

## 1. Título

Influencia de la variación morfológica y aerodinámica inter e intraespecífica en las estrategias de forrajeo de los colibríes del Cerro de la Muerte, Costa Rica.

## 2. Introducción

### i. estado actual del conocimiento en el tema.

La polinización de plantas por animales es uno de los procesos clave que garantizan la reproducción de las Angiospermas y el mantenimiento de la biodiversidad. Con el aumento en la elevación, el papel ecológico que desarrollan las aves en la polinización se vuelve más importante, debido a las bajas temperaturas que limitan la actividad de los insectos (Stiles 1985, Gutiérrez & Rojas 2001) especialmente bajo condiciones de calentamiento global.

Los colibríes (familia Trochilidae) representan uno de los grupos de aves más numerosos y diversos del mundo (Arizmendi & Berlanga 2004). Estas aves presentan nichos muy especializados al alimentarse casi exclusivamente de néctar (Mendoza & Dos Anjos 2006, Gutiérrez & Rojas 2001), por lo que ha existido una presión selectiva hacia la evolución de caracteres morfológicos y aerodinámicos que faciliten el uso eficiente del néctar, así como el acceso a flores cuya morfología tubular y néctar diluido excluyan a otros polinizadores (Altshuler & Dudley 2002, Gutiérrez et al. 2004, León & Rangel 2015).

Los páramos están entre los ecosistemas más vulnerables del Neotrópico en cuanto a cambio climático, y se han denominado “puntos calientes” de biodiversidad y endemismo (Goodenough & Hart 2013, Morales & Estévez 2006). Debido a la alta complejidad de las interacciones planta-colibrí (Feinsinger 1990), y a su alto grado de dependencia, estas pueden ser especialmente vulnerables al cambio climático debido al desacople entre la fenología de las plantas y los ciclos biológicos de los colibríes (McKinney et al. 2012), incluyendo patrones migratorios. En Costa Rica, la pequeña extensión de este ecosistema (Gutiérrez & Rojas 2001) y su asilamiento con respecto a las páramos de Suramérica podría amplificar el efecto de todas estas presiones.

En Costa Rica se han reportado un total de 70 especies de aves en el páramo, de las cuales solamente 12 se consideran residentes, 34 usan el borde del páramo, y las restantes 24 son visitantes ocasionales (Barrantes 2005). Muchas de estas especies se desplazan altitudinalmente siguiendo los cambios en abundancia y disponibilidad de flores y frutos (Barrantes 2005) incluyendo colibríes (Wolf et al 1976). Las especies que se observan frecuentemente en el ecotono páramo-bosque de robles son aves típicas de bosque subalpino o montano alto que utilizan el borde de bosque y vuelan ocasionalmente hacia el interior del páramo, cuando el recurso alimentario es abundante (Barrantes 2005).

La organización espacial y temporal de las especies de colibríes, así como las relaciones intra e inter-específicas están determinadas por la oferta (cantidad y distribución) y demanda de recursos energéticos (Feinsinger 1990, Johnson 1993, Gutiérrez 2005). Además, la variación morfológica y aerodinámica de los colibríes influye en la capacidad competitiva de estas aves, así como en la eficiencia y comportamiento de forrajeo (Wolf et al 1976). La variación en aerodinámica y morfología se relaciona a su vez con gradientes altitudinales, principalmente entre las especies de tierras bajas y las especies de tierras altas (Stiles 2004). Sin embargo, se sabe poco acerca de la variación morfológica y aerodinámica de colibríes a una misma altitud (Buermann et al. 2011), especialmente en ecosistemas de alta montaña.

El patrón de uso de recursos puede ser diferencial tanto en especies simpátricas como entre sexos de una misma especie, y puede variar espacial y temporalmente (Wolf et al. 1976, Ebenman & Nilson 1982). La diferenciación de nicho evita la competencia inter e intra-específica y facilita la convivencia de las especies que finalmente utilizan los mismos recursos (Palmer et al 2003). Las diferencias morfológicas entre especies simpátricas pueden ser marcadas y suficientes para producir diferencias en la eficiencia de forrajeo y elección de las flores (Wolf et al 1976, Gutiérrez & Rojas 2001).

## **ii. justificación lógica de los objetivos y justificación teórica de las hipótesis si las hay.**

Objetivo General: Medir la variación morfológica y aerodinámica de 4 especies de colibríes en el Cerro de la Muerte en Costa Rica, y determinar su relación con el comportamiento de forrajeo y los patrones de uso de recursos florales.

Objetivos específicos:

- Analizar la frecuencia de visitación y las cargas de polen transportadas por los colibríes para determinar cuáles recursos florales (especies de plantas) son los más usados comparando áreas con diferente cantidad de recursos florales (bosque de roble y páramo). Esto permitirá determinar la variación en el uso de recursos florales y el grado de traslape entre las 4 especies de colibríes. A su vez permitirá documentar el nivel de actividad en sitios con diferentes condiciones ambientales, cantidad y calidad de recursos.
- Determinar la variación morfológica y aerodinámica de los colibríes, así como la variación morfológica y de calidad de recursos florales. Esto permitirá determinar si existe una relación entre ambos que explique el patrón de uso de recursos.
- Determinar las tasas y eficiencia de extracción de néctar de colibríes en diferentes plantas lo que permitirá evaluar si es un factor importante en la elección de recursos florales.
- Caracterizar los patrones de visitación de flores de las plantas de páramo por parte de colibríes.

## **iii. novedad del tema y/o necesidad e importancia para la ornitología y/o conservación de las aves de Costa Rica.**

El cambio climático representa una de las principales amenazas que enfrentan actualmente las comunidades de organismos. Los páramos son considerados uno de los ecosistemas más vulnerables del Neotrópico al cambio climático (Goodenough & Hart 2013). Se han realizado estudios que sugieren que zonas localizadas en elevaciones altas podrían ser más frágiles a incrementos en la temperatura, y en aves se ha demostrado que algunas especies se han desplazado a tierras más altas en donde estaban ausentes, mientras que las de tierras altas han declinado en su abundancia (Ugalde 2009). A su vez, el ecosistema de páramo ha sido poco estudiado debido a las condiciones hostiles de este ambiente y a la dificultad que conlleva la implementación de experimentos a través del tiempo.

El estudio de las comunidades ecológicas en términos de aprovechamiento de recursos posibilita una mejor comprensión de los factores que influyen en la estructuración de las redes de interacción planta-polinizador. La forma en que se particiona el recurso de néctar en

este ecosistema puede ayudar a determinar si existe una especie o sexo más vulnerable a disturbios.

### **3. Descripción de los métodos que permita a los lectores entender lo que el proponente va a hacer y como lo va a hacer.**

*i. Sitio de estudio.* — Realizaré el estudio en dos puntos diferentes dentro del área de Cerro de la Muerte en la Cordillera de Talamanca en Costa Rica. Restaurante y cabinas “La Georgina”, 09°33'28" N- 83°43'25" W, 3086 m, dominado por el ecosistema de Bosque de Roble y Estacion Biológica Reserva los Nímbulos, 09°33'42.3" N 83°44'27.2" W, 3150 m. dominado por Bosque de Roble y Páramo. Las temperaturas varían entre 0°C-25°C (Wolf et al. 1976), pero pueden aproximarse a -5°C antes del amanecer y 28°C al mediodía durante la época seca. La época seca se presenta durante los meses de Noviembre y Abril, y la época lluviosa alcanza su máximo pico durante los meses de Setiembre y Octubre (Wolf et al. 1976).

*ii. Especies de estudio.* — En el estudio me centraré en cuatro especies de colibríes residentes en el Cerro de la Muerte: El colibrí chispita volcanera (*Selasphorus flammula*), el colibrí garganta de fuego (*Panterpe insignis*), el colibrí magnífico (*Eugenes fulgens*), y el colibrí oreji-violáceo (*Colibri thalassinus*). Dos de las especies *S. flammula* y *E. fulgens* presentan dimorfismo sexual en el plumaje y todas las especies son dimórficas en tamaño, especialmente en el peso y la longitud del ala. Las cuatro especies presentan movimientos elevacionales siguiendo cambios en los recursos de néctar (Stiles & Skutch 1989) y las relaciones ecológicas y la dominancia de jerarquía han sido descritas por Wolf et al. (1976) y Colwell (1973).

*iii. Recursos florales.* — Realizaré al menos dos transectos permanentes de 100x 2m en cada sitio en el cual identificaré todas las especies florales. Elegiré especies focales para realizar la cuantificación de la abundancia y disponibilidad de los recursos florales para los colibríes, para lo cual utilizaré al menos 15 individuos por especie y realizaré visitas mensuales. Registraré cuáles especies se encuentran en floración en cada visita, el número de flores por individuo en los casos que sea posible, y para las especies con floración abundante se asignará un porcentaje de floración para cada individuo (0-25% baja, 25-50% media, 50-75% alta, 75-100% muy alta).

Para las mediciones morfológicas de cada especie de planta, obtendré datos de longitud total y efectiva de la corola (Gutiérrez 2005) de al menos 10 flores, color de la corola, forma (recta o curva), y hábito de crecimiento de la planta (arbusto, árbol, epífita, hemiepífita). Mediré la concentración de azúcar del néctar mediante un refráctometro portátil y para las especies más utilizadas mediré el volumen de néctar a través del tiempo utilizando microcapilares.

*iv. Captura y mediciones de colibríes.* — Las mediciones las realizaré una vez por mes. Cada periodo de muestreo consistirá de 2 a 3 días. Los colibríes serán atrapados empleando (4) redes de niebla de (2.5 x 6m), dos en cada sitio (bosque de roble y páramo). Para cada captura, determinaré la especie y recolectaré las cargas de polen de acuerdo con la técnica descrita por Avalos et al. (2012). Tomaré datos de sexo, peso y medidas morfométricas (longitud y curvatura del pico, longitud del ala y cola). La longitud del pico (culmen) la mediré con un calibrador vernier, mientras que la curvatura del pico, longitud del ala y la cola las calcularé utilizando papel milimetrado y tomando fotografías según el método utilizado por Maglianesi et al. (2014). Pintaré una de las uñas del ave utilizando

esmalte de uñas como control de recapturas diario. Una vez tomados los datos, los individuos serán liberados.

*v. Cuantificación y caracterización de las visitas.* — En cada sitio utilizaré uno de los transectos fijos, localizaré parches florales y realizaré observaciones de 10 minutos por parche, moviéndome entre parches hasta terminar el transecto. En estos periodos se realizaré observaciones directas (utilizando binoculares) entre las 0600 y 1000 y entre las 1500 y 1700. En dondó registraré las especies de colibrí visitantes y el número de visitas. Además colocaré 8 cámaras digitales de acción (SJ4000 HD Action Camera) frente a plantas focales de diferente especie por al menos 2 horas tanto en la mañana como en la tarde, para lo cual trataré de utilizar diferentes individuos en cada muestreo. En este caso, para cada visita registraré la hora, la especie de colibrí y la especie de planta visitada, el número de flores visitadas, el tiempo invertido en la visita, la técnica de revoloteo (revoloteando, perchado, perchado revoloteando) e interacciones negativas con otros colibríes (vocalizaciones, despliegues, “carreras”). Con base en las observaciones, construiré matrices con la frecuencia total de interacción entre cada especie de planta y polinizador considerando tanto el muestreo con las cámaras así como con las observaciones visuales.

**4. Calidad de los métodos: ¿permiten los métodos coleccionar datos adecuados para alcanzar el/los objetivo(s) propuesto(s), responder inequívocamente a la(s) pregunta(s) planteada(s) o evaluar la(s) hipótesis propuesta(s) sin ambigüedad? Se debe proveer justificación de los métodos que responda a estas preguntas.**

La combinación de observaciones directas, colocación de cámaras y análisis de cargas de polen permitirán determinar de una forma integral las tasas de visitación y la preferencia de recursos florales, permitiendo comparar y complementar los diferentes métodos, disminuyendo el sesgo que puede producirse por esfuerzo de muestreo en cada análisis por separado. La comparación de los ecosistemas de bosque de roble y páramo permitirá determinar si los patrones de uso de recursos florales se ven afectados no solo por la variación morfológica de los colibríes sino también por las condiciones ambientales y de cantidad de recursos disponibles en cada sitio. Además se podrá determinar la capacidad de las especies de colibríes para explotar diferentes recursos. Finalmente, la captura y medición de colibríes permitirá no solo determinar la variación morfológica de los mismos sino también, determinar patrones de variación mensual en la captura de las diferentes especies de colibríes que pueden estar relacionados con patrones de movimiento, migración, reproducción.

**5. Factibilidad de los métodos: discusión de limitaciones y ventajas de los métodos seleccionados.**

Las principales limitaciones impuestas podrían ser la limitada cantidad de cámaras para realizar el registro de visitaciones y la duración de grabación. Sin embargo, se tratará de disminuir mediante la utilización de individuos diferentes cada vez que se coloquen las cámaras para tratar de abarcar la mayor cantidad de individuos posibles durante la totalidad del muestreo. Por otro lado se tratará de complementar con observaciones directas y análisis de las cargas de polen. Otra de las posibles limitaciones podría ser la cantidad limitada de individuos de especies de plantas en floración. Sin embargo, los análisis se restringirán para aquellas especies de plantas para las cuales se tenga una muestra adecuada tanto para la estimación de la fenología como para el registro de visitación. Podrían presentarse también algunas dificultades en la identificación de las especies de plantas presentes en las cargas de polen, pero para esto se tratará de realizar una colección previa de polen de las principales

plantas en cada sitio, para facilitar su comparación y posterior análisis. Además, se realizará una colección seca de las principales especies de plantas, para evitar errores de identificación en el análisis fenológico y a la hora de analizar tasas de visitación.

#### **6. Análisis estadístico. Descripción y justificación con respecto a análisis alternativos.**

Se realizarán análisis de la estructura correlación entre variables dependientes (los recursos florales como número de especies en floración por cada visita) e independientes (borde de bosque de roble y páramo, especie de colibrí), tales como correlaciones canónicas y regresiones de componentes principales. Para determinar la importancia de cada uno de los recursos utilizaré el Índice de Valor de Importancia de los Recursos (IVIR) Amaya-Márquez et al. (2001) el cual permite utilizar tanto las observaciones directas como las realizadas con las cámaras y las cargas de polen. Para examinar el grado de traslape en el uso de recursos florales entre las cuatro especies de colibríes utilizaré el índice de sobreposición usando la fórmula de Feinsinger (1976).

Para la comparación entre las abundancias de colibríes, el número de flores visitadas y el tiempo invertido en cada visita para los dos sitios se utilizará una prueba t-student. Para determinar el grado de asociación entre las especies de colibríes y especies de plantas se utilizarán modelos de ecuaciones estructurales. Se utilizará el estadístico *V* descrito por Williams (1995) para detectar desplazamiento competitivo en las variables morfológicas de los colibríes. Se realizará una regresión de componentes principales para asociar las características morfológicas de las aves con las características morfológicas de las flores, incluyendo la concentración de néctar. La regresión permitirá medir el grado de dependencia entre las características florales y la morfología del ave a fin de probar la hipótesis de que las diferencias en morfología entre especies y sexos determinan el grado de acceso al recurso floral. Para analizar las diferencias en las técnicas de revoloteo y frecuencia de interacciones negativas intra e inter-específicas se utilizarán análisis de varianza (ANOVA). Para medir las tasas y eficiencias de extracción se utilizará el método de Wolf et al. (1972,1976) y se realizarán regresiones lineales simples para relacionar el costo de la extracción con el beneficio energético del néctar (costo energético).

#### **7. Discusión sobre cómo lidiar con factores que puedan confundir los resultados de los análisis propuestos.**

Para lidiar con posibles factores que puedan confundir los resultados se realizarán periódicamente análisis previos que permitan observar y analizar la calidad y capacidad informativa de los datos obtenidos en campo. Con el objetivo de realizar las modificaciones necesarias en un plazo adecuado. Además si se presentaran limitaciones en la obtención de datos por la capacidad de muestreo, se considerará realizar más visitas de campo, con el fin de obtener los resultados necesarios que cuenten con la capacidad adecuada para realizar los análisis propuestos.

## 8. Referencias

- Altshuler, D. L., & Dudley, R. (2002). The ecological and evolutionary interface of hummingbird flight physiology. *Journal of Experimental Biology* 205: 2325-2336.
- Amaya, M., G. Stiles., & J. O. Rangel. (2001). Interacción planta-colibrí en Amacayacu (Amazonas, Colombia): una perspectiva palinológica. *Caldasia* 23: 301-322.
- Arizmendi, M. C. & Berlanga, H. (2004). Colibríes de México y Norteamérica. CONABIO. México. 160 pp.
- Avalos, G., Soto, A., & Alfaro, W. (2012). Effect of artificial feeders on pollen loads of the hummingbirds of Cerro de La Muerte, Costa Rica. *International Journal of Tropical Biology and Conservation* 60:65-73.
- Barrantes G. 2005. Aves de los páramos de Costa Rica. En: Páramos de Costa Rica. Eds. M, Kappelle; S, Horn. 1ed. Heredia. CR. Editorial INBio. 767p.
- Buermann, W., Chaves, J. A., Dudley, R., McGuire, J. A., Smith, T. B., & Altshuler, D. L. (2011). Projected changes in elevational distribution and flight performance of montane Neotropical hummingbirds in response to climate change. *Global change biology*, 17(4), 1671-1680.
- Colwell, R. K. (1973). Competition and coexistence in a simple tropical community. *American Naturalist* 107: 737-760.
- Ebenman, B., & Nilsson, S. G. (1982). Components of niche width in a territorial bird species: habitat utilization in males and females of the chaffinch (*Fringilla coelebs*) on islands and mainland. *American Naturalist*, 119:331-344.
- Feinsinger, P. (1976). Organization of a tropical guild of nectarivorous birds. *Ecological monographs*, 46:257-291.
- Feinsinger, P. (1990). Interacciones entre plantas y colibríes en selvas tropicales. *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias, Córdoba, Argentina*, 59: 31-54.
- Goodenough, A.E., & A. G. Hart. (2013). Correlates of vulnerability to climate-induced distribution changes in European avifauna: habitat, migration and endemism. *Climatic Change* 118: 659–669.
- Gutiérrez, A., & Rojas, S. (2001). Dinámica anual de la interacción colibrí-flor en ecosistemas altoandinos del volcán Galeras, sur de Colombia. *Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Biología.*
- Gutiérrez, A., Rojas-Nossa, S. V., & Stiles, F. G. (2004). Dinámica anual de la interacción colibrí-flor en ecosistemas altoandinos. *Ornitología neotropical*, 15:205-213.

- Gutiérrez, A. (2005). Ecología de la interacción entre colibríes (Aves: Trochilidae) y plantas que polinizan el bosque altoandino de Torca. Tesis de postgrado (Biología). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Biología. Bogotá D.C.
- Johnson, S.D. (1993). Climatic and phylogenetic determinants of flowering seasonality in the Cape flora. *Ecology* 81: 567-572.
- León-Camargo, D., & Rangel-Ch, J. O. (2015). Interacción colibrí-flor en tres remanentes de bosque tropical seco (BsT) del municipio de Chimichagua (Cesar, Colombia). *Caldasia*, 37: 107-123.
- Maglianesi, M. A., Blüthgen, N., Böhning-Gaese, K., & Schleuning, M. (2014). Morphological traits determine specialization and resource use in plant-hummingbird networks in the Neotropics. *Ecology* 95:3325-3334.
- McKinney, A. M., CaraDonna, P. J., Inouye, D. W., Barr, B., Bertelsen, C. D., & Waser, N. M. (2012). Asynchronous changes in phenology of migrating Broad-tailed Hummingbirds and their early-season nectar resources. *Ecology* 93:1987-1993.
- Mendoca, L., & L. Dos Anjos. (2006). Feeding behavior of hummingbirds and perching birds on *Erythrina speciosa* Andrews (Fabaceae) flowers in an urban area, Londrina, Parana, Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia* 23:42-49.
- Morales-Betancourt, J. A., & Estévez-Varón, J. V. (2006). El Páramo: ¿Ecosistema En Vía De Extinción?. *Revista Luna Azul* 22: 39-51.
- Palmer, T. M., Stanton, M. L., & Young, T. P. (2003). Competition and coexistence: exploring mechanisms that restrict and maintain diversity within mutualist guilds. *The american naturalist*, 162: S63-S79.
- Stiles, F. G. (1985). Seasonal patterns and coevolution in the hummingbird-flower community of a Costa Rican subtropical forest. *Ornithological Monographs* 36: 757-787.
- Stiles, F. G., & Skutch, A. F. (1989). *Guide to the birds of Costa Rica*. Comistock.
- Stiles, F. G. (2004). Phylogenetic constraints upon morphological and ecological adaptation in hummingbirds (Trochilidae): Why are there no hermits in the paramo. *Ornitología Neotropical*, 15, 191-198.
- Ugalde-Gómez, J., Herrera-Villalobos, A., Obando-Acuña, V., Chacón-Chavarría, O., Vargas-Del Valle, M., Matamoros-Delgado, A., & Fuentes-González, G. (2009). Biodiversidad y cambio climático en Costa Rica: Informe Final. *Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio)/Instituto Meteorológico Nacional (Proyecto 00033342-Segunda Comunicación Nacional a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (IMN/PNUD/GEF). San José, Costa Rica.*

Williams, M. R. 1995. Critical values of a statistic to detect competitive displacement. *Ecology* 76:646-647.

Wolf, L. L., Stiles, F. G., & Hainsworth, F. R. (1976). Ecological organization of a tropical, highland hummingbird community. *The Journal of animal ecology* 45:349-379.

**9. Presupuesto: Debe indicar claramente lo que se pide a AOCR, el presupuesto total del proyecto y otras fuentes confirmadas o pendientes de financiamiento para el proyecto.**

Para el proyecto se contó con ayuda por parte de CONARE (Consejo Nacional de Rectores), ya que forma parte del proyecto B5661 Grado de vulnerabilidad de las redes de interacción planta-polinizador al cambio climático en páramos de Costa Rica). Con este presupuesto se obtuvo la mayor parte del equipo, tales como cámaras de acción para la toma de videos de visitación de colibríes y redes de niebla. Actualmente se mantienen una propuesta en IDEAWILD pendiente de aprobación. Sin embargo todavía es necesario gran parte del presupuesto para completar las giras de campo a los sitios de estudio para el año 2017 y poder completar un ciclo anual de toma de datos. La cámara que solicito es para tomar fotografías de los colibríes después de ser capturados y poder cuantificar y analizar la morfología mediante el programa Image J.

| Item  | Costo   | Total  |
|---|---|--------|
| Canon EOS Rebel T3 DSLR Camera and 18-55mm IS II Lens Kit   | \$299   | \$299  |
| Hospedaje, alimentación y transporte a los sitios de estudio (8 giras de campo de dos noches y tres días) | Hospedaje \$60<br>Alimentación \$20<br>Transporte \$8 | \$704  |
| Total   | \$1003  | \$1003 |



## 10. Cronograma

| Actividad   | II-2016 |         |         | I-2017  |           |         | II-2017 |         |         |
|---|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|---------|---------|
|   | Jul-Ago | Set-Oct | Nov-Dic | Ene-Feb | Mar-Abril | May-Jun | Jul-Ago | Set-Oct | Nov-Dic |
| Establecimiento de transeptos/ Identificación y marcaje de plantas para fenología |         |         |         |         |           |         |         |         |         |
| Mediciones morfológicas de plantas y néctar                                       |         |         |         |         |           |         |         |         |         |
| Elaboración colección de polen  |         |         |         |         |           |         |         |         |         |
| Sensos mensuales de fenología de plantas  |         |         |         |         |           |         |         |         |         |
| Colocación de cámaras y observaciones directas de visitación                      |         |         |         |         |           |         |         |         |         |
| Captura y medición de colibríes   |         |         |         |         |           |         |         |         |         |
| Escritura memoria final de proyecto   |         |         |         |         |           |         |         |         |         |
| Defensa de tesis  |         |         |         |         |           |         |         |         |         |