

Adaptive strategies for biodiversity monitoring integrating Indigenous ecological calendars and community science data

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 Gonzalez⁷, 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 Antioquia, 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.

Author contributions:

Running title: Two-Eyed Seeing guiding principle in Amazonia

Data and code availability: [Zenodo](#)

Abstract

Integrating Indigenous and Western ecological knowledge can strengthen understanding of phenological patterns, yet this integration is often constrained by epistemological differences, power asymmetries, and histories of exclusion. We evaluated the potential of the Two-Eye Seeing guiding principle, which integrates the strengths of both knowledge systems, in ongoing biocultural conservation dialogues among local ethnographic leaders, Indigenous scholars, and Western researchers in ecology and anthropology. To identify similarities and differences between the two knowledge systems for success integration, we compared temporal patterns of bird species richness, composition, and relative abundance derived from a culturally embedded phenological device – an ecological calendar developed by the Pamiwā people – and from a community science initiative (eBird data contributed primarily by visiting avitourists). Our comparison revealed both convergence and divergence: phenological patterns in species richness and relative abundance for culturally important birds were broadly similar, whereas species composition varied across the year. These differences reflect distinct experiential approaches to observation. Indigenous observers ground their knowledge in culturally embedded experience and attention to environmental change, resource use, and bird behavior, whereas avitourists focus on personal encounters with more and rarer birds. Biocultural conservation requires integrative methods that are subject to interpretation and uncertainty. Acting as researchers and translators across disciplines, we demonstrate the opportunity to apply the Two-Eye Seeing guiding principle to integrate Indigenous and Western knowledges. This integration provides a tool for long-term monitoring that aligns global platforms such as eBird with local priorities for safeguarding biodiversity and cultural, ancestral, and spiritual values. Our findings highlight the value of iterative ecological calendars, framed by the Two-Eye Seeing guiding principle, as adaptive strategies for local 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). 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 have the potential to be integrated (Armstrong *et al.* 2025; Nuñez 2024), complementing each other's insights at different temporal, spatial, and biocultural scales (Jessen *et al.* 2022; Kainer *et al.* 2009). Failure to integrate these knowledge systems threatens biocultural heritage (Couée 2024; Fonseca-Cepeda *et al.* 2019; Kassam *et al.* 2023), potentially leading to suboptimal, inadequate, or incomplete knowledge that exacerbates biodiversity loss (Bridgewater & Rotherham 2019). By contrast, their integration (Bartlett *et al.* 2012; Stern & Humphries 2022; Turner & Reid 2022) has the potential to yield a more accurate and comprehensive understanding of biodiversity, 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 environmental patterns in flora, fauna, and abiotic drivers maintained and transmitted by Indigenous peoples (Jessen *et al.* 2022). These knowledge systems have guided 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, 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' distribution (Rushing *et al.* 2019), population fluctuations (Socolar *et al.* 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 or citizen science initiatives to improve our understanding of phenology in biodiversity (Amano *et al.* [2016]; Amaral *et al.* [2025]; Kelling *et al.* [2019]). These observations collected by volunteers occur in various times and places throughout the world (Amaral *et al.* [2025]; Kelling *et al.* [2019]; Youngflesh *et al.* [2022]), including Indigenous territories (Moreno-Salazar *et al.* [2023]). Yet, as global community science initiatives expand into Indigenous territories, the lack of integrative methodologies and inclusive data governance frameworks raises critical questions about how biodiversity data are collected, shared, and used, particularly for Indigenous communities seeking to align conservation with cultural and livelihood priorities (Reid *et al.* [2024]). In this sense, community science offers an opportunity to foster integrative collaboration between Indigenous and Western ecological knowledge.

Even though the integration of Indigenous and Western knowledge has the potential to transform our understanding of nature, this integration is challenged by epistemological differences, power asymmetries, and the historical legacy of exclusion (Gazing Wolf *et al.* [2024]; Reid *et al.* [2024]). Here we test the potential of a Two-Eyed Seeing guiding principle as an adaptive strategy of biodiversity monitoring that integrates Indigenous ecological calendars with community science data (Figure S1). Conceived for application in health and healing workshops (Marshall [2008]), the Two-Eyed Seeing guiding principle refers to learning to see from the joint *strengths* of Indigenous and Western knowledge systems and way of knowing for the benefit of all (Bartlett *et al.* [2012]). We assess the potential of this guiding principle in phenological research. Its implementation can promote more inclusive research and policies that bridge cultural gaps, improve problem-solving, foster local empowerment, and facilitate reconciliation across stakeholders through transdisciplinary innovation. Our research, thus, builds on ongoing dialogues in Amazonian biocultural conservation, involving Indigenous leaders (Gloria Rivera (GARV) – Nasa, Luis E. Llanos (LELR) – Pamiwã, Miguel Ángel Portura – Pamiwã, Agripino González (AG) – Tuyuca, Walter G. (Siorú) Estrada (WG(S)E) – Siriano, Yenifer López (YSLP)

78 – Desana, Yorneida González (YG) – Pamiwã, Fabián Rodríguez (FRA) – Pamiwã), local scholars (Yeison Hernández (YFHY), Sebastián Guerrero (SGP), Luis F. Jaramillo (LFJ)), and Western academics in ecology (Orlando Acevedo-Charry (OAC), Fernando Cediél (FC), Zuania Colón-
81 Piñeiro (ZCP), Scott K. Robinson (SKR), Miguel A. Acevedo (MAA)) and anthropology (Ana M. Garrido-Corredor (AMGC)); see the Supporting information [A](#) for the Spanish version.

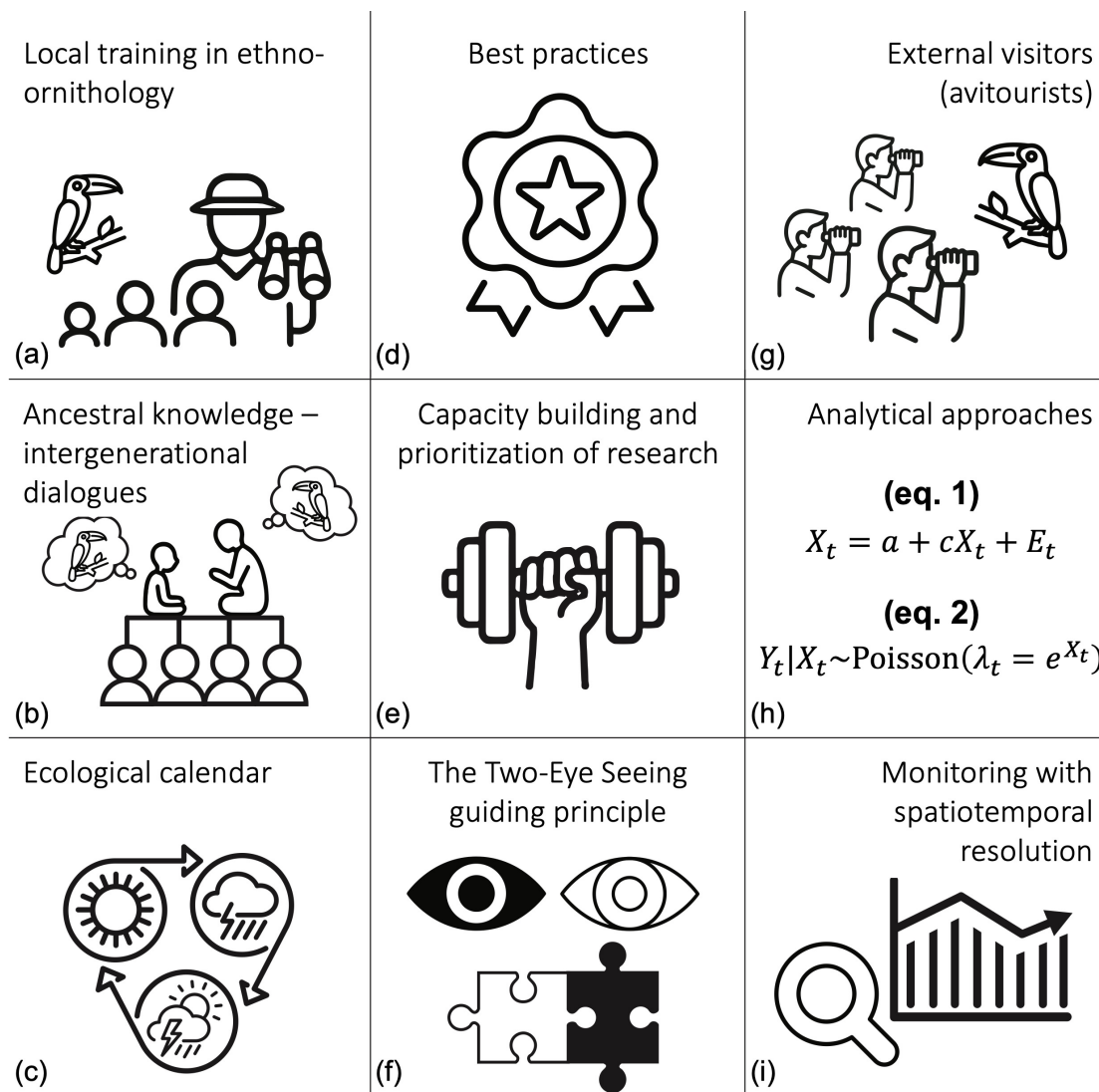


Figure 1: Indigenous and Western knowledge can be integrated to transform our understanding of nature, but this integration might be challenging. The applicability of the Two-Eyed Seeing guiding principle (Bartlett *et al.* 2012) (f) could provide an effective way to do it. This principle encourages mutual respect,...

Figure 1: ... collaboration, and the integration of different ways of knowing from their *strength*, rather than choosing one over the other. For example, local training in ethno-ornithology, including unstructured bird sampling and cultural value assessments (a), combined with intergenerational dialogues with Indigenous elders and students (b), highlights the Indigenous knowledge preserved through oral tradition. These two activities embody the *strength* of Indigenous knowledge, synthesized in an ecological calendar (c). The recent increase in avitourists visiting Indigenous territories has led to more biodiversity records being submitted to global community science platforms (g). Leveraging these data to understand ecological (eq. 1) and observational (eq. 2) processes requires analytical approaches in Western Science (h); the two equations are submodels of a state-space population dynamics model example (see [Acevedo-Charry et al. 2025](#)). Combining volunteer contributions to community science platforms with analytical approaches provides the *strength* of Western knowledge to monitoring biodiversity with spatiotemporal resolution (i). Using the ecological calendar (a-c) and critical analyses of community science data (g-i), we prioritize research questions, identify opportunities for capacity building (e), and propose ways to improve data collection by applying best practices (d) for long-term biodiversity monitoring in a local context. Figure designed by Hollis Wooley at the FLMNH-Graphics division and modified by OAC after editorial feedback.

84 Drawing on Indigenous and Western ecological knowledge systems, we focus on Amazonian
bird phenology to evaluate the use of a Two-Eyed Seeing guiding principle. Birds hold deep
cultural and ecological significance across societies, serving as indicators of seasonal change,
87 ecosystem health, and communal meaning ([Acevedo-Charry & Contreras-Herrera 2015](#); [EtnoOr-](#)
[nitologia 2016](#); [Lees et al. 2022](#); [Massardo & Rozzi 2004](#)). Indigenous communities from the
Colombian Amazon interpret temporal changes in the presence, perceived abundance, and com-
90 position 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 in oral traditions and ecological cal-
93 endars, 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 people (Cubeo: Tukano linguistic family) and informs land-use decisions such
96 as slash-and-burn agriculture ([EtnoOrnitologia 2016](#); see more examples in [2.5](#)). Indigenous bird

assessment is relational and experiential, grounded in lived interactions with the landscape 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.

Conversely, Western ecological scientists survey birds applying standardized quantitative methods that prioritize repeatability and data quality. These standardized approaches can be potentially replicated in some semistructured community science efforts such as eBird, a global community science initiative that collects species lists, 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 (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 asymmetries 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 of birds in their territories (Acevedo-Charry *et al.* 2025; Johnston *et al.* 2021). Despite differing epistemologies and methodologies, integrating Indigenous ecological calendars with community science data, following the Two-Eyed Seeing principle (i.e., leveraging the *strengths* of the two knowledge systems), 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 collection of biodiversity data (Moreno-Salazar *et al.* 2023; Ocampo-Peñuela *et al.* 2025), raising questions about data ownership and use (Soares *et al.* 2023).

126 In this study, we evaluated the potential integration of Indigenous and Western knowledge with the Two-Eyed Seeing guiding principle to better quantify temporal variability in biodiversity patterns in the Colombian Amazon. Our approach responds to the urgent need for inclusive bio-
129 diversity monitoring frameworks that reflect both local priorities and 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 de-
132 rived from the Pamiwã Indigenous calendar and from quality-refined eBird records within their territory. If the biodiversity patterns from these two sources are either too similar or too diver-
gent, integration potential may be limited. However, if key similarities emerge alongside modest
135 differences, there is potential for integration that results in a more robust understanding of bio-
diversity patterns. Our results support this latter possibility. We therefore discuss strategies for
integrating eBird data with Indigenous ecological calendars to enhance our understanding of
138 temporal biodiversity dynamics and support more equitable, locally targeted monitoring prac-
tices.

2 Methods

141 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
144 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
147 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 *et al.* 2005). Local communities rely on shifting agriculture, fishing, hunting, and the collection of non-timber forest products for subsistence. In this context, a public institution under the Colombian Ministry of Labor, the National Learning Service (Servicio Nacional de Aprendizaje– SENA), provides the primary opportunity for technical and vocational training. For more than a decade, the SENA has hosted a specialized program in bird identification and ethnographic research, led by its Ethno-Ornithology research group in Mitú, the capital city of the department (see section 2.2).

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 S7; 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, the standardization of 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). Combined with analytical approach, these data represent the strengths from Western knowledge (Figure S1g-i). Nonetheless, the social and ecological impacts of ecotourism remain poorly monitored and inconsistently defined (Stronza *et al.* 2019). Thus, we leverage an ongoing training in ethno-ornithology by the SENA in Mitú, which includes inter-generational knowledge dialogues to underpin the construction of the Pamiwã ecological calendar, to showcase the strength from Indigenous knowledge (Figure S1a-c). This convergence between the Pamiwã

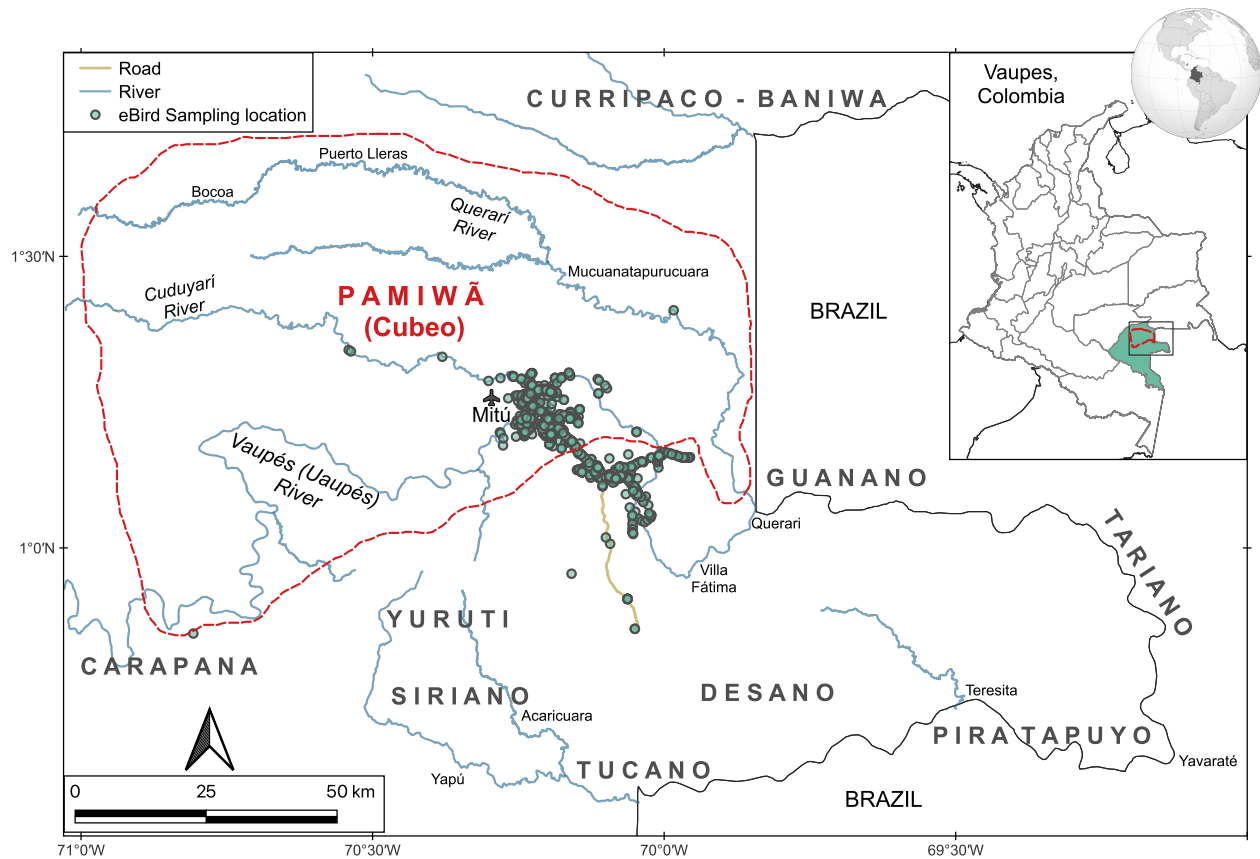


Figure 2: Location of the Pamiwã people territory (red dashed line), in the Colombian Amazonia (inset maps). The territory map is based on the comprehensive life plan by the Cubeo Indigenous Union (PIVI – UIC, by the Spanish acronym). The map shows other communities of interest as references, including 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, extending across a central road, trails, rivers, and streams, between 1997 and 2025, mainly by external visitors (avitourists).

people's remarkable relationship with birds and the expanding presence of avitourism offers a
177 unique opportunity to align community-led research with global biodiversity monitoring initia-
tives, while safeguarding cultural integrity.

2.2 The Pamiwã Indigenous Ecological Calendar

180 To compare patterns of bird diversity between Indigenous ecological knowledge and Western
knowledge derived from eBird, we leverage data consolidated by the SENA Ethno-Ornithology
research group, which developed the Indigenous ecological calendar of the Pamiwã people
183 (Rivera-Velasco *et al.* 2026). This calendar depicts phenological patterns associated with annual
climatic seasonality and documents the potential monthly presence of bird species identified by
local communities around Mitú. We define this presence as potential, because the perspectives
186 of the sampling differs those perspectives from conventional ornithological sampling (incom-
plete lists). This ecological calendar incorporates oral traditions, including tales featuring birds
as central characters and Indigenous bird names (EtnoOrnitologia 2016, 2018; Rivera Velasco &
189 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),
192 we present a chronology distinct from the Western annual calendar. The calendar begins with
the cold wave during the Austral winter, between June and July, known as 'fria~je' (Holzmann
et al. 2025; Jiménez *et al.* 2023) or Arú. This climatic event is defined by the Pamiwã people as the
195 flowering time of the guama tree (*Inga edulis*). After this event, the first season is Pamurĩmĩ, the
transitions from wet to dry, which extends around mid-August to late November. The second
is Hĩrĩmĩ, the dry season around December to mid-March. The third, Okorĩmĩ, is the wet season
198 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 GARV, with support from
201 SGP, YFHY, and LFJ, and the active involvement of Indigenous students (MAP, AG, WG(S)E,

YSLP, YG, FRA, among others; see Acknowledgements; [Rivera-Velasco *et al.* 2026](#)). They conducted incomplete unstructured sampling of bird species in 17 Indigenous communities in rural Mitú, documenting bird behaviors and resource use (Figure [S1a](#)). These listing events have occurred at least once a week each month from 2016 to the present. Then, the students engaged in mapping and knowledge dialogues with elders (LELR, MAP) to refine species lists and deepen their ecological understanding through oral traditional knowledge (Figure [S1b](#)). These intergenerational dialogues occurred less frequently than the listed events (typically once or twice a year), due to funding and logistical constraints. These two activities followed institutional methods for cultural context formation within the 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 Velasco & 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 (e.g., MAP, AG, WG(S)E, YSLP), contributing to the regional avifaunal inventory ([Carrillo Chica *et al.* 2018](#)) and the local economy. This calendar provides the foundation for our comparative analysis with eBird data, offering a unique opportunity to integrate Indigenous and Western knowledge systems.

2.3 Bird Records From a Community Science Platform

To compare patterns of bird diversity between Western and Indigenous knowledges derived from the ecological calendar of the Pamiwã people, 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 [S7](#)). The prevalence of historical and incidental checklists, 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

228 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 Pamiwā territory and surrounding areas (Figure [2](#)). Each eBird checklist includes metadata such as protocol 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 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 species, we calculated the total number of individuals per sampling event (checklist). Our critical assessment of eBird revealed biases in the data and identified opportunities to improve locally relevant biodiversity monitoring (see Discussion).

We classified each eBird checklist into five categories based on metadata and sampling resolution (Table [1](#)). The “Ultrafine” category applied the most restrictive filters, targeting assumed high-quality, homogeneous sampling that mimics standardized sampling ([Callaghan et al. 2023](#)). The “Fine” category was slightly less restrictive, still aligned with best practices to improve spatiotemporal resolution in the heterogeneous landscape of the Pamiwā territory. The “Coarse” category followed general effort-filtering recommendations ([Johnston et al. 2021](#)), including sampling 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 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 *et al.* 2021).

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

Analyses of eBird data required refinement based on metadata (Johnston *et al.* 2021, 2023), providing an opportunity to discuss integration strategies between eBird and Indigenous ecological calendars. Furthermore, to foster aggregated results useful for local community management and stewardship of their territories, we also reviewed the shared birding locations of eBird, or “hotspots”. This was conducted by FC and OAC, in meetings with WG(S)E, GARV, AG, FRA, and MAP. Subsequent analyses focused on data from the Ultrafine, Fine, and Coarse categories, spanning records from March 2011 to April 2025.

2.4 Comparison of Seasonal Species Richness and Composition Between Indigenous and Western Knowledge Systems

To identify similarities and differences in biodiversity patterns between Indigenous and Western knowledge systems, we compared seasonal variation in species richness as interpreted through the Pamiwã ecological calendar and eBird data. To harmonize the datasets, we assigned each eBird sampling event to the seasons recognized in the Pamiwã ecological calendar (transition – *Pamurĩmĩ*, dry – *Hirĩmĩ*, and wet – *Okorĩmĩ*), based on 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 for each month i the absolute species richness of the Indigenous calendar and the monthly mean species richness of eBird data. To compare temporal patterns in species composition, we focused on the species listed in the Pamiwã 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 resolution, we treated seasonal commonness as a proxy for perceived relative abundance in this Indigenous knowledge. The refined (or filtered) eBird data provide a similar monthly presence output, which we compared with the Indigenous calendar.

2.5 Seasonal Relative Abundance Variation for Culturally Important Species

To identify similarities and differences in temporal patterns of relative abundance between the two knowledge systems, we analyzed data on bird species culturally important to the Pamiwã people. We assumed a higher relative abundance of each species, corresponding to a higher proportion of months with reported presence within each season in the Indigenous ecological calendar. Pamiwã people maintain strong relationships with many birds (EtnoOrnitologia 2016, 2018; Rivera Velasco & EtnoOrnitologia 2022). After extensive discussions among the coauthors, grounded in Indigenous knowledge, we focused on eight species signaling transitions in the

Indigenous ecological calendar. These selected species were organized into three thematic topics that delimit important agricultural milestones and ecological transitions.

291 The first topic concerns the readiness of *pupuña* fruit (*Bactris gasipaes*: Arecacea, 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
294 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
297 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*,
300 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
303 (*Okorimi*) with the first rains in March (EtnoOrnitologia 2018). These seasonal transitions are 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
306 anthropomorphic figure akin to the Sun-Father in Tukano-Desana cosmology (Reichel-Dolmatoff 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).

309 The final topic relates to seasonal migrations. A Pamiwã tale recounts that each year, many birds fly at the onset of the wet season (*Okorimi*, March) to repair and maintain the ancestral *Maloka* of an elder woman, returning in October-November (*Pamurimi*; EtnoOrnitologia 2018).
312 These birds travel in large flocks, moving in a single direction in an orderly manner. Upon their return, their 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*

315 *americana*, wood stork). However, our collaborative team also recognized similar migratory traits
in *kuito aũ yarabe* (*Tyrannus savana*, fork-tailed flycatcher).

To assess the hypothesis that temporal variation in relative abundance in the calendar would
318 be mirrored by corresponding variations in eBird data for these culturally important species, we
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
321 abundance, while values near 0 suggest lower relative abundance compared to other species in
the same sampling event. All analyses were conducted in the software R (Acevedo-Charry *et al.*
2026; Team 2024).

324 3 Results

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

327 We found support for the potential application of the Two-Eye seeing guiding principle for Ama-
zonian bird phenology. We found key similarities, but also modest differences between the
species richness quantified from Indigenous and Western knowledge (Figure 3). In terms of sim-
330 ilarities, both knowledge systems identified the dry season (*Hirimi*; December-February) as the
one with higher species richness (Figure 3). This season was also the one with higher cumulative
sampling effort in eBird (Figure S8). However, eBird data summarized at the monthly temporal
333 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 apply-
336 ing a Two-Eye Seeing guiding principle.

The Pamiwã people reported 258 bird species in their territory across the seasons of their
Indigenous ecological calendar (Figure 4), in contrast to 587 species recorded in eBird (check-
339 lists categorized as Ultrafine, Fine, and Coarse). Only five species in the Indigenous calendar

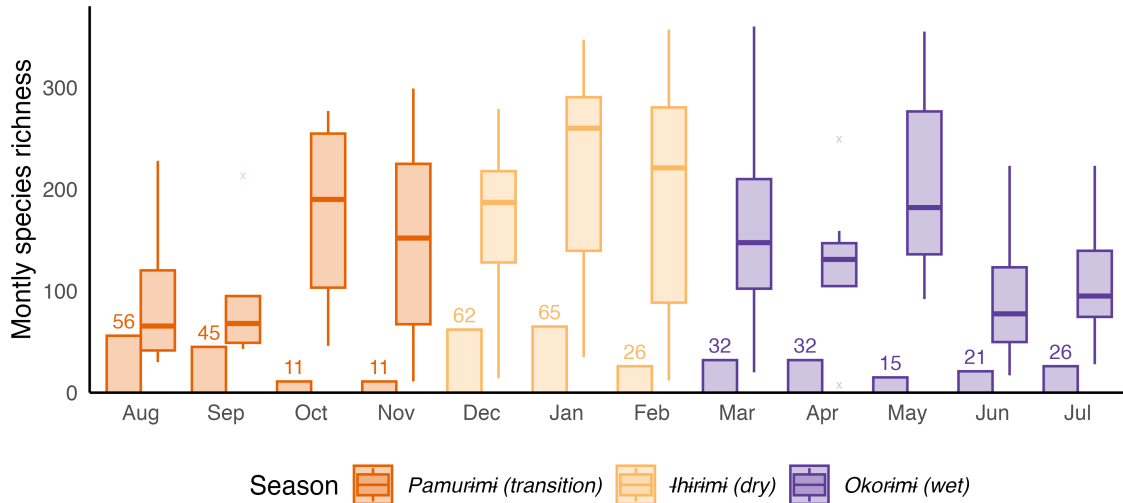


Figure 3: Indigenous calendar and eBird species richness across three climatic seasons. Boxplot of monthly species richness from eBird, showing the interquartile range (IQR), median, and whiskers to $\pm 1.5 \times \text{IQR}$ (5 to 12 years with data per month). Colored bars indicate richness from Indigenous ecological knowledge (with the associated number of species above each bar).

were not recovered from the refined eBird dataset: *koró* (*Eudocimus albus*), *taitiru kirabu juakĩ* (*Mitu tomentosum*), *kava yai* (*Mycteria americana*), *ōroko umedĩ* (*Trogon collaris*), and *bede cuchara* (*Ze-*
 342 *brilus 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
 345 reveal differences in seasonal occurrence across species between the two datasets. For exam-
 ple, five species were more commonly reported during the wet season (*Okorimi*) in the Indige-
 nous calendar: *ōrokō* – *Trogon viridis* (green-backed trogon); *harabĩ koreovaimu ñemini kodeiboakĩ* –
 348 *Bucco macrodactylus* (chestnut-capped puffbird); *mi takaka ñemikĩ* – *Neotantes niger* (black bush-
 bird); *kuito aũ yarabe* – *Tyrannus savana* (fork-tailed flycatcher); and *veami mihikiñemini kavekiaki*
 – *Sporophila angolensis* (chestnut-bellied seed-finch). One species, *ōpōkĩba* / *ōpō kiyĩri* / *ōpokiyĩri*
 351 – *Brotogeris cyanopectera* (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. cyanopectera*, 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 patterns of presence diverge between the two sources, these differences may enhance the value of integrating Indigenous and Western knowledge systems. For instance, birds may not necessarily leave the Indigenous territory, but their interactions with the Pamiwā people appear to vary across the year, potentially reflected in other biodiversity metrics such as relative abundance from 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 Pamiwā 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 Pamiwā calendar's prediction, while for *T. palmarum* was delayed by approximately two months. The Pamiwā 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 Pamiwā 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 Pamiwā 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 Pamiwā calendar, *piabecó* (*M. morphoeus*) shows higher relative abundance in December, marking the beginning of

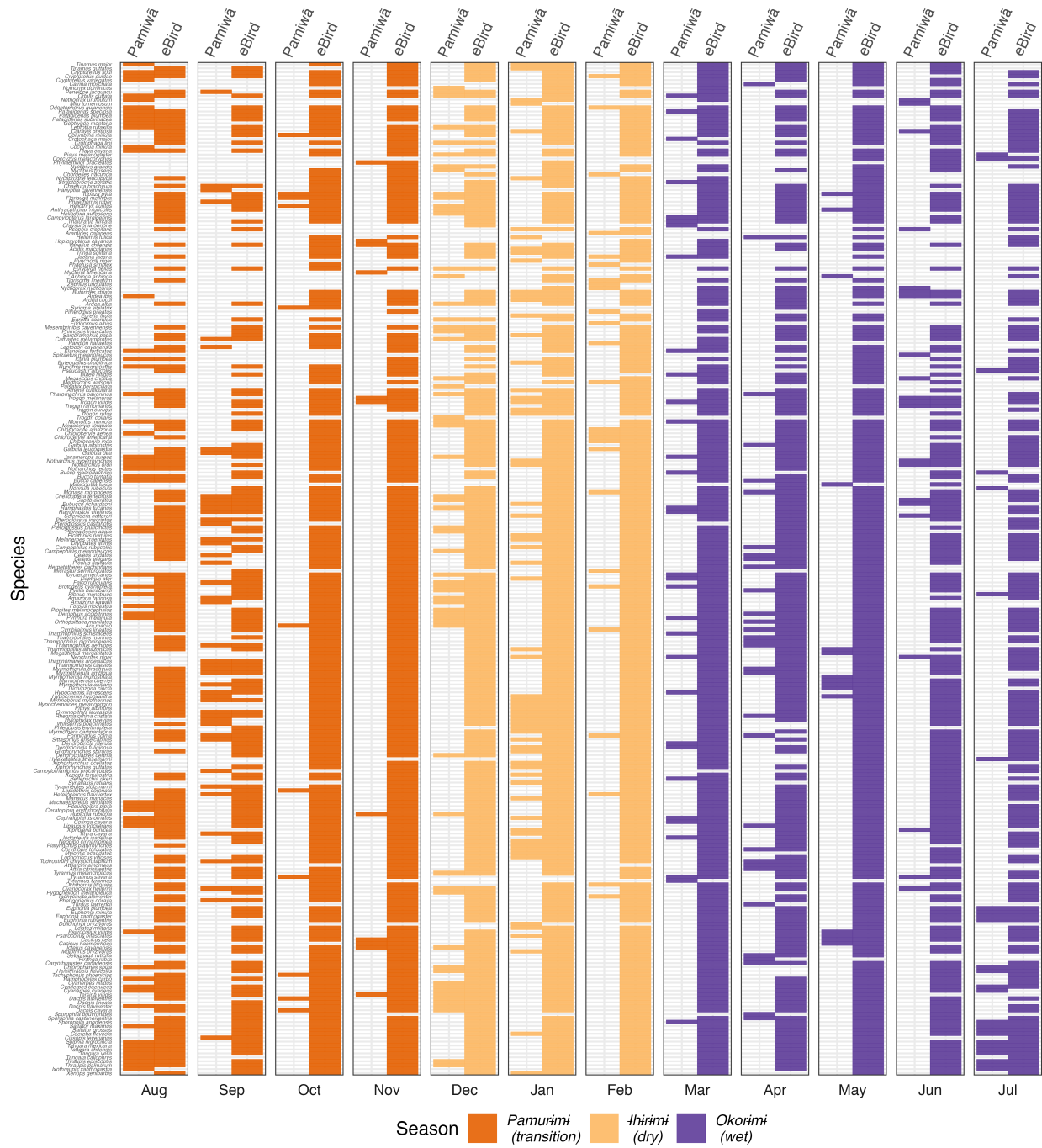


Figure 4: Heatmap showing the presence of 258 bird species from the Indigenous ecological calendar of the Pamiwã people, Colombian Amazonia, and the eBird data in the same region, after applying data refinement by metadata filtering. Every row represents a species, while the columns represent the months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

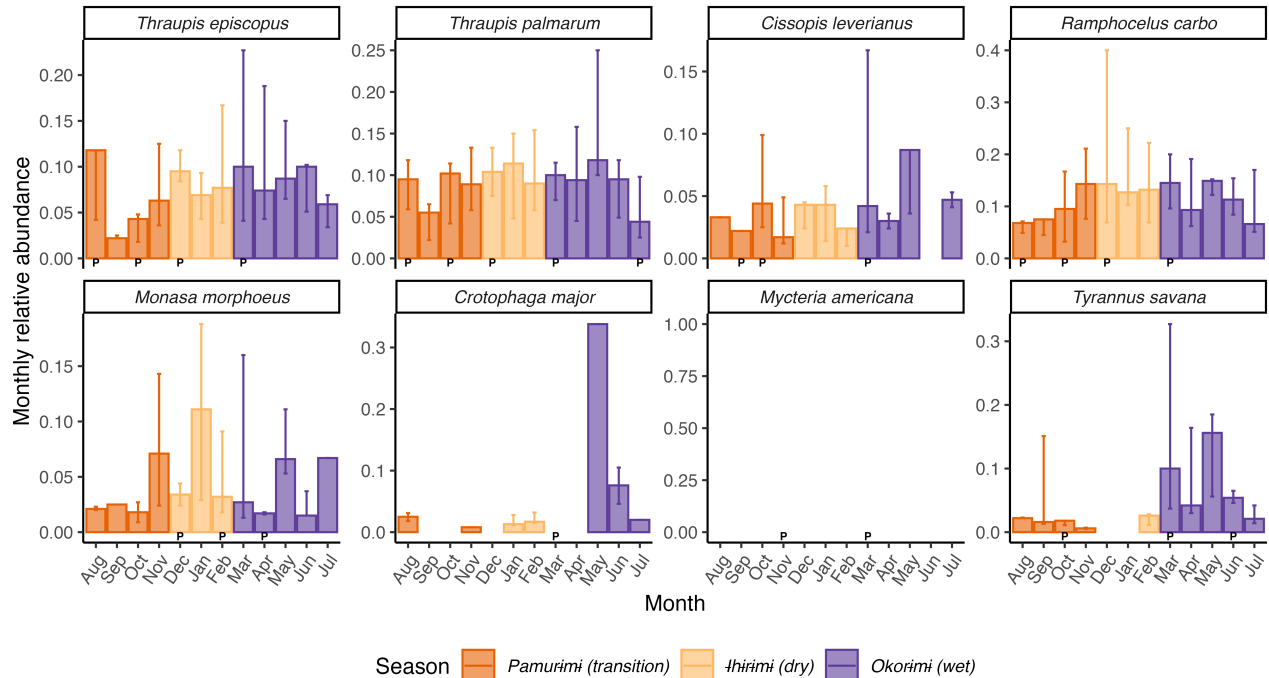


Figure 5: Monthly peak relative abundance estimated from eBird (bars with error lines indicating 25-75 % range) partially matched the seasonal abundance recognized in the Pamiwā ecological calendar (letter "P" above months) for eight culturally important species. These include four frugivores that signal 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*).

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 relative abundance increase from the Indigenous calendar appeared to be misaligned for about a month. Furthermore, the Pamiwā 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, aligning with the peak of rainfall rather than its onset.

Species associated with seasonal migrations showed partial similarities. The Pamiwā 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 for this species to compute relative abundance. In contrast, the indicated increased abundance of *kuito aũ yarabe* (*T. savana*) during 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).

4 Discussion

Our comparative analysis of the Pamiwã ecological calendar and eBird records reveals similarities and modest differences in patterns of phenological bird diversity, providing support for the application of the Two-Eye Seeing guiding principle. While seasonal species richness and relative abundance patterns partially coincided across the two knowledge systems, discrepancies in monthly species presence highlight distinct relationships between the two observer types and birds. These epistemological differences are not merely observational gaps; they reflect contrasting ways of knowing. The Pamiwã people experience culturally grounded cues, such as behavior, vocal activity, and the spiritual meaning of birds, accumulated over generations (EtnoOrnitologia 2016, 2018; Rivera Velasco & EtnoOrnitologia 2022), which are reflected in the ecological calendar as "presences" but might differ from conventional occurrences in Western community science datasets. eBird contributors also experience culturally grounded cues, observing birds with different goals, such as to find more or rarer birds (Callaghan et al. 2025; Hochachka et al. 2012; Sullivan et al. 2014). Indigenous collaborators interpret differences between datasets as reflecting eBird's spatial sampling bias, in contrast to their historically grounded exploration and use of their territory. Western collaborators interpret the mention of species in the Indigenous calendar as specific relational experiences, more similar to relative abundance than conventional occur-

414 rence in Western knowledge. Recognizing the different motivations between local communities
and eBird observers (Soares *et al.* 2023), we see strong potential to make volunteer observations
more useful for biodiversity monitoring in Indigenous territories. Overall, the similarities and
417 differences validate the potential application of the Two-Eye Seeing guiding principle to learn
from the Indigenous and Western knowledge in this Amazonian context (Bartlett *et al.* 2012).

The Two-Eye Seeing guiding principle led our integration strategy (Figure S1). Originally
420 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
423 share empirical foundations for their relationships with bird diversity, allowing for common un-
derstandings of where, when, and what to observe. Although we did not directly assess observer
motivations, we assume that both local people and avitourists maintain personal relationships
426 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 tradi-
429 tionally 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
432 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.).

435 By including the perspective of *the other*, we framed our research to identify future training
opportunities and improve data collection through eBird. First, eBird observers have brought a
wealth of Western knowledge by birding in Indigenous territories, but we believe their contri-
438 bution will be enhanced if they align with local priorities and practices. We believe that suc-
cessful birdwatching in Indigenous territories requires understanding cultural landscapes and
local livelihoods, rather than relying solely on local guides' species-identification proficiency as

441 a pulling factor for avitourism (Echeverri *et al.* 2025). Second, our research was tailored to improve the collection of birdwatching data in eBird. This foretells how data infrastructures can benefit from bottom-up perspectives (Indigenous priorities) amid global initiatives (avitourism 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 6). These categories may offer higher spatiotemporal resolution, which could reflect a better 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, adjusted to different habitats (different lists for open areas, shifting agriculture, white-sand ecosystems), will enhance the value of eBird observations for ecological inference. In fact, these are the suggested “eBird rules and best-practice”. 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 (Couée 2024).

459 We advocate for birding with a purpose: birding *for* and *with* the people. This could mean shifting hegemonic epistemological practices so that local communities that have served as stewards of biodiversity can also have a say in how data is collected, compiled, and disseminated, thereby contributing to decision-making processes related to their territorial governance. With refined spatial and temporal sampling data, we could test whether mismatches in abundance peaks signal transitions in forest phenology, such as changes in the fruiting times of the *pupuña* palm or shifts in precipitation regimes during climate change, thereby informing adaptive updates to the ecological calendar. Our ongoing collaboration leverages these outcomes to guide capacity-building initiatives. Through field meetings and online calls, we identified ways to up-

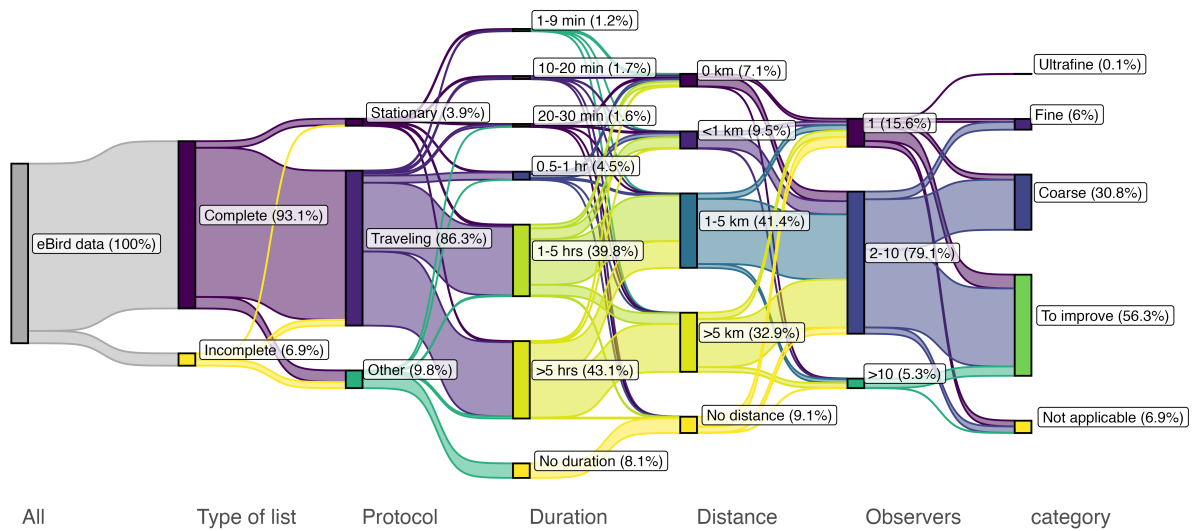


Figure 6: Sankey plot summarizing eBird observation metadata in the Pamiwā Indigenous territory (Figure 2). Although eBird has accumulated almost 140,000 records in this region, less than 40% could be used with confidence for most analyses (combining Ultrafine, Fine, and Coarse categories, see Table 1).

date the calendar, some of which align with eBird’s structure (Lees *et al.* 2020). For example, Indigenous collaborators recognized the importance of ancillary information during the observation process and provided details on the spatial, temporal, and effort requirements for their observations. To support more meaningful collaboration between eBird users and local Indigenous researchers, we also revised 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”. We also invite local Indigenous people to value their ancestral knowledge and to link it with standardized biodiversity monitoring tools.

Biocultural conservation requires a mixture of methods, each subject to interpretation and inherent uncertainty (Bridgewater & Rotherham 2019). In this study, we served as researchers and translators across disciplines (Aide 2023) to assess the potential of the Two-Eye Seeing guiding principle to integrate Indigenous ecological knowledge with community-science data. Future work could incorporate more robust analyses of seasonal change using quantitative tools, such

as ecological change point models (Ponciano *et al.* 2018; Figure S1), or macro-demographic estimates such as population persistence (Acevedo-Charry *et al.* 2025), recruitment, and survivorship (Socolar *et al.* 2025). Ongoing dialogues will strengthen Indigenous knowledge systems and clarify governance and data use protocols.

In conclusion, by using the Two-Eyed Seeing guiding principle, we may learn more than by seeing in either way. We propose that the relationship between local communities 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; Wallace 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). Strengthening local capacity through tailored use of eBird is one pathway forward. Yet a major role is played by the collaboration of eBird users visiting the region, linking their observations to the iterative assessment of Indigenous ecological calendars. This alignment will help Indigenous communities achieve the temporal and spatial resolution needed to adapt to climate change and to reinforce biocultural conservation before external pressure further erodes ancestral knowledge. Beyond mere tracking of bird diversity, we envision the ecological calendar as a dynamic tool, drafted within a theory-of-change framework. 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.

Acknowledgments

We would like to recognize the important influence of Jorge Gonzalez, the first instructor of bird-watching at SENA Mitú, who planted the seed that led to the establishment of the SENA's Ethno-Ornithology research group. We extended the invitation to participate in the manuscript to Jorge González and Florencio Castaño (Pamiwã), but received no response. Former members from, and

507 collaborators of, the SENA's Ethno-Ornithology research group also included: Manuel Claudio
 Fernández (Miadawã), Raúl Fernández (Miadawã), Fernando López Pereira (Bará), Cesar Au-
 gusto Ramirez González (Kubeo), Zaiza Danova Rodríguez Rivera (Pamiwã), William González,
 510 Francisco Montaña, Juan Gallego, José Luis Arroyave, Geovanny Martínez Trujillo (Pamiwã),
 Marlin Yurani Betancur Ramírez (Itana-Pamiwã), José López Ortiz (Pamiwã), Luis Rodríguez
 Herrera R.I.P. (Pamiwã), Raúl Fernández (Miadava), José Trujillo García (Tukano), José María
 513 Leiter Barazana (Carapana), Daisy Jasmin Carnero Leyter (Tariana), Rocío Leyter Da Silva (Cara-
 pana), Angela Llanos Rodríguez (Pamiwã), Libarto Peña Calle (Tukano), Emilio Arango Acuña
 (Pamiwã), Laureano Francisco Martínez Hernández (Pamiwã), Quiteria Peña (Tukano), Edim-
 516 illsa Lima Márquez (Tuyuca), Juan Vanegas Valencia (Itano), Jean Carlos González González, Luz
 Yadira Martínez Veloz, Felix Enrique Cubides González (Pamiwã). Different researchers in the
 Tropical Conservation and Development program at the University of Florida provided reward-
 519 ing conversations and discussions about this study; special thanks to Dr. Karen Kainer, Dr. Bette
 Loiselle, 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,
 522 Ana Luisa Melo Ferreira, Brian Khumalo, and Elion Beaton. 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,
 525 Antioquia, Colombia), Glenn Seeholzer (Cornell Lab of Ornithology), Iván Lau (Medellín, Antio-
 quia, 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
 528 the joint account of John-Mary Clark (Rhydyclafdy, United Kingdom). Finally, this research re-
 ceived 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 adaptive strategies for biodiversity monitoring integrating indigenous ecological calendars and community science data. URL <https://doi.org/10.5281/zenodo.17308003>. 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.

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 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 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 nonlinear multiscale bird diversity declines. *Ecography*, e06759.

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

582 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.

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

Copete, J. C., López-Pérez, S., López-Gallego, J. C., López-Navarro, D., Pavón, H., López, L.,
588 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.

Correa R., F. (1981). Por el camino de la Anaconda Ancestral - Sobre organización social entre
591 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 resilience. *Ecology Letters*, 27, e14410.

594 Diamond, J. M. (1966). Zoological classification system of a primitive people. *Science*, 151, 1102–1104.

Echeverri, A., Batista, N. M., Wolny, S., Herrera-R, G. A., Andrade-Rivas, F., Bailey, A., Cardenas-
597 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 richness in colombia. *People and Nature*, 7, 194–214.

- 600 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
and infrastructure interact to drive tourism to and within costa rica. *Proceedings of the National*
603 *Academy of Sciences*, 119, e2107662119.
- EtnoOrnitologia, A. M. (2016). *Vaupés - entre plumas, sonidos y colores*. Primera edición edn. SENA
- SENNOVA, Mitú, Vaupés. II.
- 606 EtnoOrnitologia, A. M. (2018). *Vaupés entre plumajes, sonidos y colores*, vol. 2. SENA - SENNOVA,
Mitú, Vaupés. II.
- Fink, D., Auer, T., Johnston, A., Ruiz-Gutierrez, V., Hochachka, W. M. & Kelling, S. (2020). Mod-
609 eling avian full annual cycle distribution and population trends with citizen science data. *Eco-
logical Applications*, 30.
- Fonseca-Cepeda, V., Idrobo, C. J. & Restrepo, S. (2019). The changing chagras: traditional ecolog-
612 ical knowledge transformations in the Colombian Amazon. *Ecology and Society*, 24, art8.
- 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.
- 615 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.,
618 Vergun, J., Wildcat, D. & Rattling Leaf, J. (2024). Centering indigenous knowledges in ecology
and beyond. *Frontiers in Ecology and the Environment*.
- Gordillo Jordan, J. F., Hunt, C. & Stronza, A. L. (2008). An ecotourism partnership in the Peruvian
621 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>.

- 624 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.
- 627 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.
- 630 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.
- 633 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.
- 636 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.
- 639 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.
- 642 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 Vengoechea, C. (2023). Indigenous ecological calendars and seasonal vector-borne diseases in the Colombian Amazon: an intercultural and interdisciplinary approach. *Acta Amazonica*, 53, 177–186.
- 645 Johnston, A., Hochachka, W. M., Strimas-Mackey, M. E., Ruiz Gutierrez, V., Robinson, O. J., 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.

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.

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 greatest 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.

Kassam, K. S., Ruelle, M., Dunn, C. P., Pandya, R. & Wyndham, F. (2023). *Rhythms of the Earth* —Editorial Introduction. *GeoHealth*, 7, e2023GH000815.

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.

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.

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.

- 672 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.
- 675 Marshall, M. (2008). Health and healing - dead and dying: women's roles within. Workshop
training materials, Integrative Science, NS, Canada.
- Massardo, F. & Rozzi, R. (2004). Etno-ornitología Yagan y Lafkenche en los bosques templados
678 de Sudamerica austral. *Ornitologia Neotropical*, 15, 395–407.
- 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
681 Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Núñez, M. (2024). Indigenous science has a lot to contribute
to ecology. URL [https://appliedecologistsblog.com/2024/06/13/
684 indigenous-science-has-a-lot-to-contribute-to-ecology/](https://appliedecologistsblog.com/2024/06/13/indigenous-science-has-a-lot-to-contribute-to-ecology/).
- 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
687 activity. *People and Nature*.
- 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).
690 *Revista de Biología Tropical*, 10, 61–90.
- 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.
- 693 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.,
Brown, R. M., Che, J., Condori, F. P., Hartiningtias, D., Hiller, A. E., Iskandar, D. T., Jiménez,

- 696 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,
C., McGuire, J. A. & Tarvin, R. D. (2022). A set of principles and practical suggestions for
699 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.
Man, 11, 307.
- 702 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
Peoples and Lands. *Nature Ecology & Evolution*, 8, 595–598.
- 705 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). Calen-
dario ecológico sobre las aves desde la cosmovisión pamiwã (cubeo) en el departamento del
708 vaupés, amazonía colombiana. URL <https://doi.org/10.5281/zenodo.18890757> In Review
in Ornitología Colombiana.
- Rivera Velasco, G. A. & EtnoOrnitologia, A. M. (2022). *Vaupés entre plumajes, sonidos y colores - Las*
711 *aves cuentan sus historias tradicionales*, vol. 3. SENA - SENNOVA, Mitú, Vaupés.
- 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*,
714 7, e2022GH000623.
- 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.
- 717 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.

- 720 Sicard-Ayala, A. M., Jaramillo-Mejía, L. & Ayerbe-Quñones, F. (2019). Un ave, muchos nombres:
un pluriverso. *Ornitología Colombiana*, 17, eC01.
- Silva, J. M. C. d., Rylands, A. B. & Fonseca, G. A. B. d. (2005). The fate of the Amazonian areas
723 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,
726 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,
729 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.,
González, C., Rebollo, M. E., Mangini, G., Lara, C., Pizarro, J. C., Cueto, V. R., Bolaños-Sittler,
732 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-
Gómez, F., Diaz, S., Büttner, N., Montesana, L., Campos-Cerqueira, M., López, F. G., Guaraldo,
735 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,
L., Sandoval, J. C., Astudillo, P. X., Davis, A. O., Cantero, N., Ocampo, D., Humberto, O.,
738 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,
C., Madden, H. M., Santillán, M. A., Jiménez-Uzcátegui, G., Jordan, E. A., Freitas, G. H. S.,
741 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,
C. D., Weiler, A., Arizmendi, M. d. C., Tossas, A. G., Zarza, R., Serra, G., Villegas-Patraca, R.,
744 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, removing systemic barriers, and reimagining the future. *Ornithological Application*, 125, 1–31.

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

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

753 Stern, E. R. & Humphries, M. M. (2022). Interweaving local, expert, and Indigenous knowledge into quantitative wildlife analyses: A systematic review. *Biological Conservation*, 266, 109444.

756 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>.

759 Stronza, A. L., Hunt, C. A. & Fitzgerald, L. A. (2019). Ecotourism for conservation? *Annual Review of Environment and Resources*, 44, 229–253.

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, 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. *Biological Conservation*, 169, 31–40.

768 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-

velop range and area of habitat maps tailored for local contexts. *Diversity and Distributions*, 30,
771 e13917.

Team, R. C. (2024). R: A Language and Environment for Statistical Computing. URL <https://www.R-project.org>. Vienna, Austria.

774 Turner, N. J. & Reid, A. J. (2022). “When the wild roses bloom”: Indigenous knowledge and
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
777 la formación en contextos interculturales.

Wallace, A. R. (1890). *A Narrative of Travels on the Amazon and Rio Negro: With an Account of the
Native Tribes, and Observations of the Climate, Geography, and Natural History of the Amazon Valley*,
780 vol. 8. Ward, Lock.

Youngflesh, C., Saracco, J. F., Siegel, R. B. & Tingley, M. W. (2022). Abiotic conditions shape spatial
and temporal morphological variation in North American birds. *Nature Ecology & Evolution*, 6,
783 1860–1870.

A Supporting Text - Spanish version

786 Estrategias Adaptativas Para el Monitoreo de la Biodiversidad Integrando Calendarios Ecológicos Indígenas y Datos de Ciencia Comunitaria

Resumen

789 La integración de los conocimientos ecológicos indígenas y occidentales puede fortalecer la comprensión de los patrones fenológicos, pero esta integración a menudo está limitada por diferencias epistemológicas, asimetrías de poder e historias de exclusión. Evaluamos el potencial
792 del principio orientador de la Visión de Dos Ojos (Two-Eye Seeing), que integra las fortalezas de ambos sistemas de conocimiento, en los diálogos de conservación biocultural en curso entre líderes etnográficos locales, académicos indígenas e investigadores occidentales en ecología y
795 antropología. Para identificar similitudes y diferencias entre los dos sistemas de conocimiento para una integración exitosa, comparamos patrones temporales de riqueza, composición y abundancia relativa de especies de aves derivados de un dispositivo fenológico culturalmente in-
798 crustado —un calendario ecológico desarrollado por el pueblo Pamiwã— y de una iniciativa de ciencia comunitaria (datos de eBird aportados principalmente por avituristas visitantes). Nuestra comparación reveló tanto convergencias como divergencias: los patrones fenológicos de riqueza
801 de especies y abundancia relativa para 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 en la observación. Los observadores indígenas fundamentan
804 su conocimiento en la experiencia culturalmente arraigada y la atención al cambio ambiental, el uso de recursos y el comportamiento de las aves, mientras que los avituristas se centran en encuentros personales con más aves y especies más raras. La conservación biocultural requiere
807 métodos integrativos sujetos a interpretación e incertidumbre. Actuando como investigadores y

traductores entre disciplinas, demostramos la oportunidad de aplicar el principio orientador de la Visión de Dos Ojos para integrar los conocimientos indígenas y occidentales. Esta integración
810 proporciona una herramienta para el monitoreo a largo plazo que alinea plataformas globales como eBird con prioridades locales para salvaguardar la biodiversidad y los valores culturales, ancestrales y espirituales. Nuestros hallazgos resaltan el valor de los calendarios ecológicos it-
813 erativos, enmarcados por el principio de Visión de Dos Ojos, como estrategias adaptativas para que las comunidades locales monitoreen la biodiversidad y gestionen sus territorios.

A.1 Introducción

Un movimiento creciente en la ecología aboga por alejarse de los marcos hegemónicos occidentales como 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). Este cambio exige colaboraciones 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 integrarse (Armstrong *et al.* 2025; Nuñez 2024), complementando las perspectivas de cada uno en diferentes escalas temporales, espaciales y bioculturales (Jessen *et al.* 2022; Kainer *et al.* 2009). No integrar estos sistemas de conocimiento amenaza el patrimonio biocultural (Couée 2024; Fonseca-Cepeda *et al.* 2019; Kassam *et al.* 2023), lo que puede conducir a un conocimiento subóptimo, inadecuado o incompleto que agrava la pérdida de biodiversidad (Bridgewater & Rotherham 2019). Por el contrario, su integración (Bartlett *et al.* 2012; Stern & Humphries 2022; Turner & Reid 2022) tiene el potencial de proporcionar una comprensión más precisa y completa de la biodiversidad, mejorando así la gestión y conservación futura de la biodiversidad (Cochran *et al.* 2016; Gavin *et al.* 2015; Kassam *et al.* 2023).

El conocimiento ecológico indígena y el occidental comparten el propósito 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 los patrones ambientales en la flora, la fauna y los 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 desarrollados por los pueblos del río Tiquié en Brasil (Ciclos Anuais) codifican observaciones fenológicas en marcos culturales que orientan el uso del territorio, la recolección y las prácticas ceremoniales (Cochran *et al.* 2016; Jiménez *et al.* 2023; Kassam *et al.* 2023; Rozzi *et al.* 2023). De manera similar, el conocimiento ecológico occidental busca caracterizar patrones fenológicos, como la distribución de especies (Rushing *et al.* 2019), fluctuaciones poblacionales (Socolar *et al.* 2025) y actividad

acústica (Aide 2023; Howells *et al.* 2025; Somervuo *et al.* 2025) como indicadores de respuestas ecológicas a cambios ambientales en ciclos más o menos predictivos. Recientemente, científicos occidentales también han aprovechado datos de iniciativas de ciencia comunitaria o participativa 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 se dan en diversos momentos y lugares del mundo (Amaral *et al.* 2025; Kelling *et al.* 2019; Youngflesh *et al.* 2022), incluyendo territorios indígenas (Moreno-Salazar *et al.* 2023). Sin embargo, a medida que las iniciativas globales de ciencia comunitaria se expanden a territorios indígenas, la falta de metodologías integrativas y marcos de gobernanza de datos inclusivos plantea preguntas críticas sobre cómo se recopilan, comparten y utilizan los datos sobre biodiversidad, especialmente para las comunidades indígenas que buscan alinear la conservación con prioridades culturales y de sustento (Reid *et al.* 2024). En este sentido, la ciencia comunitaria ofrece una oportunidad para fomentar una colaboración integradora entre los conocimientos ecológicos indígenas y occidentales.

Aunque la integración de conocimientos indígenas y occidentales tiene el potencial de transformar nuestra comprensión de la naturaleza, esta integración se ve desafiada por diferencias epistemológicas, asimetrías de poder y el legado histórico de exclusión (Gazing Wolf *et al.* 2024; Reid *et al.* 2024). Aquí probamos el potencial del principio orientador de la Visión de Dos Ojos (Two-Eyed Seeing) como una estrategia adaptativa de monitoreo de la biodiversidad que integra calendarios ecológicos indígenas con datos de ciencia comunitaria (Figura S1). Concebido para su aplicación en talleres de salud y sanación (Marshall 2008), el principio orientador de la Visión de Dos Ojos se refiere a aprender a ver desde las *fortalezas* conjuntas de los sistemas de conocimiento y formas de entender indígenas y occidentales, en beneficio de todos (Bartlett *et al.* 2012). Evaluamos el potencial de este principio orientador en la investigación fenológica. Su implementación puede promover investigaciones y políticas más incluyentes que superen brechas culturales, mejoren la resolución de problemas, fomenten el empoderamiento local y faciliten la reconciliación entre actores a través de la innovación transdisciplinaria. Nuestra investigación,

por tanto, se nutre de los diálogos en curso sobre conservación biocultural amazónica, que involucran líderes indígenas (Gloria Rivera (GARV) – Nasa, Luis E. Llanos (LELR) – Pamiwã, Miguel Ángel Portura – Pamiwã, Agripino González (AG) – Tuyuca, Walter G. (Siorú) Estrada (WG(S)E) – Siriano, Yenifer López (YSLP) – Desana, Yorneida González (YG) – Pamiwã, Fabián Rodríguez (FRA) – Pamiwã), académicos locales (Yeison Hernández (YFHY), Sebastián Guerrero (SGP), Luis F. Jaramillo (LFJ)), y académicos occidentales en ecología (Orlando Acevedo-Charry (OAC), Fernando Cediel (FC), Zuania Colón-Piñeiro (ZCP), Scott K. Robinson (SKR), Miguel A. Acevedo (MAA)) y antropología (Ana M. Garrido-Corredor (AMGC)); la razón de esta versión en español.

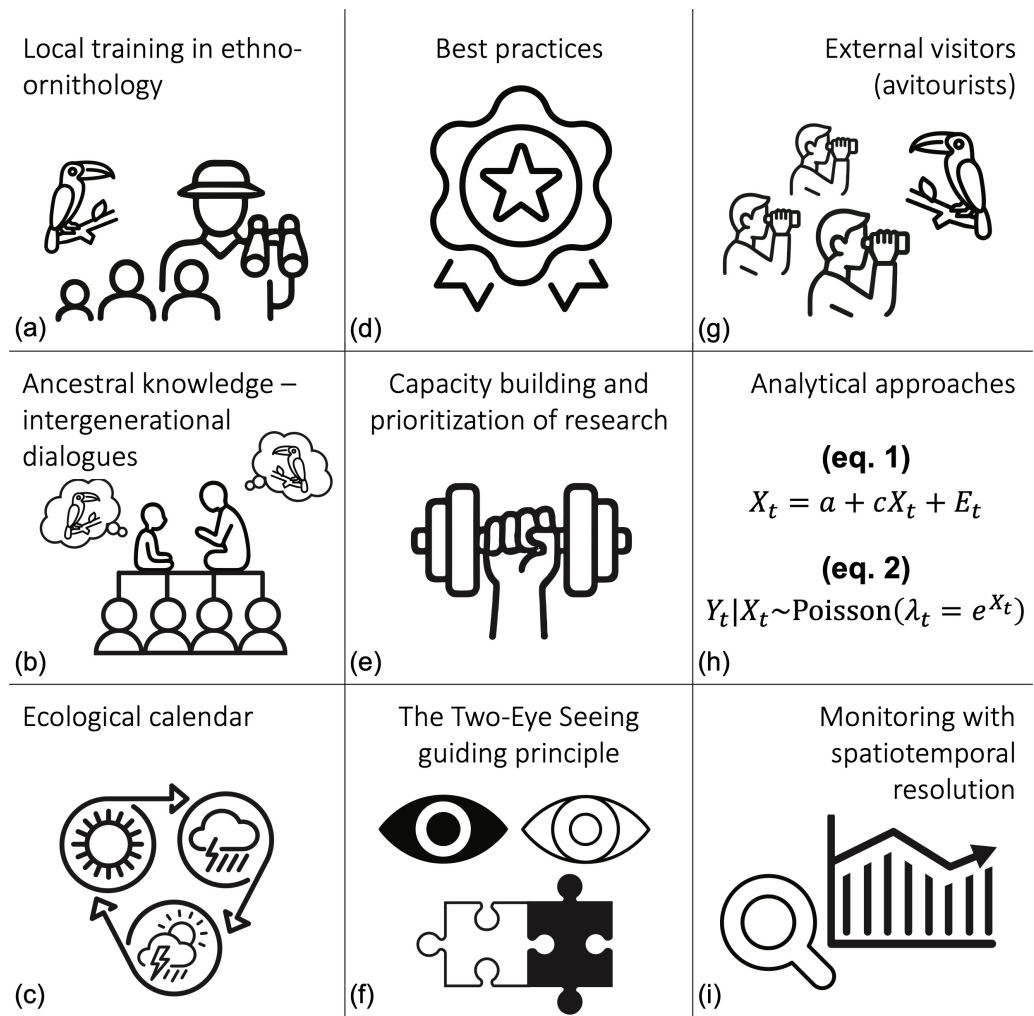


Figure S1: El conocimiento indígena y el occidental puede integrarse para transformar nuestra...

Figure S1: ...comprensión de la naturaleza, aunque esta integración puede ser desafiante. La aplicabilidad del principio orientador de la Visión de Dos Ojos (Bartlett *et al.* 2012) podría ofrecer una manera efectiva de lograrlo. Este principio fomenta el respeto mutuo, la colaboración y la integración de diferentes formas de conocimiento desde sus *fortalezas*, en lugar de elegir una sobre la otra. Por ejemplo, la capacitación local en etno-ornitología, que incluye muestreos de aves no estructurados e identificación de valores culturales (a), combinada con diálogos intergeneracionales entre sabedores indígenas y estudiantes (b), resalta el conocimiento indígena preservado a través de la tradición oral. Estas dos actividades representan la *fortaleza* del conocimiento indígena, sintetizada en un calendario ecológico (c). El aumento reciente de avituristas que visitan territorios indígenas ha llevado a que se presenten más registros de biodiversidad en plataformas globales de ciencia comunitaria (g). Aprovechar estos datos para comprender procesos ecológicos (ec. 1) y de observación (ec. 2) requiere enfoques analíticos de la ciencia occidental (h); las dos ecuaciones son submodelos de un ejemplo de modelo de dinámica poblacional de espacio-estado (ver Acevedo-Charry *et al.* 2025). Combinar las contribuciones de voluntarios a plataformas de ciencia comunitaria con enfoques analíticos representa la *fortaleza* del conocimiento occidental para el monitoreo de la biodiversidad con resolución espacio-temporal (i). Utilizando el calendario ecológico (a-c) y análisis críticos de datos de ciencia comunitaria (g-i), priorizamos preguntas de investigación, identificamos oportunidades para el desarrollo de capacidades (e) y proponemos maneras de mejorar la recolección de datos aplicando mejores prácticas (d) para el monitoreo a largo plazo de la biodiversidad en un contexto local. Figura diseñada por Hollis Wooley en la división de gráficos del FLMNH y modificada por OAC tras comentarios editoriales.

Basándonos en los sistemas de conocimiento ecológico indígena y occidental, nos centramos en la fenología de las aves amazónicas para evaluar el uso del principio orientador de la Visión de Dos Ojos. Las aves tienen un profundo significado cultural y ecológico en muchas sociedades, pues son indicadores del cambio estacional, la salud de los ecosistemas y el sentido comunitario (Acevedo-Charry & Contreras-Herrera 2015; EtnoOrnitología 2016; Lees *et al.* 2022; Massardo & Rozzi 2004). Las comunidades indígenas de la Amazonía colombiana interpretan los cambios temporales en la presencia, abundancia percibida y composición de especies de aves como reflejo de los ciclos ecológicos, guiando decisiones sobre la recolección de recursos del bosque, la

agricultura y las prácticas ceremoniales (EtnoOrnitología 2016, 2018; Rivera Velasco & EtnoOrnitología 2022). Estas observaciones están integradas en tradiciones orales y calendarios ecológicos, que codifican el conocimiento multigeneracional de los patrones fenológicos. Por ejemplo, la actividad vocal estacional de especies como *Monasa morphoeus* señala el inicio de la estación seca para el pueblo Pamiwã (Cubeo: familia lingüística Tukano) e informa decisiones sobre el uso del suelo, como la agricultura de roza y quema para establecimiento de chagras (EtnoOrnitología 2016; ver más ejemplos en A.2.5). 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.

Por su parte, los científicos ecológicos occidentales estudian las aves aplicando 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, estimaciones de abundancia y metadatos de observación de participantes voluntarios (Kelling *et al.* 2019; Sullivan *et al.* 2014). Si bien los datos de eBird pueden aprovecharse para realizar investigaciones macroecológicas (Acevedo-Charry *et al.* 2025; Johnston *et al.* 2025; Kelling *et al.* 2019), su implementación en regiones altamente biodiversas como territorios indígenas puede reforzar inadvertidamente asimetrías de poder y dinámicas neocoloniales, privilegiando las prioridades y conocimientos de actores externos sobre las comunidades locales (Soares *et al.* 2023). Los pueblos indígenas y rurales tienen derecho a gobernar el acceso a sus territorios y a tomar decisiones sobre cómo se recogen los datos de biodiversidad allí (Gavin *et al.* 2015; Gazing Wolf *et al.* 2024). También deben poder utilizar estos datos en beneficio de sus propias estrategias de manejo y gobernanza (Ramírez-Castañeda *et al.* 2022; Reid *et al.* 2024). Los datos de eBird los aportan voluntarios observadores de aves, principalmente con fines recreativos (Ocampo-Peñuela *et al.* 2025; Sullivan *et al.* 2014). Por tanto, 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; Johnston *et al.* 2021, 2023). Estos datos refinados pueden
915 informar las decisiones de gobernanza 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). Pese a las diferencias epistemológicas y metodológicas,
918 la integración de calendarios ecológicos indígenas con datos de ciencia comunitaria, siguiendo el principio de Visión de Dos Ojos (es decir, aprovechando las *fortalezas* de ambos sistemas de conocimiento), podría ofrecer una vía prometedora hacia un monitoreo de la biodiversidad
921 más inclusivo y con resolución espacial y temporal. Esto es particularmente crítico dado que el aumento de visitantes turísticos a territorios indígenas ha generado una mayor recopilación de datos de biodiversidad (Moreno-Salazar *et al.* 2023; Ocampo-Peñuela *et al.* 2025), planteando
924 interrogantes sobre la propiedad y el uso de los datos (Soares *et al.* 2023).

En este estudio, evaluamos el potencial de integración del conocimiento indígena y occidental mediante el principio orientador de la Visión de Dos Ojos para cuantificar mejor la variabilidad
927 temporal en los patrones de biodiversidad en la Amazonía colombiana. Nuestro enfoque responde a la necesidad urgente de marcos de monitoreo de la biodiversidad incluyentes que reflejen tanto las prioridades locales como las infraestructuras globales de datos, especialmente ante
930 el acelerado cambio ambiental y socioeconómico. Para cumplir este objetivo, comparamos los patrones temporales en riqueza, composición y abundancia relativa de especies de aves derivados del calendario indígena Pamiwã y de los registros de eBird refinados por calidad de metadatos
933 dentro de su territorio. Si los patrones de biodiversidad de estas dos fuentes de datos son demasiado similares o demasiado divergentes, el potencial de integración puede ser limitado. Sin embargo, si emergen similitudes clave junto con diferencias modestas, existe un potencial de integración
936 que resulta en una comprensión más sólida de los patrones de biodiversidad. Nuestros resultados respaldan esta última posibilidad. Por lo tanto, discutimos estrategias para integrar datos de eBird con calendarios ecológicos indígenas para mejorar la comprensión de la dinámica

temporal de la biodiversidad y apoyar prácticas de monitoreo más equitativas y orientadas hacia el enfoque local.

A.2 Métodos

A.2.1 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 registros de ciencia comunitaria en la región multiétnica del Vaupés, Amazonía colombiana (Figura S2). 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 S2). 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 A.2.2).

La estrategia colombiana de conservación de aves (ENCA) ha identificado la región del Vaupés como un área clave para el desarrollo socio-cultural y económico basado en la naturaleza (Moreno-Salazar *et al.* 2023). Mitú se ha convertido en un punto focal de registros en eBird dentro de la Amazonía colombiana (Figuras S2 y S7; Suárez-Castro *et al.* 2024), una tendencia impulsada por el auge del aviturismo (Echeverri *et al.* 2022; Ocampo-Peñuela *et al.* 2025; Schwoerer



Figure S2: Ubicación del territorio del pueblo Pamiwã (línea roja discontinua), en la Amazonía colombiana (mapas insertos). El mapa territorial se basa en el plan de vida integral de la Unión Indígena Cubeo (PIVI – UIC, por su sigla en español). El mapa muestra otras comunidades de interés como referencia, incluyendo varios territorios indígenas, destacando 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, extendiéndose a lo largo de una carretera central, senderos, ríos y arroyos, entre 1997 y 2025, principalmente por visitantes externos (avitouristas).

& 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 presentados por participantes voluntarios ayuda a llenar 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 S1g-i). Sin embargo, los impactos sociales y ecológicos del ecoturismo aún se monitorean poco y se definen de manera 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 S1a-c). 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.

A.2.2 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 con la estacionalidad climática anual y documenta la presencia mensual de especies de aves identificadas por comunidades locales alrededor de Mitú. Además, el calendario ecológico

990 incorpora tradiciones orales, incluidos relatos con aves como personajes centrales y nombres
indígenas de las aves (EtnoOrnitología 2016, 2018; Rivera Velasco & EtnoOrnitología 2022). Aquí
indicamos la lingüística indígena en cursiva y subrayado, con tachado para la pronunciación
993 glotal y una tilde para la nasal. Para alinearnos con la cosmovisión etnográfica de muchos
pueblos amazónicos (Correa R. 1981; Jiménez *et al.* 2023), presentamos una cronología distinta al
calendario anual occidental. El calendario inicia con la ola de frío durante el invierno austral,
996 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*). Tras este evento, la primera estación es Pamurimĩ, la transición de lluvias a
999 sequía, que va de mediados de agosto a finales de noviembre. La segunda es Hirimĩ, la estación
seca aproximadamente de diciembre a mediados de marzo. La tercera, Okorimĩ, es la estación
lluviosa entre mediados de marzo y mediados de agosto, con un pico de lluvias de mayo a julio,
1002 terminando en el siguiente año con Arú (Rivera-Velasco *et al.* 2026).

El calendario fue elaborado a través de un proceso participativo liderado por GARV, con
apoyo de SGP, YFHY y LFJ, y la activa participación de estudiantes indígenas (MAP, AG, WG(S)E,
1005 YSLP, YG, FRA, entre otros; ver Agradecimientos; Rivera-Velasco *et al.* 2026). Este grupo ha re-
alizado muestreos no estructurados de especies de aves en 17 comunidades indígenas rurales
de Mitú, documentando comportamientos de las aves y uso de recursos (Figura S1a). Estos
1008 eventos de listado han ocurrido al menos una vez a la semana cada mes desde 2016 hasta el pre-
sente. Posteriormente, los estudiantes participan en mapeo y diálogos de saeres con los mayores
(LELR, MAP) para refinar las listas de especies y profundizar la comprensión ecológica medi-
1011 ante el conocimiento tradicional oral (Figura S1b). Estos diálogos intergeneracionales ocurren
menos frecuentemente que los eventos de listado (típicamente una o dos veces al año), debido
a limitaciones de financiación y logística. Ambas actividades siguieron métodos institucionales
1014 para la formación de contexto cultural dentro del SENA (Van der Hammen *et al.* 2012). Las
identidades de especies según la clasificación occidental se confirmaron durante ambas activi-
dades utilizando la guía de campo de aves de Colombia (Ayerbe Quiñones 2022). Las especies

1017 identificadas se resumieron como “presentes” en el calendario a resolución mensual, resaltando
1020 tradiciones orales y cosmovisiones comunitarias (EtnoOrnitología 2016, 2018; Rivera Velasco &
EtnoOrnitología 2022). Este esfuerzo participativo no solo permitió rastrear la fenología 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 (por ejemplo, MAP, AG, WG(S)E, YSLP),
contribuyendo al inventario regional de avifauna (Carrillo Chica *et al.* 2018) y a la economía local.
1023 Este calendario constituye la base para nuestro análisis comparativo con los datos de eBird, ofre-
ciendo una oportunidad única para integrar los sistemas de conocimiento indígena y occidental.

A.2.3 Registros de Aves de una Plataforma de Ciencia Comunitaria

1026 Para comparar los patrones de diversidad de aves entre los conocimientos occidental e indígena
derivados del calendario ecológico del pueblo Pamiwã, descargamos datos de eBird del depar-
tamento de Vaupés desde octubre de 1997 (primer registro) hasta abril de 2025 (portal de datos
1029 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 en los envíos anuales (Figura
S7). 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 confi-
1032 ables se concentran entre marzo de 2011 y abril de 2025, coincidiendo con los datos del calendario
indígena recolectados entre 2016 y 2025 (ver A.2.2).

1035 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. Fil-
tramos espacialmente los registros dentro del rango de latitud 0.85°N–1.7°N y longitud 71.0°W–69.84°W,
1038 que representa el territorio Pamiwã y áreas circundantes (Figura S2). Cada lista de eBird incluye
metadatos como tipo de protocolo, duración del muestreo, distancia recorrida, fecha, hora y
tamaño del grupo de observadores, similar a los programas de monitoreo occidental estandariza-
dos, aunque semiestructurados para fomentar la amplia participación (Kelling *et al.* 2019). Las
1041 listas se categorizan como “completas” o “incompletas”, dependiendo de si los observadores

reportaron todas las especies detectadas o solo grupos taxonómicos específicos. Para limpiar y estandarizar el conjunto de datos, marcamos las observaciones 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 abundancia relativa por especie, calculamos el número total de individuos por evento de muestreo (lista). Nuestra evaluación crítica de eBird reveló sesgos en los datos e identificó oportunidades para mejorar el monitoreo de la biodiversidad relevante a la escala local (ver Discusión).

Clasificamos cada lista de eBird en cinco categorías basadas en los metadatos y la resolución de muestreo (Tabla 1). La categoría “Ultrafina” aplicó los filtros más restrictivos, orientados a muestreos de alta calidad y homogéneos que emulan un muestreo estandarizado (Callaghan *et al.* 2023). La categoría “Fina” fue ligeramente menos restrictiva, pero alineada con mejores prácticas para mejorar la resolución espacial y temporal en el paisaje heterogéneo del territorio Pamiwã. La categoría “Gruesa” siguió recomendaciones generales de filtrado de esfuerzo (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 de 5 km de diámetro. Algunas listas completas no pudieron ser asignadas a estas categorías y se agruparon como “Por mejorar”, resaltando oportunidades para fortalecer capacidades y guiar a visitantes para mejorar la utilidad de los datos. Las listas incompletas se clasificaron como “No aplicable”, una exclusión estándar en el refinamiento de los datos de eBird (Johnston *et al.* 2021).

El análisis de los datos de eBird requiere refinamiento basado en los metadatos (Johnston *et al.* 2021, 2023), lo que brinda la oportunidad de discutir estrategias de integración entre eBird y calendarios ecológicos indígenas. Además, para fomentar resultados agregados útiles para la gestión comunitaria local y el manejo de sus territorios, también revisamos los sitios compartidos de observación de aves en eBird, o “hotspots”. Esto fue realizado por FC y OAC, en reuniones con

Table 2: 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

WG(S)E, GARV, AG, FRA y MAP. Los análisis posteriores se centraron en datos de las categorías Ultrafina, Fina y Gruesa, abarcando registros de marzo de 2011 a abril de 2025.

1071 A.2.4 Comparación de la Riqueza y Composición Estacional de Especies entre los Sistemas de Conocimiento Indígena y Occidental

1074 Para identificar similitudes y diferencias en los patrones de biodiversidad entre sistemas de
conocimiento indígena y occidental, comparamos la variación estacional en la riqueza de especies
interpretada a través del calendario ecológico Pamiwã y los datos de eBird. Para armonizar los
conjuntos de datos, asignamos cada evento de muestreo de eBird a las estaciones reconocidas
1077 en el calendario ecológico Pamiwã (transición – *Pamurimi*, seca – *Hirimi*, y lluviosa – *Okorimi*),
según los meses correspondientes. Estas dos fuentes de datos operan a diferentes escalas espacio-

temporales y estructuras de muestreo (ver [A.2.2](#) y [A.2.3](#)). Para compararlas, utilizamos para cada mes i la riqueza absoluta 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 enlistadas en el calendario ecológico Pamiwā y analizamos su presencia anual en los datos de eBird. Aunque el calendario indígena proporciona lo que parecen ser datos de solo presencia, sin resolución espacial, diaria o multi-anual, tratamos la frecuencia estacional como un proxy de la abundancia relativa percibida en este conocimiento indígena. Los datos refinados (o filtrados) de eBird proporcionan un resumen de presencia mensual similar, que comparamos con el calendario indígena.

A.2.5 Variación Estacional de la Abundancia Relativa para Especies de Importancia Cultural

Para identificar similitudes y diferencias en los patrones temporales de abundancia relativa entre los dos sistemas de conocimiento, analizamos datos de especies de aves de importancia cultural para el pueblo Pamiwā. Asumimos una mayor abundancia relativa de cada especie, correspondiente a una mayor proporción de meses con presencia reportada dentro de cada estación en el calendario ecológico indígena. El pueblo Pamiwā mantiene relaciones sólidas con muchas aves ([EtnoOrnitología 2016, 2018; Rivera Velasco & EtnoOrnitología 2022](#)). Tras extensas discusiones entre los coautores, fundamentadas en el 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.

El primer tema se refiere a la maduración del fruto de la *pupuña* (*Bactris gasipaes*: Arecacea, chontaduro) para el consumo comunitario. Este proceso incluye un aumento en la actividad de canto de *ir ejui* (*Thraupis episcopus*, azuleja, y *Thraupis palmarum*, tangara palmera) durante el inicio 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 dan en septiembre-octubre y 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 (*Hiririmi*), 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 han 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 temporal de la abundancia relativa en el calendario se reflejaría en variaciones correspondientes en los datos de eBird para 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 por lista. Valores cercanos a uno indican mayor abundancia relativa, mientras que valores próximos a cero sugieren menor abun-

dancia en comparación con otras especies en el mismo evento de muestreo. Todos los análisis se realizaron en el software R (Acevedo-Charry *et al.* 2026; Team 2024).

A.3 Resultados

A.3.1 Riqueza y Composición Mensual de Especies en el Calendario Indígena y los Datos de eBird

Encontramos respaldo para la aplicación potencial del principio orientador de la Visión de Dos Ojos en la fenología de aves amazónicas. Hallamos similitudes clave, pero también diferencias sutiles entre la riqueza de especies cuantificada a partir del conocimiento indígena y el occidental (Figura S3). En cuanto a similitudes, ambos sistemas de conocimiento identificaron la estación seca (*Hirimi*; diciembre-febrero) como la de mayor riqueza de especies (Figura S3). Esta estación también fue la que presentó mayor esfuerzo de muestreo acumulado en eBird (Figure S8). Sin embargo, los datos de eBird resumidos a resolución temporal mensual revelaron una riqueza de especies superior a la registrada en el calendario ecológico indígena (Figura S3). 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 Pamiwā informó la presencia de 258 especies de aves en su territorio a lo largo de las estaciones de su calendario ecológico indígena (Figura S4). 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 los dos conjuntos de datos, particularmente al final de la transición de la estación húmeda a la seca (octubre-noviembre), durante la estación

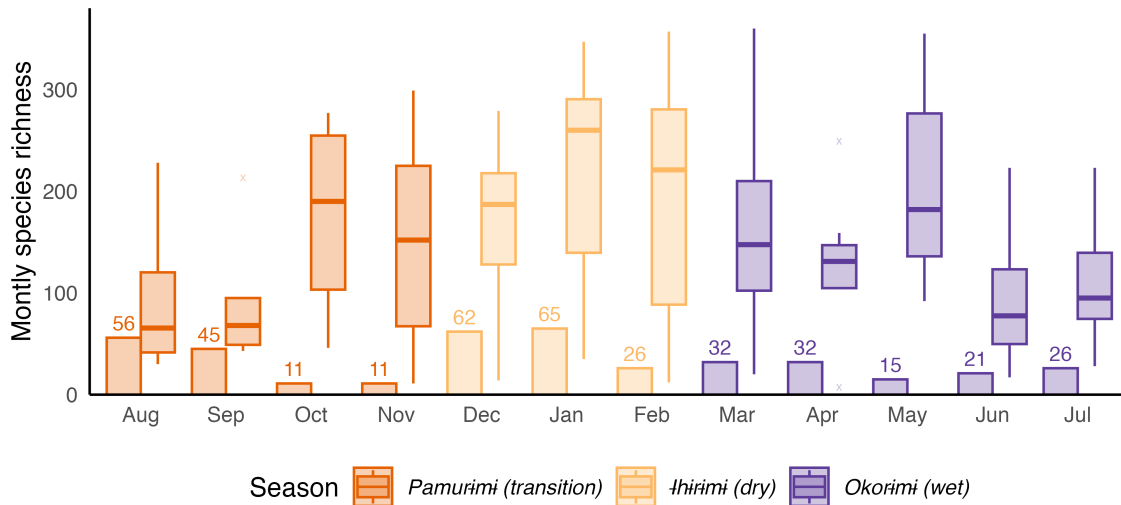


Figure S3: Calendario indígena y riqueza de especies de eBird en tres estaciones climáticas. Diagrama de caja de la riqueza mensual de especies de eBird, que muestra el rango intercuartil (IQR), la mediana y los bigotes hasta $\pm 1.5 \times \text{IQR}$ (de 5 a 12 años con datos por mes). Las barras de colores indican la riqueza del conocimiento ecológico indígena (con el número asociado de especies encima de cada barra).

seca (febrero) y a mediados de la estación húmeda (mayo). Estos patrones revelan diferencias en la estacionalidad relativa de la presencia de especies particulares. Por ejemplo, cinco especies fueron reportadas con mayor frecuencia durante la temporada húmeda (*Okorimi*) en el calendario indígena: *ōrokō* – *Trogon viridis* (trogón lomi verde); *harabi koreovaimu ñemini kodeiboaki* – *Bucco macrodactylus* (bobito cabecirrojo); *mi takaka ñemiki* – *Neotantes niger* (batará arbustero); *kuito aū yarabe* – *T. savana*; y *veami mihikiñemini kavekiaki* – *Sporophila angolensis* (semillero curió). Una especie, *ōpōkiba* / *ōpō kiyiri* / *ōpokiyiri* – *Brotogeris cyanoptera* (periquito aliazul), fue reportada con mayor frecuencia durante la estación seca (*Hirimimi*). En contraste, los datos de eBird mostraron una variación estacional menos distintiva para la presencia de estas especies, con algunas apareciendo consistentemente a lo largo de 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 las dos fuentes de datos, estas diferencias pueden resaltar el valor de integrar los sistemas de conocimiento indígenas y occidentales. Por ejemplo, es posible

que las aves no necesariamente abandonen el territorio indígena. Aún así, su interacción vivida 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 de eBird.

A.3.2 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 para ocho especies culturalmente importantes (Figura S5). Para las especies asociadas con la preparación de la fruta *pupuña* para el consumo comunitario, el conocimiento ecológico indígena identificó una mayor abundancia relativa durante agosto, octubre, diciembre, marzo y julio para *irējui*, 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 durante septiembre-octubre y marzo para *pinikabo* (*C. leverianus*), lo que se reflejó en los datos de eBird con aumentos en octubre y marzo de algunos años. El pueblo Pamiwã también mencionó *pinikaco* (*R. carbo*) como una especie de nombre similar que también consume *pupuña* cuando la fruta está completamente madura y lista para la cosecha. Según el calendario Pamiwã, esta tan- gara mostró una mayor abundancia relativa en agosto, octubre, diciembre y marzo, alineándose con un aumento general en la abundancia de octubre a abril en los datos de eBird, especialmente alcanzando su punto máximo en diciembre.

Dos especies que señalan el inicio de las estaciones climáticas seca y húmeda también mostraron similitudes entre su abundancia relativa registrada en eBird y el calendario indígena. Según el calendario Pamiwã, *piabecó* (*M. morpheus*) muestra mayor abundancia relativa en diciembre, marcando el inicio de la estación seca, pero también en febrero y abril. Los datos de eBird mostraron aumentos en la abundancia relativa de esta especie en noviembre, enero, marzo y mayo (Figura

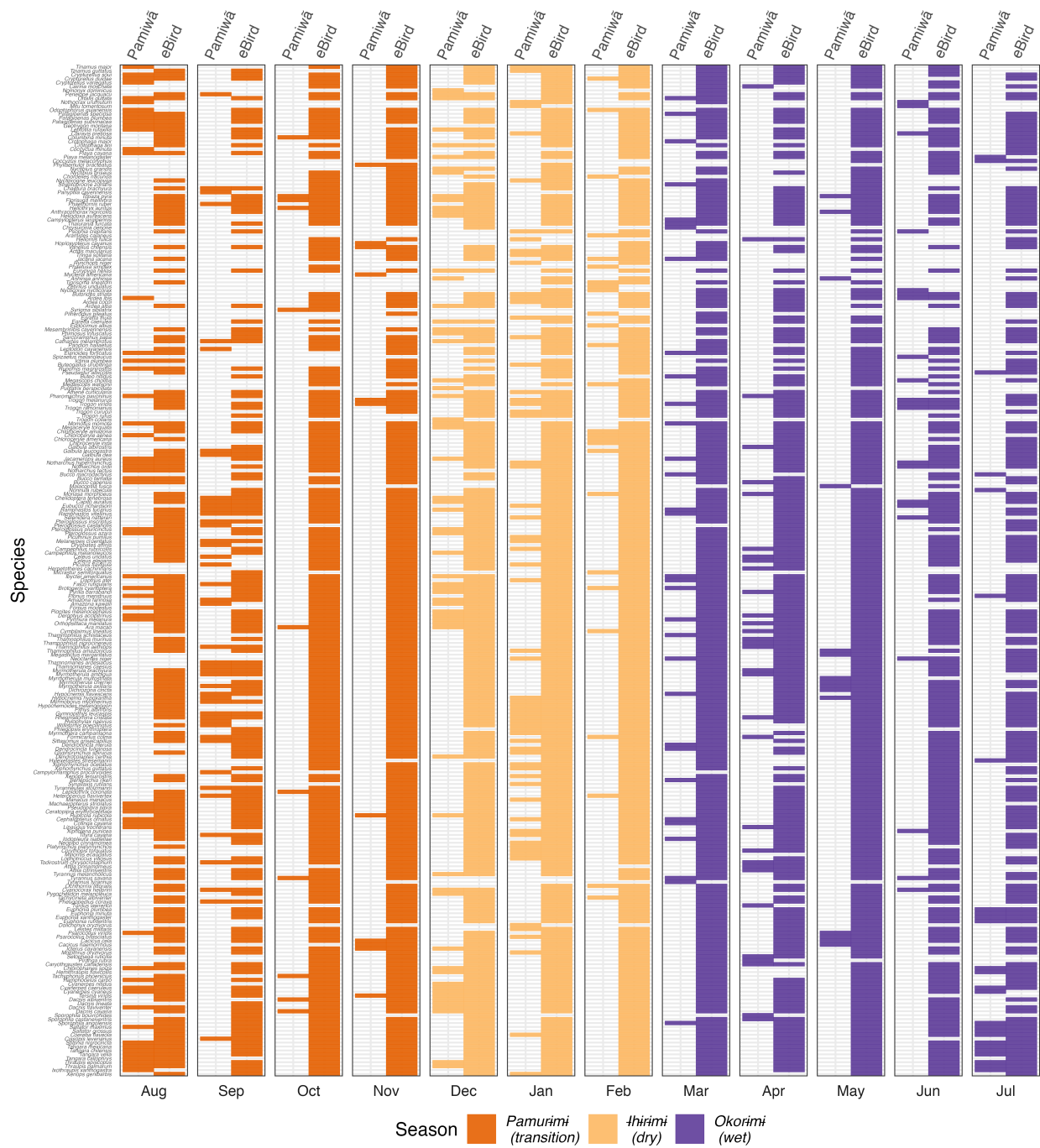


Figure S4: Mapa de calor que muestra la presencia de 258 especies de aves del calendario ecológico indígena del pueblo Pamiwā, Amazonia colombiana, y los datos de eBird en la misma región, luego de aplicar refinamiento de datos mediante filtrado de metadatos. Cada fila representa una especie, mientras que las columnas representan los meses del año, categorizados en las tres estaciones (colores) y separados por conjunto de datos.

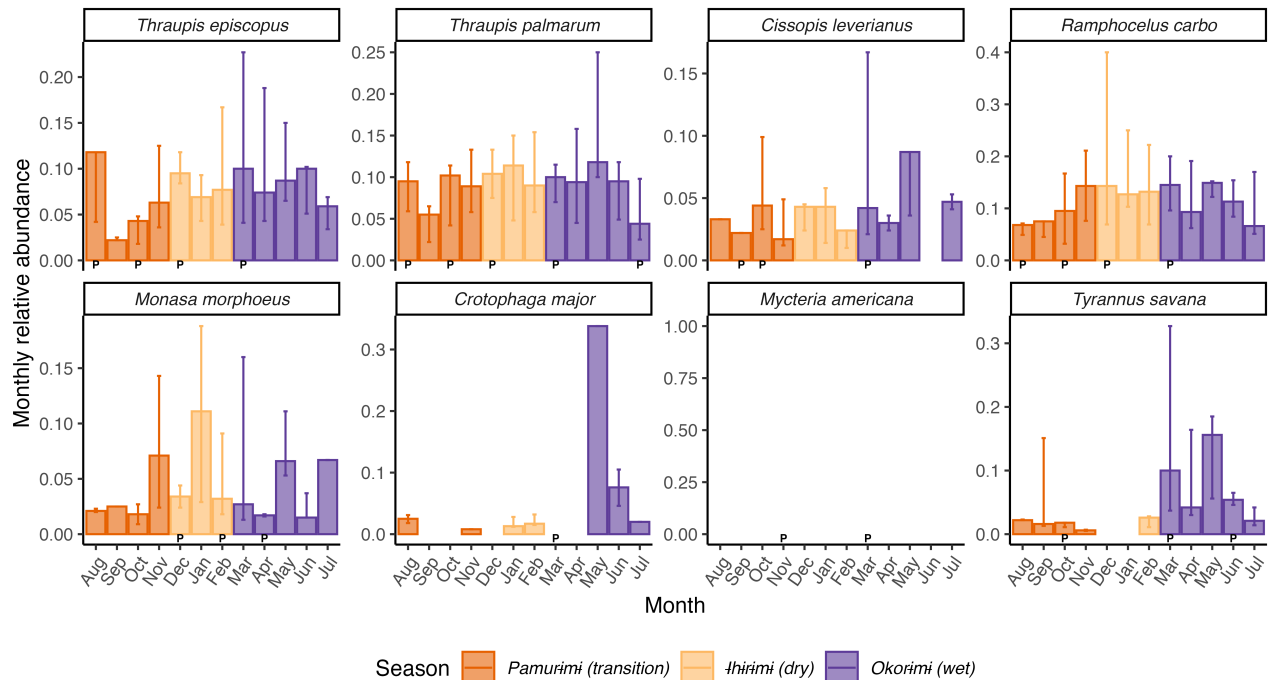


Figure S5: La abundancia relativa máxima mensual estimada a partir de eBird (barras con líneas de error que indican un rango de 25-75 %) coincidió parcialmente con la abundancia estacional reconocida en el calendario ecológico Pamiwã (letra "P" arriba de los meses) para ocho especies culturalmente importantes. 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*).

S5). Por lo tanto, el aumento previsto en el calendario indígena pareció desalineado 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 en 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 con migraciones estacionales recuperaron similitudes parciales. El calendario Pamiwã identificó dos picos en la abundancia relativa de *kava yai* (*M. americana*), en noviembre y marzo (Figura S5). Sin embargo, después de filtrar por metadatos, eBird no arrojó

ningún registro para calcular la abundancia relativa de esta especie. En contraste, el calendario Pamiwá indicó una mayor abundancia de *kuito aũ yarabe* (*T. savana*) durante 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, particularmente 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 ocurrir tanto al inicio como al final del paso de la especie por la Amazonia (Jahn et al. 2016).

A.4 Discusión

Nuestro análisis comparativo del calendario ecológico Pamiwã y los registros de eBird revela similitudes y diferencias modestas en los patrones de diversidad fenológica de aves, lo que respalda la aplicación del principio orientador de la Visión de Dos Ojos. Si bien los patrones estacionales de riqueza de especies y abundancia relativa coincidieron parcialmente entre los dos sistemas de conocimiento, las discrepancias en la presencia mensual de especies resaltan relaciones distintas entre los dos tipos de observadores y las aves. Estas diferencias epistemológicas no son meras brechas observacionales; reflejan formas contrastantes de conocer la biodiversidad. El pueblo Pamiwã experimenta señales culturalmente arraigadas, como el comportamiento, la actividad vocal y el significado espiritual de las aves, acumulados durante generaciones (EtnoOrnitología 2016; 2018; Rivera Velasco & EtnoOrnitología 2022), que se reflejan en el calendario ecológico como “presencias”, pero pueden diferir de las ocurrencias convencionales en los conjuntos de datos de ciencia comunitaria occidental. Los voluntarios que contribuyen datos a eBird también experimentan señales culturalmente arraigadas, observando aves con diferentes objetivos, como encontrar más especies o especies más raras (Callaghan et al. 2025; Hochachka et al. 2012; Sullivan et al. 2014). Los colaboradores indígenas interpretan las diferencias entre los conjuntos de datos como reflejo de un sesgo espacial en el muestreo de eBird, en contraste

con la exploración y uso históricamente arraigados de su territorio. Los colaboradores occidentales interpretan la mención de especies en el calendario indígena como experiencias relacionales específicas, más similares a la abundancia relativa que a la ocurrencia convencional en el conocimiento occidental. Reconociendo las distintas motivaciones entre comunidades locales y observadores de eBird (Soares *et al.* 2023), vemos un gran potencial para que las observaciones voluntarias sean más útiles en el monitoreo de la biodiversidad en territorios indígenas. En conjunto, las similitudes y diferencias validan el potencial de aplicar el principio orientador de la Visión de Dos Ojos para aprender tanto del conocimiento indígena como del occidental en este contexto amazónico (Bartlett *et al.* 2012).

El principio orientador de la Visión de Dos Ojos guió nuestra estrategia de integración (Figura S1). Originalmente aplicado en talleres de salud y sanación (Marshall 2008), este principio utiliza círculos concéntricos ilustrados para representar capas del conocimiento indígena: física, relacional y sagrada (Bartlett *et al.* 2012). Nuestros resultados sugieren que ambos sistemas de conocimiento, indígena y occidental, comparten fundamentos empíricos en su relación con la diversidad de aves, permitiendo entendimientos comunes sobre dónde, cuándo y qué observar. Aunque no evaluamos directamente las motivaciones de los observadores, suponemos que tanto las personas locales 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 en la riqueza de especies (Figura S3), por tanto, incluye un sesgo perceptivo de los dos tipos de observadores: relaciones tradicionalmente arraigadas (indígenas) o preferencias temporales para visitar y buscar especies raras (avitouristas). El círculo más interno, que representa el conocimiento sagrado y espiritual, sigue siendo difícil de interpretar desde perspectivas occidentales, aunque su inclusión es esencial al visitar territorios indígenas para la observación de aves. No podemos incorporar los significados espirituales del conocimiento indígena en el conocimiento occidental, pero sí podemos reconocerlos e incorporar relaciones éticas provenientes de las comunidades indígenas (M. Schmidt Comm. Pers.).

Al incluir la perspectiva del *otro*, enmarcamos nuestra investigación para identificar oportunidades de formación futuras y mejorar la recolección de datos a través de eBird. En primer lugar, los observadores de eBird han aportado un cúmulo de conocimiento occidental al observar aves en territorios indígenas, pero creemos que su contribución se verá potenciada si se alinean con las prioridades y prácticas locales. Creemos que el éxito del aviturismo en territorios indígenas requiere comprender los paisajes culturales y los medios de vida locales, en lugar de depender únicamente de la capacidad de los guías locales para identificar especies como un importante atractivo para el aviturismo (Echeverri *et al.* 2025). En segundo lugar, nuestra investigación se diseñó para mejorar la recolección de datos de observación de aves en eBird. Esto ejemplifica cómo las infraestructuras de datos pueden beneficiarse de perspectivas locales (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 cumplieron con los estándares de las listas Ultrafina o Fina (172 y 8,330 registros, respectivamente; Figura S6). Estas categorías pueden ofrecer una mayor resolución espacio-temporal, lo que podría reflejar una mejor comprensión de la fenología ecológica y la dinámica espacial (Fink *et al.* 2020; Hochachka *et al.* 2012; Johnston *et al.* 2021). Aunque la categoría Gruesa añade datos útiles (43,015 registros), la mayoría de los registros de eBird hasta ahora cae en la categoría “Por mejorar” (Tabla 1). Sugerimos que los usuarios de eBird que deseen apoyar el monitoreo indígena reduzcan la duración de las listas 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 espacial y temporal. Combinaciones de estos esquemas de muestreo, ajustados a diferentes hábitats (listas diferenciadas para áreas abiertas, chagras, 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” sugeridas. Estos ajustes desplazarían los registros hacia categorías de mayor calidad (Johnston *et al.* 2021, 2025), mejorando así la comprensión ecológica y respaldando la gobernanza y administración indígena durante el cambio ambiental global (Couée 2024).

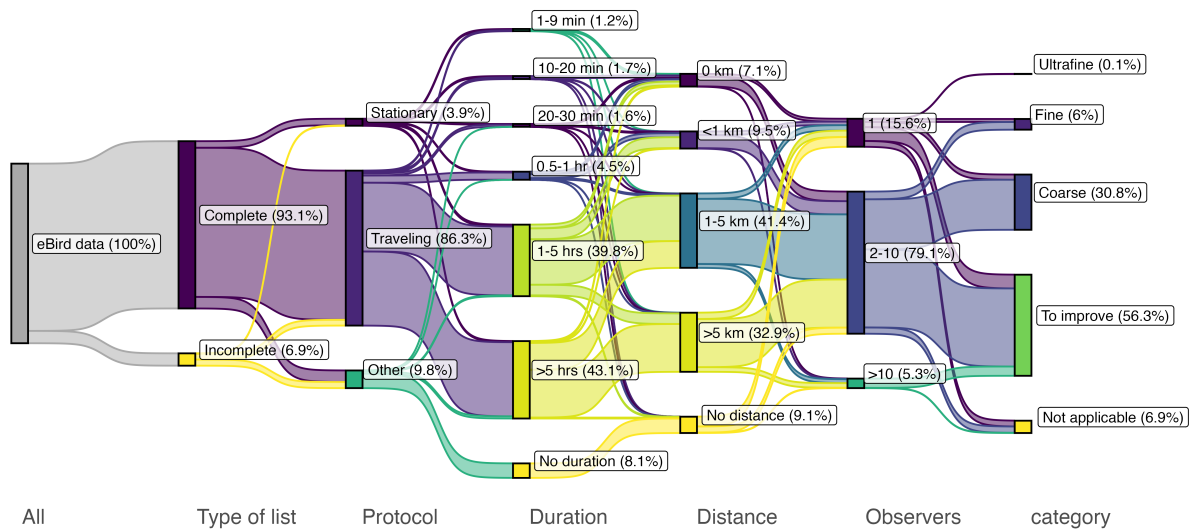


Figure S6: Gráfico de Sankey que resume los metadatos de observación de eBird en el territorio indígena Pamiwã (Figura S2). Aunque eBird ha acumulado casi 140.000 registros en esta región, menos del 40% podría usarse con confianza para la mayoría de los análisis (combinando las categorías Ultrafina, Fina y Gruesa, ver Tabla 2).

Abogamos por la observación de aves con un propósito: observar aves *con* y *para* la gente. Esto podría significar un cambio en las prácticas epistemológicas hegemónicas, de modo que las comunidades locales que han actuado como guardianes de la biodiversidad también puedan tener voz en cómo se recopilan, compilan y difunden los datos, contribuyendo así a los procesos de toma de decisiones relacionados con la gobernanza de sus territorios. Con datos refinados de muestreo espacial y temporal, podríamos evaluar si las discrepancias en los picos de abundancia señalan transiciones en la fenología del bosque, como cambios en las épocas de fructificación de la palma *pupuña* o variaciones en los regímenes de precipitación durante el cambio climático, lo que permitiría actualizaciones adaptativas del calendario ecológico. Nuestra colaboración en curso aprovecha estos resultados para guiar iniciativas de fortalecimiento de capacidades. A través de reuniones de campo y llamadas virtuales, identificamos maneras de actualizar el calendario, algunas de las cuales se alinean con la estructura de eBird (Lees *et al.* 2020). Por ejemplo, los colaboradores indígenas reconocieron la importancia de la información complementaria durante el proceso de observación y aportaron detalles sobre los requerimientos espaciales, temporales

y de esfuerzo para sus observaciones. Para apoyar 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 así las observaciones de ciencia comunitaria con los intereses indígenas. De este modo, invitamos a los usuarios de eBird a cambiar su mentalidad de “competencia saludable” hacia la “calidad de los envíos”. También invitamos a los pueblos indígenas locales a valorar su conocimiento ancestral y vincularlo con herramientas estandarizadas de monitoreo de biodiversidad.

La conservación biocultural requiere una combinación de métodos, cada uno sujeto a interpretación e incertidumbre inherente (Bridgewater & Rotherham 2019). En este estudio, actuamos como investigadores y traductores entre disciplinas (Aide 2023) para evaluar el potencial del principio orientador de la Visión de Dos Ojos para integrar el conocimiento ecológico indígena con los datos de ciencia comunitaria. Trabajos futuros podrían incorporar análisis más robustos del cambio estacional utilizando herramientas cuantitativas, como modelos de cambio de punto ecológico (Ponciano *et al.* 2018; Figura S1i), o estimaciones macro-demográficas como la persistencia poblacional (Acevedo-Charry *et al.* 2025), el reclutamiento y la supervivencia (Socolar *et al.* 2025). Los diálogos en curso fortalecerán los sistemas de conocimiento indígena y clarificarán los protocolos de gobernanza y uso de datos.

En conclusión, mediante el uso del principio orientador de la Visión de Dos Ojos, podemos aprender más de lo que aprenderíamos viendo solo de una manera. Proponemos que la relación entre las comunidades locales y las aves, tal como se expresa 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 sobre la congruencia entre el conocimiento indígena y occidental (Diamond 1966; Wallace 1890 p. 121), los científicos occidentales han fallado en valorar el conocimiento indígena (Gazing Wolf *et al.* 2024; Reid *et al.* 2024). Afortunadamente, esta tendencia parece estar cambiando (ver Athayde *et al.* 2025; Copete *et al.* 2026). El fortalecimiento de capacidades locales a través del uso adaptado de eBird es un camino posible. Sin embargo, un papel fundamental lo desempeña

la colaboración de los usuarios de eBird que visitan la región, vinculando sus observaciones con
1326 la evaluación iterativa de los calendarios ecológicos indígenas. Esta alineación ayudará a las
comunidades indígenas a lograr la resolución temporal y espacial necesaria para adaptarse al
cambio climático y reforzar la conservación biocultural antes de que la presión externa erosione
1329 aún más el conocimiento ancestral. Más allá del simple seguimiento de la diversidad de aves,
visualizamos el calendario ecológico como una herramienta dinámica, elaborada dentro de un
marco de teoría del cambio. Tal dispositivo iterativo permitiría a las comunidades indígenas
1332 monitorear, interpretar y responder a las transformaciones ambientales en sus propios términos,
al tiempo que guían a los científicos occidentales a generar inferencias más aplicables y útiles.

B Supporting Figures

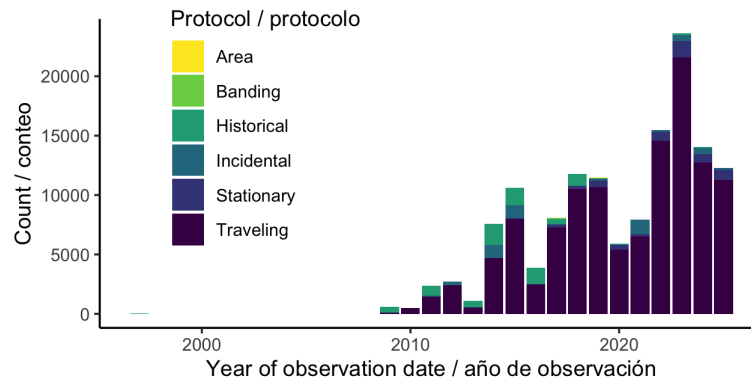


Figure S7: Number of records through time and protocol. It is evident the increase in reporting for the Indigenous territory.

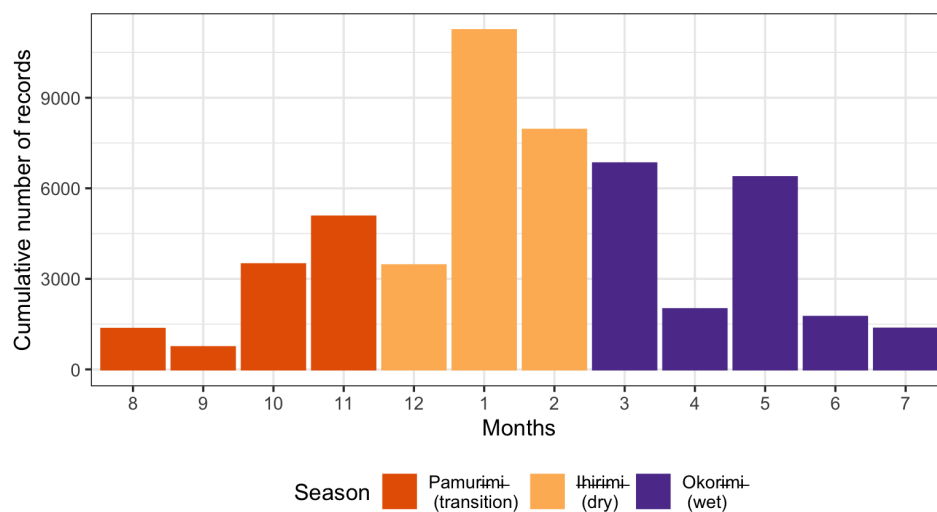


Figure S8: Cumulative number of records summarized for each month of the year. Indigenous seasons identified by colors. It is evident higher effort during the dry season.