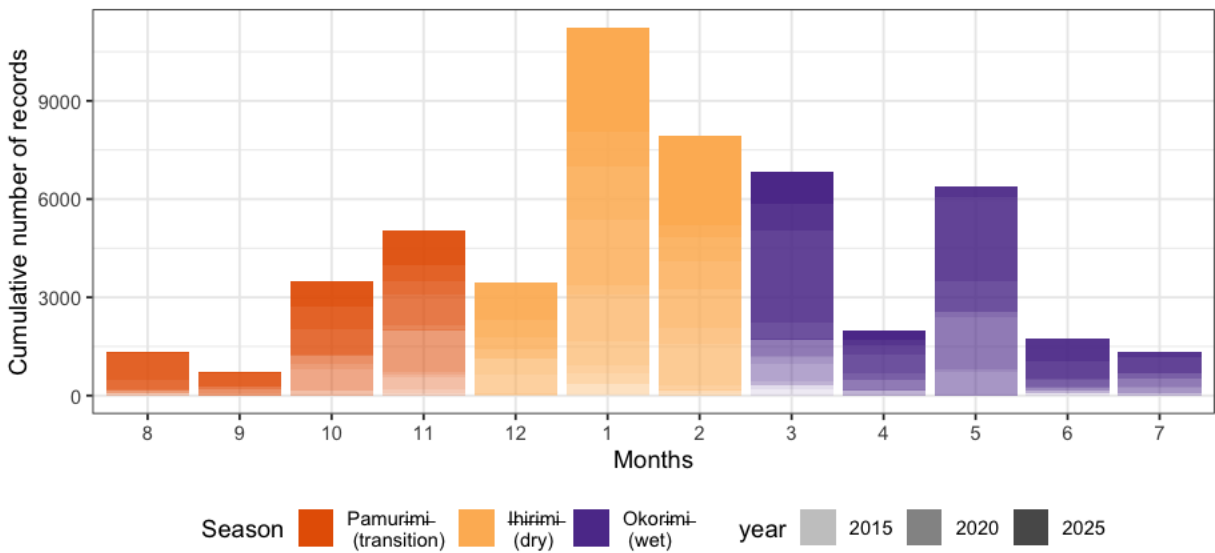


Figure S2: Cumulative number of records summarized for each month of the year (transparency). Indigenous seasons identified by colors. It is evident that there is higher effort during the dry season.

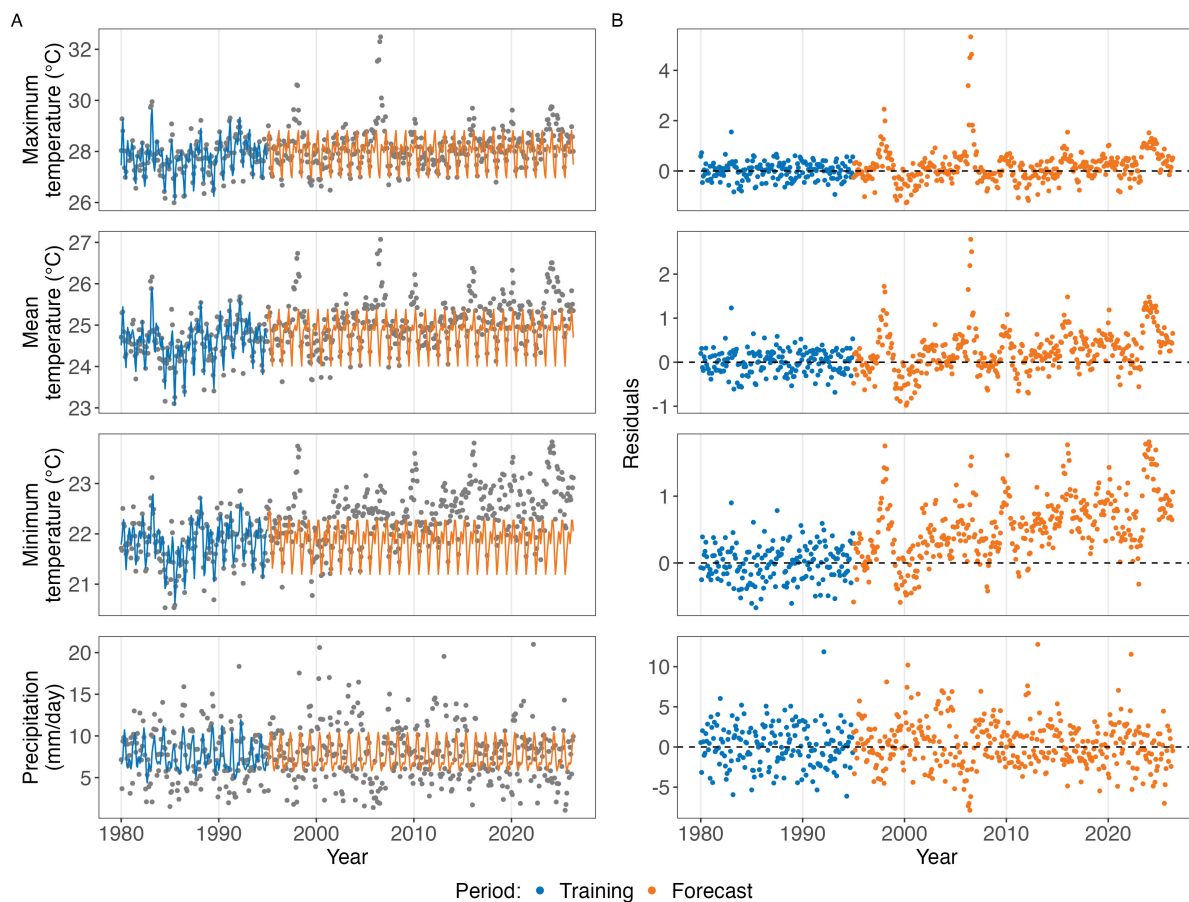


Figure S3: Environmental data and harmonic regression identify patterns of climate change in Amazonia. (A) Lines indicate harmonic regression models trained on data from 1980–1995 and used to forecast 1995–2026 (up to May). Gray points are the raw data downloaded from Giovanni. (B) Residual values from the regression, where positive values indicate higher values than expected and negative the contrary. This is an extended figure from Figure 6.

B Supporting Text - Spanish version

Poniendo en práctica la Visión de Dos Ojos para combinar calendarios ecológicos indígenas y
1155 datos de ciencia comunitaria en el monitoreo de la biodiversidad en la Amazonia

Resumen

El uso en conjunto del conocimiento ecológico indígena y del occidental fortalecerá la comprensión de los patrones fenológicos; sin embargo, esta oportunidad de combinar múltiples
1158 perspectivas suele verse limitada por diferencias epistemológicas, asimetrías de poder e historias de exclusión. Adoptamos el marco conceptual de la Visión de Dos Ojos (Two-Eyed Seeing),
1161 que aboga por aprender de las fortalezas de ambos sistemas de conocimiento para el desarrollo conjunto de preguntas, movilización del saber y coproducción de ideas para la toma de decisiones, en diálogos sobre conservación biocultural en curso entre líderes etnográficos locales,
1164 académicos indígenas e investigadores occidentales en ecología y antropología. Para emparejar estos dos sistemas de conocimiento, primero codiseñamos preguntas de investigación sobre la variación estacional en la diversidad de aves (riqueza de especies, composición y abundancia
1167 relativa de especies culturalmente importantes) y las implicaciones del cambio climático dentro del territorio indígena Pamiwã en la Amazonía colombiana. Luego, documentamos y movilizamos el conocimiento de ambos sistemas. La primera línea de evidencia provino del saber
1170 indígena recopilado por los sabedores mayores y aprendices durante un programa educativo de etno-ornitología en curso, que fue condensado en un dispositivo fenológico culturalmente arraigado (calendario ecológico). Posteriormente, movilizamos datos de una iniciativa de ciencia comunitaria basada en el conocimiento occidental (datos de eBird aportados principalmente
1173 por avituristas visitantes) y los comparamos con el calendario ecológico para evaluar sus similitudes y diferencias. Dadas las recientes iniciativas a nivel nacional que impulsan el desarrollo
1176 sociocultural y económico basado en la naturaleza, nuestro estudio proporciona un ejemplo de aprendizaje colaborativo entre el conocimiento indígena amazónico y las ciencias ecológicas oc-

cidentales. Nuestra comparación reveló tanto convergencias como divergencias: los patrones
1179 fenológicos en la riqueza de especies y la abundancia relativa de aves culturalmente importantes
fueron en general similares, mientras que la composición de especies varió a lo largo del año.
Estas diferencias reflejan enfoques experienciales distintos de observación. Los observadores in-
1182 dígenas fundamentan su conocimiento en la experiencia culturalmente arraigada y la atención al
cambio ambiental, el uso de recursos y el comportamiento de las aves producto de la transmisión
de saberes intergeneracional; mientras que los avituristas se enfocan en encuentros personales
1185 con aves más diversas y raras. La conservación biocultural requiere métodos integrativos sujetos
a interpretación e incertidumbre. Demostramos la oportunidad de aplicar el marco de la Visión
de Dos Ojos como principio orientador para emparejar los sistemas de conocimiento indígena
1188 y occidental. Este trabajo en equipo proporciona una herramienta para el monitoreo a largo
plazo que alinea plataformas globales, como eBird, con prioridades locales, como la erosión del
conocimiento tradicional y la vulnerabilidad al cambio climático, para salvaguardar la biodiver-
1191 sidad y los valores culturales, ancestrales y espirituales. Nuestros hallazgos destacan el valor de
los calendarios ecológicos iterativos, enmarcados por el principio rector de la Visión de Dos Ojos,
como estrategias adaptativas para que las comunidades locales monitoreen la biodiversidad y
1194 gestionen sus territorios.

B.1 Introducción

Un movimiento creciente en la ecología aboga por dejar de considerar los marcos occidentales
1197 hegemónicos como el único medio para comprender los patrones de biodiversidad y avanzar
hacia relaciones más equitativas entre diversos sistemas de conocimiento (Gavin *et al.* 2015;
Gazing Wolf *et al.* 2024; Levis *et al.* 2024; Reid *et al.* 2021). Este cambio exige colaboraciones
1200 transformadoras basadas en el respeto mutuo y el aprendizaje recíproco (Armstrong *et al.* 2025;
Kainer *et al.* 2009; Levis *et al.* 2024; Reid *et al.* 2024). Los sistemas de conocimiento ecológico
indígena y occidental tienen el potencial de cocrear conocimiento (Armstrong *et al.* 2025; Nuñez
1203 2024; Reid *et al.* 2021), complementando las perspectivas de cada uno a diferentes escalas tempo-

rales, espaciales y bioculturales (Jessen *et al.* 2022; Kainer *et al.* 2009). A pesar de sus diferencias en ontologías (naturaleza de la realidad), epistemologías (teoría del conocimiento y cómo se genera y valida), axiologías (naturaleza de los valores) y metodologías (procedimientos para responder preguntas de investigación), la falta de encuentro y coexistencia entre los sistemas de conocimiento amenaza el patrimonio biocultural (Couée 2024; Fonseca-Cepeda *et al.* 2019; Kassam *et al.* 2023), incluida la vida misma de las comunidades que coexisten en el territorio. Esto puede conducir a conocimientos subóptimos, inadecuados o incompletos, lo que, a su vez, favorece la pérdida de biodiversidad y la erosión cultural (Bridgewater & Rotherham 2019). Por el contrario, trabajar conjuntamente (Bartlett *et al.* 2012; Reid *et al.* 2021; Stern & Humphries 2022; Turner & Reid 2022) aumenta el potencial de lograr una comprensión más precisa y completa de la biodiversidad fundamentada en la importancia cultural (Hernandez *et al.* 2024; Reid *et al.* 2021; Reyes-García *et al.* 2023), resaltando la importancia del conocimiento indígena y mejorando así la gestión de la biodiversidad y la conservación futura (Cochran *et al.* 2016; Gavin *et al.* 2015; Kassam *et al.* 2023).

El conocimiento ecológico indígena y el occidental comparten el objetivo de comprender los patrones de biodiversidad (Armstrong *et al.* 2025; Jessen *et al.* 2022; Nuñez 2024). El conocimiento ecológico indígena es la comprensión multigeneracional de las conexiones humanas, ambientales, territoriales y espirituales reflejadas en los patrones ambientales en la flora, fauna y factores abióticos, mantenida y transmitida por los pueblos indígenas (Jessen *et al.* 2022). Estos sistemas de conocimiento han guiado la gobernanza territorial durante milenios (Gazing Wolf *et al.* 2024; Levis *et al.* 2024). Por ejemplo, los calendarios ecológicos, como los desarrollados por los pueblos del río Tiquié en Brasil (Ciclos Anuais), codifican observaciones fenológicas en marcos culturales que orientan el uso de la tierra, la cosecha y las prácticas ceremoniales (Cochran *et al.* 2016; Jiménez *et al.* 2023; Kassam *et al.* 2023; Rozzi *et al.* 2023). El conocimiento ecológico occidental, de manera similar, busca caracterizar patrones fenológicos, como la distribución de especies (Rushing *et al.* 2019), las fluctuaciones poblacionales (Socular *et al.* 2025) y la actividad acústica (Aide 2023; Howells *et al.* 2025; Somervuo *et al.* 2025), como indicadores de las respuestas ecológicas al

cambio ambiental en ciclos más o menos predictivos. Recientemente, los científicos occidentales también han estado aprovechando datos de iniciativas de ciencia comunitaria, participativa o ciudadana para mejorar nuestra comprensión de la fenología en la biodiversidad (Amano *et al.* 2016; Amaral *et al.* 2025; Kelling *et al.* 2019). Estas observaciones recopiladas por voluntarios ocurren en diferentes momentos y lugares a lo largo del mundo (Amaral *et al.* 2025; Kelling *et al.* 2019; Youngflesh *et al.* 2022), incluidos los territorios indígenas (Moreno-Salazar *et al.* 2023). Sin embargo, a medida que las iniciativas globales de ciencia comunitaria se expanden hacia los territorios indígenas, la falta de metodologías adaptativas y marcos inclusivos de gobernanza de datos plantea preguntas críticas sobre cómo se recopilan, comparten y utilizan los datos de biodiversidad, especialmente para las comunidades indígenas que participan activamente en la conservación biológica con prioridades culturales y de sustento (Reid *et al.* 2024). En este sentido, los datos provenientes de iniciativas de ciencia comunitaria ofrecen una oportunidad para fomentar la colaboración entre el conocimiento ecológico indígena y occidental.

Aunque la cocreación de conocimiento entre actores indígenas y occidentales tiene el potencial de transformar nuestra comprensión de la naturaleza, esta complementariedad se ve desafiada por diferencias epistemológicas, asimetrías de poder y el legado histórico de exclusión (Gazing Wolf *et al.* 2024; Reid *et al.* 2024). El anciano Mi'kmaw Dr. Albert Marshall definió *Etuaptomuk* (Visión de Dos Ojos) como "*aprender a ver con un ojo las fortalezas de las formas indígenas de conocer, y ver con el otro ojo las fortalezas de las formas occidentales de conocer, y usar ambos ojos juntos*" (Bartlett *et al.* 2012). Estas fortalezas se relacionan con una pregunta o motivación específica. Por ejemplo, Armstrong *et al.* (2025) utilizó el marco conceptual de la Visión de Dos Ojos con fines educativos, mientras que Reid *et al.* (2021) contextualizó su uso en la investigación y gestión pesquera para codiseñar preguntas, documentar y movilizar conocimientos, y coproducir ideas que orienten la toma de decisiones. Este principio orientador, por lo tanto, involucra de manera significativa la educación, la transmisión del conocimiento indígena y el reconocimiento de las limitaciones de la ciencia occidental tanto para comprender un sistema como para guiar la acción colectiva que incide en las formas de vida indígenas. Además, incorpora explícitamente

"la noción de que el conocimiento transforma a quien lo posee y que quien lo posee tiene la responsabilidad de actuar en consecuencia" (Reid et al. 2021).

1260 Aquí aplicamos la Visión de Dos Ojos como principio orientador, motivados por el objetivo
de comprender la fenología de las aves y los cambios recientes en los patrones de diversidad en
respuesta al cambio global en la Amazonía (Figura S4). En el contexto del Vaupés, los investi-
1263 gadores indígenas describen la Visión de Dos Ojos como análoga a mirar con ambos ojos de un
mismo cuerpo. Por ejemplo, si vemos una maloka o *pami kerami*, podemos verla solo como una
estructura física que está ahí y observar su belleza física en el diseño y las figuras; pero si la
1266 vemos dándole un sentido ceremonial y la relacionamos con su ubicación al sol, podemos com-
prender que está hecha para representar la dualidad de la vida, el amanecer y el anochecer. En
relación con las aves, si un aviturista escucha vocalizar a un hormiguero *Hypocnemoides melano-*
1269 *pogon*, lo busca y hasta le hace playback para verlo y registrarlo. Pero para un pescador indígena,
el solo hecho de escuchar su canto ya le indica si su pesca será buena o mala, reflejando sentido
y relación con la naturaleza, sin necesidad de verlo para saber que está ahí y que transmite un
1272 mensaje. Por eso es importante la mirada con los 2 ojos para no quedarnos ciegos ni biscos y
ver mejor lo que tenemos enfrente. Entonces, un ojo refleja el conocimiento indígena, arraigado
en el territorio, la tradición oral, la espiritualidad y la experiencia vivida, mientras que el otro
1275 refleja el conocimiento adquirido a través del compromiso con la ciencia occidental. Ningún ojo
debe dominar al otro; por el contrario, ambos contribuyen a un campo de visión más amplio y
claro que permite una comprensión más holística del cambio ambiental y el cuidado del entorno.
1278 Por lo tanto, nuestra investigación utiliza los seis pasos beneficiosos reconocidos en Reid et al.
(2021) para aplicar la Visión de Dos Ojos al estudio de los patrones fenológicos de las aves y de
las posibles respuestas al cambio global. Específicamente, concebimos una relación a largo plazo
1281 mediante la conservación biocultural y el monitoreo de la biodiversidad en la Amazonía (paso
1); nuestro interés de investigación mutuo es la fenología de las aves y el cambio ambiental (paso
2); estos dos pasos nos guiaron a identificar vacíos de conocimiento y herramientas necesarias
1284 (paso 3) para codiseñar el presente estudio (paso 4), el cual es coevaluado y validado por rep-

resentantes de la comunidad (paso 5, ver B.2); cerrando el ciclo sugerido en Reid *et al.* (2021) (paso 6), compartimos el reconocimiento mediante la autoría de este manuscrito y discutimos los co-beneficios de nuestros resultados.

1287

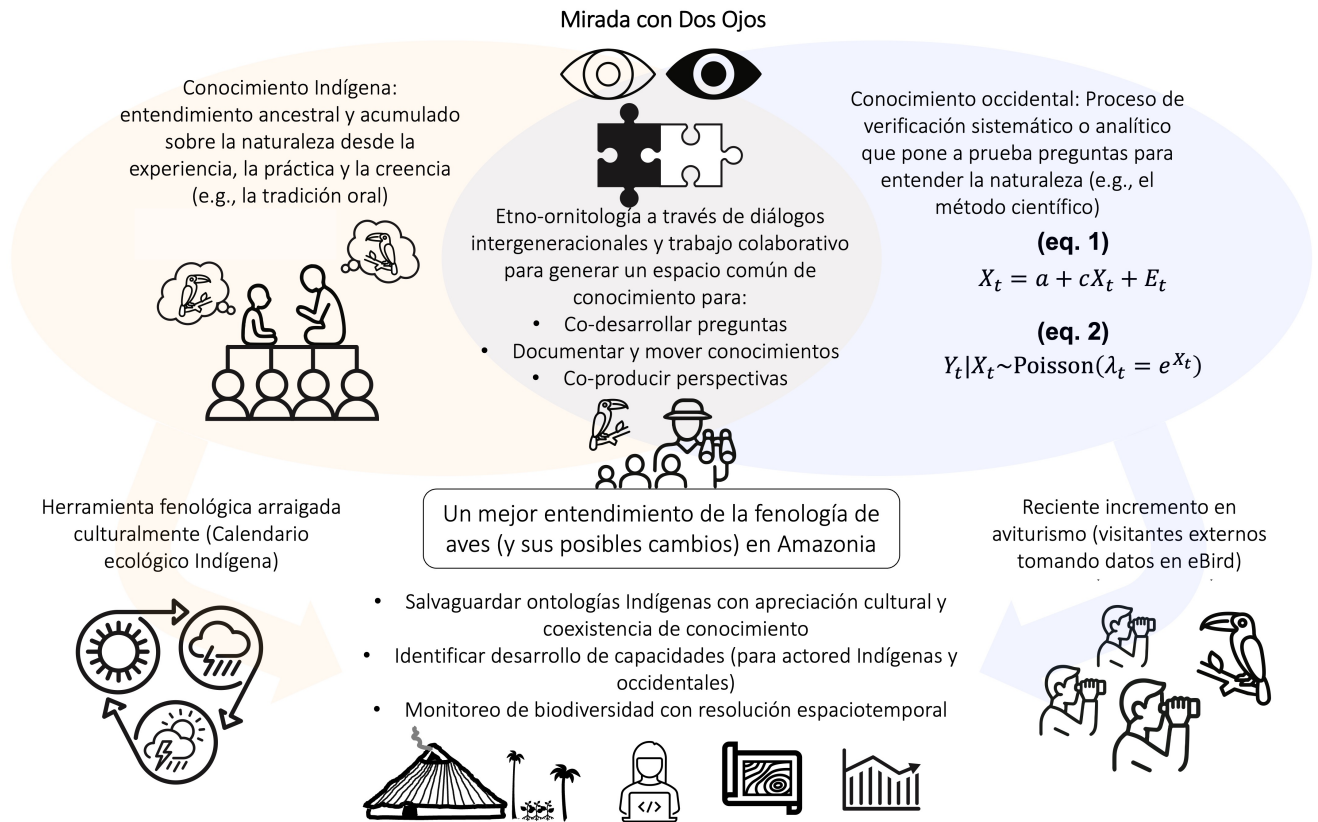


Figure S4: La combinación del conocimiento indígena y occidental transforma nuestra comprensión de la naturaleza, aunque puede ser un reto. Aplicar la Visión de Dos Ojos como principio orientador (Bartlett *et al.* 2012) ofrece una vía efectiva para lograrlo. Este principio promueve el respeto mutuo, la colaboración y la coexistencia de diferentes formas de conocer, aprovechando sus *fortalezas* en lugar de elegir una sobre otra. Por ejemplo, el conocimiento indígena sobre la fenología de las aves, preservado a través de la tradición oral (ilustración de una conversación sobre aves entre mayores y aprendices indígenas), ...

Figure S4: ... puede combinarse con procedimientos sistemáticos y analíticos propios del conocimiento occidental (representado por un modelo de espacio de estados para la dinámica poblacional con submodelos para procesos ecológicos –ec.1– y observacionales –ec.2–). Ejemplificamos esto mediante un currículo de educación etnoornitológica desarrollado en Mitú, Vaupés, en la Amazonía colombiana. Mediante diálogos intergeneracionales entre mayores y aprendices indígenas, y el trabajo colaborativo con académicos occidentales, priorizamos preguntas de investigación, documentamos y difundimos el conocimiento, y coproducimos ideas sobre la fenología de las aves en la Amazonia y los posibles efectos del cambio global. Estos dos sistemas de conocimiento (círculos) proveen conjuntos de datos (flechas) de un dispositivo fenológico culturalmente arraigado (calendario ecológico; conocimiento indígena) y de un aumento reciente en las visitas externas al territorio con observaciones enviadas a plataformas de ciencia comunitaria (datos de eBird; conocimiento occidental). Combinando el calendario ecológico y el análisis crítico de los datos de ciencia comunitaria, aplicamos la Visión de Dos Ojos para el monitoreo a largo plazo de la biodiversidad en un contexto local. Las ilustraciones en la parte inferior representan el fortalecimiento de capacidades tanto en el conocimiento indígena (*Maloka* y su respectiva *chagra*) como en el conocimiento occidental (una computadora). Además, el monitoreo de la resolución espaciotemporal se representa mediante un mapa y mediante la dinámica de series temporales (por ejemplo, la riqueza o la abundancia de especies culturalmente importantes). Figura diseñada por Hollis Wooley en la división de gráficos del FLMNH y modificada por el autor principal tras comentarios editoriales.

Basándonos en los sistemas de conocimiento ecológico indígena y occidental, nos centramos en la fenología de las aves amazónicas para resaltar el uso de la Visión de Dos Ojos como principio orientador (Figura S4). Las aves tienen un profundo significado cultural y ecológico en diversas sociedades, sirviendo como indicadores de cambios estacionales, de la salud de los ecosistemas y de significados comunitarios (Acevedo-Charry & Contreras-Herrera 2015; Et-
noOrnitología 2016; Lees *et al.* 2022; Massardo & Rozzi 2004). Más allá de su riqueza en aves (Echeverry-Galvis *et al.* 2022; Moreno-Salazar *et al.* 2023), nuestra región de estudio en la Amazonía colombiana es importante para analizar la riqueza biocultural (Hernandez *et al.* 2024; Maffi
2018). Colombia es el segundo país de América Latina (después de Brasil) con el mayor número de grupos étnicos, superando en diversidad étnica a Perú, Bolivia o México (Organización de las

Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). Además, en la cuenca del río Vaupés se hablan más de 34 lenguas (ver la presentación de T. C. Chacon en el Instituto Max Planck para la Ciencia de la Historia Humana), lo que la convierte en un caso de estudio global sobre diversidad étnica y lingüística (Maffi 2018).

Las comunidades indígenas de la Amazonía colombiana interpretan los cambios temporales en la presencia, la abundancia percibida y la composición de especies de aves como reflejo de ciclos ecológicos, lo que guía decisiones sobre la recolección de recursos forestales, la agricultura y las prácticas ceremoniales (EtnoOrnitología 2016, 2018; Rivera Velasco & EtnoOrnitología 2022). Estas observaciones están incorporadas en las tradiciones orales y se sintetizan en calendarios ecológicos (Rivera-Velasco *et al.* 2026), que codifican el conocimiento multigeneracional sobre los patrones fenológicos. Por ejemplo, la actividad vocal estacional de especies como *Monasa morphoeus* señala el inicio de la temporada seca para el pueblo Pamiwã (Cubeo, familia lingüística tukano) y orienta las decisiones sobre el uso de la tierra, como la agricultura de roza y quema (EtnoOrnitología 2016; ver más ejemplos en Métodos). Por lo tanto, el calendario ecológico Pamiwã podría representar especies que desempeñan un papel en el apoyo a la identidad cultural mediante la cohesión religiosa, espiritual y social (es decir, especies culturalmente importantes según la definición de Reyes-García *et al.* (2023)), más allá de la definición estricta de “Especies Culturales Clave” (Garibaldi & Turner 2004). La valoración indígena de las aves es relacional y experiencial, basada en interacciones vividas con el paisaje y guiada por narrativas cosmológicas, cosmovisiones y el cuidado ecológico. Estas comprensiones experienciales de la naturaleza no son fijas en el tiempo ni en el espacio. Así, los pueblos indígenas son conscientes de la variabilidad de los eventos naturales y de los cambios que ocurren en estas dimensiones (Victoria-Lacy *et al.* 2025).

Los científicos ecológicos occidentales realizan censos de aves mediante métodos cuantitativos estandarizados que priorizan la repetibilidad y la calidad de los datos. Estos enfoques estandarizados pueden replicarse potencialmente en algunos esfuerzos semiestructurados de ciencia comunitaria, como eBird, una iniciativa global de ciencia comunitaria que recopila listas

de especies (o listas de verificación, como eventos de muestreo en la plataforma), estimaciones
1326 de abundancia y metadatos de observaciones de participantes voluntarios (Kelling *et al.* 2019;
Sullivan *et al.* 2014). Si bien los datos de eBird pueden aprovecharse para realizar investiga-
ciones macroecológicas (Acevedo-Charry *et al.* 2025; Johnston *et al.* 2025; Kelling *et al.* 2019), su
1329 implementación en regiones de alta biodiversidad, como los territorios indígenas, puede reforzar
involuntariamente asimetrías de poder y dinámicas neocoloniales, privilegiando las prioridades
y el conocimiento de actores externos sobre los de las comunidades locales (Soares *et al.* 2023).
1332 Los pueblos indígenas y rurales tienen derecho a gobernar el acceso a sus territorios y a tomar
decisiones sobre cómo se recopilan los datos de biodiversidad en ellos (Gavin *et al.* 2015; Gaz-
ing Wolf *et al.* 2024). También deberían poder utilizar estos datos en beneficio de sus propias
1335 estrategias de gestión y gobernanza (Ramírez-Castañeda *et al.* 2022; Reid *et al.* 2024). Los datos
de eBird son proporcionados por observadores voluntarios de aves, quienes principalmente ob-
servan aves de manera recreativa (Ocampo-Peñuela *et al.* 2025; Sullivan *et al.* 2014). Por lo tanto,
1338 el uso de datos de eBird en análisis ecológicos requiere refinamiento para abordar los sesgos y
limitaciones inherentes a los conjuntos de datos de ciencia comunitaria (Boyd *et al.* 2023; John-
ston *et al.* 2021, 2023). Estas mejoras en los datos pueden informar las decisiones de gobernanza
1341 y manejo local de las comunidades indígenas, proporcionando información espacial y temporal
precisa sobre las aves en sus territorios (Acevedo-Charry *et al.* 2025; Johnston *et al.* 2021). A pesar
de las diferencias en epistemologías y metodologías, comparar los calendarios ecológicos indí-
1344 genas con datos de ciencia comunitaria refinados en su calidad, utilizando el marco de la Visión
de Dos Ojos como principio orientador (es decir, aprovechando las *fortalezas* de ambos sistemas
de conocimiento reflejados en estas dos fuentes de datos) podría ofrecer un camino prometedor
1347 hacia un monitoreo de la biodiversidad más inclusivo y fundamentado en el espacio y el tiempo.
Esto es especialmente crítico, dado que el aumento de las visitas turísticas a territorios indígenas
ha llevado a una mayor recolección de datos sobre biodiversidad (Moreno-Salazar *et al.* 2023;
1350 Ocampo-Peñuela *et al.* 2025), lo que plantea preguntas sobre la propiedad y el uso de los datos
(Soares *et al.* 2023).

En este estudio, combinamos el conocimiento indígena y occidental bajo el principio orientador de la Visión de Dos Ojos para cuantificar mejor la variabilidad estacional de los patrones de biodiversidad en la Amazonía colombiana. Nuestro enfoque responde a la necesidad urgente de marcos de monitoreo de la biodiversidad inclusivos que integren prioridades locales con infraestructuras globales de datos, especialmente en un contexto de cambios ambientales y socioeconómicos acelerados. Para alcanzar este objetivo, comparamos los patrones temporales de riqueza de especies de aves, composición y abundancia relativa obtenidos del calendario indígena Pamiwã y de registros de eBird refinados en calidad, ambos recolectados en su territorio. Si los patrones de biodiversidad de estas dos fuentes de datos resultan demasiado similares o demasiado divergentes, la combinación de los sistemas de conocimiento que representan podría resultar limitada. Sin embargo, si emergen similitudes clave junto con diferencias moderadas, existe potencial para la coexistencia de saberes, lo que se traduce en una comprensión más robusta de los patrones fenológicos de la biodiversidad en la Amazonia. Nuestros resultados respaldan esta última posibilidad. Por ello, discutimos estrategias para mejorar la recolección de datos de eBird por parte de avituristas, fomentar su uso en las actualizaciones del calendario ecológico indígena y fortalecer la comprensión de las dinámicas estacionales de la biodiversidad, apoyando al mismo tiempo prácticas de monitoreo más equitativas y orientadas a lo local.

B.2 Declaración de Posicionalidad, Contribución de Autores y Coexistencia de Saberes

Este estudio reúne a investigadores de distintos orígenes y habilidades como coautores. Los autores se identifican como portadores de conocimiento de comunidades indígenas, instituciones de investigación y educación, tanto dentro como fuera de la Amazonía, y académicos occidentales interesados en la ecología de aves, la biología cuantitativa e integrativa y la antropología.

Gloria A. Rivera-Velasco (del pueblo Nasa) lidera una serie de actividades dentro de un programa de educación etno-ornitológica que ha incluido diálogos intergeneracionales entre mayores y aprendices en la principal institución pública de formación técnica y vocacional de Vaupés, el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA, en Mitú, ver 2.2). Ella ha promovido esta forma-

ción tras identificar tendencias preocupantes de falta de apropiación cultural del conocimiento indígena entre la juventud indígena del Vaupés. Los mayores Pamiwã Luis Enrique Llanos Rodríguez, José Luis Ortiz y el fallecido Luis Rodríguez Herrera han transmitido su conocimiento indígena mediante la tradición oral a los aprendices Walter Gabriel (Siorú) Estrada (Siriano), Miguel Ángel Portura (Tukano), Agripino González (Tuyuca), Yenifer Soledad López Peña (Desana), Yorneida González (Pamiwã) y Fabián Rodríguez Álvarez (Pamiwã), entre otros (ver Agradecimientos y Métodos). El liderazgo de Gloria en la consolidación de estos diálogos intergeneracionales ha sido apoyado por los académicos Sebastián Guerrero-Peláez (SENA), Yeison Fabián Hernández Yate (SENA) y Luis Fernando Jaramillo (Instituto Sinchi), entre otros (ver Agradecimientos). Durante el desarrollo del manuscrito, los coautores indígenas enfatizaron repetidamente que el propósito del programa de etnoornitología no es solo la identificación de aves, sino también el fortalecimiento de la identidad indígena, la revalorización del conocimiento indígena entre las nuevas generaciones y la demostración de que la ciencia indígena es igual de válida que la ciencia occidental. Estas perspectivas moldearon nuestra interpretación de la Visión de Dos Ojos y la estructuración de este manuscrito (Figura S4). Gloria, en su posición de liderazgo, contactó al autor principal para emparejar el conocimiento indígena (etno-) con el conocimiento occidental (-ornitología) para *usar ambos ojos juntos* (Bartlett *et al.* 2012; Marshall 2008; Reid *et al.* 2021).

Orlando Acevedo-Charry es un ecólogo que lideró este esfuerzo desde el territorio ancestral de los pueblos Potano (Timucua) y Seminole (Alachua Seminole). Orlando reconoce abiertamente sus experiencias privilegiadas, otorgadas por su género (masculino), raza (latino blanco) y lugar de nacimiento (la capital de Colombia, Bogotá, D.C.; territorio ancestral del pueblo Muisca). A pesar de su ascendencia mixta y su sesgo hacia la formación occidental, Orlando ha recibido conocimientos indígenas de sabedores mayores en varios territorios del Neotrópico, actuando aquí como portador de saberes que ha sido transformado por ese conocimiento. Por lo tanto, asume la responsabilidad de dar espacio a las voces indígenas (y otras minorías) en los ámbitos académicos, con el apoyo de colegas, colaboradores y mentores como Zuania Colón-Piñeiro,

Fernando Cediel, Ana María Garrido Corredor, Scott K. Robinson y Miguel A. Acevedo, entre otros (ver Agradecimientos). Los autores sénior, Scott y Miguel, impartieron conocimientos occidentales en biología de aves y en ecología cuantitativa, respectivamente. Además, Fernando y Orlando sirven como revisores voluntarios de eBird en Colombia. Junto con Scott, son observadores de aves entusiastas que aportan datos a eBird desde diversas regiones del mundo. Esta experiencia (conocimiento occidental en ornitología, ecología cuantitativa y uso crítico de datos de ciencia comunitaria) apoya las expectativas e intereses de los coautores indígenas.

El territorio Pamiwã es una ubicación estratégica con una vasta tradición oral, que incluye relatos en los que las aves son personajes centrales (EtnoOrnitología 2016, 2018; Rivera-Velasco *et al.* 2026; Rivera Velasco & EtnoOrnitología 2022), es decir, especies culturalmente importantes (Hernandez *et al.* 2024; Reyes-García *et al.* 2023). Esta región también ha experimentado un aumento exponencial en las visitas de observadores de aves externos (registros anuales utilizados como aproximación de las visitas; Figura S1). Además, los diálogos intergeneracionales identificaron un aumento reciente en la percepción de calor por parte de los indígenas durante las actividades diarias de mantenimiento de parcelas agrícolas de pequeña escala (*chagras*), así como alteraciones estacionales en los patrones anuales de precipitación, ahora más impredecibles y extremos (de fuertes sequías a lluvias intensas fuera de la temporada tradicional de lluvias). Estos tres componentes (conocimiento indígena basado en la tradición oral, aumento reciente de la influencia occidental a través del aviturismo, y patrones percibidos de cambio climático) impulsan nuestro codiseño de preguntas, identificando tres principales, aunque no exclusivos, portadores de conocimiento: 1) pueblos indígenas (mayores, aprendices y facilitadores), 2) científicos occidentales (sénior, en formación y facilitadores) y 3) avituristas (visitantes cuyo principal interés es la observación recreativa de aves). Consideramos que los científicos occidentales y los avituristas se orientan principalmente por las formas de conocimiento occidentales.

Los diálogos y consensos entre los autores incluyeron más de 10 años de actividades del programa de etno-ornitología en el SENA (lideradas y sintetizadas por Gloria y su equipo en Mitú), visitas del autor principal y los dos autores sénior a Mitú (2022-2023; ver informe de viaje

eBird 2023), y llamadas virtuales abiertas a todos los autores (2023-2026), empleando un grupo de WhatsApp para consultas específicas y coordinación logística. Estas formas de comunicación han sido facilitadas principalmente por Gloria y Walter representando al equipo en Mitú, y por Orlando y Ana María representando al equipo fuera de Mitú (Medellín, Colombia, y Gainesville, EE. UU.), con aportes de los diferentes autores. Por ejemplo, Fernando y Orlando lideraron una reunión con Walter, Gloria, Agripino, Fabián y Miguel (Portura) para definir zonas compartidas de observación de aves (hotspots de eBird) en apoyo al monitoreo a largo plazo de aves en el territorio indígena. De manera similar, Gloria y Walter lideraron la discusión sobre la selección de especies culturalmente importantes, reduciendo la lista para el análisis de 258 (el total de especies incluidas en el calendario indígena) a ocho especies, mientras que Zuania y Orlando lideraron el análisis de patrones de cambio climático a partir del conocimiento compartido por los coautores indígenas a través de Gloria y Walter. Para superar las barreras idiomáticas entre los autores, Orlando ha traducido todas las versiones del manuscrito, incluidas las respuestas a los revisores, del inglés al español (este documento e Información Suplementaria C), mientras que Gloria y Walter han compartido con el equipo en Mitú las respuestas y perspectivas de estos documentos traducidos. Estas perspectivas y respuestas han sido retraducidas del español al inglés por Orlando, con la ayuda y validación de Gloria y Walter, para elaborar la versión final del manuscrito. Específicamente, Orlando Acevedo-Charry realizó búsquedas bibliográficas y lideró el análisis y la redacción, con el apoyo y la retroalimentación de Gloria Rivera, Walter Estrada, Agripino González, Yenifer López, Sebastián Guerrero, Yorneida González, Fabián Rodríguez, Yeison Hernández, Ana Garrido, Zuania Colón-Piñeiro, Fernando Cediell, Scott Robinson y Miguel Acevedo. Gloria Rivera, Walter Estrada, Luis Llanos, Agripino González, Yenifer López, Sebastián Guerrero, Yorneida González, Fabián Rodríguez, Yeison Hernández, Fernando Jaramillo y Miguel Portura realizaron un trabajo de campo etnográfico. Todos los autores contribuyeron de manera crítica al manuscrito y aprobaron la versión final para su publicación.

En esta investigación, mapeamos los términos de diversidad de aves desde la perspectiva indígena o científica occidental, respectivamente, de la siguiente manera: "la cantidad de aves

diferentes, con distintos cantos, colores y comportamientos" como "riqueza de especies"; "cuáles de esas aves diferentes están presentes" como "composición de especies"; y "la cantidad de cada ave diferente, desde pocos individuos dispersos hasta grandes grupos" como "abundancia relativa". Los datos del conocimiento indígena fueron sintetizados en el calendario ecológico y los relatos de aves por las comunidades indígenas en Mitú (EtnoOrnitología 2016, 2018), mientras que los datos para las métricas científicas occidentales se obtuvieron mediante evaluación sistemática y analítica de los datos de eBird (Johnston *et al.* 2021; Kelling *et al.* 2019; Sullivan *et al.* 2014). En este contexto, codiseñamos las siguientes preguntas: ¿Cómo reflejan los patrones de estacionalidad de la diversidad de aves (riqueza, composición y abundancia relativa) en estos dos conjuntos de datos similitudes o diferencias entre los sistemas de conocimiento? ¿Cómo puede el conjunto de datos occidentales de eBird alinearse con el conocimiento indígena en la Amazonia? ¿Los cambios en la estacionalidad climática identificados por los pueblos indígenas se reflejan en las herramientas de conocimiento occidental?

Nuestra hipótesis fue que la riqueza de especies sería mayor en eBird que en el calendario ecológico indígena, debido al enraizamiento occidental de esta plataforma de ciencia comunitaria (es decir, especies taxonómicas similares según el conocimiento occidental pueden ser agrupadas en una sola especie según el conocimiento indígena), así como a la naturaleza competitiva de los participantes (que buscan más especies y más raras). Estas discrepancias reflejarán diferencias en los patrones de ocurrencia de las especies entre ambos conjuntos de datos (composición). No obstante, predecimos que el patrón anual de riqueza de especies será similar en ambas fuentes de datos, lo que refleja similitudes entre ambos sistemas de conocimiento. También supusimos que la variación estacional en la abundancia relativa en el calendario ecológico se reflejaría en variaciones correspondientes en los datos de eBird para especies culturalmente importantes que sirven como indicadores de tres temas: uso de recursos, inicio de estaciones climáticas y migraciones estacionales. Además, esperábamos que las herramientas de conocimiento occidental identificaran cambios climáticos similares a los reconocidos en el conocimiento indígena (temperaturas más altas y lluvias más variables). Esperamos que la aplicación del marco conceptual de

la Visión de Dos Ojos como principio orientador beneficie las formas de vida indígenas combinando herramientas occidentales (datos de ciencia comunitaria, enfoques analíticos) con el saber indígena. La inevitable influencia occidental sobre la juventud indígena de la Amazonía la está desconectando del conocimiento de los mayores. Por ello, consideramos la Visión de Dos Ojos como un principio aplicable para resaltar el conocimiento indígena y otorgar agencia legítima a los pueblos indígenas ante dinámicas externas (como el desarrollo económico occidental mediante el aviturismo y el cambio global). La experiencia personal de los coautores indígenas ha validado esta expectativa.

B.3 Métodos

B.3.1 Sitio de Estudio: Territorio del Pueblo Pamiwã en la Amazonía colombiana

Comparamos los patrones de diversidad de aves a partir de un calendario ecológico indígena y de registros de ciencia comunitaria en la región multiétnica del Vaupés, en la Amazonía colombiana (Figura S5). Nuestro estudio se centra en el pueblo Pamiwã (Cubeo, familia lingüística Tukano), cuyo territorio abarca el área entre los ríos Querarí y Vaupés, a lo largo del río Cuduyarí, en la cuenca alta del río Negro (indicado en rojo en la Figura S5). Esta región se encuentra dentro del cinturón arenoso oriental de Colombia, caracterizado por ecosistemas de arena blanca pobres en nutrientes, bosques inundables de *igapó* y bosques de *terra firme* sobre suelos arcillosos (Olivares 1955; Olivares & Hernández Camacho 1962). Biogeográficamente, comparte afinidades con la Amazonía Guayanesa y es parte del área de endemismo de aves de Imeri (Braga *et al.* 2022; Silva *et al.* 2005). Las comunidades locales dependen de la agricultura itinerante, la pesca, la caza y la recolección de productos forestales no maderables para su subsistencia. En este contexto, una institución pública del Ministerio de Trabajo de Colombia, el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), ofrece la principal oportunidad de formación técnica y vocacional. Durante más de una década, el SENA ha desarrollado un programa especializado en identificación de aves e

investigación etnográfica, liderado por su grupo de investigación en Etno-Ornitología en Mitú, la capital del departamento (ver sección B.3.2).

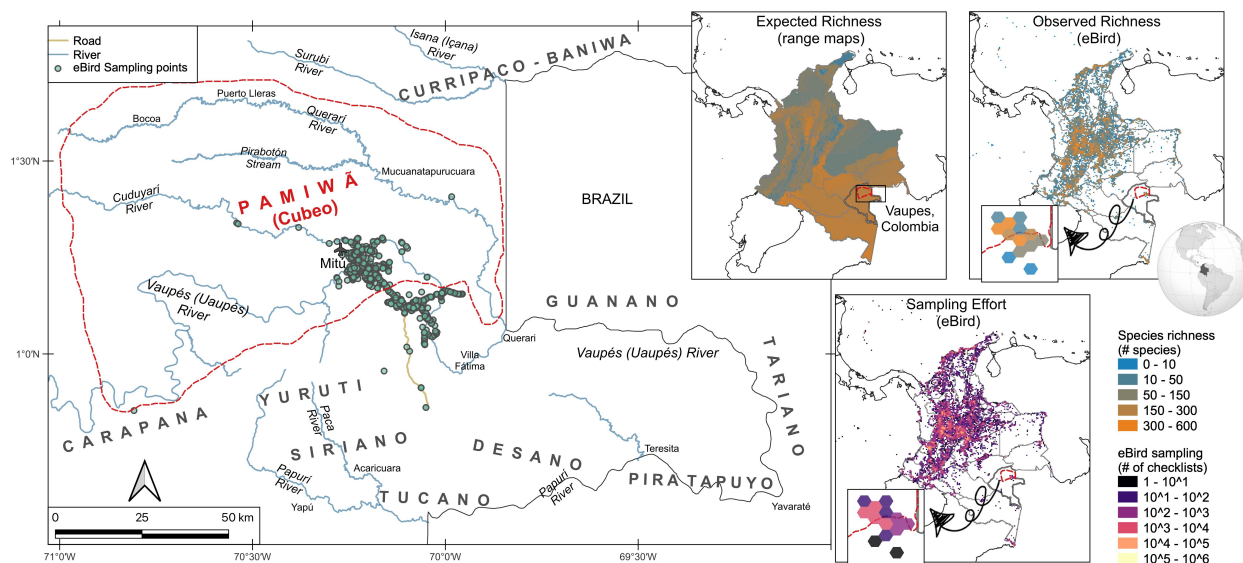


Figure S5: Ubicación del territorio del pueblo Pamiwã (línea roja discontinua) en la Amazonia colombiana. El mapa del territorio se basa en el Plan de Vida Integral de la Unión Indígena Cubeo (PIVI-UIC). El mapa muestra otras comunidades de interés como referencias, entre ellas varios territorios indígenas, lo que resalta la población multiétnica de la región. Los eventos de muestreo de la plataforma de ciencia comunitaria eBird ($n = 4468$) se concentran alrededor de la ciudad de Mitú y se extienden a lo largo de una carretera central, senderos, ríos y quebradas, entre 1997 y 2025, y fueron realizados principalmente por visitantes externos (avituristas). Los mapas insertos proporcionan contexto sobre la riqueza esperada de aves a partir de mapas de distribución (usando Suárez-Castro *et al.* 2024), así como sobre la riqueza observada y el esfuerzo de muestreo de eBird, a una resolución de malla hexagonal de 100 km^2 de área (10 km de distancia entre los centros de las celdas). Esto resalta el sesgo en la disponibilidad de datos en relación con la diversidad esperada de la región (400–600 especies).

La estrategia colombiana de conservación de aves (ENCA) ha identificado la región del Vaupés como un área clave para el desarrollo sociocultural y económico basado en la naturaleza (Moreno-Salazar *et al.* 2023). Mitú se ha convertido en un punto focal de registros en eBird en la Amazonía colombiana (Figuras S5 y S1; Suárez-Castro *et al.* 2024), una tendencia impul-

sada por el auge del aviturismo (Echeverri *et al.* 2022; Ocampo-Peñuela *et al.* 2025; Schwoerer & Dawson 2022). Si bien este crecimiento apoya las economías nacionales y locales (Schwoerer & Dawson 2022), también introduce tecnologías y perspectivas externas que pueden poner en riesgo el patrimonio biocultural (Gordillo Jordan *et al.* 2008; Stronza *et al.* 2019). Por ejemplo, la estandarización de los nombres de las aves puede erodar significados culturalmente arraigados, especialmente cuando se omiten nombres regionales o indígenas (Sicard-Ayala *et al.* 2019). En América Latina, muchos observadores y ornitólogos prefieren los nombres científicos para evitar confusiones, mientras que los observadores del Norte Global suelen preferir los nombres comunes estandarizados en inglés. A pesar de estas diferencias, la resolución temporal y espacial de los registros de eBird aportados por participantes voluntarios ayuda a cubrir vacíos críticos en el monitoreo de la biodiversidad (Acevedo-Charry *et al.* 2025; Backstrom *et al.* 2024). Combinados con enfoques analíticos, estos datos representan la fortaleza del conocimiento occidental (Figura S4). Sin embargo, los impactos sociales y ecológicos del ecoturismo aún se monitorean de manera limitada y se definen de forma inconsistente (Stronza *et al.* 2019). Por ello, aprovechamos una capacitación continua en etno-ornitología del SENA en Mitú, que incluye diálogos intergeneracionales de conocimiento para sustentar la construcción del calendario ecológico Pamiwã y mostrar la fortaleza del conocimiento indígena (Figura S4). Esta convergencia entre la notable relación del pueblo Pamiwã con las aves y la creciente presencia del aviturismo ofrece una oportunidad única para alinear la investigación liderada por la comunidad con iniciativas globales de monitoreo de la biodiversidad, salvaguardando, al mismo tiempo, la integridad cultural.

B.3.2 El Calendario Ecológico Indígena Pamiwã

Para comparar patrones de diversidad de aves entre el conocimiento ecológico indígena y el conocimiento occidental derivado de eBird, utilizamos datos consolidados por el grupo de investigación en Etno-Ornitología del SENA, que desarrolló el calendario ecológico indígena del pueblo Pamiwã (Rivera-Velasco *et al.* 2026). Este calendario representa patrones fenológicos asociados a la estacionalidad climática anual y documenta la presencia mensual de especies de aves

1542 identificadas por comunidades locales alrededor de Mitú. Además, el calendario ecológico incor-
pora tradiciones orales, incluidos relatos con aves como personajes centrales y nombres indígenas
de las aves (EtnoOrnitología 2016, 2018; Rivera Velasco & EtnoOrnitología 2022). Aquí indicamos
1545 la lingüística indígena en cursiva y subrayado, con tachado para la pronunciación glotal y una
tilde para la nasal. Para alinearnos con la cosmovisión etnográfica de muchos pueblos amazóni-
cos (Correa R. 1981; Jiménez *et al.* 2023), presentamos una cronología distinta al calendario anual
1548 occidental. El calendario inicia con la ola de frío durante el invierno austral, entre junio y julio,
conocida como 'friaje' (Holzmann *et al.* 2025; Jiménez *et al.* 2023) o Arú. Este evento climático es
definido por el pueblo Pamiwã como el tiempo de floración del árbol de la guama (*Inga edulis*).
1551 Tras este evento, la primera estación es Pamurimi, la transición de lluvias a sequía, que se extiende
de mediados de agosto a finales de noviembre. La segunda es Hirimi, la estación seca, que va de
diciembre a mediados de marzo. La tercera, Okorimi, es la estación lluviosa entre mediados de
1554 marzo y mediados de agosto, con un pico de lluvias de mayo a julio, y termina en el siguiente
año con Arú (Rivera-Velasco *et al.* 2026).

El calendario fue desarrollado mediante un proceso participativo liderado por Gloria Rivera,
1557 con el apoyo de académicos en Mitú y la participación activa de mayores y aprendices indígenas
(ver B.2-Posicionalidad; Rivera-Velasco *et al.* 2026). En primer lugar, visitaron 17 comunidades
indígenas en la zona rural de Mitú, documentando el comportamiento de las aves y el uso de
1560 los recursos. Estos eventos de registro han ocurrido al menos una vez por semana cada mes
desde 2016 hasta la fecha. Sin embargo, el muestreo no registró el esfuerzo ni siguió métodos
estandarizados, como los conteos por puntos o los transectos lineales. Además, la detección
1563 imperfecta de aves durante la formación de los estudiantes en identificación de aves constituye
un muestreo incompleto (es decir, no se reportan todas las aves), lo que implica que no incluir
una especie en el muestreo no implica necesariamente una ausencia en el sentido de las cien-
1566 cias ecológicas occidentales (ausencia asumida). En segundo lugar, los estudiantes participaron
en actividades de mapeo y diálogos de saberes con los mayores para discutir las listas de es-
pecies y profundizar su comprensión ecológica de estas aves a través de las tradiciones orales

del conocimiento indígena (Figura S4). Estos diálogos intergeneracionales se llevaron a cabo con menor frecuencia que los eventos de registro (típicamente una o dos veces al año), debido a limitaciones de financiamiento y logística. Ambas actividades siguieron métodos institucionales para establecer la formación de contexto cultural dentro del SENA (Van der Hammen *et al.* 2012). Las identidades de las especies según la clasificación occidental fueron confirmadas durante estas dos actividades utilizando la guía ilustrada de aves de Colombia (Ayerbe Quiñones 2022). Las especies identificadas se incluyeron en el calendario con resolución mensual, resaltando las tradiciones orales y las cosmovisiones comunitarias (EtnoOrnitología 2016, 2018; Rivera Velasco & EtnoOrnitología 2022). Este esfuerzo participativo no solo permitió el seguimiento de los patrones fenológicos de las aves desde perspectivas indígenas, sino que también empoderó a los egresados capacitados para guiar el turismo de observación de aves en la región, contribuyendo al inventario regional de avifauna (Carrillo Chica *et al.* 2018) y a la economía local. Este calendario proporciona datos para nuestro análisis comparativo con eBird y ofrece una oportunidad única de emparejar sistemas de conocimiento indígena y occidental a través de estos conjuntos de datos.

B.3.3 Registros de Aves de una Plataforma de Ciencia Comunitaria

Descargamos datos de eBird del departamento de Vaupés desde octubre de 1997 (primer registro) hasta abril de 2025 (portal de datos de eBird). Tras cuatro días de registros en octubre de 1997, la base de datos de eBird muestra un vacío hasta abril de 2009, seguido de un aumento exponencial de los envíos anuales (Figura S1). La prevalencia de listas históricas e incidentales, en gran parte inadecuadas para análisis ecológicos (ver abajo y Johnston *et al.* 2021), fue mayor entre 2009 y 2018. Los datos más confiables se concentran entre marzo de 2011 y abril de 2025, lo que coincide con los datos del calendario indígena recolectados entre 2016 y 2025 (ver B.3.2).

El conjunto de datos de eBird incluye envíos de avituristas que visitan el territorio indígena, a menudo acompañados por investigadores locales que pueden o no tener cuentas en eBird. Filtramos espacialmente los registros dentro del rango de latitud 0.85°N–1.7°N y longi-

tud 71.0°W–69.84°W, que representa el territorio Pamiwã y áreas circundantes (Figura S5). Cada
1596 lista de eBird incluye metadatos como el tipo de protocolo o pajareo, la duración del muestreo,
la distancia recorrida, la fecha, la hora y el tamaño del grupo de observadores, similares a los
programas de monitoreo occidental estandarizados, aunque semiestructurados para fomentar
1599 la amplia participación (Kelling *et al.* 2019). Las listas se categorizan como “completas” o “in-
completas”, según si los observadores reportaron todas las especies detectadas o solo grupos
taxonómicos específicos. Para limpiar y estandarizar el conjunto de datos, marcamos las obser-
1602 vaciones sin estimaciones de abundancia (por ejemplo, conteo = X) como “NA”, asignamos a las
listas estacionarias una distancia de 0 km, y extraímos variables temporales (año, mes, semana,
día del año) de cada registro (Johnston *et al.* 2021; Strimas-Mackey *et al.* 2023). Para estimar la
1605 abundancia relativa de cada especie, calculamos el número total de individuos por evento de
muestreo (lista). Nuestra evaluación crítica de eBird reveló sesgos en los datos e identificó oportu-
nidades para mejorar el monitoreo de la biodiversidad relevante a escala local (ver Discusión).

1608 Clasificamos cada lista de eBird en cinco categorías, basadas en los metadatos y en la resolu-
ción de muestreo (Tabla S1). La categoría “Ultrafina” aplicó los filtros más restrictivos, orientados
a muestreos de alta calidad y homogéneos que emulan un muestreo estandarizado (Callaghan
1611 *et al.* 2023). La categoría “Fina” fue ligeramente menos restrictiva, pero alineada con las mejores
prácticas para mejorar la resolución espacial y temporal en el paisaje heterogéneo del territo-
rio Pamiwã. La categoría “Gruesa” siguió las recomendaciones generales de filtrado de esfuerzo
1614 (Johnston *et al.* 2021), incluyendo eventos de muestreo con mayor cobertura espacial (por ejemplo,
hasta 5 km) que pueden abarcar varios hábitats. Esto es importante dado que muchas parcelas
agrícolas itinerantes indígenas (chagras) y ecosistemas de arena blanca en la región tienen menos
1617 de 5 km de diámetro. Algunas listas completas no pudieron asignarse a estas categorías y se
agruparon como “Por mejorar”, resaltando oportunidades para fortalecer capacidades y guiar a
los visitantes para mejorar la utilidad de los datos. Las listas incompletas se clasificaron como
1620 “No aplicable”, una exclusión estándar en el refinamiento de los datos de eBird (Johnston *et al.*
2021).

Table S1: Categorías de observaciones de eBird utilizadas en este estudio con base en filtros de metadatos y resolución de muestreo convencionales en el refinamiento de datos de eBird para inferencia ecológica (Johnston *et al.* 2021)

Categoría	Protocolo	Duración (minutos)	Distancia (km)	Número de observadores	Filtro de abundancia
Ultrafina	Estacionario	20-30	0	1	≤ 15 individuos totales por lista
Fina	Estacionario o viajero	10-60	0-1	1-10	NAs removidos
Gruesa	Estacionario o viajero	10-300	0-5	1-10	NAs removidos
Por mejorar	Cualquier otro	1-9, 300- 1440	>5	>10	NAs incluidos
No aplicable (Incompleta)	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	NAs incluidos

El análisis de los datos de eBird requiere un refinamiento basado en los metadatos (Johnston *et al.* 2021, 2023), lo que brinda la oportunidad de discutir estrategias de coexistencia entre los conocimientos indígenas y occidentales. Además, para fomentar resultados agregados útiles para la gestión comunitaria local y el manejo de sus territorios, revisamos los sitios de observación compartidos en la plataforma ("eBird hotspots"). Los análisis posteriores se centraron en datos de las categorías Ultrafina, Fina y Gruesa, y abarcaron registros de marzo de 2011 a abril de 2025.

B.3.4 Comparación de la Riqueza y Composición Estacional de Especies entre Datos Indígenas y Occidentales

Comparamos la variación estacional en la riqueza de especies, inferida a partir del calendario ecológico Pamiwã y de los datos de eBird. Asignamos cada evento de muestreo de eBird a las

1632 estaciones reconocidas en el calendario ecológico Pamiwã (transición – *Pamurĩmĩ*, seca – *Hĩrĩmĩ*,
y lluviosa – *Okorĩmĩ*), según los meses correspondientes. Estas dos fuentes de datos operan a
diferentes escalas espaciotemporales y con estructuras de muestreo distintas (ver B.3.2 y B.3.3).
1635 Para compararlas, utilizamos la riqueza absoluta mensual de especies del calendario indígena y
la riqueza media mensual de especies de los datos de eBird. Para comparar patrones temporales
en la composición de especies, nos enfocamos en las especies incluidas en el calendario ecológico
1638 Pamiwã y analizamos su presencia anual en los datos de eBird. Aunque el calendario indígena
proporciona lo que parecen ser datos de presencia, sin resolución espacial, diaria o multianual,
tratamos la frecuencia estacional como una aproximación de la abundancia relativa percibida
1641 en los datos provenientes del conocimiento indígena. Los datos refinados (o filtrados) de eBird
proporcionan un resumen de presencia mensual similar, que comparamos con el calendario in-
dígena.

1644 **B.3.5 Variación Estacional de la Abundancia Relativa para Especies de Importancia Cultural**

Analizamos datos de especies de aves de importancia cultural para el pueblo Pamiwã. Asumimos
una mayor abundancia relativa de cada especie, lo que corresponde a una mayor proporción de
1647 meses con presencia reportada en cada estación del calendario ecológico indígena. El pueblo
Pamiwã mantiene relaciones sólidas con muchas aves (EtnoOrnitología 2016, 2018; Rivera Velasco
& EtnoOrnitología 2022). Tras extensas discusiones entre los coautores, fundamentadas en el
1650 conocimiento indígena, nos centramos en ocho especies que señalan transiciones en el calendario
ecológico indígena. Estas especies seleccionadas se organizaron en tres temas que delimitan hitos
agrícolas importantes y transiciones ecológicas.

1653 El primer tema se refiere a la maduración del fruto de la *pupuña* (*Bactris gasipaes*: Arecaceae,
chontaduro) para el consumo comunitario. Este proceso incluye un aumento en la actividad
de canto de *ĩr ejui* (*Thraupis episcopus*, azulejo, y *Thraupis palmarum*, tangara palmera) al inicio
1656 de la fructificación de la palma. Posteriormente, *pinikabo* (*Cissopis leverianus*, moriche) o *pinikaco*
(*Ramphocelus carbo*, tangara pico de plata o come-queso) consumen activamente el fruto cuando

está completamente maduro (EtnoOrnitología 2018). Las cosechas anuales de *pupuña* se realizan en septiembre-octubre y en febrero-marzo en esta parte de la Amazonía.

El segundo tema marca el inicio de las estaciones climáticas, indicado por aumentos percibidos en la abundancia relativa y actividad vocal de dos especies. Primero, *piabecó* (*Monasa morphoeus*, monja frentiblanca) señala el inicio de la estación seca (*Hirimi*), guiando las prácticas agrícolas de roza y quema de la comunidad (*chagras*) en diciembre (EtnoOrnitología 2016). Por otro lado, *vecoro ñuiko* (*Crotophaga major*, garrapatero grande) señala el inicio de la estación lluviosa (*Okorimi*) con las primeras lluvias en marzo (EtnoOrnitología 2018). Estas transiciones estacionales están integradas en tradiciones orales: las vocalizaciones de *piabecó* se asocian con un humor sarcástico durante los días soleados (EtnoOrnitología 2016), mientras que de *vecoro ñuiko* se dice que fue castigado por Kubay, una figura antropomórfica similar al Padre Sol en la cosmología Tukano-Desana (Reichel-Dolmatoff 1976), obligándolo a permanecer oculto en el cielo la mayor parte del año y reaparecer solo con las lluvias y la subida de los cardúmenes de peces (EtnoOrnitología 2018).

El tema final se relaciona con las migraciones estacionales. Un relato Pamiwã cuenta que cada año muchas aves vuelan al inicio de la estación lluviosa (*Okorimi*, marzo) para reparar y mantener la *Maloka* ancestral de una abuela, regresando en octubre-noviembre (*Pamurimi*; EtnoOrnitología 2018). Estas aves viajan en grandes bandadas, moviéndose en una sola dirección de manera ordenada. Al regresar, su plumaje es menos vibrante, pues ha usado sus plumas más frescas para restaurar la *Maloka* de la abuela y protegerla de las lluvias. La figura central de este relato es *kava yai* (*Mycteria americana*, gaban huesito o cigüeña cabeza de hueso). Sin embargo, nuestro equipo colaborativo también reconoció rasgos migratorios similares en *kuito a u yarabe* (*Tyrannus savana*, tijereta sabanera).

Para evaluar la hipótesis de que la variación estacional de la abundancia relativa en el calendario se reflejaría en variaciones correspondientes en los datos de eBird de estas especies de importancia cultural, definimos la abundancia relativa en eBird como la proporción de individuos de cada especie respecto al total de individuos registrados en cada lista. Valores cercanos a

uno indican mayor abundancia relativa, mientras que valores próximos a cero sugieren menor
1686 abundancia relativa en comparación con otras especies en el mismo evento de muestreo.

B.4 Cambios en la estacionalidad climática en la Amazonia

Para evaluar cómo la perspectiva indígena sobre los cambios recientes en la estacionalidad
1689 climática se refleja en las herramientas de conocimiento occidental y cómo podría afectar la
variación interanual de la fenología de las aves, analizamos los ciclos estacionales históricos
basados en datos satelitales dentro del mismo polígono utilizado para descargar los registros
1692 de eBird (rango de latitud 0.85°N–1.7°N y de longitud 71.0°O–69.84°O; Figura S5). Utilizamos
datos de la herramienta de la NASA Geospatial Interactive Online Visualization and Analysis
Infrastructure (Giovanni), extrayendo las series de tiempo de valores promediados por área de
1695 la temperatura del aire a 2 metros (mínima, máxima y media) y la precipitación total superfi-
cial corregida por sesgo, a una resolución temporal mensual (Global Modeling and Assimila-
tion Office (GMAO) 2015). Dado que el conocimiento indígena representa una línea base de la
1698 estacionalidad climática, desviaciones recientes en las herramientas de conocimiento occidental,
como Giovanni, podrían indicar cambios climáticos respecto a esa línea base; ambos sistemas
de conocimiento coincidirán en estos cambios. Por lo tanto, utilizamos regresión armónica para
1701 modelar la estacionalidad anual promedio a largo plazo. Usamos los primeros 15 años (1980-
1995) de la serie temporal satelital como datos de entrenamiento para pronosticar la dinámica
desde 1995 hasta 2026 (el último mes del conjunto de datos: mayo de 2026). Presentamos el ajuste
1704 mensual promedio del conjunto de datos de entrenamiento a través del lente del conocimiento
indígena representado por el calendario ecológico. Además, la regresión armónica nos permitió
comparar la medición mensual con los valores ajustados (de entrenamiento y de pronóstico),
1707 donde los residuos positivos indican valores superiores a los esperados y los residuos negativos,
lo contrario. Esperábamos un aumento de los residuos positivos (valores superiores a los esper-
ados) en las tres variables de temperatura, mientras que se esperaban rangos de residuos más
1710 amplios para la precipitación (mayor variabilidad en las últimas décadas).

B.5 Disponibilidad de datos y código

Todos los datos generados durante el desarrollo de este estudio están disponibles en Zenodo (Acevedo-Charry *et al.* 2026). Los datos de eBird están disponibles de forma gratuita (previa solicitud) en el sitio web del portal de datos de eBird. Todos los análisis se realizaron en el software R versión 4.3.3 (Acevedo-Charry *et al.* 2026; R Development Core Team 2026).

B.6 Resultados

B.6.1 Riqueza y Composición Mensual de Especies en el Calendario Indígena y los Datos de eBird

Encontramos similitudes clave, pero también diferencias sutiles entre la riqueza de especies cuantificada a partir de los conjuntos de datos derivados del conocimiento indígena y del occidental (Figura S6). En cuanto a similitudes, la estación seca (Hirimi; diciembre-febrero) presentó la mayor riqueza de especies (Figura S6). Esta estación también fue la que presentó el mayor esfuerzo de muestreo acumulado en eBird (Figura S2). Sin embargo, los datos de eBird, resumidos a una resolución temporal mensual, revelaron una riqueza de especies superior a la registrada en el calendario ecológico indígena (Figura S6). Por lo tanto, a pesar de las similitudes en los patrones estacionales, nuestros análisis también revelan diferencias sutiles en la riqueza de especies, lo que sugiere oportunidades para complementar ambos sistemas de conocimiento mediante la aplicación del principio orientador de la Visión de Dos Ojos.

El pueblo Pamiwã informó sobre la presencia de 258 especies de aves en su territorio a lo largo de las estaciones de su calendario ecológico indígena (Figuras 4 y S7). Esto contrasta con las 587 especies registradas en eBird (listas clasificadas como Ultrafinas, Finas y Gruesas). Sólo cinco especies del calendario indígena no fueron recuperadas del conjunto de datos filtrado de eBird: koró (*Eudocimus albus*), taitiru kirabu juaki (*Mitu tomentosum*), kava yai (*Mycteria americana*), ōroko umedi (*Trogon collaris*), y bede cuchara (*Zebrilus undulatus*). Sin embargo, surgieron discrepancias notables en la presencia mensual de especies entre ambos conjuntos de datos, particularmente

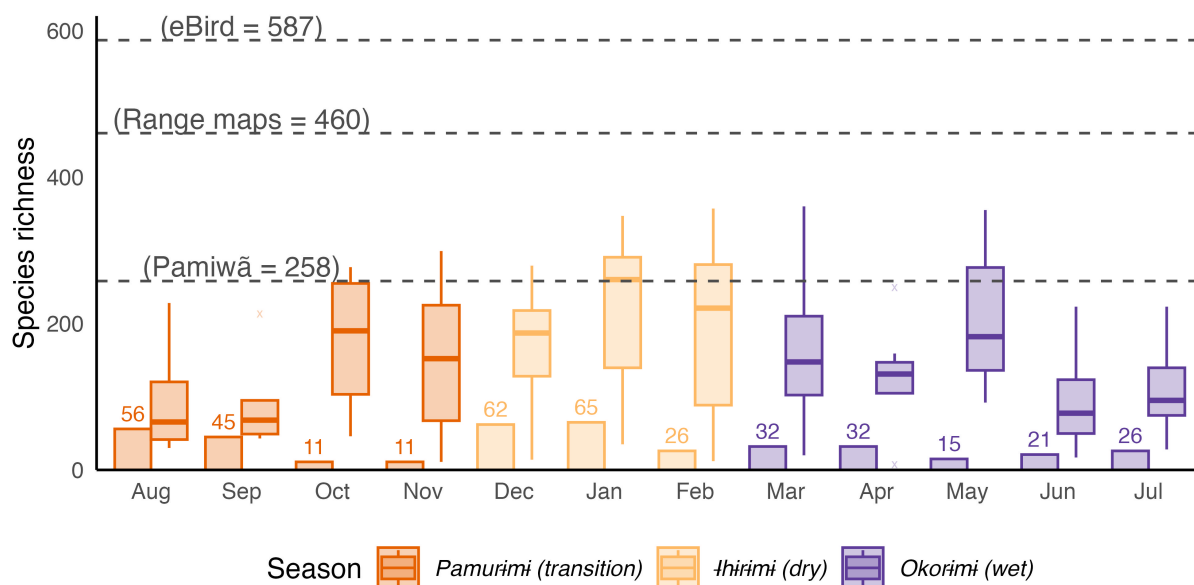


Figure S6: Riqueza de especies del calendario indígena y de eBird a lo largo de tres estaciones climáticas. Diagrama de cajas de la riqueza mensual de especies de eBird, mostrando el rango intercuartílico (IQR), la mediana y los bigotes hasta $\pm 1.5 \times \text{IQR}$ (de 5 a 12 años, con datos mensuales). Las barras de color indican la riqueza según el conocimiento ecológico indígena (con el número correspondiente de especies en cada barra). Las líneas punteadas indican la riqueza regional esperada: eBird refinado en calidad, mapas de rango de aves terrestres residentes según Suárez-Castro *et al.* (2024) y el número total de especies en el calendario ecológico del pueblo Pamiwã.

al final de la transición de la estación húmeda a la seca (octubre-noviembre), durante la estación
 1737 seca (febrero) y a mediados de la estación húmeda (mayo). Estos patrones revelan diferencias
 en la estacionalidad relativa de la presencia de especies específicas. Por ejemplo, cinco especies
 fueron reportadas con mayor frecuencia durante la temporada húmeda (*Okorimi*) en el calen-
 1740 dario indígena: *ōrokō* – *Trogon viridis* (trogón lomi verde); *harabi koreovaimu ñemini kodeiboaki* –
Bucco macrodactylus (bobito cabecirrojo); *mi takaka ñemiki* – *Neoctantes niger* (batará arbustero);
kuito aũ yarabe – *T. savana*; y *veami mihikiñemini kavekiaki* – *Sporophila angolensis* (semillero curió).
 1743 Una especie, *ōpōkiba* / *ōpō kiyiri* / *ōpokiyiri* – *Brotogeris cyanoptera* (periquito aliazul), fue repor-
 tada con mayor frecuencia durante la estación seca (*Ihirimi*). En contraste, los datos de eBird
 mostraron una variación estacional menos marcada en la presencia de estas especies, con algu-

nas apareciendo de forma consistente en todos los meses (*T. viridis*, *B. cyanoptera* y *S. angolensis*), y otras registradas con mayor frecuencia en estaciones secas (*B. macrodactylus*), secas y húmedas (*N. niger*), o secas y de transición húmeda-seca (*T. savana*). Si bien los patrones estacionales de presencia divergen entre ambas fuentes de datos, estas diferencias pueden resaltar el valor de integrar los sistemas de conocimiento indígenas y occidentales. Por ejemplo, las aves no necesariamente abandonan el territorio indígena. Aun así, su interacción observada con el pueblo Pamiwã parece variar a lo largo del año, lo que potencialmente se refleja en otras métricas de biodiversidad, como la abundancia relativa en eBird.

B.6.2 Variación Estacional en la Abundancia Relativa de Especies Culturalmente Importantes

Encontramos similitudes entre la abundancia relativa de aves estimada a partir de eBird y el calendario indígena de ocho especies culturalmente importantes (Figura S8). Para las especies asociadas con la preparación de la fruta *pupuña* para el consumo comunitario, el conocimiento ecológico indígena identificó una mayor abundancia relativa en agosto, octubre, diciembre, marzo y julio para *irẽjui*, el nombre Pamiwã que se refiere a *T. episcopus* y *T. palmarum*. Los datos de eBird mostraron aumentos en la abundancia relativa de *T. episcopus* que coinciden en agosto, diciembre y marzo de algunos años, aunque el patrón fue menos evidente para *T. palmarum*. En particular, el pico de abundancia esperado en marzo para *T. episcopus* pareció extenderse un mes antes y después de la predicción del calendario Pamiwã, mientras que para *T. palmarum*, se retrasó aproximadamente dos meses. El calendario Pamiwã también indicó una mayor abundancia en septiembre-octubre y marzo para *pinikabo* (*C. leverianus*), lo cual se reflejó en los datos de eBird, con aumentos en octubre y marzo en algunos años. El pueblo Pamiwã también mencionó *pinikaco* (*R. carbo*) como una especie con un nombre similar, que consume *pupuña* cuando la fruta está completamente madura y lista para la cosecha. Según el calendario Pamiwã, esta tangara mostró una mayor abundancia relativa en agosto, octubre, diciembre y marzo, lo que se alinea con un aumento general en la abundancia de octubre a abril en los datos de eBird, alcanzando su punto máximo en diciembre.

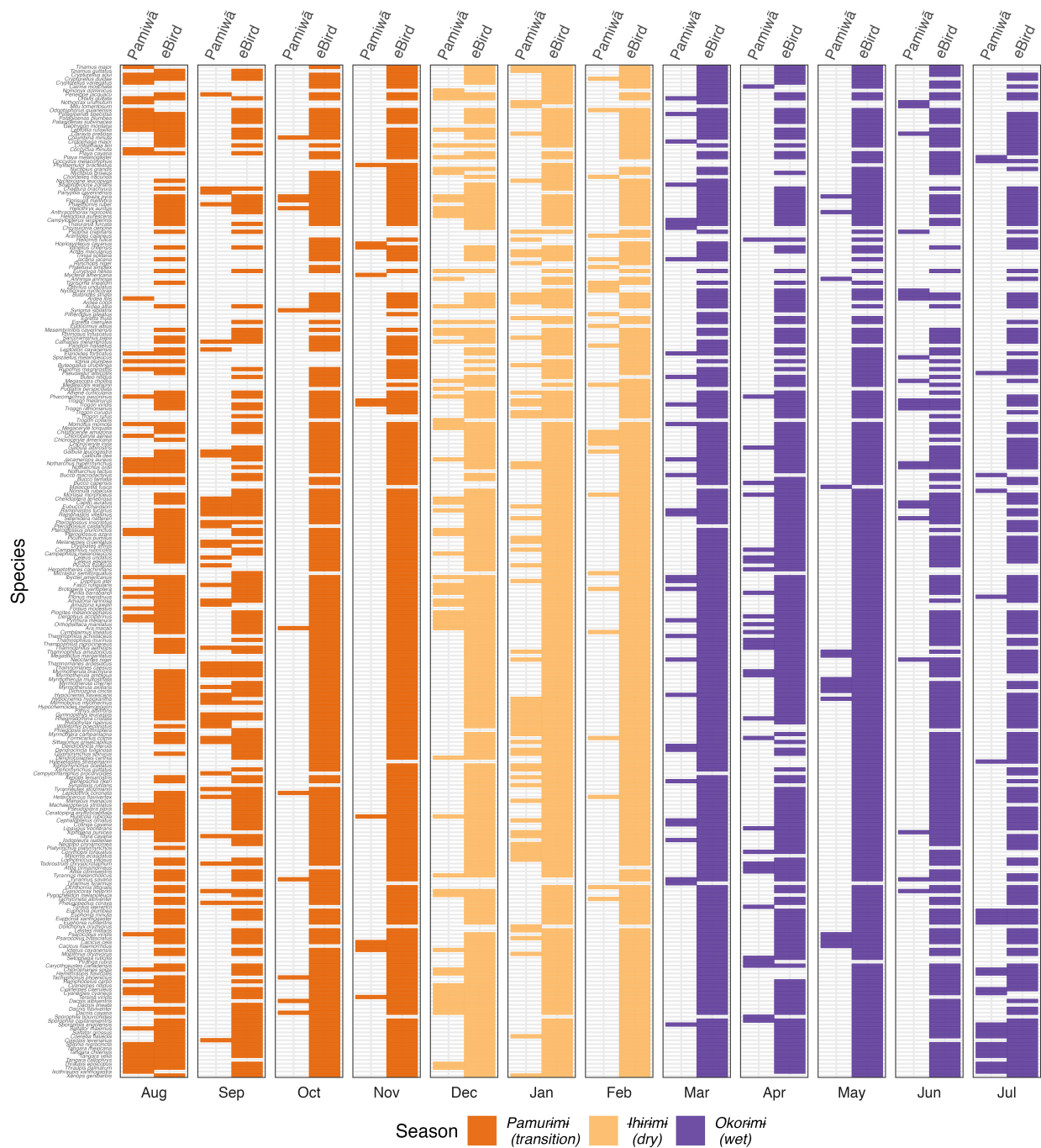


Figure S7: Mapa de calor que muestra la presencia de 258 especies de aves del calendario ecológico indígena del pueblo Pamiwā, en la Amazonía colombiana, y los datos de eBird de la misma región, luego de aplicar un refinamiento de datos mediante el filtrado de metadatos (ver la Figura 4 en el texto principal para un subconjunto del 10% de las especies). Cada fila representa una especie, mientras que las columnas representan los meses del año, categorizados en las tres estaciones (colores) y separados por conjunto de datos.

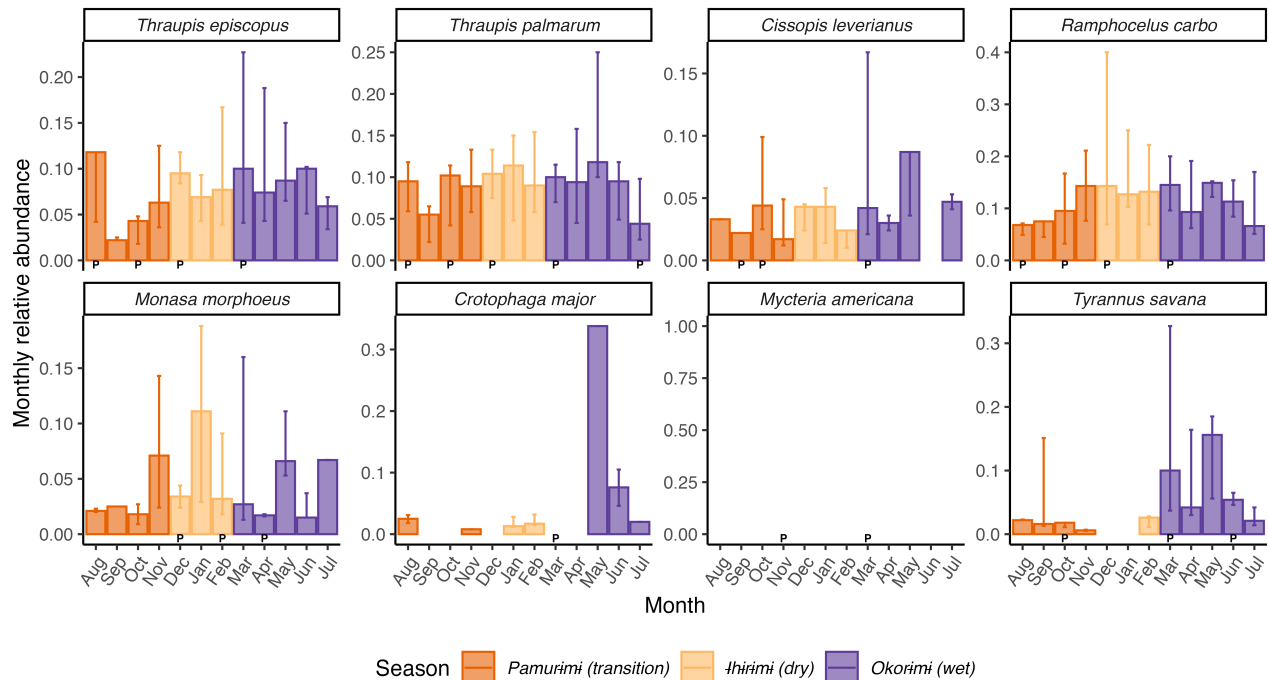


Figure S8: La abundancia relativa máxima mensual estimada a partir de eBird (barras con líneas de error que indican un rango de 25-75 %) coincidió parcialmente con la abundancia estacional reconocida en el calendario ecológico Pamiwã (letra "P" arriba de los meses) para ocho especies culturalmente importantes. Estas incluyen cuatro frugívoros que señalan la preparación de la palma *pupuña* (arriba) para el consumo comunitario, especies que marcan el inicio de las estaciones secas (*Monasa morphoeus*) o húmedas (*Crotophaga major*), y especies migratorias estacionales (*Mycteria americana* y *Tyrannus savana*).

Dos especies que señalan el inicio de las estaciones climáticas secas y húmedas también mostraron similitudes entre su abundancia relativa registrada en eBird y el calendario indígena. Según el calendario Pamiwã, *piabecó* (*M. morphoeus*) muestra mayor abundancia relativa en diciembre, que marca el inicio de la estación seca, así como en febrero y abril. Los datos de eBird mostraron aumentos en la abundancia relativa de esta especie en noviembre, enero, marzo y mayo (Figura S8). Por lo tanto, el aumento previsto en el calendario indígena pareció desalinearse durante aproximadamente un mes. El calendario Pamiwã identificó *vecoro ñuiko* (*C. major*) exclusivamente en marzo, coincidiendo con el inicio de la temporada de lluvias. Los datos de eBird también mostraron un aumento notable de la abundancia durante la temporada de lluvias.

Sin embargo, alcanzó su punto máximo en mayo, lo que se alinea con el pico de precipitaciones más que con su inicio.

Las especies asociadas a migraciones estacionales recuperaron similitudes parciales. El calendario Pamiwã identificó dos picos de abundancia relativa de *kava yai* (*M. americana*), en noviembre y marzo (Figura S8). Sin embargo, tras filtrar por metadatos, eBird no arrojó ningún registro para calcular la abundancia relativa de esta especie. En contraste, el calendario Pamiwã indicó una mayor abundancia de *kuito aĩ yarabe* (*T. savana*) en octubre, marzo y junio. Este patrón se reflejó parcialmente en los datos de eBird, que mostraron un pico de abundancia durante la temporada de lluvias, especialmente en marzo. Aunque los otros picos no se alinean precisamente con el calendario indígena, pueden corresponder al comportamiento migratorio descrito por el pueblo Pamiwã; específicamente, el movimiento de grandes bandadas que viajan en una sola dirección y de manera ordenada (EtnoOrnitología 2018). Tal comportamiento podría observarse tanto al inicio como al final del paso de la especie por la Amazonia (Jahn *et al.* 2016).

B.7 Cambios Climáticos Respecto a la Línea base del Conocimiento Indígena

Los datos climáticos de teledetección confirmaron un aumento de la temperatura y una mayor variabilidad en la precipitación en los últimos años (Figuras S9 y S3). El calendario ecológico comienza con temperaturas más bajas y precipitaciones reducidas durante el *Arú*. El conocimiento indígena transmitido por tradición oral indica que las precipitaciones se mantienen bajas después de *Arú*, lo cual coincide con nuestra línea base (datos satelitales de 1980 a 1995). La línea base de la precipitación sugiere un pequeño pico de lluvias entre noviembre y diciembre, mientras que los picos de temperatura ocurren en septiembre, noviembre y marzo. El aumento de las precipitaciones entre mayo y junio se correlaciona con una reducción de la temperatura respecto de los valores de referencia, lo que refleja la estacionalidad observada en el conocimiento indígena. Sin embargo, los datos de 1995 a 2026 (hasta mayo) muestran una homogeneización de las temperaturas a lo largo del año, con valores por encima de la línea base. Específicamente, la tendencia de calentamiento más clara se observó en la temperatura mínima (Figura S3). Este

aumento general de la temperatura coincide con la percepción de los pueblos indígenas sobre los desafíos que enfrentan en las actividades diarias de mantenimiento de las *chagras*. Además, el aumento reportado en la variabilidad de las lluvias por parte de los pueblos indígenas también fue respaldado por los datos occidentales, con las lluvias más intensas en abril y mayo, picos inesperados en febrero y un desplazamiento del pequeño pico de lluvias de noviembre-diciembre a agosto-septiembre. En conjunto, estos resultados vinculan las perspectivas indígenas y occidentales sobre el cambio climático con posibles efectos residuales en la fenología de las aves en la Amazonia.

B.8 Discusión

Nuestro análisis comparativo del calendario ecológico Pamiwã y de los registros filtrados de eBird revela similitudes y diferencias moderadas en los patrones de diversidad fenológica de aves, respaldando la aplicación del marco de la Visión de Dos Ojos como principio orientador para una mejor comprensión de la fenología de las aves en la Amazonia. Si bien los patrones estacionales de riqueza de especies y abundancia relativa coincidieron parcialmente entre ambas fuentes de datos, las discrepancias en la presencia mensual de especies pueden resaltar relaciones distintas entre los portadores de conocimiento y las aves. Es importante señalar que los análisis estadísticos presentados aquí se basan en métodos ecológicos occidentales. No presentamos la comparación entre el calendario ecológico y los registros de eBird como Visión de Dos Ojos en sí misma. Más bien, la Visión de Dos Ojos sirvió como principio orientador mediante el cual los investigadores indígenas y occidentales codiseñaron preguntas, movilizaron el conocimiento, interpretaron los hallazgos y evaluaron sus implicaciones para la gestión y el monitoreo de la biodiversidad. Los coautores indígenas enfatizaron que el conocimiento no es estático, sino que se renueva constantemente a través de la observación, la tradición oral y la experiencia vivida en el territorio. Por lo tanto, las diferencias entre los conjuntos de datos no deben interpretarse necesariamente como errores o deficiencias metodológicas. Más bien, pueden reflejar, en parte, diferencias en epistemologías, ontologías y axiologías, aunque factores metodológicos y

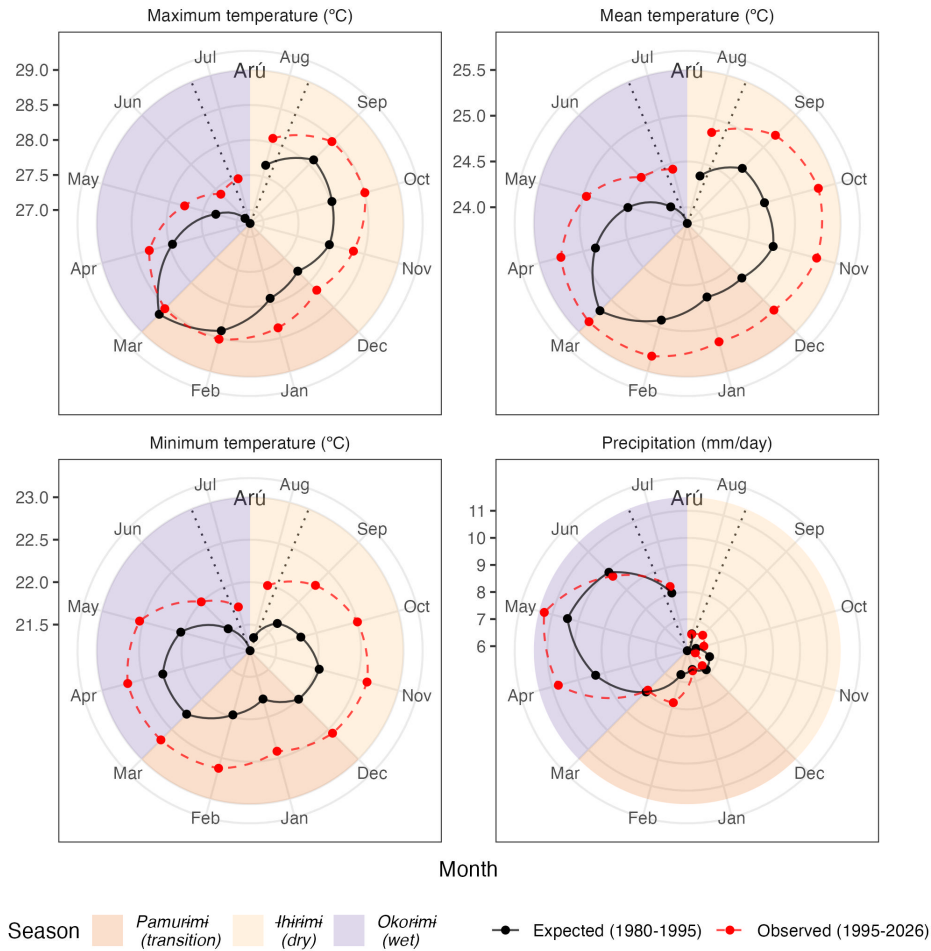


Figure S9: Gráficos circulares de los datos climáticos mensuales promedio para dos periodos en el territorio Pamiwã, Amazonía colombiana. La línea base de la estacionalidad climática según el conocimiento indígena (colores de fondo, estaciones interpretadas a partir de la tradición oral) coincide con los valores de ajuste esperados de una regresión armónica entre 1980 y 1995 (líneas y puntos negros). Los puntos y líneas discontinuas rojas indican los valores promedio mensuales reportados entre 1995 y 2026 (ver Figura Extendida S3). El calendario indígena comienza con el Arú, indicado dentro de las líneas punteadas (julio-agosto)

1833 de observación probablemente también contribuyan. En este sentido, el conocimiento indígena no es simplemente un registro de condiciones ecológicas pasadas, sino un proceso continuo de monitoreo e interpretación.

Los pueblos indígenas experimentan señales culturalmente arraigadas, como el comportamiento o la actividad vocal, que transmiten un significado espiritual sobre las aves y que se han acumulado a lo largo de generaciones (EtnoOrnitología 2016, 2018; Rivera Velasco & EtnoOrnitología 2022). Estas señales se reflejan en relatos de saberes indígenas que ocurren en diferentes meses del calendario ecológico, los cuales asimilamos en nuestros métodos como presencias mensuales, pero que pueden diferir de las ocurrencias convencionales en los datos del conocimiento occidental. Aunque interpretamos estas menciones como indicadores de prominencia estacional, trabajos futuros deberían evaluar de manera más directa cómo la ocurrencia narrativa se corresponde con las observaciones ecológicas. Los participantes de eBird, como portadores de conocimiento occidental, también experimentan señales culturalmente arraigadas al observar aves con diferentes objetivos, como encontrar más especies o especies más raras, dentro de un código de honor esperado (a menudo valorando las habilidades por encima de las experiencias de conciencia plena; Callaghan *et al.* 2025; Hochachka *et al.* 2012; Sullivan *et al.* 2014). Los coautores indígenas aquí interpretan las diferencias entre los conjuntos de datos como reflejo del sesgo espacial del muestreo de eBird (como puede verse en la Figura S5), en contraste con su exploración y uso del territorio, basados en la tradición oral. Los coautores occidentales aquí interpretan la mención de especies en el calendario indígena como experiencias relacionales específicas, más parecidas a la abundancia relativa (una especie se menciona en los relatos cuando su presencia es más evidente e importante culturalmente) que a la ocurrencia convencional en el sistema de conocimiento occidental. Vemos un gran potencial para combinar el conocimiento indígena y occidental en el monitoreo de la biodiversidad en territorios indígenas, reconociendo las diferentes motivaciones, valores, naturalezas de la realidad y teorías del conocimiento entre varios portadores de saberes (Soares *et al.* 2023), siempre que se reconozca la coexistencia de los conocimientos (Reid *et al.* 2021, 2024). Como autores, hemos experimentado una transformación del conocimiento a través de este ejercicio y asumimos la responsabilidad de actuar en consecuencia, implementando la Visión de Dos Ojos como principio orientador en nuestro contexto

amazónico para codiseñar preguntas, documentar y movilizar el conocimiento, y coproducir ideas entre los portadores de saberes (Bartlett *et al.* 2012; Reid *et al.* 2021).

El principio orientador de la Visión de Dos Ojos guió nuestra estrategia de integración (Figura S4). Originalmente aplicado en talleres de salud y sanación (Marshall 2008), este principio utiliza círculos concéntricos ilustrados para representar los niveles del conocimiento indígena: físico, relacional y sagrado (Bartlett *et al.* 2012). Nuestros resultados sugieren que tanto los sistemas de conocimiento indígena como occidental comparten fundamentos empíricos en sus relaciones con la diversidad de aves, lo que permite un entendimiento común sobre dónde, cuándo y qué observar. Aunque no evaluamos directamente las motivaciones de los observadores ni sus valores, asumimos que tanto los pueblos indígenas como los avituristas mantienen relaciones personales con la diversidad de aves, ya sea como cohabitantes, recursos o fuentes de gozo que, en última instancia, contribuyen al bienestar mental (Arias-Henao 2024; Hammoud *et al.* 2022). La variación mensual de la riqueza de especies (Figura S6) incluye, por lo tanto, un sesgo perceptual de los dos tipos de observadores: ya sean relaciones tradicionalmente arraigadas (indígenas) o preferencias temporales para visitar y buscar especies raras (avituristas). El círculo más interno, que representa el conocimiento sagrado y espiritual, sigue siendo difícil de interpretar desde perspectivas occidentales, pero su inclusión resulta esencial al visitar territorios indígenas para la observación de aves. No podemos incorporar los significados espirituales del conocimiento indígena al conocimiento occidental, pero sí podemos reconocerlos e incorporar relaciones éticas provenientes de las comunidades indígenas (M. Schmidt, Comm. Pers.).

Al incluir un enfoque basado en múltiples evidencias que combina sistemas de conocimiento indígena y occidental, estructuramos nuestra investigación para identificar oportunidades de formación futura y mejorar la recolección de datos. Para los portadores de conocimiento occidental, reconocemos que los observadores de eBird han aportado una gran cantidad de conocimiento occidental al pajarear en territorios indígenas, pero su contribución se potenciará si se alinean con las prioridades y prácticas locales. La observación de aves en territorios indígenas requiere comprender los paisajes culturales y los medios de vida locales, en lugar de depender únicamente de

la pericia de los guías locales en la identificación de especies como atractivo para el aviturismo
1890 (Echeverri *et al.* 2025). Además, nuestra investigación identifica cómo mejorar la recolección de
datos de avistamiento de aves en eBird para apoyar los intereses locales al alinear las ontologías
indígenas con las prácticas globales del monitoreo occidental de aves. Esto anticipa cómo las
1893 infraestructuras de datos pueden beneficiarse de perspectivas de abajo hacia arriba (prioridades
indígenas) en medio de iniciativas globales (aviturismo y ciencia participativa).

Nuestro análisis de metadatos reveló que solo el 6,1% de los registros de eBird cumplen
1896 con los estándares de listas Ultrafina o Fina (172 y 8.330 registros, respectivamente; Figura S10).
Estas categorías pueden ofrecer una mayor resolución espaciotemporal, lo que podría reflejar
una mejor comprensión de la fenología ecológica y las dinámicas espaciales (Fink *et al.* 2020;
1899 Hochachka *et al.* 2012; Johnston *et al.* 2021). Aunque la categoría Gruesa aporta datos útiles
(43.015 registros), la mayoría de los registros de eBird hasta ahora se ubican en nuestra categoría
“Por mejorar” (Tabla S1). Sugerimos que los usuarios de eBird que deseen apoyar el monitoreo
1902 indígena reduzcan la duración de las listas de verificación a menos de 5 horas (idealmente entre
20 minutos y 1 hora) y la distancia de muestreo a menos de 1 km para mejorar la resolución es-
paciotemporal. Combinaciones de estos esquemas de muestreo, adaptados a diferentes hábitats
1905 (listas separadas para áreas abiertas, chagras y ecosistemas de arenas blancas), aumentarán el
valor de las observaciones de eBird para la inferencia ecológica. De hecho, estas son las “reglas
y mejores prácticas de eBird”, por lo que nuestras recomendaciones pueden extrapolarse a otros
1908 sistemas que conectan intereses locales con iniciativas globales de monitoreo. Estos ajustes de-
splazarían los registros hacia categorías de mayor calidad (Johnston *et al.* 2021, 2025), mejorando
así los conocimientos ecológicos y apoyando la gobernanza y el manejo indígena ante el cambio
1911 ambiental global (Couée 2024).

Nuestro estudio de caso no es un caso aislado, sino que destaca el poder de las alianzas
que combinan sistemas de conocimiento indígena y occidental. Por ejemplo, la caracterización
1914 taxonómica de los caribúes en la Región Sahtú de los Territorios del Noroeste de Canadá pri-
orizó el aprendizaje mutuo entre las comunidades Sahtú Dene y Métis y los científicos occi-

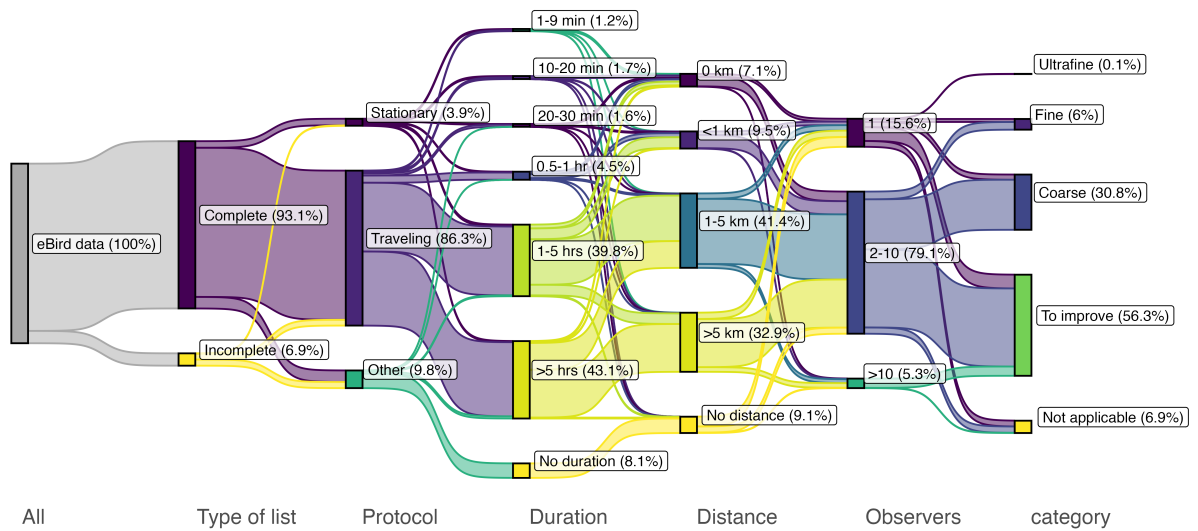


Figure S10: Gráfico de Sankey que resume los metadatos de las observaciones de eBird en el territorio indígena Pamiwã (Figura S5). Aunque eBird ha acumulado casi 140.000 registros en esta región, menos del 40% podría usarse con confianza para la mayoría de los análisis (combinando las categorías Ultrafina, Fina y Gruesa, ver Tabla S1).

dentales para comprender los patrones de biodiversidad que orientan la conservación aplicada (Polfus *et al.* 2016). De manera similar, las quemas culturales lideradas por el conocimiento ancestral de manejo del territorio del pueblo Muwekma Ohlone en California, EE.UU. han promovido la recolonización de plantas endémicas adaptadas al fuego en el hábitat de chaparral del Área de la Bahía ("Intentional burning awakens a fire follower: Indigenous connections"). En el contexto amazónico, la reciente descripción de *táam* (*Attalea taam*) para la ciencia occidental resalta la importancia y el conocimiento a largo plazo de esta palma para el pueblo Cacua en Vaupés, incluyendo la ecología participativa y los aportes taxonómicos, así como una innovadora e inspiradora "revisión por pares indígena participativa" para su publicación (Copete *et al.* 2026). Además, los relatos indígenas de los pueblos Magüta (Tikuna), Kukama-kukamiria, Shipibo-Konibo, Desana, Yepamahsã (Tukano), Utäpinopona (Tuyuka), Medzeniakonai (Baniwa) y Enawenê-Nawê han contribuido a la comprensión de la migración sociocultural-ecológica de los peces a través de diferentes ríos (Victoria-Lacy *et al.* 2025). Nosotros sintetizamos los relatos indígenas del pueblo Pamiwã para informar el calendario ecológico e identificar especies cul-

turalmente importantes relacionadas con el uso de recursos, el inicio de la estacionalidad para la gestión del paisaje y la migración, y comparamos estos patrones con un refinamiento sistemático de los datos de eBird. Aunque no pudimos seguir la misma “revisión por pares indígena participativa” de Copete *et al.* (2026) debido a limitaciones logísticas, aquí ofrecemos un ejemplo de la aplicación de la Visión de Dos Ojos a la distancia, demostrando que podemos encontrarnos y cocrear conocimiento si estamos dispuestos. Además, los investigadores indígenas interpretaron los cambios climáticos recientes no solo a partir de las condiciones meteorológicas, sino también a través de cambios en el comportamiento de las aves, la producción agrícola, la dinámica de los ríos y la vida cotidiana. Por ejemplo, los abuelos sabedores han notado cambios en el momento de las vocalizaciones de aves que tradicionalmente marcan las transiciones estacionales, una mayor sensación de calor y una mayor imprevisibilidad en las inundaciones estacionales. Estas observaciones refuerzan la idea de que los calendarios ecológicos capturan dimensiones sociales y ecológicas del cambio ambiental que a menudo se omiten en los conjuntos de datos climáticos convencionales.

Abogamos por pajarear con propósito: pajarear *para* y *con* la gente. Si bien el aviturismo puede aportar datos sobre la biodiversidad y oportunidades económicas Moreno-Salazar *et al.* (2023), no debe considerarse la única vía para el monitoreo de la biodiversidad en territorios indígenas. Las discusiones recientes sobre la soberanía de los datos indígenas enfatizan que los datos de biodiversidad generados en territorios indígenas deben brindar beneficios colectivos y, al mismo tiempo, apoyar la autoridad indígena sobre el acceso, la reutilización y la gestión de los datos (Tattersall *et al.* 2025). Así, junto con las oportunidades generadas por el aviturismo y plataformas de ciencia comunitaria como eBird, los esfuerzos de monitoreo a largo plazo deben priorizar el fortalecimiento de capacidades locales en identificación de aves, gestión de datos y gobernanza (Halmai *et al.* 2025; Tattersall *et al.* 2025). Esto podría implicar un cambio en las prácticas epistemológicas hegemónicas, de modo que las comunidades locales que han sido guardianas de la biodiversidad también puedan opinar sobre por qué y cómo se recopilan, almacenan, analizan y difunden los datos, contribuyendo así a los procesos de toma de decisiones

relacionados con la gobernanza territorial. Si las comunidades deciden interactuar con bases de datos globales de biodiversidad, ya sea recibiendo visitantes y/o aportando datos a partir de su conocimiento indígena, la participación debe darse bajo términos definidos por las prioridades y protocolos locales, en lugar de crear dependencia de expertos externos o de un crecimiento continuo del turismo sin conciencia local.

Nuestra colaboración en curso aprovecha estos resultados para orientar iniciativas de fortalecimiento de capacidades. A través de reuniones en campo y llamadas en línea, identificamos maneras de actualizar el calendario, algunas de las cuales se alinean con la estructura de eBird (Lees *et al.* 2020), pero siempre con respeto y como medio para reforzar las ontologías indígenas y promover la coexistencia entre sistemas de conocimiento. Por ejemplo, los investigadores indígenas reconocieron la importancia de la información complementaria durante el proceso de observación y proporcionaron detalles sobre los requisitos espaciales, temporales y de esfuerzo de sus observaciones. Los investigadores occidentales reconocieron la estrecha relación entre estas comunidades y las aves, destacando las señales estacionales y la gestión del paisaje. Para fomentar una colaboración más significativa entre los usuarios de eBird y los investigadores indígenas locales, también revisamos los hotspots de eBird en Mitú (Hochachka *et al.* 2012), vinculando las observaciones de ciencia comunitaria con los intereses indígenas. Por ello, invitamos a los usuarios de eBird a cambiar su mentalidad de “competencia saludable” a la de “calidad de los registros”. Además, la investigación interdisciplinaria que incluya otros grupos, como peces (Victoria-Lacy *et al.* 2025) o interacciones bióticas (como dispersores de palmas Copete *et al.* 2026), representa una vía prometedora para impulsar investigaciones futuras en la intersección de la antropología, las ciencias sociales y la ecología (véase también Reid *et al.* 2021). Los coautores indígenas enfatizaron que uno de los objetivos de esta colaboración es desafiar los estereotipos persistentes según los cuales el conocimiento indígena es menos valioso que la ciencia occidental. A través del principio orientador de la Visión de Dos Ojos, el objetivo no es reemplazar el conocimiento indígena con herramientas de monitoreo estandarizadas, sino fortalecer los sistemas de conocimiento indígena al tiempo que se crean oportunidades de diálogo entre

tradiciones de saber (Armstrong *et al.* 2025; Bartlett *et al.* 2012; Reid *et al.* 2021). En este contexto, el monitoreo de la biodiversidad puede contribuir al desarrollo y al reconocimiento de la ciencia indígena basada en la tradición oral, así como al cuidado ambiental y a la observación a largo plazo de los cambios territoriales.

La conservación biocultural requiere una combinación de métodos, cada uno de los cuales está sujeto a interpretaciones e incertidumbres inherentes (Bridgewater & Rotherham 2019). Trabajos futuros podrían incorporar análisis más robustos del cambio estacional utilizando herramientas cuantitativas, como modelos de puntos de cambio ecológico (Ponciano *et al.* 2018; Figura 1i), o estimaciones macrodemográficas como la persistencia poblacional (Acevedo-Charry *et al.* 2025), el reclutamiento y la sobrevivencia (Socular *et al.* 2025). Además, se podrían ampliar las perspectivas de las comunidades locales sobre el aviturismo en su territorio. Los diálogos en curso fortalecerán los sistemas de conocimiento indígena y aclararán los protocolos de gobernanza y de uso de los datos.

En conclusión, al utilizar el principio orientador de la Visión de Dos Ojos, podemos aprender más de lo que podríamos al ver solo de una sola manera. Proponemos que la relación entre las comunidades locales y las aves, expresada en los calendarios ecológicos, puede servir como una línea base culturalmente arraigada para el monitoreo a largo plazo en medio del cambio ambiental global (Couée 2024). A pesar del reconocimiento desde hace mucho tiempo de la congruencia entre el conocimiento indígena y el occidental (Diamond 1966; Wallace 1890, p. 121), los científicos occidentales no han valorado el conocimiento indígena (Gazing Wolf *et al.* 2024; Reid *et al.* 2024). Afortunadamente, este patrón parece estar cambiando (ver Athayde *et al.* 2025; Copete *et al.* 2026; Polfus *et al.* 2016; Victoria-Lacy *et al.* 2025). Fortalecer la capacidad local mediante el uso adaptado de eBird es un camino a seguir. Sin embargo, el papel principal lo desempeña la colaboración de los usuarios de eBird que visitan la región, al vincular sus observaciones con la evaluación iterativa de los calendarios ecológicos indígenas. El principio orientador de la Visión de Dos Ojos permitirá a los visitantes conectarse con el conocimiento de las comunidades indígenas y ampliar su experiencia recreativa de observación de aves hacia

nuevos saberes, transformando sus perspectivas y asumiendo la responsabilidad de actuar con base en ese conocimiento (Bartlett *et al.* 2012; Reid *et al.* 2021).

2013 De forma similar, el principio orientador de la Visión de Dos Ojos permitirá a los pueblos
indígenas defender sus derechos y la gobernanza sobre la recolección y el análisis de datos,
incluyendo la resolución temporal y espacial necesaria para adaptarse al cambio climático y re-
2016 forzar la conservación biocultural antes de que la presión externa erosione aún más el conocimiento
ancestral. Sin embargo, mejorar el monitoreo de la biodiversidad por sí solo no basta para garan-
tizar una adaptación climática exitosa. Más bien, herramientas de monitoreo, como los calendar-
2019 ios ecológicos, pueden apoyar la adaptación cuando están integradas en los sistemas de gober-
nanza indígena, los derechos territoriales y las prácticas continuas de manejo que orientan las
respuestas ante el cambio ambiental. Más allá del simple seguimiento de la diversidad de aves,
2022 visualizamos el calendario ecológico como una herramienta dinámica, elaborada en el marco de
una teoría del cambio. Nuestra propuesta de teoría del cambio comienza con el monitoreo colab-
orativo y el intercambio de saberes, lo que fortalece la capacidad local y actualiza los calendarios
2025 ecológicos. Estos procesos apoyan la toma de decisiones informadas por múltiples evidencias
para la gobernanza y manejo territorial, mejorando así la capacidad de las comunidades para
responder al cambio ambiental mientras mantienen sus valores bioculturales. Estos dispositivos
2028 iterativos empoderarían a las comunidades indígenas para monitorear, interpretar y responder a
las transformaciones ambientales en sus propios términos, y también orientarían a los científicos
occidentales para generar inferencias más aplicables y útiles.

2031 Más allá de mejorar el monitoreo de la biodiversidad, nuestra colaboración busca fortalecer
la ciencia indígena en sí misma. Los mayores indígenas mantienen comprensiones detalladas de
la variabilidad ambiental, las transiciones estacionales, el comportamiento de las especies y el
2034 cambio ecológico, desarrolladas a través de la observación a largo plazo y la transmisión oral.
La correspondencia recurrente entre las observaciones del calendario ecológico y los conjuntos
de datos cuantitativos de biodiversidad no valida el conocimiento indígena mediante la ciencia
2037 occidental. Más bien, demuestra oportunidades de coexistencia respetuosa entre diferentes tradi-

ciones de conocimiento que pueden informar conjuntamente la gestión y la conservación en la Amazonia.

C Supporting Text - Spanish version of peer-reviewed response

Estamos resometiendo el manuscrito ECE-2026-03-00751 a la revista *Ecology and Evolution*. Nuestro interés se centra en el número virtual y en la sección especial "Ciencia Indígena en la Práctica" de la revista. Hemos preparado cuidadosamente la respuesta a ambos revisores en formato punto a punto. Apreciamos mucho el respaldo de los revisores en sus comentarios y cómo estos han mejorado la nueva versión. A continuación, incluimos los comentarios de los revisores con nuestra respuesta en **fuentes azules**.

Revisores 1 (al parecer un grupo de investigadores revisaron nuestro manuscrito):

Gracias por la oportunidad de revisar este manuscrito verdaderamente innovador. Lo leímos con gran interés y profunda admiración. Hasta donde sabemos, este representa la primera aplicación de la Visión de Dos Ojos (*Two-Eyed Seeing*) en el estudio de los sistemas de conocimiento aviar en comunidades indígenas de la región del Vaupés, en Colombia. Más allá de sus contribuciones empíricas, este trabajo se destaca como un ejemplo reflexivo e inspirador de cómo la investigación científica puede llevarse a cabo mediante enfoques respetuosos, pluralistas y relacionales del conocimiento. El manuscrito no solo es intelectualmente convincente, sino también éticamente y metodológicamente generativo, y establece un precedente importante para futuras investigaciones bioculturales. Encontramos una fuerte resonancia con nuestro propio trabajo y creemos que esta contribución abre posibilidades emocionantes para un diálogo continuo y colaboraciones entre académicos que trabajan en la interfaz del conocimiento ecológico indígena y occidental, ¡incluida la colaboración entre nosotros y su equipo! ¡Realmente nos encantó su artículo!

Gracias por resaltar nuestra contribución. Esperamos con ansias poder trabajar juntos y promover desarrollo científico incluyente y justo en la región en la que trabajamos.

Al mismo tiempo, recomendamos revisiones mayores antes de que el manuscrito pueda ser considerado para publicación. Nuestras principales preocupaciones se centran en tres áreas: (1) fortalecer el marco conceptual y contextual en la Introducción, particularmente mediante una fundamentación más clara de la Visión de Dos Ojos y la importancia biocultural de la región del Vaupés; (2) mejorar la transparencia y claridad en los Métodos, especialmente en relación a los enfoques y limitaciones de recolección de datos; y (3)

profundizar la Discusión para involucrar más plenamente temas de soberanía de datos, ética e implicaciones
2067 de la investigación colaborativa con comunidades indígenas. Además de estos puntos principales, hemos
incluido a continuación varios comentarios y sugerencias menores con el fin de mejorar la claridad, la
consistencia y la presentación en todo el manuscrito. Esperamos que tomen nuestros comentarios en el
2070 espíritu constructivo con el que fueron formulados y que publiquen el manuscrito revisado. Buena suerte
con la resubmisión.

Agradecemos estas inquietudes y hemos preparado una nueva versión orientada a abordarlas.

2073 **Introducción. 1.** En las líneas 69-72, consideramos importante citar la referencia original de la
Visión de Dos Ojos del abuelo Albert Marshall en la cita de Barlett. Puede editar cualquiera de estas
oraciones para escribir exactamente esto: El Dr. Albert Marshall define Etuaptmumk (Visión de Dos Ojos)
2076 como “aprender a ver con un ojo las fortalezas de las formas indígenas de conocer, y ver con el otro ojo las
fortalezas de las formas occidentales de conocer, y usar ambos ojos juntos.” (Bartlett, Marshall, & Marshall,
2012, p. 335).

2079 Incorporamos la cita como se sugirió en la nueva versión, con pequeñas modificaciones.
Además, incluimos una sugerencia del(la) Revisor(a) 2 sobre la importancia de incorporar ex-
plícitamente la transformación del conocimiento en el marco conceptual de la Visión de Dos
2082 Ojos.

2. Falta en la Sección 2.1 una contextualización más amplia del Vaupés como un increíble punto
caliente biocultural. Esta es la oportunidad de mostrar a los ecólogos que la Amazonía colombiana no es
2085 solo riqueza de aves. ¿Cuántos de nosotros sabíamos que Colombia tiene más grupos étnicos que Perú,
Bolivia y México? De hecho, somos el segundo país en América Latina—después de Brasil—con el mayor
número de grupos étnicos. Además, en la cuenca del río Vaupés se hablan más de 34 lenguas, lo que la
2088 convierte en un caso de estudio global en diversidad étnica y lingüística.

Gracias por señalar esta importante observación. De hecho, ¡no sabíamos que Colombia tiene
más grupos étnicos que Perú, Bolivia y México (*sensu* Organización de las Naciones Unidas para
2091 la Alimentación y la Agricultura–FAO)! Incluimos este contexto cultural antes de la Sección 2.1,
en la Introducción, como fue solicitado.

3. Vale la pena escribir algo sobre la increíble diversidad... A continuación, vea un mapa de la diversidad lingüística de la cuenca del río Vaupés en Colombia. En amarillo se destacan las cinco lenguas de la familia lingüística arawak. Delimitados en rojo están los territorios de las comunidades que hablan 23 lenguas de la familia tucanoana. En morado se muestran las cuatro lenguas de la familia Nadahup, y en verde, las dos lenguas de la familia caribe. Si decide escribir esto, puede mencionar que este estudio de caso es importante para analizar la riqueza biocultural, usando la definición de diversidad biocultural de Luisa Maffi: “El concepto de diversidad biocultural expresa una idea holística de la diversidad de la vida en la naturaleza y la cultura. Ve la biodiversidad, la diversidad cultural y la diversidad lingüística como manifestaciones interrelacionadas e interdependientes de la red de la vida”. Aquí está la referencia para incluir: Maffi, L. (2018). Diversidad biocultural. En *The International Encyclopedia of Anthropology*, H. Callan (Ed.). <https://doi.org/10.1002/9781118924396.wbiea1797>

Gracias por esta sugerencia. Incluimos la cita y modificamos el texto para resaltar la importancia de nuestro sitio de estudio para el análisis de la riqueza biocultural.

4. Para dar visibilidad a las comunidades indígenas, sugerimos que haga una tabla con estos acrónimos y explique las comunidades e instituciones representadas y las personas que las representan. No es necesario poner esto en el texto, ya que puede referirse a las afiliaciones de todos los autores en el artículo, o citar una tabla; todo esto puede trasladarse a otro formato: “(Gloria Rivera (GARV) – Nasa, Luis E. Llanos (LELR) – Pamiwã, Miguel Angel Portura – Pamiwã, Agripino Gonzalez (AG) – Tuyuca, Walter G. (Sioru) Estrada (WG(S)E) – Siriano, Yenifer Lopez (YSLP) Desana, Yorneida González (YG) – Pamiwã, Fabián Rodríguez (FRA) – Pamiwã), académicos locales (Yeison Hernandez (YFHY), Sebastian Guerrero (SGP), Luis F. Jaramillo (LFJ)), y académicos occidentales en ecología (Orlando Acevedo-Charry (OAC), Fernando Cediell (FC), Zuania Colon neiro (ZCP), Scott K. Robinson (SKR), Miguel A. Acevedo (MAA)) y antropología (Ana M Garrido-Corredor (AMGC)); ver la Información de Apoyo A para la versión en español.

Esta inquietud está alineada con la posicionalidad de los autores solicitada por el(la) Revisor(a) 2. Hemos incorporado la nueva sección de **Declaración de Posicionalidad y Coexistencia de Saberes** en la nueva versión del manuscrito. En lugar de incluir una tabla en el material

suplementario, describimos las instituciones y comunidades representadas desde nuestra posicionalidad.

2121 5. Debe incluirse en la introducción un párrafo de una oración explicando el concepto de *Especies Culturalmente Importantes* vs. *Especies Clave Culturales*. Puede leer y citar estos dos artículos para comprender la diferencia: * Reyes-García, V., Cámara-Leret, R., Halpern, B. S., O'hara, C., Renard, D.,
2124 Zafra-Calvo, N., & Díaz, S. (2023). La vulnerabilidad biocultural representa una amenaza para las especies culturalmente importantes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120(2), e2217303120. *
Hernández, K. V., Andrade-Rivas, F., Zapata, F., Batista, N., Cárdenas-Navarrete, A., Dávila Arenas,
2127 A., ... & Echeverri, A. (2024). Casi la mitad de las especies de plantas artesanales colombianas carecen de evaluaciones de vulnerabilidad tanto nacionales como internacionales. *Ecosystems and People*, 20(1), 2420080.

2130 ¡Gracias por compartir estos dos excelentes recursos! Incorporamos estos conceptos en la nueva versión del texto.

Métodos. 1. Necesitamos más información para entender esta oración: “Realizaron un muestreo
2133 incompleto y no estructurado de especies de aves en 17 comunidades indígenas rurales de Mitú, documentando comportamientos de aves y el uso de recursos (Figura S1a).” ¿Qué significa la recolección de datos no estructurados? ¿Puede describir lo mejor posible lo que hicieron (aunque no sea replicable) y por qué
2136 es incompleto? ¿Por qué no corrigieron por sesgo de detección? ¿O por qué los intervalos de tiempo se interrumpieron? Está bien si los datos no se recolectaron perfectamente porque los proyectos liderados localmente pueden ser más difíciles de asegurar que sigan protocolos, pero entonces es mejor ser transparente
2139 sobre cómo se recolectaron.

El muestreo no estructurado se refiere a no seguir métodos estandarizados (conteos por puntos o transectos lineales) y, más importante aún, a no registrar el esfuerzo realizado. Dado que la
2142 formación en identificación de aves implica detección imperfecta, la lista es incompleta porque no se registran todas las aves, por lo que un ave “no listada” no puede asumirse como “ausente” (ver Johnston et al. MetEcoEvo 2023 sobre la importancia de los listados completos en iniciativas
2145 de ciencia comunitaria). Modificamos el texto y esperamos que la nueva versión sea más clara al

respecto:

"En primer lugar, visitaron 17 comunidades indígenas en la zona rural de Mitú, documentando comportamientos de aves y el uso de recursos. Estos eventos de registro han ocurrido al menos una vez por semana cada mes desde 2016 hasta la actualidad. Sin embargo, el muestreo no registró el esfuerzo ni siguió métodos estandarizados como conteos por puntos o transectos lineales. Además, la detección imperfecta de aves durante la formación de los estudiantes en identificación de aves constituye un muestreo incompleto (es decir, no se reportan todas las aves), lo que significa que no incluir una especie en el muestreo no implica necesariamente una ausencia en el sentido de las ciencias ecológicas occidentales (ausencia asumida)."

2. En la línea 291 se menciona que se "enfocaron en ocho especies" con las que el pueblo Pamiwã mantiene fuertes relaciones. Sería útil especificar brevemente la naturaleza de estas relaciones.

Modificamos el texto en este párrafo para especificar la naturaleza de las relaciones en el uso de recursos, el inicio de las estaciones climáticas y la migración hacia y desde el territorio indígena.

3. Es desafortunado que los datos de eBird sean tan escasos en comunidades indígenas en Colombia comparados con parques nacionales u otros lugares (ver comentarios en las líneas 417-420 abajo). Tenemos un capítulo de libro en revisión que reporta las brechas y sesgos de datos en estos territorios, así que creemos que también debe informarse claramente la falta de datos para esos polígonos en eBird... Recomendamos hacer una figura como esta (Figura abajo S11) para mostrar la disponibilidad y el sesgo de los datos en eBird, dada la riqueza que deberíamos esperar de los mapas de distribución. Puede usar los datos del artículo que algunos de ustedes escribieron en 2024 para replicar algo como el Panel A en esta figura que hicimos, y tomar la captura de pantalla más reciente de eBird para replicar el Panel C: Suárez-Castro, A. F., Acevedo-Charry, O., Romero Jiménez, L. H., Noguera-Urbano, E. A., Ayerbe-Quiñones, F., & Ocampo-Peñuela, N. (2024). Integrando múltiples fuentes de datos para desarrollar mapas de áreas de distribución y de hábitat adaptados a contextos locales. *Diversity and Distributions*, 30, e13917. <https://doi.org/10.1111/ddi.13917>

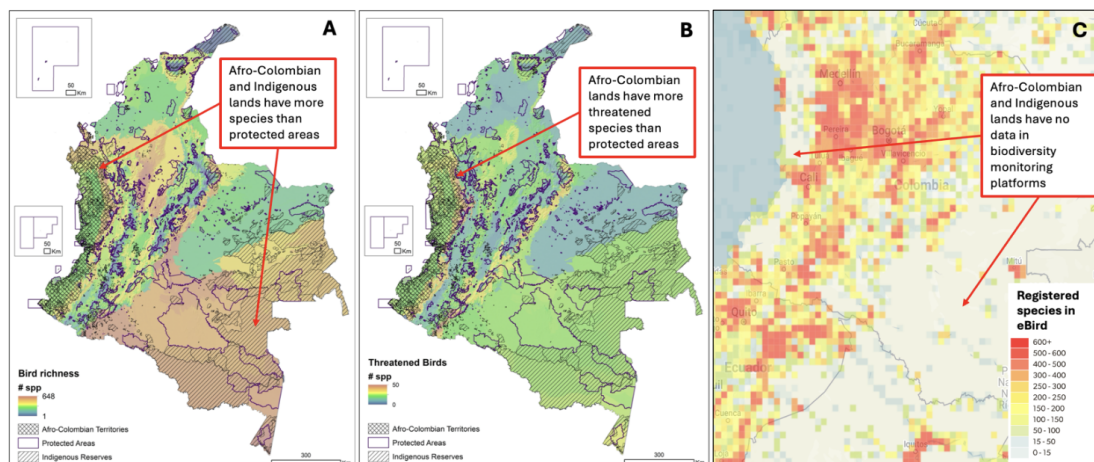


Figura S11: Figura compartida por Revisor(es) 1.

Agregamos los mapas solicitados a la nueva versión de la Figura 2. En lugar de usar una captura de pantalla, proporcionamos un mapa de resolución espacial de la riqueza de especies y del número de listas para mostrar la disponibilidad y el sesgo de datos en eBird, según la riqueza esperada que solicitaron los revisores.

Resultados. Figura 3. Sabemos que tanto eBird como el conocimiento indígena tienen sesgos y probablemente subestiman la riqueza, dado que pocos visitantes llegan a estas regiones. Si organizáramos un big day global y enviáramos a todos los ornitólogos a esa región durante un año, ¿cuántas especies esperaríamos encontrar? ¿Más de 500, verdad? En algún lugar del texto esto debería describirse, y también debe haber una línea en la Figura 3 (una línea horizontal en $Y = \text{número de especies en el conjunto regional}$) que marque un referente de “especies esperadas en el conjunto de especies regional” o algo así...

Agregamos tres líneas para representar la riqueza de especies regional esperada en la figura. La riqueza regional esperada a partir de los mapas de distribución de “aves terrestres residentes” es de 460 especies (de las 1633 en Suarez-Castro et al. 2024), mientras que la riqueza regional esperada según eBird es de 587 especies y según el calendario indígena (total de especies) es de 258. También incluimos esta información en el texto.

Discusión En las líneas 405-417, el artículo se refiere a “diferencias epistemológicas”, pero los patrones descritos (p. ej., diferencias en la presencia mensual de especies) podrían explicarse por variaciones en el

2190 *muestreo, la detectabilidad o el comportamiento del observador. Si bien la discusión sobre las señales*
culturalmente fundamentadas y los diferentes significados de “presencia” apunta a diferencias en cómo
se definen e interpretan las observaciones, sería útil aclarar por qué se consideran epistemológicas y no
2193 *metodológicas.*

Definimos epistemología en la nueva versión de la Introducción como la teoría del conocimiento
y cómo se genera y valida, mientras las metodologías como los procedimientos para responder
2196 preguntas de investigación (siguiendo las definiciones de Reid et al. 2021). En la versión anterior
omitimos la inclusión de ontologías (la naturaleza de la realidad) y axiologías (la naturaleza de
los valores), aspectos destacados por el(la) Revisor(a) 2. Hemos modificado el texto en esta sec-
2199 ción para aclarar por qué consideramos cómo se definen e interpretan las observaciones como
teoría o conocimiento y cómo se genera y valida (epistemologías), más que el propósito y proceso
de la investigación (metodologías).

2202 **Líneas 417-420:** *“Reconociendo las diferentes motivaciones de las comunidades locales y de los ob-*
servadores de eBird (Soares et al. 2023), vemos un gran potencial para que las observaciones voluntarias
sean más útiles para el monitoreo de la biodiversidad en territorios indígenas”. Aunque personalmente nos
2205 *encantaría ser voluntarios para censar territorios indígenas, creemos que es más ético redactar esta frase de*
manera que otorgue agencia a los pueblos indígenas. Algo como si ellos quisieran invitar a visitantes a sus
territorios y abrirlos para la recolección de datos de turistas/visitantes, estas áreas deberían priorizarse. De
2208 *hecho, también deberíamos considerar monitorear especies con grabadoras acústicas y priorizar estas áreas*
que sabemos que son ricas en especies, pero pobres en datos. Especialmente ahora que sabemos que algunas
especies se encuentran únicamente en sus territorios.

2211 *Estamos de acuerdo con los revisores en otorgar agencia a los pueblos indígenas. Hemos*
modificado el texto para alinearlos más con el marco conceptual de la Visión de Dos Ojos como
principio orientador.

2214 *Párrafos en las líneas 450-460. Recomendamos ampliar este estudio de caso para mostrar lo valioso que*
ha sido realizar estas asociaciones en el monitoreo de la biodiversidad, y mencionar y citar algunos ejemplos
exitosos. Aquí algunos que nos vienen a la mente:

2217 * En la Universidad de Stanford, una quema cultural liderada por Mukewma Ohlone despertó una
planta que estaba extinta localmente, pero existía en el banco de semillas: [enlace](#)

2220 * En la UC Berkeley, un grupo de investigadores colaboró con los Karuk para priorizar el monitoreo
de la biodiversidad y la Visión de Dos Ojos... Connor, T., F.Montealegre-Mora, B. J.Saxon, et al. 2025.
“El conocimiento indígena y los conteos de la comunidad generan estimaciones robustas de la población de
ciervos Roosevelt en el territorio aborigen Karuk”. *Ecology and Evolution* 15, no. 10: e72355.

2223 * En Brasil, han incorporado relatos amazónicos para comprender la migración de peces: Victoria-
Lacy, L., Couto, T. B. A., Piland, N. C., Dámaso, J., Fernandes, S., Athayde, S., & Anderson, E. P.
(2025). La migración de peces amazónicos como un proceso social–cultural–ecológico. *People and Nature*,
2226 7, 3297–3312. DOI

 * En Vaupés, Colombia, este estudio reciente: [enlace sobre palmas describe una nueva especie de palma](#)
con la comunidad local; también es un hermoso ejemplo de ello: Juan Carlos Copete et al. *Attalea táam*
2229 – una nueva especie de palma bien conocida entre los pueblos indígenas Cagua. *Phytotaxa*, 23 Jan. 2026.
DOI

 * En Canadá, Jean Polfus pudo validar el conocimiento ecológico tradicional sobre la variación genética
2232 del caribú al colaborar con cinco comunidades Sahtú Dene y comunidades Métis: Polfus, J. L., Manseau,
M., Simmons, D., Neyelle, M., Bayha, W., Andrew, F., ... & Wilson, P. (2016). *Ecology and Society*, 21(2).

 Deberían considerar agregar y resumir una reflexión en el suplemento sobre “Aprender juntos”; usted
2235 lo menciona a lo largo del artículo, pero es una forma tan innovadora de hacer investigación en las ciencias
naturales, que sería hermoso leer algunas de esas lecciones aprendidas. ¡Consulten el apéndice del artículo
de Polfus para encontrar un ejemplo inspirador! Felicitaciones por este bello e importante trabajo.

2238 Gracias por este comentario alentador y los ejemplos sugeridos. Hemos incluido más de estas
lecciones aprendidas en la nueva versión, comenzando con la nueva sección de Posicionalidad y
en esta parte de la discusión.

2241 Un aspecto importante a incluir en la discusión es la necesidad de mantener la soberanía y el con-
sentimiento sobre los datos. Usted menciona la importancia de mantener el conocimiento sagrado como
sagrado, pero creemos que también es importante discutir más a fondo la importancia de desarrollar capaci-

2244 *dades en la región (para no depender de observadores expertos que vayan a estudiar estos lugares), pero*
también para darles el control sobre los datos, y capacitarlos en almacenamiento de datos, etc. ¿Podrían
contribuir a eBird si tuvieran toda la tecnología disponible? ¿No sería mejor promover más turismo en
2247 *su territorio? Supongo que no todas las comunidades están abiertas al turismo; algunas sí podrían y, de*
hecho, podrían desarrollar esa industria, pero no todas. Se justifica una discusión más matizada sobre este
tema:

2250 * Halmai, N. B., Taitingfong, R., Jennings, L. L., Yracheta, J., Garba, I., Lund, J. R., ... & Carroll, S.
R. (2025). Soberanía de los datos indígenas en genómica y genética humana: equidad y justicia genómica
para los pueblos indígenas. *Annual Review of Genomics and Human Genetics*, 26.

2253 * Tattersall, E., Cardinal-McTeague, W., Myers-Smith, I., Jenkins, D. A., & Burton, A. C. (2025).
Afirmando la soberanía de los datos indígenas en la conservación colaborativa de la vida silvestre en la era
de los datos abiertos. People and Nature, 7(11), 2659-2677.

2256 **Gracias por esta sugerencia. Hemos incluido estas referencias y parte de la discusión mati-**
zada sobre este tema.

Algunas ideas más para incluir en la discusión (no es necesario, pero sería un buen momento para
2259 *plantear estos temas a una audiencia global):*

* *Se necesita mucha más investigación futura en la intersección entre antropología, ciencias sociales*
y ecología. Por ejemplo, otra idea es que, dado que la migración en el Amazonas está tan ligada al río,
2262 *también deberíamos unir fuerzas con la comunidad de peces de agua dulce (ictiólogos) y con hidrólogos para*
comprender mejor la fenología, los pulsos de inundación, la estacionalidad y las cargas de sedimentos... a
menudo las historias de migración de peces son más frecuentes en comunidades indígenas del Amazonas
2265 *debido a su relación con los peces (Victoria-Lacy, et al. 2025).*

Incluimos este ejemplo, junto con el potencial para estudiar interacciones bióticas (como los
dispersores de palmas, según Copete et al. 2026).

2268 * *Una asociación futura entre el Laboratorio de Cornell/o eBird y las autoridades indígenas (y también*
los afrocolombianos) parece muy importante para Colombia dada la gran escasez de datos en estos territorios

étnicos, y dado que algunas especies son únicas de esos territorios y no existen en otras partes del país

2271 (*¡estamos trabajando para escribir ese hallazgo! ¡Estén atentos!*)

Esperamos con entusiasmo esta colaboración. Confiamos en que nuestro ejemplo de Visión de Dos Ojos sea útil.

2274 * *La conclusión (líneas 489–504) parece asumir que mejores datos conducirán automáticamente a una mejor adaptación climática, pero ese vínculo no está garantizado. Las comunidades pueden tener conocimientos detallados y, aun así, enfrentar limitaciones como presiones extractivas o un control territorial limitado. Podría justificar por qué la resolución de los datos es la principal limitación aquí, o bien señalar que es solo una parte de desafíos más amplios.*

Agradecemos a los revisores por resaltar esta distinción tan importante. Coincidimos en que contar con mejores datos de biodiversidad por sí solo no garantiza una adaptación exitosa al cambio climático, ya que las comunidades indígenas pueden enfrentar restricciones más amplias, como presiones sobre el uso del suelo, actividades extractivas, desafíos de gobernanza y acceso desigual a los recursos. Revisamos la Conclusión para aclarar que una mejor resolución temporal y espacial de la información sobre biodiversidad es solo un componente de la planificación para la adaptación. Ahora enfatizamos que los calendarios ecológicos, combinados con la gobernanza indígena, la transmisión intergeneracional del conocimiento y la autonomía territorial, pueden apoyar respuestas adaptativas al cambio ambiental, en lugar de determinarlas automáticamente.

2283 * *Además, en la conclusión, la referencia a un marco teórico del cambio parece algo subdesarrollada. Ayudaría a aclarar brevemente la vía causal propuesta, o a considerar simplificar la redacción.*

Agradecemos esta observación. Ampliamos la discusión para clarificar la teoría del cambio propuesta. Específicamente, proponemos que el monitoreo colaborativo fortalece la capacidad local, apoya el mantenimiento y la transmisión del conocimiento ecológico indígena, informa la toma de decisiones liderada por la comunidad y genera información sobre biodiversidad que puede guiar las respuestas de manejo frente al cambio ambiental y climático. Ahora hacemos explícita esta vía causal en la versión revisada del manuscrito.

Menor. Título Recomendamos cambiar el título para incluir la Visión de Dos Ojos; será más citado y más fácil de encontrar si lo agrega en el título. Aquí una sugerencia: “Visión de Dos Ojos y Un Mundo Estacional: Integrando el Conocimiento Indígena y Occidental de la Fenología Aviar”

Cambiamos el título para incluir Visión de Dos Ojos, y también seguimos la terminología sugerida por el(la) Revisor(a) 2: “Aplicando la Visión de Dos Ojos para combinar calendarios ecológicos indígenas y datos de ciencia comunitaria en el monitoreo de la biodiversidad en la Amazonia”.

Palabras clave Los pueblos indígenas no son partes interesadas locales. Recomendamos cambiar la palabra clave a “Titulares de derechos”: los titulares de derechos son individuos o grupos con derechos legales, constitucionales o humanos que deben ser respetados, y a menudo asumen la condición de beneficiarios en el desarrollo. Las partes interesadas son más amplias e incluyen cualquier parte afectada o capaz de afectar las operaciones de una organización, como empleados, clientes o accionistas. Todos los titulares de derechos son partes interesadas, pero no todas las partes interesadas son titulares de derechos. En este caso, dado que se habla de pueblos indígenas en Colombia, que están protegidos por la Constitución, son titulares de derechos. Sugerimos especificar “comunidades indígenas” en lugar de “comunidades”, y agregar “monitoreo de biodiversidad” y “conocimiento ecológico indígena” como palabras clave.

Modificamos la palabra clave “stakeholders” por “rights holders”. También incluimos “comunidades indígenas” en lugar de “comunidades”, y añadimos las dos palabras clave sugeridas.

Introducción En las líneas 69-72 (de los marcadores de Latex, los internos en la página, no los externos de la revista), consideramos importante citar la referencia original de la Visión de Dos Ojos del Abuelo Albert Marshall en la cita de Bartlett. Puede editar cualquiera de estas oraciones para escribir exactamente esto: El Dr. Albert Marshall define Etuaptmumk (Visión de Dos Ojos) como “aprender a ver con un ojo las fortalezas de las formas indígenas de conocer, y ver con el otro ojo las fortalezas de las formas occidentales de conocer, y usar ambos ojos juntos.” (Bartlett, Marshall, & Marshall, 2012, p. 335).

Ya abordamos esta inquietud anteriormente.

Líneas 77- por favor reemplace “stakeholders” por “titulares de derechos”

Reemplazamos la palabra como fue sugerido.

Figura 1E No creemos que una pesa sea un buen símbolo de desarrollo de capacidades en el panel E... Tal vez haga una red de computadoras con una nube, o libros, o algo sobre desarrollo de capacidades en investigación... o personas siendo capacitadas en trabajo de campo, etc.

Modificamos la figura, incluyendo como fortalecimiento de capacidades desde la Visión de Dos Ojos la Maloka (con una chagra) y una computadora.

Figura 1i El símbolo podría incluir un mapa y un reloj, o algo que represente conjuntos de datos espaciales y temporales, en lugar de una lupa y datos que se asocian más comúnmente con indicadores económicos o acciones.

Modificamos la figura, incluyendo el mapa sugerido por los revisores para representar los conjuntos de datos espaciales y eliminando la lupa. Sin embargo, mantuvimos la ilustración de series de tiempo, que representa el conjunto de datos temporal necesario para el análisis de cambios en métricas de biodiversidad (por ejemplo, riqueza de especies) o tendencias poblacionales (dinámica temporal poblacional).

Línea 103 Falta la referencia

Incluimos a Victoria-Lacy et al. People and Nature (2025), una referencia recomendada por los revisores en otro comentario.

Figura 2 Un artículo tan hermoso como este, que aboga por la inclusión de comunidades marginadas en la investigación, debería dar ejemplo al hacer inclusivo el mapa de Colombia, que incluya todos sus territorios. Actualmente faltan San Andrés, Providencia, Malpelo, Gorgona y todas las pequeñas islas dentro del recuadro del mapa. ¿Podría agregarlas? Significaría mucho si algún día pudiéramos replicar estudios como este con las comunidades raizales.

Modificamos la Figura 2 para incluir el territorio insular de Colombia en los mapas insertos.

Líneas 294-290 Todos los nombres de aves en inglés en todo el manuscrito deben seguir la regla de capitalización de IOC: <https://www.worldbirdnames.org/new/english-names/spelling-rules/capitalization/> así que, por ejemplo, escriba "Green Tanager" en vez de "green tanager".

Aunque personalmente no estamos de acuerdo con la regla de capitalización del IOC (para nosotros, los nombres comunes no son nombres propios y su estandarización como nombres

propios podría promover la erosión ontológica cultural), seguimos la sugerencia de los revisores, pero la aplicamos también a los nombres indígenas (para mantener un equilibrio visual entre ambos sistemas de conocimiento). La primera razón que el IOC presenta para esta regla es el tradicionalismo (*Ha sido la forma habitual en libros de aves durante algunos años*), lo cual, inadvertidamente, podría promover la historia hegemónica (del Norte Global) occidental que buscamos evitar en esta investigación. La segunda razón es que los nombres de aves en inglés capitalizados distinguen una especie taxonómica de una descripción general, pero esta estandarización puede erosionar los significados culturalmente arraigados, como han señalado algunos autores (Sicard et al., Ornitología Colombiana 2019). Agradecemos la sugerencia del revisor, la cual seguimos, pero dejamos al editor la decisión final de aplicar o no esta regla de capitalización del IOC (fundamentada en el conocimiento occidental, ver varios comentarios del (la) Revisor(a) 2).

Línea 325 Por favor cite el R Development Core Team y la versión de R usada

Corregimos la cita de R e incluimos la versión usada.

Figura 4 Aunque esto está bien, es imposible leer todas las especies. Sugerimos mover toda esta figura al suplemento y mostrar solo algunas especies aquí, hasta 20... tal vez de diferentes órdenes, o algunas con patrones distintos. Solo haga un subconjunto para el artículo principal y el conjunto completo para el suplemento.

Modificamos la figura para incluir un subconjunto de las 258 especies (26 especies). Estas especies representan diferentes órdenes, y la mayoría (17) están incluidas en alguna parte del texto, lo que facilita la presentación de estos resultados. Movimos la figura completa al material suplementario, como sugirieron los revisores.

Línea 444 Error: Es “pull factor” (no “pulling factor”)

Gracias. Lo corregimos.

Línea 462 considere agregar “por qué” para que la frase diga: “para que las comunidades locales que han servido como guardianes de la biodiversidad también puedan opinar sobre por qué y cómo se recopilan, compilan y difunden los datos...”

Agradecemos esta sugerencia y modificamos el texto según lo recomendado.

Revisor(a) 2:

Este es un estudio interesante que investiga la compleja intersección entre la ciencia ciudadana, el conocimiento indígena, la cultura y la soberanía, y el monitoreo ecológico en el caso de especies de aves y en una región de la Amazonía colombiana de aproximadamente 50 km de ancho. Los autores comparan la diversidad de aves a partir de datos recolectados por avituristas a través del portal eBird con datos obtenidos mediante un proceso participativo que involucra a organizaciones locales y representantes indígenas, en un calendario estacional (Calendario Ecológico Indígena Pamiwa). La ambición de este estudio es demostrar el potencial de un enfoque de “Visión de Dos Ojos” para mejorar la comprensión colectiva de la ecología local de las aves de una manera que es más incluyente de las epistemologías indígenas.

Utilizar un calendario ecológico indígena y una base de datos de ciencia participativa para investigar puentes, correspondencias o vínculos entre sistemas de conocimiento indígena y occidental es interesante, innovador, ambicioso y susceptible de diversas interpretaciones. En mi opinión, este estudio tiene valor, pero requiere una reescritura significativa. En cuanto al análisis, los autores recurren a dos fuentes distintas para estudiar la ecología de las aves. En la conceptualización, los autores utilizan conceptos como “Visión de Dos Ojos” o ser “traductores entre disciplinas” que no están respaldados por sus métodos, los cuales permanecen incrustados en la ecología occidental.

Agradecemos los comentarios del(la) revisor(a), así como su lectura crítica y detallada de nuestra investigación en la Amazonia colombiana. Estamos de acuerdo y reconocemos la susceptibilidad a diferentes interpretaciones. Presentamos una nueva versión que esperamos resuelva las inquietudes respecto al uso de estos conceptos.

Principales críticas El principio de “Visión de Dos Ojos” se invoca sobre la base de diferencias existentes, aunque modestas, entre un producto indígena y uno occidental (L330–339). Esto constituye más bien una reducción del sesgo, lograda al combinar diferentes fuentes de datos dentro de un marco analítico occidental. El hecho de que una de las fuentes movilizadas sea de origen indígena no basta para fundamentar este estudio en un marco indígena. Lectura recomendada: Reid AJ, Eckert LE, Lane J-F, et al. “Two-Eyed Seeing”: An Indigenous framework to transform fisheries research and management. *Fish. 2021 ; 22:243–261*

Agradecemos la lectura cuidadosa del revisor y coincidimos en que nuestro planteamiento anterior corría el riesgo de presentar la Visión de Dos Ojos como simplemente la comparación de dos conjuntos de datos. Hemos revisado sustancialmente el manuscrito para aclarar que los análisis ecológicos en sí se realizan dentro de un marco analítico occidental, mientras que la Visión de Dos Ojos guió el proceso de investigación en general. Específicamente, los investigadores indígenas y occidentales desarrollaron conjuntamente las preguntas de investigación, identificaron especies de importancia cultural, interpretaron patrones ecológicos, incorporaron observaciones sobre el cambio climático y co-evaluaron los resultados. Por lo tanto, presentamos la Visión de Dos Ojos no como la comparación estadística en sí misma, sino como el principio orientador que da forma al desarrollo de preguntas, la movilización de conocimiento, la interpretación, la validación y la coproducción de ideas, siguiendo a Reid et al. (2021).

*Falta de precisión o uso indistinto de conceptos importantes pero diferentes: * sistema de conocimiento VS producto de datos - ej. L332, * datos de ciencia comunitaria VS conocimiento occidental - ej. L483 VS L425, L358: "While seasonal patterns of presence diverge between the two sources, these differences may enhance the value of integrating Indigenous and Western knowledge systems." terminaría de manera más precisa así: "... el valor de integrar diferentes fuentes de datos".*

Estamos de acuerdo. En la versión revisada del manuscrito, ahora distinguimos claramente entre sistemas de conocimiento y sus productos de datos asociados. Nos referimos al conocimiento ecológico indígena y occidental como sistemas de conocimiento, mientras que el calendario ecológico y los registros de eBird se tratan como productos de datos generados por esos sistemas. Revisamos múltiples secciones del manuscrito para evitar mezclar eBird con el conocimiento occidental en sí.

Revisiones mayores: *"Two-Eyed Seeing" involucra fuertemente la educación, la transmisión del conocimiento indígena y las limitaciones de la ciencia occidental para comprender un sistema y guiar la acción colectiva que impacta los modos de vida indígenas. La acción y la transmisión del conocimiento están integradas en "Two-Eyed Seeing". No se trata de conjuntos de datos complementarios, sino de mirar a través de diferentes lentes, por ejemplo, sujeto - objeto (Elder Dr. Albert Marshall). "El conocimiento*

transforma a quien lo posee y esa persona tiene la responsabilidad de actuar en consecuencia" (Reid et al., 2021). Las diferencias ontológicas y epistemológicas no se analizan ni discuten lo suficiente. O bien
2433 estos conceptos deben eliminarse y el manuscrito reescribirse destacando su ángulo científico original: la combinación y comparación de dos productos de datos para refinar la comprensión local de la ecología de aves. O se deben agregar métodos y análisis significativos, incluyendo una descripción de la participación
2436 indígena en la elección de métodos y en la discusión de resultados que beneficien a su comunidad sin asumir "lo que es mejor para su cultura". Por ejemplo, L498–500: ¿cómo ayudaría una diferente resolución temporal y espacial a adaptarse al cambio climático y reforzar la conservación biocultural, y quién aboga
2439 por esto?

Agradecemos enormemente esta observación. Tras discusiones con nuestros coautores indígenas, reconocimos que nuestro planteamiento anterior sobreenfaticaba la comparación de conjuntos de datos y subestimaba el papel de la transmisión y transformación del conocimiento. Los
2442 coautores indígenas enfatizaron que el conocimiento en las comunidades amazónicas se mantiene a través de la tradición oral, el aprendizaje intergeneracional, la reciprocidad y el cuidado territorial. También destacaron que ver "con dos ojos" no es simplemente combinar fuentes de información, sino transitar entre dos tradiciones de conocimiento sin disminuir ninguna, aprendiendo
2445 de las fortalezas de ambas mientras se mantiene la identidad indígena y la responsabilidad hacia el territorio. Incorporamos estas perspectivas en la nueva versión de Introducción, incluyendo la Declaración de Posicionalidad, y la Discusión, especialmente en la presentación del programa educativo de etno-ornitología del SENA como un proceso de aprendizaje intergeneracional y
2448 fortalecimiento de capacidades, y no solo como una fuente de datos de biodiversidad.
2451

* Figura 1. El énfasis en "fortalezas" indica cómo los autores justifican el principio "Two-Eyed Seeing": "Fortalezas occidentales + fortalezas indígenas = mejor conocimiento ecológico en general". Como se
2454 explicó antes, esto es un uso inexacto de este principio indígena. Las fortalezas son relativas a una pregunta o motivación. El estudio no aborda por qué ni cómo "llenar los vacíos de monitoreo de aves" apoya a las comunidades locales y el conocimiento indígena.

2457 Coincidimos en que nuestra presentación original simplificaba en exceso el significado de
Two-Eyed Seeing. Revisamos la Figura 1 y el texto correspondiente para aclarar que las fort-
alezas del conocimiento indígena y occidental dependen del contexto y son relativas a preguntas
2460 y motivaciones específicas. La figura revisada ahora enfatiza el desarrollo conjunto de pregun-
tas de investigación, el aprendizaje intergeneracional, la movilización del conocimiento y las
responsabilidades de cuidado, más que la producción de un solo sistema de conocimiento su-
2463 perior. También aclaramos que el monitoreo de biodiversidad es valioso para los investigadores
indígenas porque apoya varias prioridades locales identificadas durante las discusiones entre
coautores, incluyendo fortalecer la transmisión intergeneracional del conocimiento, documentar
2466 cambios climáticos observados en los calendarios ecológicos, apoyar el manejo territorial, evaluar
el impacto del aumento del aviturismo y ejercer mayor agencia sobre la información de biodiver-
sidad recolectada en territorios indígenas.

2469 *Falta la posicionalidad y las contribuciones de los autores en este estudio. Ayudaría a clarificar quién
estuvo involucrado en cada etapa y cómo (por ejemplo, clarificar la construcción de consensos descrita en
L290).*

2472 Agradecemos esta sugerencia. Añadimos una nueva subsección en la Introducción donde
presentamos nuestra posicionalidad, además de la declaración de contribuciones. En esta nueva
sección, incluimos la participación de los autores en las diferentes etapas de la investigación.

2475 *Parece haber una amalgama entre eBird y el conocimiento ecológico occidental que dificulta la discusión
sobre la especificidad relativa de los tres actores que construyen conocimiento ecológico en este estudio:
avituristas visitantes, indígenas locales y científicos. eBird parece ser una plataforma y base de datos, no
2478 un sistema de conocimiento. Es alimentada por científicos ciudadanos, por lo que es un producto de datos
muy específico, posiblemente de naturaleza distinta a otros productos de la ciencia occidental. Como se
indica en L483, no es más que "datos de ciencia comunitaria". Sugiero clarificar estos 3 actores.*

2481 Aclaramos nuestros tres portadores de conocimiento en la nueva versión. Modificamos el
texto en la discusión y la línea 483 fue actualizada.

Discutir más a fondo los cambios interanuales fortalecería el manuscrito. Se muestran barras de error y diagramas de caja pero no se analizan en el contexto de: 1. cambios en los patrones de observación (aumento del aviturismo mostrado en materiales suplementarios) 2. cambio climático (¿qué está afectando el clima local año a año?). Fortalecería el estudio entender los posibles cambios recientes en las transiciones ecológicas mencionadas. Por ejemplo, ¿podría el clima afectar la maduración de ciertos frutos y causar cambios en el calendario al compararlo con los datos de eBird? 3. El conocimiento indígena podría aportar profundidad temporal. Sugiero discutir el "alejar la mirada", para complementar el "acercar la mirada" con la resolución espacio-temporal. Pregunta adicional: ¿cómo se verían las barras de error o cómo podrían "traducirse" al conocimiento indígena? La traducción inversa es esencial para "transformar al portador [del conocimiento]" (Reid et al., 2021).

Agradecemos mucho estas sugerencias. Hemos incluido un nuevo análisis que busca incorporar el conocimiento indígena (estacionalidad tradicional y percepciones recientes de cambio climático) para aportar profundidad temporal y captar los cambios interanuales como una justificación de continuar el monitoreo a largo plazo a través de la actualización del calendario indígena.

Revisiones menores Por favor revisen cada aparición del concepto "Two-Eyed Seeing" y asegúrense de que esté correctamente escrito y en mayúsculas.

Revisamos la nueva versión para confirmar el uso correcto y la escritura adecuada de Two-Eyed Seeing.

Muchas frases o argumentos se repiten a lo largo del manuscrito (por ejemplo: "... como investigadores y traductores entre disciplinas ...", el inicio de las secciones de Resultados y Discusión son similares)

Revisamos la nueva versión para evitar este tipo de repeticiones.

Notas línea por línea. L33-36. la palabra "integración" es muy fuerte y no puede usarse sin contexto, para mejorar el conocimiento objetivo en general. En Armstrong et al. 2025 se usa en un contexto curricular con fines educativos. Reconocer la posibilidad de diferentes ontologías y epistemologías indígenas dificulta articular una integración "objetiva" con el "conocimiento occidental" sin reducirlo a un caso de uso, por ejemplo, proyectando ciertas dimensiones del conocimiento indígena compatibles con

las ontologías occidentales. En este estudio, los autores en realidad están proyectando o mapeando datos de
2511 dos productos (calendario y eBird) dentro de un marco matemático específico que permite la comparación
cuantitativa. La comparación resultante es un enfoque científico cuantitativo totalmente inmerso en la
modalidad occidental.

2514 Agradecemos esta importante aclaración conceptual. Siguiendo a Reid et al. (2021), revisamos
nuestra terminología en todo el manuscrito para evitar implicar que un sistema de conocimiento
se está asimilando a otro. Ahora enfatizamos coexistencia, uso en conjunto (combinación), colab-
2517 oración y coproducción de ideas en lugar de integración. Nuestra intención no es fusionar los
sistemas de conocimiento en un solo marco, sino aprender de ambos respetando sus ontologías,
epistemologías, axiologías y metodologías distintas.

2520 L173–174. Por favor aclaren la terminología utilizada en este manuscrito para identificar qué es un
dato, qué es un sistema de conocimiento, en el caso ambivalente de la ciencia ciudadana.

Agradecemos la inquietud planteada por el(la) revisor(a) al respecto. Hemos revisado y
2523 aclarado la terminología.

L174. Los autores quieren decir "Figura 1" y no Figura S1.

Sí, fue un error tipográfico generado al traducir el manuscrito al español para la revisión de
2526 los coautores. Gracias por señalarlo.

L229. Salvo error, no veo una definición de a qué se refiere "checklists" en este contexto.

Modificamos aquí el texto para definir brevemente "checklists" como los eventos de muestreo
2529 en eBird, e incluimos la definición breve en la nueva versión de la Introducción.

L272. Yo quitaría "To harmonize the datasets". Los autores están creando un mapeo entre ambos
conjuntos de datos, basado en el mes (calendario gregoriano).

2532 Eliminamos esa frase del texto.

L276. "For each month *i* the absolute .." > la letra *i* no parece usarse en otra parte

Eliminamos la letra *i* del texto.

2535 L286. No diría "sistemas de conocimiento", sino métodos de recolección de datos: uno a través del
trabajo colaborativo del calendario indígena, el otro a través de eBird.

Modificamos el texto como fue sugerido.

2538 L320. Es la primera vez que se plantea esta hipótesis, pero está en el núcleo del estudio y expresa adecuadamente de qué trata: "variaciones correspondientes" entre dos conjuntos de datos. Sugerencia adicional: reemplazar "temporal variation" por "seasonal variation".

2541 Gracias por señalarlo. Incluimos la hipótesis antes y modificamos el texto como se sugirió.

L330. No estoy de acuerdo con esta frase: este no es el resultado principal, sino un elemento de discusión que debe elaborarse (ver comentario anterior). Sugiero iniciar la sección de Resultados con la segunda frase ("We found ...").

Modificamos el texto como se sugirió.

L412–416. Interesante, sugiero elaborar: ¿cómo se evaluó, discutió y con quién..?

2547 Incluimos esto en la nueva versión.

L434. No necesita ser interpretado, simplemente debe haber espacio para que esta dimensión exista, y no puede existir dentro del lente científico occidental. Sin embargo, puede existir en actividades comunitarias, procesos, gobernanza, etc. Pero esto no se incluyó en este manuscrito, en el que los métodos fueron unilateralmente occidentales.

Estamos de acuerdo con el revisor. Nuestro objetivo es, de hecho, promover el reconocimiento de esta dimensión cuando cualquier perspectiva occidental llegue al territorio indígena (científicos occidentales como el primer autor, pero también observadores de aves occidentales como ha promovido el gobierno colombiano). Con la incorporación de más detalles de nuestro proceso, buscamos seguir el ejemplo del Elder Dr. Albert Marshall y colegas para encontrarnos y generar conocimiento que nos transforme, como portadores de ese conocimiento. Esperamos que nuestra nueva versión sea más acorde con la crítica de los revisores y se aleje de métodos "unilateralmente occidentales" tanto como sea posible. El hecho de enviar a una revista científica occidental en nuestra segunda o tercera lengua (ej., Pamiwã -> español -> inglés) nos sitúa en un propósito y proceso de investigación "unilateralmente occidental" (según la definición de "metodologías" en Reid et al. 2021). Los coautores indígenas expresaron en reuniones internas para esta respuesta que no percibieron métodos "unilateralmente occidentales" en este manuscrito. Por el contrario,

expresan que el conocimiento generado se complementa entre las formas indígenas y occidentales de saber
2565 con respeto, conversación abierta, compartir, aprender y comprender ambos sistemas de conocimiento. Ambos pueden generar puentes de visión integral para la conservación del conocimiento, los modos de vida y la Amazonia con sus cohabitantes y recursos. (Gloria Rivera compartió esta perspectiva literal de los
2568 coautores en Mitú; traducción al inglés por Orlando Acevedo.)

L438. ¿"la perspectiva del otro"? No está claro.

Modificamos el texto, eliminando esa declaración poco clara.

2571 L439. "Mejorar la recolección de datos a través de eBird" sin gobernanza comunitaria probablemente tendría poco impacto en la erosión biocultural.

Estamos de acuerdo y modificamos el texto para incluir la perspectiva de gobernanza comunitaria en todo el manuscrito.
2574

L440. "We believe .." Sugiero reescribir: una justificación, aunque subjetiva, siempre es mejor, especialmente en un estudio que involucra conocimiento indígena y carece de posicionalidad de los autores.

2577 Modificamos el texto.

L441. ¿Podrían aclarar "successful birdwatching in Indigenous territories"? ¿Se ha preguntado a las comunidades qué esperan de los observadores de aves?

2580 Eliminamos este argumento subjetivo. Aunque las comunidades expresaron su perspectiva durante reuniones internas con el grupo del SENA, esta información no se ha obtenido de forma sistemática, por lo que no la pudimos incorporar en el presente manuscrito. Incluimos este paso
2583 lógico como futura línea de investigación con las comunidades en Mitú.

L440–460. Gran parte de la discusión se enfoca en "mejorar el valor de las observaciones de eBird", con un valor añadido poco claro para las comunidades indígenas locales.

2586 Estamos de acuerdo en que la versión anterior de la discusión se centraba en mejorar el valor de las observaciones de eBird. La nueva versión incorpora el valor percibido por nuestros coautores indígenas como investigadores y co-desarrolladores de este manuscrito, vinculando
2589 esta mejora de los datos de eBird con el cuidado y monitoreo de aves y el fortalecimiento de la ciencia indígena en su territorio.

L460. *¿Por qué los estándares más altos de eBird "apoyarían la gobernanza y el manejo indígena durante el cambio ambiental global"?*

Los coautores indígenas enfatizaron que su conocimiento no es estático. Por lo tanto, combinar observaciones de eBird bajo estándares más elevados con conocimiento indígena refuerza una comprensión general de las aves en su territorio, fortalece el conocimiento sobre ese territorio y enfatiza el redescubrimiento de aves, como identificar más especies diferentes en grupos que antes eran nombrados como una sola. Para ellos, este tipo de ejercicio aumenta la apreciación por su territorio y su conocimiento indígena. Incluimos estas perspectivas en la nueva versión del manuscrito.

L462–465. *"birding for and with the people" sin argumentos adicionales es superficial.*

Desarrollamos los argumentos en este párrafo para evitar interpretaciones superficiales.

L467–468. *Las actualizaciones del calendario podrían vincularse a cambios interanuales y discutirse más a fondo (ver comentario anterior).*

Incorporamos esta perspectiva de cambios interanuales en la discusión, respaldada por los cambios de abundancia en los datos de eBird y la percepción indígena de cambios en las vocalizaciones: *Hace unos 20 días uno de los abuelos de Mitú Cachivera vino a ayudar y conversamos sobre aves. ¿Por qué las guacharacas están madrugando ahora a cantar – "se enloquecieron porque está llamando el verano en pleno invierno"? ¿Será esto un efecto del actual fenómeno de El Niño?* (De una reunión entre Walter y Gloria para esta respuesta, traducido al inglés por Orlando Acevedo).

L475. *"vincular observaciones de ciencia comunitaria con intereses indígenas" parece más una necesidad ética que una mejora técnica de la recolección de datos.*

Estamos de acuerdo. En la Discusión revisada, enmarcamos explícitamente la alineación de las observaciones de ciencia comunitaria con los intereses indígenas como una cuestión ética y de gobernanza, no solo como una mejora técnica en la recolección de datos. Ampliamos la discusión sobre la soberanía de los datos indígenas, la toma de decisiones local, el cuidado territorial y la responsabilidad de los usuarios de eBird e investigadores de apoyar prioridades definidas por la comunidad.

L 478. *"También invitamos a los pueblos indígenas locales a valorar su conocimiento ancestral y vincularlo con herramientas estandarizadas de monitoreo de biodiversidad". » Instrucción poco clara y potencialmente dañina: ¿cómo hacerlo sin perder las ontologías indígenas?*

Modificamos el texto.

2619 L498. *Las alineaciones pueden ser peligrosas si no respetan diferencias epistémicas fundamentales.*

Modificamos el texto. Nos referimos a la coexistencia plural, como la definen Howitt y Suchet-Pearson (2006) y Zanotti y Palomino-Schalscha (2016) (citados en Reid et al. 2021).