UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE BIOLOGÍA

ECOLOGÍA

INFLUENCIA DE FACTORES AMBIENTALES EN LA APARICIÓN DE LOS GÉNEROS DE LA FAMILIA HYLIDAE (ORDEN: ANURA) DE LA RBCHC

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

PRESENTA:

LAURA PAULINA DÍAZ RENTERÍA

TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: DR. ANDRÉS GARCÍA AGUAYO
INSTITUTO DE BIOLOGÍA, UNAM
COMITÉ TUTOR: MARTÍN MARTÍNEZ TORRES
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA, UNAM
DR. FAUSTO ROBERTO MÉNDEZ DE LA CRUZ
INSTITUTO DE BIOLOGÍA UNAM

CD. MX. **JUNIO, 2018**

Universidad Nacional Autónoma de México
UNAM
Biblioteca Central
Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

HOJA EN BLANCO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE BIOLOGÍA

ECOLOGÍA

INFLUENCIA DE FACTORES AMBIENTALES EN LA APARICIÓN DE LOS GÉNEROS DE LA FAMILIA HYLIDAE (ORDEN: ANURA) DE LA RBCHC

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

PRESENTA:

LAURA PAULINA DÍAZ RENTERÍA

TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: DR. ANDRÉS GARCÍA AGUAYO
INSTITUTO DE BIOLOGÍA, UNAM
COMITÉ TUTOR: MARTÍN MARTÍNEZ TORRES
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA, UNAM
DR. FAUSTO ROBERTO MÉNDEZ DE LA CRUZ
INSTITUTO DE BIOLOGÍA UNAM

MÉXICO, CD. MX. JUNIO, 2018

UNAM POSGRADO
Ciencias Biológicas

COORDINACIÓN

Lic. Ivonne Ramírez Wence
Directora General de Administración Escolar, UNAM
P r e s e n t e

Me permito informar a usted que en la reunión del Subcomité por Campo de Conocimiento de Ecología y Manejo Integral de Ecosistemas del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 14 de mayo de 2018, se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS** de la alumna **DÍAZ RENTERÍA LAURA PAULINA** con número de cuenta **306109557** con la tesis titulada **"Influencia de factores ambientales en la aparición de los géneros de la familia Hylidae (Orden: Anura) de la RBChC"**, realizada bajo la dirección del **DR. ANDRÉS GARCÍA AGUAYO**:

Presidente:	DR. ISAIAS HAZARMABETH SALGADO UGARTE
Vocal:	M. EM C. GEORGINA SANTOS BARRERA
Secretario:	DR. FAUSTO ROBERTO MÉNDEZ DE LA CRUZ
Suplente:	DR. MANUEL FERIA ORTÍZ
Suplente:	DR. MARTÍN MARTÍNEZ TORRES

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, Cd. Mx., a 24 de mayo de 2018.

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLOGICAS
COORDINACIÓN

DR. ADOLFO GERARDO NAVARRO SIGÜENZA
COORDINADOR DEL PROGRAMA

c.c.p. Expediente del (la) interesado (a).

Unidad de Posgrado • Coordinación del Posgrado en Ciencias Biológicas Edificio D, 1er. Piso, Circuito de Posgrados Cd. Universitaria
Delegación Coyoacán C.P. 04510 Cd. Mx. Tel. 5623 7002 http://pcbiol.posgrado.unam.mx

AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES

Al **Posgrado en Ciencias Biológicas** de la **Universidad Nacional Autónoma de México**.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología** por la beca otorgada (CVU: 698167) y al **apoyo PAPIIT** RN204713 Otorgado al Dr. Andrés García Aguayo, ambos, recibidos para poder realizar mis estudios e investigación:

Finalmente, a mi **Tutor principal,** el Dr. Andrés García Aguayo y a los miembros del **Comité Tutor**, el Dr. Martín Martínez Torres y el Dr. Fausto Roberto Méndez de la Cruz, por sus aportaciones para el desarrollo y conclusión de esta tesis.

AGRADECIMIENTOS A TÍTULO PERSONAL

Al Dr. Andrés García por confiar en mí y aceptarme como alumna: esta tesis no hubiera podido ser sin su apoyo, conocimientos y colaboración.

Al. Dr. Martín Martínez por ser un apoyo en todo momento durante mi maestría y estar pendiente del trabajo que desarrollé ¡sus enseñanzas fortalecieron este trabajo y a esta bióloga!

Al Dr. Isaías Salgado por adoptarme en su laboratorio mientras aprendía a tomarle amor a la estadística (y no morir en el intento), por el tiempo, paciencia y conocimientos brindados, ¡mil gracias!

A la M. en C. Georgina Santos por la paciente y minuciosa revisión de esta tesis.

Al Dr. Fausto Méndez por sus amables comentarios en cada tutoral y durante la elaboración de este trabajo.

Al Dr. Manuel Feria por su participación y comentarios sobre el contenido de esta tesis.

A la M. en C. Juana Margarita Garza Castro, por amable y desinteresada contribución

DEDICATORIA

Para mis padres por su confianza en mí, por su apoyo en todo sentido y por estar al tanto de mi progreso como ser humano y como profesionista, los quiero.

Para mi prometido, Diego: por ser mi asesor extraoficial y ayudarme con mis trabas biológicas, por guiarme y demostrarme la cara ruda y bonita de biología, por ser mi colaborador en campo y en oficina (¡hacemos un equipo increíble!), por ser mi amigo sincero, por preparar el café a media noche y quedarte a mi lado cuando no dormía, por trabajar tan duro por esta pequeña familia: gracias, ¡te amo muchísimo bioloquito!

Para mi hermanito por su apoyo, cariño y sobre todo por sus buenos consejos de vida ¡soy tu fan, eres mi arquero favorito!

Para Vale (pequeña cazadora de hadas y colectora de hongos silvestres): gracias por ser paciente por todas las horas de trabajo, estudio y días lejos en las que no pudimos salir a pasear, jugar o ver pelis, además gracias por tus lindos dibujos, palabritas de cariño y sonrisas, ¡te quiero!

Para la Dra. Inés Arroyo por ser una excelente guía sobre lo que un investigador debe ser: dedicada, cuidadosa, inalcanzable y siempre dispuesta a seguir adelante. También, por confiar en mí y darme la oportunidad de colaborar contigo, por las pláticas académicas, pero también por las existenciales (jeje) y por supuesto por ser una increíble amiga.

Para Alex Cueto por ser un amigo y compañero de “chacharerías” y caminatas de “chismerío”, lágrimas y risas.

Para Mayi Mejía porque desde que esta maestría era solo un sueño, estuvimos juntas luchando por él, en las buenas rachas y en las rachas detestables, ahora a brincar al siguiente sueño (¡por fin!).

Para los jóvenes destacables del Programa del Verano de la Ciencia en Chamela (2016): Fer Ñunez, Gaby Blanco, Abel Domínguez y Alex Gutiérrez ustedes son verdaderos estudiantes de ciencias: verlos organizar con ahínco los seminarios en la estación, ver el interés por aprender cosas nuevas en campo (y trepándose en los arboles…), con torceduras, piquetes de avispa y ojos hinchados, ¡prácticamente nada los detuvo!

Para todos los que me aguantaron cargando mi mochila y computadora a todas partes preguntando por un enchufe y la clave de internet: gracias por estar ahí cuando las gelatinas no se cuajaron y cuando sí lo hicieron.

En memoria a Silvia y Alfonso

Hermosa pareja, jóvenes y talentosos biólogos, increíbles seres humanos

Para su hermoso hijito Dieguito Troyo

ÍNDICE

A. RESUMEN xii

B. ABSTRACT 1

C. INTRODUCCIÓN 3

D. OBJETIVOS E HIPÓTESIS 5

1. Objetivo general 5

2. Objetivos particulares 5

3. Hipótesis 5

E. ANTECEDENTES 6

1. Área de estudio 6

2. Estrategias de los anuros contra las fluctuaciones de las variables ambientales. 8

2.1 Respuestas conductuales 8

2.2 Estrategias morfológicas 11

2.3 Mecanismos fisiológicos 13

3. Elementos climáticos y ambientales que determinan la presencia y abundancia relativa de los anuros 18

4. Descripción de la familia Hylidae: principales características morfológicas y fisiológicas de las especies de la RBChC 20

4.1 Agalychnis dacnicolor (rana verduzca) 21

4.2 *Diaglena spatulata* (rana pico de pato) 23

4.3 *Smilisca baudinii* (rana de árbol mexicana) 25

4.4 *Smilisca fodiens* (rana de árbol de tierras bajas) 27

4.5 Tlalocohyla smithii 28

4.6 Trachycephalus vermiculatus (Rana lechera común) 30

5. Estudios previos sobre la influencia de variables ambientales en la ocurrencia de hílidos en la RBChC 31

F. MÉTODOS 34

1. Actividades de campo, muestreo y recopilación de datos ambientales 34

1.1 Lugar y periodo del muestreo 34

1.2 Transectos y localización 35

1.3 Variables atmosféricas (climáticas macroambientales) 35

1.4 Variables microambientales (parámetros a nivel transecto y pozas) 35

1.5 Registro de condiciones microambientales de cada individuo (por poza) 37

2. Inferencias estadísticas 38

2.1 Descripción de los parámetros meteorológicos proporcionadas por la RUOA 38

2.2 Descripción y comportamiento de la abundancia durante los muestreos nocturnos a lo largo del periodo de estudio 38

2.3 Intervalos generales e intervalos de mayor abundancia de las variables macro y microambientales en las cuales las especies fueron muestreadas 39

2.4 Relaciones entre los muestreos nocturnos y las variables atmosféricas y microambientales 39

G. RESULTADOS 43

1. El muestreo se llevó a cabo en arroyo Zarco, alrededor de 1025m fueron recorridos durante un periodo de 27 días..... 43

2. Inferencias estadísticas..... 44

2.1 Los parámetros macroclimáticos (atmosféricos) no presentaron ninguna tendencia significativa durante el periodo de estudio..... 44

2.2 La abundancia durante los conteos nocturnos a lo largo del periodo de muestreo no fue constante ni equivalente entre las especies muestreadas. 54

2.3 Los intervalos de las variables atmosféricas y climáticas fueron multimodales, además fueron diferenciales entre cada especie. 60

3. La mayoría de las correlaciones lineales fueron débiles, pero no se descartan las relaciones moderadas y fuertes. 95

3.1 Las relaciones lineales entre la velocidad del viento por la madrugada-mañana y la precipitación durante las horas del muestreo tuvieron una significancia moderada a fuerte para todas las especies. 95

4. Los modelos lineales generalizados, al considerar relaciones no lineales y distribuciones no normales, complementaron al primer modelo. 98

H. DISCUSIÓN..... 102

1. Riqueza de hílidos durante el inicio de la temporada de lluvias (julio-agosto, 2016) en Arroyo Zarco..... 102

2. Intervalos de tolerancia específicos para las especies muestreadas 105

3. Correlaciones lineales entre variables ambientales o microambientales y los conteos nocturnos 107

4. Modelos lineales generalizados (segundo modelo, relaciones no lineales entre variables ambientales o microambientales y los conteos nocturnos)..... 111

5. Consideraciones adicionales..... 120

I. CONCLUSIONES..... 122

J. APÉNDICE 1: Especificaciones para la descripción estadística de variables atmosféricas, microambientales y de abundancia nocturna 124

1. Series de tiempo y correlogramas: temperatura, humedad relativa, velocidad y presión atmosférica 124

2. Estimación de la densidad de kernel y gráficas de dispersión para la precipitación y la radiación solar 127

3. Estimación de la densidad de kernel para datos circulares: dirección del viento 129

4. Dinámica de la abundancia nocturna de las especies a lo largo del periodo de estudio ... 130

5. Intervalos de los parámetros atmosféricos y variables microambientales en las cuales las especies fueron muestreadas 131

6. Relaciones lineales entre las abundancias durante los conteos nocturnos y las variables atmosféricas y microambientales 131

7. Modelos lineales generalizados entre las abundancias nocturnas y las variables atmosféricas y microambientales 131

8. Imputación de Valores con el programa Amelia II 132

K. LITERATURA CITADA 136

A. RESUMEN

Actualmente los anfibios de todo el mundo presentan un declive poblacional alarmante a causa de enfermedades emergentes, Contaminación del hábitat, la transformación y pérdida del hábitat y el calentamiento global (Young et al., 2004; Blaustein et al., 2011). Así, se ha convertido en un punto clave para la conservación entender cómo las condiciones ambientales influyen sobre las dinámicas de las comunidades de anuros para posteriormente predecir y comprender las consecuencias biológicas (García *et al.*, 2013; Llusia *et al.,* 2013).

Para este trabajo se estudiaron las relaciones entre las condiciones ambientales y la abundancia de las 6 diferentes especies de hílidos en el periodo correspondiente al inicio de la temporada de lluvias del 2016 (julio-agosto, 4 semanas) en el Arroyo Zarco en la Reserva de La Biosfera de Chamela-Cuixmala (RBChC). Las variables atmosféricas o macroambientales fueron: la temperatura (°C), la humedad relativa (%), la velocidad del viento (m s-1), la dirección del viento (grados) la precipitación (mm), la presión promedio (hPa) y la radiación promedio (W/m²); mientras que las variables microambientales consideradas abarcaron: temperatura, pH, partículas disueltas totales y presión barométrica.

Se emplearon dos modelos, complementarios entre sí, para discernir las relaciones entre la abundancia durante los muestreos nocturnos y las variables antes mencionadas: un modelo lineal simple y un Modelo Lineal Generalizado (GLM). Incluso cuando las variables ambientales no mostraron ninguna tendencia estadística, fueron justamente los cambios puntuales, así como la sensibilidad fisiológica, morfológica o conductual de los hílidos muestreados lo que marcó: 1) el recambio entre especies, 2) el fin de la estivación y 3) el comienzo de las actividades reproductoras de las 6 especies simpátridas encontradas al inicio de la temporada de lluvias.

No todas las especies mostraron la misma fenología a través del periodo de estudio. Fueron *A. dacnicolor*, *S. baudinii* y *T. vermiculatus* las especies más frecuentes, mientras que *T. smithii* fue el hílido de menor frecuencia en conjunto con *D. spatulata.* La especie que se presentó de manera más irregular (más de una semana de ausencia) fue *S. fodiens.* De las especies antes mencionadas *A. dacnicolor y S. baudinii* se describieron como las especies más tolerantes a diversas variables ambientales y de manera contrastante *D. spatulata* fue la especie con recorridos de variables ambientales y microambientales más angostos.

Dados los modelos lineales y los modelos GLM, así como características propias de las especies, es posible notar el recambio entre las diferentes especies que habitan el Arroyo Zarco. El recambio, en primera instancia, fue establecido por el tamaño corporal (hocico-cloaca) del hílido, primero surgieron los de talla *grande* (como *A. dacnicolor*) y posteriormente los de talla *pequeña* (como *T. smithii*); sin embargo, de manera más fina podemos establecer los siguientes subgrupos y su secuencia de aparición:

1. Primero emergieron los hílidos de talla grande que, de acuerdo con la bibliografía presentan un desarrollo de renacuajos a organismos jóvenes descrito como rápido; estas especies son dependientes del conjunto de variables descritas por modelo GLM: precipitación durante las horas de muestreo y velocidad del viento.

1.1. La especie *A. dacnicolor* (de mayor abundancia durante el inicio de la temporada de lluvia) que presenta un tipo de reproducción prolongada con características de continua, responde negativamente a la radiación durante las horas previas al muestreo. Esta especie fue observada desde el principio de los muestreos en congregación, formando coros (cantando), amplexos, con puestas sobre pozas y renacuajos en diferentes estadios.

1.2. La segunda especie más abundante durante el inicio de la temporada de lluvias fue *S. baudinii* de reproducción explosiva, sin embargo, para su reproducción son necesarios eventos aislados y fuertes (*pulsos*) de lluvia; a pesar de los pocos pulsos registrados para esta temporada, pudieron ser observados renacuajos de la especie. La especie *S. baudinii* responde negativamente a la presión atmosférica registrada previamente al muestreo.

2. Tras *A. dacnicolor* y *S. baudinii*, otros hílidos de talla *grande* surgieron: *T. vermiculatus* y *S. fodiens*. Para ellos la reproducción ha sido descrita como explosiva, pero con desarrollo de larva a joven que dependen de condiciones estables en los cuerpos de agua. Estas especies presentan mayor abundancia durante los muestreos nocturnos, mientras mayor sea la velocidad del viento y mientras más volumen de precipitación existan. Ambas, exhiben una relación negativa con la presión atmosférica antes del muestreo.

3. Finalmente emergieron, los hílidos de menor densidad registrada para el inicio de la temporada de lluvias, pero aún relacionados positivamente con la precipitación durante el muestreo

3.1. La especie *D. spatulata*, a pesar de ser un hílido de talla grande y reproducción catalogada como explosiva, no emergió en grandes cantidades ni se registró desarrollando actividades reproductivas de manera conspicua. Además, se correlacionó de manera negativa con la presión atmosférica previa al muestreo.

La dinámica descrita al inicio de la temporada de lluvias aún debe de ser complementada con aquellas especies que no fueron ampliamente muestreadas (*D. spatulata*, *T. smithii*) y con aquellas que no fueron parte del muestreo (*E. smaragdina* y *D. sartori*), es decir, contemplar un estudio que abarque desde antes y hasta después del periodo de lluvias en la RBChC.

La recomendación final, sugiere realizar estudios de campo haciendo hincapié en la comparación entre la riqueza y abundancia poblacional antes y después del Huracán Patricia para las siguientes especies: *D. spatulata, E. smaragdina, T. vermiculatus* e incluso para *S. baudinii.*

Palabras clave: hílidos, variables atmosféricas, variables microambientales, modelo lineal generalizado, recambio, estivación, reproducción.

B. ABSTRACT

Nowadays, amphibians from all over the world present an alarming population decline due to emerging diseases, habitat pollution, habitat transformation and loss, and global warming (Young et al., 2004, Blaustein et al., 2011). Thus, it has become a key point for conservation to understand how environmental conditions influence the dynamics of anuran communities to later predict and understand their biological consequences (García et al., 2013, Llusia et al., 2013).

In this work we studied the relationships between environmental conditions and the abundance of the 6 different species of hylids in the period corresponding to the beginning of the rainy season of 2016 (July-August, 4 weeks) in the Zarco Stream in the Chamela-Cuixmala Biosphere Reserve (RBChC). The atmospheric or macroenvironmental variables were: temperature (°C), relative humidity (%), wind speed (m s-1), wind direction (degrees) precipitation (mm), average pressure (hPa) and the average radiation (W/m²); while the microenvironmental variables considered included: temperature (°C) pH, total dissolved particles (pmm) and barometric pressure (hPa).

Two complementary models were used to discern the relationships between abundance during the nocturnal sampling and the aforementioned variables: a Simple Linear model and a Generalized Linear Model (GLM). Even when the environmental variables did not show any statistical trend, it was the specific changes, as well as the physiological, morphological or behavioral sensitivity of the sampled hylids, which marked: 1) the temporal and spatial exchange between species, 2) the end of the estivation and 3) the beginning of the reproductive activities of the 6 sympatric species found at the beginning of the rainy season.

Not all species were equivalent in time. *A. dacnicolor, S. baudinii* and *T. vermiculatus* were the most frequent species, while *T. smithii* was the least frequent of the species together with *D. spatulata*. The species that presented more irregularly (more than a week of absence) was S. fodiens. Of the aforementioned species *A. dacnicolor* and *S. baudinii* were described as the most tolerant species to diverse environmental variables and in a contrasting manner *D. spatulata* was the species with the narrower environmental and micro-environmental threshold.

Given the linear models and the GLM models, as well as the characteristics of the species, it is possible to notice the change between the different species that inhabit Zarco Stream. The replacement, in the first instance, was established by the size of the hylid, first the large ones (like *A. dacnicolor*) and later those of small size (like *T. smithii*); however, in a more refined scope we can establish the following sequence of appearance:

1. First emerged the large-sized hylids that, according to the bibliography, show a development of tadpoles to young organisms described as rapid; These species are dependent on the set of variables described by the GLM model: precipitation during the sampling hours and wind speed.

1.1 *A .dacnicolor* (the species with the greatest abundance during the beginning of the rainy season) that presents a prolonged type of reproduction with characteristics of continuous, responds negatively to the radiation during the hours previous to the sampling. This species was observed from the beginning of the samplings in choirs, amplexes, clutches over ponds and tadpoles in different stages.

1.2 The second most abundant species during the beginning of the rainy season was *S. baudinii* which is characterized by an explosive reproduction type, however, for its reproduction, isolate and strong events of rain (*pulses*) are needed; In spite of the few *pulses* registered for this

season, tadpoles of the species could been observed. *S. baudinii* responds negatively to the pressure prior to sampling.

2. After *A. dacnicolor* and *S. baudinii*, other large-sized hylids emerged: *T. vermiculatus* and *S. fodiens*. For them, the reproduction has been described as explosive, but with the development of tadpoles to young frogs depending on stable conditions in the ponds. The higher the wind speed and the more volume of precipitation, the greater abundance during nocturnal sampling showed by these species. Both exhibited a negative relationship with atmospheric pressure before sampling.
3. Finally, the lower density hylids recorded for the beginning of the rainy season emerged, but still positively related to precipitation during sampling:

3.1 *D. spatulata*: despite being a large-sized hylid whit explosive reproduction, it did not emerged in large numbers, nor was it recorded developing reproductive activities. In addition, it correlated negatively with atmospheric pressure prior to sampling.

The dynamics described at the beginning of the rainy season must still be complemented with those species that were not widely sampled (*D. spatulata, T. smithii*) and those that were not part of the sampling (*E. smaragdina* and *D. sartori)*, that is, to considerate a study that covers before and after the rainy season in the RBChC.

The final recommendation suggests carrying out field studies emphasizing the comparison between the wealth and population abundance before and after Hurricane Patricia for the following species: D. spatulata, E. smaragdina, T. vermiculatus and even S. baudinii.

Keywords: hylids, atmospheric variables, microenvironmental variables, generalized linear model, replacement, estivation, reproduction.

C. INTRODUCCIÓN

Los anfibios cumplen funciones ecológicas complejas: como eslabones de diferentes cadenas tróficas, como controladoras de plagas, como parte de la biomasa de cualquier ecosistema, como ejemplares de valor comercial y cultural (Young, 2004; Pérez-Gil *et al*., 1995); de esta manera, la acelerada disminución o desaparición de las diferentes poblaciones estaría afectando a más de una especie en la tierra, incluido el ser humano. A nivel mundial, las poblaciones de anfibios presentan un declive masivo en diferentes poblaciones e incluso especies (Young *et al*., 2004). Las declinaciones primero fueron descritas en Australia, Mesoamérica, América del Norte y Sur, en el Caribe y más adelante en África y Asia (Young *et al.,* 2004, Semlitsch 2003). Solo en América Latina, 9 familias y 30 géneros han sido afectados hasta finales de los 90 (Young *et al*., 2001, Young et al., 2004). De acuerdo con Young *et al*. (2004), México es una zona con amplio número de anfibios en riesgo y junto con Brasil, Colombia, Ecuador, Perú que son los cinco países más importantes en cuanto a diversidad de anfibios, se deben considerar cuales son los factores de riesgo para cada población y poner en acción estudios y planes para intentar frenar la pérdida de los antes mencionados.

Entre las causas de pérdida de mayor relevancia figuran las enfermedades emergentes, los contaminantes en el hábitat, la transformación y pérdida del hábitat y el calentamiento global (Young *et al*., 2004; Blaustein *et al*., 2011). Incluso cuando se sabe que la pérdida de hábitat es la principal causa del decline antes mencionado (Stuart *et al.*¸2008), la sinergia que resulta con otros factores es innegable. Específicamente, el calentamiento global originado por el efecto invernadero a casusa de la excesiva producción de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero mayoritariamente de origen humano, está afectando a varios organismos sobre la tierra, incluyendo a los anuros (Young *et al*.; 2004; Coyle *et al*., 2017).

El estudio de nuevas variables climáticas relacionadas con la aparición tras la estivación o hibernación para iniciar las actividades de reproducción y/o alimentación de los anfibios de la RBChC acrecentará la información sobre la ecología y vulnerabilidad de estas especies, cuya información puede ser parte de un estudio más extenso para determinar su estatus de conservación como lo es el Método de Evaluación de Riesgo de la NOM-059-SEMARNAT-2010. De hecho, para los hílidos a estudiar en esta tesis, se predicen cambios en el rango de distribución actual debidos al cambio climático: una marcada y progresiva reducción desde el 2020 al 2080, exceptuando a *Diaglena spatulata* que presenta una recuperación para el 2050 y 2080 (García *et al.*, 2013). Estas proyecciones sugieren que estas especies son particularmente vulnerables al cambio climático, específicamente al calentamiento global. Los resultados de Llusia *et al.,* (2013), sugieren que cambios en la dinámica de algunos anuros pueden ser interpretados en términos de adaptación al calentamiento global. Es un hecho que, en las últimas décadas, se ha convertido en un punto clave entender cómo las condiciones ambientales influyen sobre las comunidades de animales para comprender las consecuencias biológicas del cambio climático.

Los estudios de los elementos del clima que determinan la ocurrencia de estos anfibios es una de las piedras angulares sobre qué estrategia o política pública desarrollar para poder protegerlos, ya que se sabe que dos de cada cinco especies del Nuevo Mundo de anfibios (39%) están amenazadas, superando a las aves (10% en peligro) o mamíferos de la misma región (18% en peligro) (Young *et al*., 2004).

Por ahora son necesarios nuevos estudios de monitoreo a corto, mediano y largo plazo donde la temperatura se asocie con otros factores climáticos para describir el impacto o influencia de éstos sobre las poblaciones y sus diferentes actividades, considerando la temporalidad espacial y de actividades determinantes para la población como lo es la reproducción y el fin de la estivación; este tipo de estudios cobran más sentido si consideramos disturbios naturales como huracanes y tormentas de gran magnitud, las cuales cambian la composición de especies, las dinámicas de reproducción y a diferencia de la creencia popular, incluso aumentan la densidad poblacional de ciertas especies (Gunzburger *et al*., 2010, Schriever *et al.,* 2009 y Woolbright 1991). En esta tesis se hace énfasis en el conjunto de variables ambientales y microambientales específicas de cada especies de hílido registrado para la RBChC en un periodo que contempla la conspicua transición del inicio de la temporada de lluvias considerando también al Huracán Patricia (de categoría 5 de acuerdo a la escala Saffir-Simpson), evento meteorológico ocurrido un año antes y que cambio determinantemente el paisaje y probablemente las dinámicas, abundancia y riqueza entre esta población de hílidos.

D. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

1. Objetivo general

Explorar la correlación entre un conjunto de variables atmosféricas y microambientales con la abundancia nocturna de cada una de las especies de hílidos presentes en Arroyo Zarco (en la RBChC) al inicio de la temporada de lluvias.

2. Objetivos particulares

a. Comprender las dinámicas de las variables atmosféricas y microambientales: se determinarán las características propias de los parámetros climáticos y microambientales de acuerdo con el periodo abarcado y tipo de variable en el área de estudio (Arroyo Zarco).
b. Recopilar datos relacionados a los conteos nocturnos: presencia, abundancia y descripción de actividades de los hílidos, medición de parámetros ambientales y microambientales, en el periodo y área estudiados.
c. Discernir qué variables o conjuntos de variables influencian el aumento o disminución en la abundancia nocturna de los diferentes hílidos, relacionando las variables atmosféricas y microambientales de acuerdo con la presencia y abundancia de los muestreos nocturnos y el comportamiento de éstas durante el periodo de estudio.

3. Hipótesis

Si el conjunto de condiciones atmosféricas y microambientales afectan la presencia y abundancia durante los conteos nocturnos de las diferentes especies de hílidos de la RBChC al inicio de la temporada de lluvias, entonces:

1) Dichas condiciones serán específicas para cada especie generando un recambio de éstas a lo largo de dicha temporada.
2) El recambio de especies se relacionará en primera instancia con el tamaño corporal de la especie, surgiendo de la estivación y/o comenzando las actividades reproductivas primero las especies de talla grande (*Agalychnis dacnicolor, Diaglena spatulata, Smilisca baudinii, S. fodiens* y *Trachycephalus vermiculatus*) y después hílidos de talla pequeña (*Dendropsphus sartori, Exerodonta smaragdina* y *Tlalocohyla smithii*).

E. ANTECEDENTES

1. Área de estudio

El área de estudio se estableció en el camino principal del arroyo temporal "El Zarco", ubicado dentro de los terrenos de la Estación de Biología Chamela de la UNAM la cual forma parte de la Reserva de la Biosfera de Chamela Cuixmala (RBChC) en el estado de Jalisco en México.

La RBChC presenta como vegetación dominante al bosque tropical caducifolio (BTC) el cual se caracteriza por una marcada estacionalidad en las lluvias. El clima cálido subhúmedo con un cociente de precipitación anual- temperatura media anual de 32 (P/T) con lluvias en verano y un régimen isotermal, es decir, un clima Aw_0i, de acuerdo con la clasificación de Köppen (García-Oliva et al., 2002) o un clima Aw1(w)(i´) de acuerdo con la clasificación de climática adaptada a la Republica Mexicana de García (1988). Este tipo de bosque ocupa de manera mundial el 31% de la superficie tropical mundial, el 47% del área forestal en Latino América y entre el 31% y el 38 % en México (García-Oliva et al., 2002). Sin embargo, solo el 27 % de su cobertura original permanece intacta (Trejo & Dirzo, 2000; Portillo-Quintero & Sánchez-Azofeifa, 2010) y a pesar de su importancia biológica, se estima que al menos el 48 % de la extensión de estos bosques se ha perdido debido al cambio de uso del suelo (Dirzo et al., 2011).

García-Oliva et al. (2002) ofrece un resumen detallado del clima de la región central de la costa del Pacífico mexicano. Entre los puntos a destacar para esta tesis respecto a la RBChC, se encuentran la caracterización del ecosistema y características climáticas, descritas a continuación:

- El BTC, se caracteriza por un patrón de lluvias estacional de 4 meses, una temperatura mayor a 22°C y un cociente P/T (precipitación anual-temperatura media anual) de alrededor de 30. La latitud es el factor principal que influye sobre la radiación. Precisamente, la RBChC se encuentra en la zona intertropical (19° 29´N de latitud) por lo que el sol pasa dos veces por el cenit al medio día y el mes de junio es el mes con mayor duración del fotoperiodo (13. 2 horas).
- La radiación solar presenta un valor máximo de 39.5 MJ $m^{-2}d^{-1}$ en junio y de un valor mínimo de 26.1 39.5 MJ $m^{-2}d^{-1}$en diciembre (un patrón similar al del fotoperiodo) siendo los valores más elevados entre abril y julio (< 22 39.5 MJ $m^{-2}d^{-1}$) justo entre el final de la temporada seca y el comienzo de la temporada lluviosa. Respecto a la transmitancia (la capacidad que tienen la atmosfera para difundir radiación, con valor igual a 1 cuando la atmosfera no limita su flujo), es mayor en promedio (0.7) entre los meses de diciembre a mayo y menor (0.45) entre los meses lluviosos de agosto a septiembre.
- Respecto a la temperatura, la media anual es de 24.6°C, clasificando a la región dentro del subgrupo cálido dentro de la clasificación de Köppen. La oscilación media mensual (la diferencia entre la temperatura del mes más caliente y el más frío) es de 4.3°C, mientras que el promedio anual de la temperatura máxima es de 30 °C y la mínima es de 19.5°C. Un

punto que resaltar es que los valores máximos de temperatura (entre junio y septiembre) no corresponden con los valores máximos de radiación incidente, debido en gran medida a la presencia de humedad atmosférica, cuya presencia mantiene la temperatura debido a su alto calor especifico, reduciendo así, la perdida de energía durante la noche. Existe una tendencia de aumento de aproximadamente 1.4 °C en la temperatura máxima y de 1 °C en la temperatura media de 10 años, dicho aumento se encuentra dentro de los valores estimados en consecuencia del incremento de los gases invernadero.

- La humedad atmosférica y la precipitación están bajo el comportamiento de los anticiclones Bermudas-Azores y Pacífico Septentrional. Durante los meses de verano dominan los vientos alisios (húmedos) producidos por el anticiclón Bermudas-Azores localizado en al este de los Estados Unidos, adquiriendo humedad al cruzar el Golfo de México, mientras que en los meses de invierno los vientos que dominan las costas de Jalisco provienen del oeste con origen en el anticiclón del Pacifico Nororiental caracterizado por vientos secos. Otra fuente de precipitación en las costas de Jalisco es la interacción entre la altiplanicie mexicana y el océano Pacífico, el monzón mexicano que brinda humedad en los meses de verano que proviene del océano Pacífico y no del Golfo de México. Un segundo aspecto que pude modificar las condiciones climáticas de la región central del Pacifico es la corriente fría Californiana, pues es la que provoca que las aguas de Jalisco permanezcan frías entre mayo y julio limitando la evaporación e impidiendo el aporte de humedad para las primeras lluvias del verano.
- El patrón de ciclones afecta las costas de Colima, Jalisco y Nayarit por igual. Los ciclones se forman en la región Pacífico Nororiente Tropical. La mayoría de los ciclones lleva una dirección paralela al continente (dirección SE-NO) provocando que aproximadamente el 50% de los ciclones en zonas costeras, de los cuales, 5.3 ciclones tocaran las costas del Pacífico mexicano, mientras que 2.5 tocaran las Costas del Golfo de México, el resto, se desintegra en el mar. La zona con mayor probabilidad (50%) con ocurrencia de estos eventos es entre Topolobampo y Puerto Vallarta, la segunda zona se ubica entre Manzanillo y Acapulco (con 29%).
- La humedad relativa se mantiene arriba de 65% durante todo el año; los meses de menor humedad ocurren entre enero y abril y son secundados por un aumento entre mayo y julio (aproximadamente 80%), un máximo en agosto con (90%, promedio). Las fuentes principales de humedad son la evaporación y transpiración locales, los alisios y el comienzo del verano, así como los ciclones antes descritos entre septiembre y octubre.
- El patrón de precipitación es estacional, pero la cantidad y frecuencia mensual se ve afectada por la incidencia de ciclones. La RBChC, presenta una precipitación anual de 788 mm y el patrón es más bien aleatorio, a diferencia de otras zonas de las costas del Pacífico, con una gran variación entre 453 mm en 1985 y 1393mm en 1992. Los promedios mensuales muestran que las lluvias se concentran entre junio y octubre.

Los efectos de El Niño deben ser mencionado por las consecuencias en la zona de la RBChC. Si bien, gran parte de la variación anual de la precipitación se debe a patrones aleatorios de incidencia de los ciclones en la parte central de la costa del Pacífico, este fenómeno también contribuye a la

variación anual. Brevemente, éste fenómeno se caracteriza por el incremento de la temperatura de las aguas superficiales del Pacifico, trayendo como consecuencia cambios en los patrones de precipitación, incrementando las lluvias de invierno y disminuyendo las de lluvias entre junio y agosto en el Pacifico mexicano. En general, los BTC, ha sido reconocidos como uno de los hábitats más amenazados del mundo (Dirzo, Young, Mooney & Ceballos, 2011).

2. Estrategias de los anuros contra las fluctuaciones de las variables ambientales.

Los anuros son ectotermos, lo cual indica que en principio dependen de una fuente externa de calor para mantener su temperatura corporal en intervalos adecuados para sobrevivir, crecer y reproducirse. Uno de los factores representativos de este grupo es su piel delgada y semipermeable, la cual permite el intercambio gaseoso, así como la absorción y pérdida de agua (Vitt y Caldwell, 2014; Halliday y Adler 2007). Dada esta característica, la relación superficie-volumen influye en la fácil perdida de agua (desecación) o rápido aumento de temperatura. Estas características conllevan consecuencias naturales en sus hábitos y ciclos de vida, sin embargo, también los hace susceptibles a los cambios del ambiente, incluso más que a cualquier otro tipo de tetrápodo (Dundee *et al*., 2002). A pesar de ello, estos organismos combinan estructuras morfológicas, mecanismos fisiológicos y respuestas conductuales para adaptarse a estas fluctuaciones, en ocasiones, erráticas del medio que habitan. Las estrategias consideran tres tópicos principales: el ahorro y conservación de agua, la regulación de la temperatura y del intercambio gaseoso.

2.1 Respuestas conductuales

La conservación del balance de agua es una estrategia que los anuros pueden abordar de diferentes maneras, una de ellas se relaciona con las acciones a largo o corto plazo para la deshidratación. Para aquellas especies que durante la mayor parte o todo su ciclo de vida permanecen en el agua (Género *Xenopus*, por ejemplo), la pérdida de ésta no representa mayor problema mientras que en su hábitat la disponibilidad de agua no se vea afectada. En contraste, en las especies de hílidos como los que se estudian en esta tesis, que tienen un ciclo de vida en cuya etapa de adulto permanecen fuera de cuerpos de agua y por lo tanto la pérdida de este líquido a través de la piel es inevitable. Dado que entre el 70 y el 80% de su masa corporal es agua, han desarrollado varios mecanismos conductuales para evitar desecarse. En primer plano, la mayoría de los anuros son nocturnos y de esta manera evitan el intervalo de temperatura más elevado del día. Los lugares donde suelen refugiarse durante el día suelen ser espacios con una alta humedad o incluso pueden mantener agua almacenada, como el interior de troncos (hábito arbóreo), bajo tierra o rocas (hábito fasorial o excavadoras) y en las axilas de plantas como bromelias y aráceas; los anuros permanecerán en sus refugios al menos hasta que atardezca o anochezca, cuando el intervalo de temperatura, luz y radiación solar es más bajo y

pueden salir a alimentarse o reproducirse sin perder tanta agua como se perdería de día (Duellman y Trueb 1994, Dundee *et al.,* 2002, Halliday y Alder 2007).

La siguiente estrategia se refleja en la manera de perchar, pues reducen la perdida de agua disminuyendo el área del cuerpo expuesta al medio. Muchas ranas, sobre todo de hábitos arborícolas, suelen permanecer contra una superficie con las extremidades bajo sus cuerpos, de tal manera que el área expuesta al medio se minimiza y así, pierden menos agua por evaporación. Aunado a ello, muchas ranas permanecen quiescentes en sus hábitos, que resulta a su vez, en una disminución de los procesos metabólicos (incluyendo la respiración y la consecuente pérdida de agua). Especies como *Eleutherodactylus coqui* opta por la combinación de ambas estrategias: si bien no permanece quiescente, sí asume las posturas antes mencionadas sin moverse demasiado en noches secas, incluso el agua puede ser reabsorbida de la orina de la vejiga para mantener un óptimo contenido de agua en los tejidos, tema que se abarcará más adelante en las *estrategias fisiológicas* (Pough *et al*., 1984).

Otra estrategia conductual relacionada con el ahorro del agua involucra directamente a las ranas fosoriales (Géneros Scaphiopus o *Spea*, por ejemplo). El sapo *Spea multiplicata* puede enterrarse hasta por 9 meses a 90 cm de la superficie en la tierra manteniendo una concentración osmótica igual a la tensión de humedad del suelo, de tal manera que pueden permanecer por largo periodos de tiempo sin perder agua; estos permanecen a tal profundidad hasta que comienza la temporada de lluvias en la cual se entierran para permanecer húmedos durante el día, pero a una profundidad mucho menor: 4cm (Ruibal *et al.*, 1969).

Finalmente, asociado a la poca vascularización de la zona craneal, qué si bien es una característica más bien fisiológica, solo tiene sentido cuando la cabeza se usa a manera de tapadera para evitar pérdidas de agua. Esta acción es llevada a cabo por algunos géneros de anuros conocidos como "cabeza de pala" (por ejemplo, géneros Diaglena y Tripion distribuidos en México). En hílidos como *Aparasphenodon brunoi* y *Corythomantis greeningi,* se demostró que la pérdida de agua por evaporación por unidad de área en la cabeza es menor que en el cuerpo en ambas especies (Viera de Andrade y Shinya, 1997). Ambas especies tienen en común la cosificación entre la piel y el cráneo, aunado a ello, ambas suelen usar huecos en árboles, bromelias y huecos en y entre rocas, sitios que sirven de refugios, los cuales son bloqueados del exterior con la cabeza del individuo. El mismo estudio de Viera de Andrade y Shinya (1997), demostró que los individuos de *A. brunoi*, pierden aproximadamente el doble de agua que en los individuos de *C. greeningi*. El autor señala que esto puede deberse a una piel menos más permeable en *C. greeningi.*

Respecto a la temperatura, es un concepto que no puede ser desligado a la pérdida de agua, pues la temperatura y la termorregulación pueden comprometer la pérdida o absorción de agua. Debido a su dependencia de las fuentes de calor externas, en períodos de sub-congelación o extra calientes y secos se ven obligados a buscar refugio adecuado que mitigue tales condiciones (Dundee, 2002).

Los anfibios se relacionan de diferentes maneras con el ambiente que les rodea, ganando o perdiendo calor con: 1) la atmosfera por convección, 2) por contacto directo con el sustrato por conducción, 3) por radiación y 4) por pedida de calor por evaporación. Esta relación entre el medio y las diferentes maneras de ganar o perder calor no es infinita, es decir, existen intervalos de tolerancia dentro de los cuales los anuros pueden vivir, crecer y reproducirse satisfactoriamente (Duellman y Trueb, 1994). La primera acción para regular el calor corporal de los anuros es evitar las condiciones extremas, las diferentes latitudes entre las que los anuros se distribuyen, marcan los intervalos en los que éstos pueden encontrarse en un estado óptimo para su desarrollo. Brattstrom (1968; 1970) encontró que los anuros tropicales presentan un regimen térmico (se refiere a la cantidad de calor disponible para el crecimiento y desarrollo) diferente entre las altitudes donde se encuentran. Se definió que a mayor altitud, los regimenes termales eran menores. Además, en altitudes más elevadas, donde la variación de temperatura durante el día es mayor y a diferencia de algunos reptiles, los anuros no puedan mantener (o rara vez lo logran) una temperatura mas o menos invariable, lo que sí pueden hacer es mantenerse en microhábitats de temperatura constante (Huey y Slatkin 1976). Incluso en los microhabitat, el intervalo óptimo de tempereatura dependerá de la especie y de la estacionalidad de lugar que habiten (Duellman y Trueb 1994); por ejemplo se sabe que para individuos de *Smilisca baudinii* el intervalo de temperatura es breve entre 21.2°C y 28.8°C (promedio= 24.3 °C), en contraste con *Rhinella marina* para quién, el intervalo de temperatura es más amplio, entre 40.5°C y 5°C (Duellman y Trueb, 1994).

Dados los intervalos y la posibilidad de que el ambiente cambie abruptamente o estacionalmente, la segunda estratégia conductual es la aclimatación. Por su definición es la respuesta prolongada al cambio de temperatura ambiental ajustando la tolerancia termal del individuo, es una compensación. Sin embargo esta habilidad esta limitada, en primera instancia, por la plasticidad de la especie que a su vez depende de la diversidad genética, la cantidad de heterocigosis o nivel de endogamia (Duellman y Trueb 1994); en segunda instancia depende de la latitud y altitud. Se sabe que, en general a lo largo del terrirotrio de la República Mexicana y Estados Unidos, los anuros tienen un intervalo más amplio de aclimatación que aquellas habitantes del norte, aquellos anuros con intervalos geográficos restringidos como *Bufo exsul* y *Bufo nelsoin* tienen una capacidad limitada para ajustar su temperatura; además la regulación se ve más afectada por altitud que por la latitud de sus habitats salvo por aquellos individuos con grandes áreas de distribución como *Rana pipiens, Bufo boreas* e *Hyla regilla* (Brattstrom, 1968). Sin importar la especie, parece que la relación entre la aclimatación y la temperatura describe una hipérbola en la mayoría de los casos(Brattstrom, 1968; Duellman y Trueb 1994).

La termorregulación en anuros diurnos (tienen actividad durante el día) involucra el movimiento de individuos hacia el agua o fuera de ella, o hacia la sombra o a la exposición de radiación moderada, de tal manera que pueda cambiar de microhábitat a favor de su temperatura sin comprometer otros factores. Lillywhite (1970) describió cómo, además de moverse respecto al gradiente, algunos anuros como *Lithobates catesbeianus* también cambian de postura. Siempre y cuando existan medios para mantenerse hidratados, estos anuros pueden permanecer tanto como su calor corporal aumente o disminuya manteniendo un equilibrio entre la perdida de agua y la evaporación de esta

para mantenerse frescos: la radiación solar es empleada como fuente de calor y el agua como fuente o disipador de calor. El enfriamiento aumenta cuando el individuo aumenta o despliega la piel de tal manera que quede expuesta y pueda evaporarse el agua que es necesaria para disminuir su temperatura. De la misma manera *Plectrohyla glandulosa,* suele tomar el sol para incrementar su calor corporal en rocas a lo largo de la corriente de ríos en Guatemala, mientras que *Dendropsophus labialis* lo hace en arbustos o incluso en el piso (Duellaman, 1970; Lillywhite 1970).

Para aquellos anuros nocturnos, muchas especies en áreas de lluvia moderada pueden salir cuando la radiación es mínima, cuando las temperaturas son adecuadas y el aire es húmedo; la generalidad es que su temperatura es muy similar a la temperatura ambiental, mientras permanezcan sin movimiento (Dundee, 2002).

2.2 Estrategias morfológicas

Los anfibios no beben agua excepto bajo condiciones estresantes; en general, el agua solo es consumida a través del canal alimentario al ingerir alimentos pues se acarrea agua con ellos. De cualquier manera, esta agua pasará junto con los demás alimentos hasta el intestino grueso donde se absorberá una pequeña fracción de los líquidos para posteriormente desecharse la mayoría del agua a través de la materia fecal. A su vez, la respiración también representa una gran pérdida de cantidades de agua, pues esta acción libera mucha agua a la atmósfera, aunque en ambientes con alta humedad relativa, esta pérdida no representa mayor peligro, la misma frecuencia respiratoria podría representar importantes consecuencias en el mismo anuro en condiciones de climas secos (Duellman y Trueb 1994).

Los anuros hacen frente a estas diversas maneras de pérdida de agua a través de la rehidratación directa del medio (cuerpos de agua) que le rodeen. Sin embargo, la ausencia de medios húmedos o cuerpos de agua se ven reflejados en el desarrollo de otras estrategias relacionadas con la pérdida y balance del agua y se centran en cómo la piel y la vejiga de cada individuo e incluso sus proporciones alométricas puede contribuir a controlar el ahorro y almacén de agua al máximo.

Respecto a la piel, como se describió antes, es un órgano altamente permeable en los anuros. La presencia de glándulas de mucosa y la vascularización cutánea es variable en cada individuo y describe su capacidad de retención y ahorro de agua (Halliday y Adler, 2007; Dundee 2002). Se sabe que en un anuro de hábitos riparios o acuáticos (Géneros *Xenopus*, *Ptychadena*, *Discoglossus*, *Leptodactylus,* por ejemplo) la piel en el vientre y costados, así como en la parte interna de los muslos, tiende a ser más suave que en un anuro que habita lugares áridos o de lluvias temporales (Géneros *Incilus, Anaxyrus, Hyla* e *Hyperolius*, por ejemplo). Esto es resultado de la mayor necesidad de área para absorber agua, es decir a mayor superficie irregular, mayor área que potencialmente absorberá agua (para una síntesis consultar Duellman y Trueb, 1994). El integumento de la zona ventral-pélvica es la más importante para la toma de agua y la rehidratación en anuros por ser un integumento muy vascularizado (contiene muchos vasos sanguíneos que permanecen en la superficie) comparadas con otras zonas del cuerpo del anuro. Estudios clásicos como el de Roth

(1973) no solo denota esta función de la zona pélvica-ventral, sino que hace una comparación entre 9 especies de 4 géneros diferentes (Bufo, Rana, Scaphiopus y Xenopus) describiendo las diferencias entre la vascularización de los anuros acuáticos y terrestres, siendo los últimos los que presentan mayor vascularización en la zona. Recientes estudios indican que en esta zona el flujo de células sanguíneas se incrementa en sapos (*Bufo bufo* y *Rhinella marina*) de 6 a 8 veces al contacto al agua cuando el anuro había estado deshidratado y decae conforme el individuo se rehidrata (Willumsen *et al.,* 2007). Esta zona puede llegar a ser el área que absorbe la mayoría del agua que el anuro necesita, como en el caso del sapo de ojos rojos *Anaxyrus punctatus* que puede absorber agua a 423mg/ cm^2 por hora en el área ventral, representando cerca del 70% de la tasa de captación de agua siendo así la zona más importante para la rehidratación del individuo (McClanahan y Baldwin, 1968).

Otra característica que varía entre la piel de los anuros son las hendiduras o surcos que conducen el agua a distintos lugares de la piel (Duellman y Trueb 1994). En estudios realizados por Lillywhite y Licht (1974) en anuros de los géneros *Bufo* y *Rana*, observaron que los canales en la piel podían transportar el agua por los costados incluso, hasta alcanzar la línea media dorsal de los individuos, esto, por acción del movimiento por capilaridad y el incremento del área de contacto (por lo tanto, el potencial de absorción) del agua. Estos canales son muy comunes en especies terrestres y ayudan a la reposición de agua por la pérdida de ésta por evaporación. Este aumento de la capilaridad en la parte ventral-pélvica es diametralmente opuesto a lo que ocurre en la piel sobre el cráneo de los géneros conocidos como "cabeza de pala" (Géneros *Diaglena* y *Tripion* distribuidos en México) o especies similares de quienes la piel se encuentra unida al hueso (cosificación). Dada la poca vascularización, el flujo sanguíneo y la pérdida-absorción del agua ocurre en menor proporción que en el área ventral-pélvica (Seibert *et al*., 1974).

Algunos anfibios previenen la desecación por evaporación en las capas más superficiales de la piel y tejidos subyacentes, donde gracias a lípidos presentes en el delgado estrato corneo de su piel, se forma una delgada capa de agua sobre su piel (que eventualmente debe de ser repuesta si se evapora). Este mecanismo está en función de la variación conjunta entre el medio y la resistencia cutánea al flujo de agua entre especies (Lillywhite, 2006).

Respecto a las estrategias morfológicas relacionadas con la vejiga en el ahorro de agua, estas tienen que ver con su contenido y tamaño. En los anuros, suelen ser estructuras bilobuladas que pueden llenarse con orina diluida. En la recopilación de Warbur (1997) se reúnen datos del peso que representa la vejiga llena respecto al peso corporal de algunos anuros: para los bufónidos abarca del 19% al 40%, para los hílidos alcanza hasta el 57% y para los ranidos alcanza entre 14% a 32%. Adicionalmente se señala la existencia de una correlación entre el tipo de hábitat y el individuo: un hábito completamente acuático implicará vejigas pequeñas, mientras que un anuro expuesto a ambientes muy calurosos sin fuentes de agua o poca humedad ambiental, implicarán vejigas mucho más grandes superando incluso el 50% en relación con el peso total del anuro.

Respecto al contenido, la orina diluida en agua dentro de la vejiga puede representar una fuente para evitar la deshidratación en casos extremos. En sapos de la especie *Anaxyrus cognatus* que han

sido sometidos a deshidratación se puede observar que las concentraciones de sus fluidos corporales se pueden mantener estables hasta que el agua procedente de la orina se agota (Riubal, 1962). Actualmente, la razón puede ser explicada en términos de la presión que reciben los uréteres y la cloaca de los individuos. Esta presión interna de la vejiga es mayor en especies acuáticas comparadas con aquellas especies terrestres (Martin e Hillman, 2009).

Finalmente, las proporciones alométricas de superficie y masa corporal son un factor importante para la pérdida de agua. Estas proporciones se encuentran bien estudiadas en familias tales como Bufinidae, Ranidae e Hylidae (Klein *et al*., 2016). En general, el aire seco que pasa sobre los anuros propicia la resequedad de estos (Duellman y Trueb, 1994), considerando estas proporciones, un anuro pequeño tienen proporcionalmente más área superficial y por lo tanto suelen tener velocidades de pérdida de agua más elevadas. En especies como *Eleutherodactylus portoricensis*, existe una correlación negativa entre el tamaño del cuerpo y la velocidad de pérdida de agua por evaporación, aunque no se descartan factores como la postura y la actividad realizada del anuro (Duellman y Trueb, 1994; Klein *et al*., 2016).

Estudios como los de Tracy y colaboradores (2010) suelen emplear simulaciones usando modelos biofísicos con los cuales demostraron que los anuros pueden resistirse a la desecación rápidamente al tener una resistencia cutánea contra la perdida de agua muy elevada, un cuerpo grande o una combinación de ambos. Posteriormente, encontraron en ranas reales que aquellas con resistencia cutánea y tamaño corporal que permitieran evitar la desecación tendían a tener un hábito arbóreo, lo cual sugiere un vínculo entre la capacidad de evitar una rápida desecación y que estas especies pueden ser selectivamente favorecidas en un nicho sin agua o lejos de ella por largos periodos de tiempo. En investigaciones recientes como los de Titon y Ribeiro (2015), donde se estudiaron 17 especies de anuros de localidades brasileñas, estimaron una relación negativa entre la masa corporal y la resistencia a la perdida de agua por evaporación y una relación positiva entre la masa corporal y las velocidades de absorción de agua. Por otro lado, Boaratty y Rodrigues (2015), encontraron que individuos de *Hypsiboas faber* tienden a ser más grandes en localidades con menor estacionalidad de precipitación y condiciones de frío que en aquellas localidades con alta estacionalidad de precipitación y condiciones más cálidas; esto explica que ante condiciones de mayor humedad y menor probabilidad de perder agua, la masa corporal de individuos de la misma especie presenta gran plasticidad. Esta variación morfológica está asociada a una respuesta más bien específica de cada especie de acuerdo con la región donde habiten.

Respecto a la temperatura, estudios recientes indican que, a altas temperaturas del aire, puede ser ventajoso que los anfibios aumenten la pérdida de agua por evaporación como un medio para disminuir la temperatura corporal. Algunos hílidos australianos presentan una resistencia moderada a temperaturas altas del aire. Esta resistencia disminuye conforme la temperatura aumenta, incluso aquellas especies con alta tolerancia y resistencia a temperaturas elevadas del aire suelen disminuirla abruptamente ante altas temperaturas (Tracy *et al*., 2008).

2.3 Mecanismos fisiológicos

Se sabe que para los mamíferos la evaporación de agua es de menos de 1 ml de agua por centímetro cúbico, para los reptiles abarca entre 1-5 ml de agua por cm cúbico, sin embargo, en los anfibios estas cantidades se incrementan hasta en dos órdenes de magnitud (recopilación en Duellman y Trueb, 1994). Dentro del grupo de los anuros, por ejemplo, para *Agalychnis dacnicolor, Bufo bufo o Lithobates pipiens* se ha medido la evaporación ante diferentes condiciones de deshidratación (fuentes de aire), siendo significativamente mayor en el hílido (Bentle y Yorio, 1979). Algunas estrategias fisiológicas, no solo aumentan la capacidad de retención de agua, sino que evitan la pérdida de ésta. Por ejemplo, la reducción de la pérdida de agua por evaporación a través de la piel por el aumento de la permeabilidad en condiciones favorables de humedad ambiental, el control de la presión de filtración glomerular y la reabsorción tubular de agua en los riñones y también el control de la reabsorción en la vejiga (Duellman & Trueb, 1986).

Entre diferentes géneros de anuros, la velocidad de rehidratación es altamente variable pues depende de las propiedades estructurales y la capacidad para absorber agua de la piel. Estas posibilidades pueden estar dadas por el hábitat: especies terrestres parecen tener una velocidad mayor de rehidratación comparada con especies acuáticas y semiacuáticas (Halliday y Adler, 2007).

La ósmosis, es decir la difusión que tiene lugar entre gases, o como en este caos, líquidos (en este caso agua del hábitat) a través de una membrana semipermeable (en este caso, la piel de los anuros), es un concepto clave. Dependiendo de algunas características del sustrato y un potencial de agua favorable, el agua se moverá desde el sustrato a través de la piel del anuro. Este movimiento ocurre cuando, al contener más agua, el sustrato aumenta su conductividad hidráulica. Por esta razón en suelos hidratados, la conductividad hidráulica del suelo es mayor que la de la piel de los anuros en cuestión, siendo el movimiento del agua más rápido y fácil a través de la piel. En la situación contraria, cuando el suelo se encuentra seco o muy poco hidratado, la conductividad hidráulica del suelo es menor a la de la piel de los anuros, dando como resultado un movimiento de agua a través de la piel más bien disminuido. Aquellos anuros con hábitos fosoriales en suelos deshidratados pueden elevar la osmolaridad de los fluidos corporales y de esta manera disminuir la pérdida de agua; algunos otros emplean la estrategia de producir un capullo lipídico para no deshidratarse (Duellman y Trueb, 1994).

Si bien en el proceso de osmosis el agua puede atravesar entre los fosfolípidos de las bicapas de las diferentes células que conforman la piel de los anuros, el agua también puede transportarse por medio de acuaporinas. Las acuaporinas son proteínas transmembranales cuya función principal es la absorción y reabsorción de agua de manera intraepitelial. Se han identificado más de 40 tipos de acuaporinas en anfibios (Suzuki *et al.*, 2015). Éstas, se han clasificado en diferentes tipos, los cuales resultan diferentes entre sí por su composición molecular y regulación así como por la localización a lo largo del cuerpo del anfibio (primariamente en la región ventral-pélvica y en la vejiga urinaria), por su función (absorción y/o rehidratación) definitivamente estas diferencias están asociadas al hábitat y filogenia del anuro en cuestión (Ogushi *et al.*, 2010 y Suzuki *et al.*, 2015); por ejemplo acuaporinas presentes en la región de la pelvis y la región pectoral de *Rhinella marina* no son las mismas localizadas en la región pélvica de *Hyla japonica* (Ogushi *et al.*, 2010).

Otro concepto para entender el movimiento del agua a través de la piel de los anuros es el umbral de absorción; este umbral es el nivel de humedad del sustrato, por arriba de cual existe una ganancia neta de peso por absorción de agua para el anuro, y por debajo de éste existe una pérdida neta. Suele medirse en términos de tensión de la humedad del suelo (en atmosferas, atm) y depende de la concentración osmótica interna del anuro. Por ejemplo, en el estudio de Walker y Whitford (1970), estudiaron la capacidad de los anuros para absorber el agua del sustrato entre *Anaxyrus americanus, A. cognatus, Hyla cinerea, Lithobates pipiens, Scaphiopus couchii, y S. hammondi.* Aquellas especies de hábitos fosoriales que habitan en ambientes xéricos (áridos, con poca humedad ambiental y suelo poco hidratado) *A. cognatus* y los representantes del género *Scaphiopus* presentaron un umbral de absorción del suelo entre 2.5 y 3 atm mientras que *Hyla cinerarea* presentó un umbral de 1.2 atm, *Anaxyrus americanus* de 1.5 atm y *Lithobates pipiens* un umbral de 0.8 atm. Los umbrales de absorción parecen ser más elevados para anfibios sometidos a estrés por falta de agua.

Recordemos que el movimiento del agua a lo largo de la piel del anuro también involucra algunas hormonas, de las cuales, la vasotocina (similar a la vasopresina en mamíferos) es la más importante. En anuros arbóreos (Género Hyla, por ejemplo) existe una mayor respuesta a la vasotocina en la zona ventral-pélvica que la que podría tener una rana completamente acuática (Género *Xenopus*, por ejemplo) (para una referencia sintetizada consultar: Duellman y Trueb, 1994). En un estudio realizado por Maejima y colaboradores (2008) se demostró que en organismos de *Hyla japónica,* la vasotocina puede incluso estar estimulando directamente la absorción de agua en dicha especie. La respuesta a esta hormona probablemente está regulada por la temporada a través del año. En los estudios de Hillyard (1976) se estudió en fragmentos de piel aislada, la respuesta estacional a la vasopresina o a la arginina-vasotocina observados en el sapo cavador *Scaphiopus couchii*; la respuesta no mostró un incremento en la hidratación de la piel, salvo en aquellos fragmentos tomados de sapos que emergieron en el breve periodo de lluvias durante el verano (Hillyard, 1975). A pesar de que la vasotocina es una de las hormonas que más influyen en la absorción del agua, no debemos perder de vista otras como la angiotensina (hormonas peptídicas), pues al medir su concentración en el tejido cerebral de sapos (*Anaxyrus punctatus*) que explícitamente salían de sus refugios a buscar cuerpos de agua para hidratarse, estas fueron significativamente más altas que aquellos que no mostraban este comportamiento (Johnson *et al*., 2010).

En el estudio de Lillywhite (1975) con *Lithobates catesbeianus, Xenopus laevis, Spea intermontana, Litoria aurea, Kaloula pulchra* y *Dipsosaurus dorsalis* sugiere que, dadas las observaciones de la temperatura y la evaporación del agua a través de la piel de estos anuros, la circulación sanguínea es más importante que las secreciones de las glándulas mucosas para mantener los niveles normales de hidratación de la piel (durante pruebas de laboratorio con radiación artificial). Sin embargo, los trabajos clásicos de Lillywhite (1971) y de Lillywhite y Licht (1975) describen como las glándulas mucosas también reaccionan ante altas temperaturas produciendo mayor cantidad de secreciones para mantener fresco al anuro en cuestión; un ejemplo conspicuo es el de *Lithobates catesbeianus* cuya producción de mucosas sobre toda la piel se incrementa cuando la temperatura corporal se aproxima a 28°C. La función moduladora de temperatura de las glándulas se basa principalmente

en la formación de una barrera que disminuye la velocidad con la que el agua se evapora, mientras el individuo se encuentra fuera en horas con radiación solar de alta a moderada, aunado a ello, la frecuencia con la que las secreciones de mucosa ocurren dependen directamente de la temperatura. Consecuentemente, se describe que la mucosa no solo tiene una función de barrera que previene la desecación, sino también es una barrera termorreguladora; es fundamental recordar que el ahorro de agua y la temperatura son conceptos que se encuentran relacionados entre sí y que algunos de los mecanismos para conservar el agua, regulan la temperatura de igual manera.

El intercambio gaseoso entre los anuros y su ambiente es dependiente de varias estructuras y procesos que involucran las superficies respiratorias (incluyendo branquias en estado de larvas, pulmones, piel y área bucofaríngea), el sistema vascular y las propiedades de la sangre. El intercambio gaseoso, así como el intercambio de agua (revisar *ósmosis* en esta sección), son importantes para el desempeño de todas las actividades de las diferentes especies de anuros. Ya que el intercambio de oxígeno es pasivo, dependen de la proximidad de los capilares a la superficie, la densidad de los capilares mismos, el flujo sanguíneo pasando por ellos, la afinidad de la hemoglobina al oxígeno y en última instancia la humedad de la piel. La respiración a través de los pulmones y el tejido bucofaríngeo depende, además de los factores antes mencionados, de la profundidad y ritmo de los movimientos respiratorios. (Dundee, 2002).

En los tejidos de los anuros, la densidad vascular (capilares por gramo de peso) es menor en aquellos relacionados con la cavidad bucal y tejido faríngeo en relación con la capacidad vascular de los pulmones y piel (Guimond y Hutchison, 1976). En anuros terrestres la piel se encuentra más vascularizada en relación con los pulmones que en anfibios acuáticos o semiacuáticos, además, la ventilación pulmonar resulta más importante para anuros acuáticos o semi acuáticos, mientras que para los anuros terrestres la piel vascularizada indica el incremento o la constante necesidad de absorción de agua por contacto directo con el medio (Duellman y Trueb 1994). En el caso de la rana Goliat *Conraua goliath*, habitante del Oeste de África que habita en bordes de ríos, los pulmones se encuentran reducidos a un tercio en comparación con otras ranas de masa similar (Hutchison, 1998; breve semblanza en Hutchison 2008); mientras que en la rana acuática *Xenopus laevis* respira aire del medio cuando se encuentra en la superficie, sin embargo cuando se encuentra debajo del agua depende de la respiración cutánea; aproximadamente 58% del oxígeno consumido es de origen cutáneo bajo condiciones experimentales a 15°C. Incluso, se sabe que el intercambio gaseoso ocurre a gran velocidad en los pulmones cuando la fuente de oxigeno es el aire ambiental, pero decrece rápidamente al sumergirse; cuando *X. laevis* no se encuentra respirando, los vasos de los pulmones se constriñen reduciendo el flujo sanguíneo hacia las arterias pulmonares (Shelton, 1976; Hutchinson 1968). El tamaño de los pulmones varía respecto al entorno. Los pulmones suelen ser pequeños en anuros que viven en aguas frías como *Telmatobius culeus* (Ruiz *et al.*, 1983; Hutchison, 2008). Independientemente del tamaño, la ventilación se encuentra acompañada por un mecanismo de bombeo que proviene del siguiente mecanismo: 1) ciclos oscilatorios la elevación y relajación del piso bucal con las narinas abiertas de tal manera que el aire se pueda introducir, 2) ciclos ventilatorios donde se cierra y se abre la glotis y las narinas mientras que el aire de los pulmones se renueva y 3) ciclos de inflación donde ocurren ventilaciones y apnea. Este sistema

depende de la actividad del bombeo desde la cavidad bucal, la cual determina la presión pulmonar; la presión elevada en los pulmones es responsable de la expulsión de aire en los pulmones. Este mecanismo resulta poco eficiente, pero es característico de los anuros, aun cuando no es la principal manera de obtener oxigeno del medio (Dundee, 2002). Un caso particular de anuro que de hecho carece de pulmones, es la rana de Borneo *Barbourula kalmantanensis* (Hutchison, 2008).

El transporte del oxígeno depende también de varios factores hematológicos como el número de eritrocitos, el porcentaje de estos en la sangre (hematocrito), el contenido de hemoglobina y el pH de la sangre. La afinidad entre el oxígeno y los eritrocitos depende de varios factores ambientales como la temperatura y la presión parcial de oxígeno (Duellman y Trueb, 1994).

El nivel de actividad es otra variable que afecta las características relacionadas con la sangre y con el intercambio gaseoso al mismo tiempo, sobre todo en términos de hibernación (hipotermia regulada para conservación de la energía durante periodos largos como el invierno), estivación (aletargamiento que se produce en algunos animales como respuesta a altas temperaturas, falta de humedad o sequía) y la finalización de estas etapas de letargo. En individuos de la especie *Pyxicephalus adspersus,* cuya hibernación pasa en capullos de lípidos, la concentración de hemoglobina y el hematocrito fueron elevados (4 veces más) comparados contra individuos fuera de la hibernación, lo cual refleja una deshidratación durante este proceso. Además, el ritmo cardiaco y la ventilación respiratoria aumentan 9 y 77 veces en individuos activos (Loveridge y Whithers, 1981). En general, los anfibios en estivación o hibernación consumen menos oxígeno debido a que su ritmo metabólico es menor, pero al entrar en actividad el consumo de oxigeno se dispara de manera significativa (Duellman y Trueb, 1994).

En general el intercambio gaseoso de oxígeno también puede verse afectado por el área de la superficie y el tamaño corporal. Un anuro más grande consume más oxígeno que uno pequeño, sin embargo, la velocidad a la cual se consume el oxígeno es inversa*;* el tamaño relativamente pequeño facilita el intercambio gaseoso por la relación entre el área de la superficie y la masa del cuerpo (Ruiz *et al.*, 1983; Hutchison, 2008).

Los anuros de zonas tropicales presentan velocidades de consumo de oxígeno menores a las de zonas templadas; este hecho conlleva consecuencias tales como velocidades metabólicas menores en los anuros tropicales y menor capacidad termal para aclimatarse (Duellman y Trueb, 1994). Por ejemplo, en los estudios clásicos de Hutchison, Whitford y Khol (1968), se evaluó el efecto de la temperatura sobre el papel de la piel, los pulmones y las superficies bucofaríngeas en los intercambios respiratorios de una serie de anuros de diferentes hábitats. En aquellos anuros de zonas templadas como *Anaxyrus americanus, A. cognatus, A. terrestris, Hyla gratiosa, H. versicolor, Lithobates catesbeianus, Lithobates pipiens y Lithobates sylvaticus* la absorción del oxígeno desde los pulmones aumento directamente con la temperatura aproximadamente 35% a 5°C hasta 68% a 25°C, sin embargo, solo hubo leves cambios en la respiración cutánea al modificar la temperatura. Por otro lado, el 60% del suministro de oxígeno de la rana tropical *Ceratophrys calcarata,* provenía de la respiración pulmonar a 25°C, y 71% a 35°C. El desempeño de la piel y los pulmones en el

intercambio gaseoso es similar entre anuros de zonas templadas y en general, se observó una relación inversa entre el tamaño del cuerpo y la tasa de ventilación.

La presión diferencial de oxígeno entre distintas latitudes parece ser reflejada en la capacidad para acarrear oxigeno por la sangre. En el caso de *Telmatobius culeus,* anuro que habita en el Lago Titicaca a 10°C a una elevación de aproximadamente 3800 m, presenta unas solapas amplias de piel que incrementan el área de piel para poder respirar, carácter que también presentan algunos habitantes como *Cryptobranhus alleganiensis* y *Atelognathus patagonicus.* En el caso de *T. culeus* y *C. alleganiensis* los capilares son más largos que en la mayoría de los anuros, estos penetran hasta la epidermis y cuando los individuos se encuentran sumergidos en el agua con bajas concentraciones de oxígeno, periódicamente se sacuden de tal manera que rompen la barrera entre la piel y el agua para la mejor fluidez del oxígeno. En el caso de *T. culeus* el volumen de los eritrocitos es el menor conocido dentro de los anfibios, pero el conteo de estos es muy elevado (Duellman y Trueb 1994).

En resumen, los atributos fisiológicos de los anuros son en gran medida las variables que permitirán que sobrevivan, se desarrollen y/o se reproduzcan dadas ciertas condiciones ambientales; conforme las condiciones cambien, los anuros podrán responder dentro de cierto intervalo de diferentes variables, dentro de los cuales, aún pueden sobrevivir en primera instancia y en segundo plano, crecer y reproducirse si se encuentran un intervalo óptimo.

En la mayoría de los casos no se pude señalar a un mecanismo fisiológico, morfológico o conductual como el único responsable de la reacción al medio donde el individuo se distribuye, se trata más bien de la combinación de varios factores que conllevan a esta respuesta. Dentro de los atributos de los anuros, la manutención del agua es la más importante y de aquí derivan muchas otras respuestas a la desecación, pero también a la temperatura y el intercambio gaseoso. La humedad es un factor climático muy poderoso que determina la distribución de las especies. Las velocidades de evaporación y absorción del agua deben de estar balanceadas respecto a la actividad del anuro. El anuro por sí mismo puede pasar por periodos largos de deshidratación siempre y cuando exista una fuente de hidratación entre cada periodo; si el animal no puede tolerar la desecación, debe estar activo solo en lugares donde las fuentes de hidratación sean fácilmente accesibles o en el periodo del día que sea más propicio para mantener la humedad o responder a través de otros mecanismos dicha descompensación. Por otro lado, la habilidad de los anfibios para absorber agua del sustrato es una habilidad única entre los vertebrados. Aunada a esta habilidad, la capacidad de contener agua en diferentes vesículas contribuye con su capacidad para tolerar vicisitudes del ambiente y sus diferentes elementos climáticos.

3. Elementos climáticos y ambientales que determinan la presencia y abundancia relativa de los anuros

Una vez descrito cómo los anuros modifican su comportamiento, usan la morfología a su favor y a través de procesos fisiológicos enfrentan cambios en su hábitat, el siguiente tema consiste en la descripción de los factores y elementos del clima en conjunto como determinantes de su distribución y por lo tanto de las dinámicas de reproducción, desarrollo y estivación.

La temperatura atmosférica (grado de calor específico del aire en un espacio y tiempo determinados) entendida como un elemento del clima que ha cambiado abruptamente por el actual e inusual cambio global, ha sido uno de los elementos más estudiados y con mayor atribución sobre el cambio de la fenología de los anuros (Ficetola y Maiorano, 2016). Sin embargo, existen más factores que se encuentran determinando los ciclos antes mencionado de los anfibios, por ejemplo, la presión barométrica, la humedad ambiental, la fuerza del viento y la precipitación, los mismos deben ser considerados en conjunto pues se encuentran relacionados unos con otros a diferentes niveles (Emlen y Origin 1977; Henzi *et al.,* 1995; Oseen y Wassersug 2002; Llusia *et al.*, 2013).

¿Cuáles son las variables que predicen la aparición de los anuros tras la estivación o hibernación?, ¿son las mismas variables las que influyen en las mismas especies del mismo género? En un estudio elaborado por Oseen y Wassersug (2002) encontraron que, en grupos de anuros con épocas reproductoras en primavera como *Lithobates sylvaticus, Pseudacris crucifer* e *Incilius coccifer* la actividad de canto está asociada a la hora del día, llamando primariamente en la noche cuando la temperatura desciende; en otro grupo de especies con época reproductora en verano como *Lithobates clamitans* y *Lithobates catesbeianus* la actividad de canto asociadas a las altas temperaturas del agua. En este mismo estudio se observó que especies como *L. sylvaticus y Anaxyrus americanus,* que poseen periodos explosivos de reproducción, presentan una menor afectación en la formación del coro por variables ambientales que aquellas con periodos continuos de reproducción como *P. crucifer, L. clamitans* y *L. catesbeianus*.

En un estudio relativamente reciente, elaborado por Llusia y colaboradores (2013) se estudiaron dos poblaciones de hílidos europeos, *Hyla molleri* e *Hyla meridionalis* y las diferentes maneras en que se ve afectada la formación de los coros por distintos factores ambientales. Ya que la medición de una sola variable, como la temperatura, no puede predecir la asistencia a coro por sí misma, se correlacionaron diferentes variables climáticas. La combinación de diferentes factores ambientales tales como temperatura y presión barométrica, sí pueden predecir la asistencia de machos al coro y la posterior aparición para reproducirse de las hembras: de manera general, se asoció el aumento de la presencia de individuos en sus respectivos coros con días más húmedos y cálidos, y con días previos con altas temperaturas y presión barométrica; para *H. molleri*, había una mayor probabilidad de asistencia al coro cuando la presión barométrica era menor en la población estudiada en la zona Norte (la más fría) , mientras que en la misma especie, pero en la zona de estudio cálida (hacía el sur) ocurría lo contrario, es decir menor asistencia a coro mientras menor presión barométrica. Un patrón similar ocurría con *H. meridionalis*. Estos diferentes parámetros climáticos, se traducen en señales para los individuos que determinan el momento específico para congregarse y posteriormente cantos. En general, cualquier factor ambiental puede afectar la actividad de los anuros, por ejemplo: *Hyla arborea* forma coros dependiendo de la intensidad de luz, pero la temperatura casi no afecta su llamado (Schneider, 1977), los machos de *Anaxyrus*

americanus son más activos en el coro durante las fases de luna nueva comparadas con las temporadas de luna llena (Oseen y Wassersug,2002).

Incluso entre miembros de la misma especie, pero de diferente sexo, las variables ambientales que determinan ciertas actividades como la reproducción, difieren. En las hembras de *Hyperolius marmoratus* la asistencia al coro tras la hibernación se explica con el número de machos presentes, el número de horas de luz del día anterior, el viento y lluvias de días anteriores y, por otro lado, para los machos la asistencia al coro resultó ser explicada por la evaporación, la profundidad de la poza, la lluvia, la presión atmosférica y el viento de días previos. Mientras que los machos se ven controlados por condiciones para llevar a cabo el canto, las hembras parecen estar más enfocadas en las condiciones del desarrollo de las larvas (Henzi *et al.*, 1995).

4. Descripción de la familia Hylidae: principales características morfológicas y fisiológicas de las especies de la RBChC.

Esta familia de anuros está representada de manera extensa en el continente americano, la región Austral papuana y la región templada de Eurasia. Esta familia incluye entre 870 (Faivovich *et al*., 2005) y 872 (Roskov *et al.,* 2017) especies reconocidas dividida en 3 subfamilias: Pelodryadinae, Phyllomedusinae y Hylinae, siendo esta última la más abundante con 590 especies (Faivovich *et al.,* 2005).

Como carácter sistemático de la familia, los individuos presentan cartílagos intercalares entre las penúltimas y últimas falanges, dichas falanges suelen terminar en forma de garra. Al final de los dedos, tienen discos que, en conjunto con las primeras características, les permiten escalar diferentes superficies, principalmente árboles (Duellman, 2001 y Wiens *et al*., 2005). Respecto a la bóveda craneal, los individuos de esta familia presentan generalidades como la modificación (expansión) de los huesos de la esta zona, y en algunos casos la piel se encuentra coosificado al cráneo, por ejemplo, las mayores modificaciones pueden ser observadas en individuo de los géneros *Tripion*, *Diaglena* y *Pternohyla*.

En cuanto a las características reproductoras, se pueden dividir en dos estrategias: la reproducción prolongada y la reproducción explosiva. Como generalidad se sabe que un factor importante para la reproducción son las lluvias, aunque no es el único (Halliday y Adler 2007). Cuando la lluvia se presenta de manera estacional y los individuos aprovechan la lluvia o el acumulamiento de ésta se les llama *oportunistas* o *continuas* y no suele durar más de unas semanas*;* cuando la reproducción es prolongada (mayor a un mes, incluso durante el año entero) se les llama *explosivas* (Wells, 1977 y Halliday y Adler, 2007). Específicamente, los hílidos de zonas tropicales han desarrollado los periodos de reproducción durante los meses de lluvia (Halliday y Adler 2007, 2007 y Uribe-Aranzábal, 2011). Se han definido los modos de reproducción en hílidos (Duellman y Trueb 1986 y Haddad y Prado 2005). En primera instancia los modos se separan en aquellos que están asociados a la vegetación y aquellos que están asociados al suelo. Los que están asociados a la vegetación se dividen en: a) Los huevos son depositados en el agua, donde los huevos y posteriormente los

renacuajos exotróficos se encontrarán en el agua acumulada en huecos de árboles o en plantas aéreas; b) Los huevos son depositados en los árboles; c) Los huevos son acarreados por el adulto en el dorso o en la bolsa dorsal de la hembra; los renacuajos endotróficos (se nutren del vitelo y de sustancias fabricadas por los padres) se encontrarán en bromelias o bambú. Por otro lado, los modos asociados al suelo pueden dividirse de la siguiente manera: a) Los huevos son depositados primero en el agua b) los huevos depositados en la tierra o rocas por encima del agua, tras la eclosión los renacuajos se desplazan al agua.

Específicamente, en la Estación de Biología Chamela, lugar donde se efectuó el estudio, cuenta con ocho especies registradas pertenecientes a la familia Hylidae: *Agalychnis dacnicolor*, *Smilisca baudinii*, *Smilisca fodiens, Trachycephalus vermiculatus, Diaglena spatulata, Tlalocohyla smithii, Exerodonta smaragdina, Dendropsophus sartori* (García & Ceballos, 1994; Figura 1E). Siendo endémicas las últimas cuatro; de ellas, tan solo *D. sartori* y *E. smaragdina* se encuentran dentro de una categoría de riesgo dentro de la NOM-059-2010 (DOF, 2010), lo cual no excluye a las demás de estar en riego potencial o real.

Familia: Hylidae		
Agalychnis dacnicolor		
Dendropsophus sartori	E	A
Diaglena spatulata	E	
Exerodonta smaragdina	E	Pr
Smilisca baudini		
Smilisca fodiens		
Tlalocohyla smithii	E	
Trachycephalus typhonius		

Figura 1E. Especies de hílidos registrados en la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala (RBChC). Tomado de la página de la RBChC. En ella se presentan las siguientes categorías de riesgo de la NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF,2010): *Pr* categoriza a la especie como sujeta a protección especial y *A* a una especie amenazada. La letra *E* representa una especie endémica de México.

A continuación, se hace una breve diagnosis, historia de vida y distribución de las especies contempladas para esta tesis.

4.1 Agalychnis dacnicolor (rana verduzca)

Los individuos de esta especie suelen tener una coloración verde brillante en el dorso y crema o blanco grisáceo en el vientre. Estos individuos son capaces de cambiar la intensidad de color, por lo que la gama de colores puede extenderse hasta verde olivo o verde más pálido, en los costados del

torso se encuentran puntos blancos o barras o sencillamente la típica coloración verde. El iris suele ser de color oro oscuro rodeado de negro. Los dedos de las extremidades delanteras suelen ser largos y unidos por una membrana interdigital aproximadamente a un cuarto de la longitud de los dedos, mientras que en los dedos de las patas traseras están unidos por una membrana que abarca un tercio de la longitud. Según Duellman (1970), ejemplares de Colima apenas presentan puntos crema sobre el dorso, mientras que en Guerrero y Oaxaca exhiben abundantes puntos color crema o amarillo. De acuerdo con Duellman (1970), los machos suelen ser más pequeños que las hembras; las longitudes desde la punta del hocico hasta la cloaca (LHC) en los machos alcanza un máximo de 82.6 mm mientras que en las hembras la misma longitud puede alcanzar hasta 103.6 mm. Sin embargo, las proporciones no mostraron diferencias significativas entre machos y hembras: la tibia respecto a la LHC fue 0.37 en promedio, la proporción del largo de los pies en relación con la LHC fue de 0.332 en promedio, la cabeza en relación con la LHC fue de 0.31 en promedio.

La cabeza es más estrecha que el cuerpo, la parte superior de su cuerpo es plana, la parte dorsal del hocico es redondeada y corta. El hocico presenta fosas nasales poco protuberantes ubicadas a dos tercios desde los ojos al final del hocico. La región loreal es cóncava y los labios son delgados. Las patas delanteras suelen ser delgadas en la parte distal y robustas en la parte más próxima al torso. Las extremidades traseras son cortas y robustas (Duellman, 1970).

La historia natural de esta especie abarca hábitats de bosque tropical caducifolio con temporadas largas de secas. Es una de las pocas ranas que se mantiene activa incluso durante esta temporada seca, al menos en la cuenca del Balsas entre marzo y abril (Duellman 1970; Lemos-Espinal, 2006).

La etapa específica de reproducción está asociada a la estacionalidad y por lo tanto al patrón de lluvias, la humedad y la temperatura ambiental de la zona que habiten (Bagnara y Restogi, 1992); tras las primeras lluvias esta especie comienza a formar coros (Luna-Gómez *et al*., 2017). Al formarse los coros, los machos comienzan a llamar desde la vegetación alrededor de las pozas, a menos de 60 cm del cuerpo de agua cuando la temperatura del agua se encuentra entre 27.3 y 29.6 °C durante la noche. Los llamados suelen durar varios minutos, si no hay respuesta, buscan un nuevo lugar y llaman hacia otra dirección. Los machos suelen tornarse agresivos en épocas de reproducción, pero las peleas nunca abarcan a más de tres machos (Pyburn *et al.,* 1970). Los amplexos pueden ser observados en la vegetación e incluso en los cuerpos de agua, tras éste, la hembra suele contener agua en su vejiga proveniente de la poza o cuerpo de agua y entonces escala por las ramas más altas para depositar los huevos y el agua que antes conservó; finalmente en la vegetación por arriba de los cuerpos de agua coloca los huevos sobre una capa gelatinosa que ayuda a sostenerlos (Pyburn, 1970 y Lemos-Espinal, 2006). Las masas de huevos eclosionarán entre 4 y 5 días después, y ya que se encontraban arriba de los cuerpos de agua, y mientras éstos no se sequen, caerán a poca profundidad. Los renacuajos se desarrollan en la parte superficial y en ocasiones se les puede ver con la cabeza orientada hacia la superficie, pero se refugian ante perturbaciones en el fondo y vegetación circundante. Los renacuajos completarán la metamorfosis en seis semanas, aproximadamente (Duellman y Trueb 1994, Lemos-Espinal, 2006). Debido a la descripción de su reproducción, esta especie ha sido catalogada como con reproducción continua (Luna-Gómez, *et al.,* 2017) pero una acertada consideración entre los tipos de reproducción resalta: tanto la

reproducción continua como la explosiva son dos extremos entre los cuales existe un continuo de variedades en las cuales diversas especies pueden caer, como es el caso de *A. dacnicolor*, es decir esta especies presenta características de ambos modelos de reproducción y no podría ser catalogado bajo ningún extremo (Moreno-Rodríguez, 2016).

Se han registrado individuos de *A. dacnicolor* en tierras bajas desde el norte de Sonora pasando por el Istmo de Tehuantepec incluida la región de la cuenca del Balsas hasta la parte sur de Oaxaca (Ochoa *et al.,* 2006, IUCN, 2017) (Figura 2E). En general, esta especie es generalista en cuanto a su microhábitat (Suazo-Ortuño *et al*., 2015).

Figura 2E. Tomado de IUCN (2017). Mapa de distribución de *Agalychnis dacnicolor*.

4.2 *Diaglena spatulata* (rana pico de pato)

Los individuos de esta especie varían desde amarillo oscuro o bronceado hasta verde oliva en la parte dorsal y en ocasiones presenta manchas en los costados de color oscuro. La cabeza y los costados siempre son un poco más oscuros que el cuerpo. El vientre es blanco exceptuando el área del saco vocal en machos que suele ser de color gris con marcas cafés. En la descripción de Duellman (1970), la LHC promedio en machos es de 75.0 mm y 86.1mm en hembras. La relación entre la LHC y la tibia es de 0.365 en promedio, entre la LHC y la longitud del pie es de 0.320 en promedio, finalmente la relación entre la longitud del cráneo y la LHC es de 0.304 en promedio. Respecto a las medidas de proporción, no hay diferencias significativas entre machos y hembras.

En esta especie, el cráneo esta modificado de tal manera que asemeja a una pala y en esta zona la piel está completamente coosificada (la piel se encuentra unida al hueso). De hecho, contribuyendo a esta forma, sus maxilares y hueso prenasal están muy expandidos. El hocico es de cantos redondos, pero forma una especie de pico al final. Las fosas nasales son más bien laterales y se encuentran a tres quintos de distancia entre los ojos y la punta de la nariz. La región loreal es cóncava. Los ojos son largos y protuberantes, se encuentran posicionados en la región anterior y lateral respecto al cráneo. Las extremidades anteriores son delgadas, pero los antebrazos son robustos. La membrana axilar y los tubérculos en el lado ventrolateral están ausentes. Los dedos de estas extremidades son moderadamente largos, robustos y con discos grandes al final. Los tubérculos subárticulares son moderadamente grandes y casi cónicos, ninguno es bífido. Los tubérculos supernumerarios son redondos e indistintos. El tubérculo palmar es largo, plano y elíptico. El prepólex está moderadamente alargado y en machos reproductores está cubierto por una excrecencia nupcial. Entre los dedos, no existe membrana entre el primero y el segundo de los dedos y es muy rudimentaria entre los otros dedos. Las extremidades posteriores son cortas, en ellas, el tubérculo metatarsal interno es moderadamente largo, plano y elíptico, mientras que el tubérculo metatarsal externo es redondeado y en ocasiones se encuentra ausente. Los dedos de estas extremidades son largos y tienen discos al final de los dedos que resultan más pequeños que aquellos de las extremidades posteriores. Los tubérculos subárticulares son moderadamente pequeños y casi cónicos, los tubérculos supernumerarios son pequeños y no son conspicuos. La membrana que une a los dedos se extiende desde la base de la última falange del primer dedo hasta la penúltima falange del quinto dedo (Duellman, 1970).

Habita en ambientes principalmente xéricos, donde la formación de pozas temporales es posible gracias a una temporada de lluvias entre junio y noviembre. En las descripciones de Duellman (1970) esta especie fue encontrada inmediatamente tras el inicio de lluvias cerca de pozas temporales, donde los machos se encontraban llamando desde bancos de tierra y en las orillas de las pozas. Duellman siguiere que una combinación de suficiente lluvia, clima de temperatura baja, un cielo nublado, quizá desata la actividad reproductora. Su distribución (Figura 4E) abarca los estados de Colima, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Nayarit, Oaxaca y Sinaloa y resulta endémica de México.

Figura 4E. Tomado de IUCN (2017). Mapa de distribución de *Diaglena spatulata.*

Actualmente no está listada en la NOM-059-2010, y en la Lista Roja de la IUCN se mantiene en la categoría de *Least concern* o de baja preocupación. La capacidad de esta especie para modificar características morfofisiológicas, le confiere una resiliencia alta ante hábitats con diferentes niveles de perturbación (Serrato-Vidal *et al.*, 2015).

4.3 *Smilisca baudinii* (rana de árbol mexicana)

La parte superior del cuerpo de esta rana puede ser desde verde oscuro hasta bronceado o café. La piel dorsal es suave y en el vientre presenta una consistencia granular (Lee, 2000). Presentan una línea oscura que abarca desde el ojo hasta la región de los hombros y algunas veces también hay una línea vertical oscura que recorre desde el labio superior hasta debajo del ojo. En los muslos o parte interna de la extremidad inferior tiene manchas negras y amarillas o crema. Debido a la metacrosis (habilidad voluntaria para cambiar el color de la piel por expansión o reducción de células pigmentadas), pueden presentar coloraciones muy diferentes dependiendo del entorno, incluso llegando a ser muy oscuras.

La LHC de los machos en promedio es de 76 mm, mientras que las de las hembras es de 90 mm en promedio. Sin embargo, el tamaño varía de acuerdo con la posición geográfica donde se encuentren, siendo los especímenes más grandes los de Sinaloa y los más pequeños los de Guatemala y Honduras (Duellman, 1970; Savage 2002), aunque generalmente se ubica en 90 mm en promedio

(NatureServer, 2017). Las proporciones entre la LHC y la longitud de la tibia en promedio es de 0.482, entre la LHC y la longitud del pie es de 0.320 y finalmente la proporción entre la LHC y el largo del cráneo es de 0.361 (Duellman 1970).

Su cabeza es igual de ancha que su cuerpo, casi no se distingue la separación. Su hocico es corto y resulta redondeado cuando se observa de manera dorsal y truncado cuando se observa lateralmente. Las fosas nasales son protuberantes y están situadas a tres cuartos de distancia entre los ojos y la punta del hocico. Sus ojos son prominentes y con pupilas elípticas con pupilas de color oro o plata (Lee, 2000). Las extremidades anteriores son largas y la parte de antebrazos suele ser más robusta. No presentan membrana axilar. Los tubérculos ventrolaterales del antebrazo están en hilera y están presentes hasta la muñeca. Los dedos de estas extremidades son moderadamente largos con discos en las puntas que también son grandes. En estas extremidades se presentan tubérculos subárticulares, pequeños y cónicos, los tubérculos distales se encuentran en el cuarto dedo y son planos y en al menos la mitad de los ejemplares, son bífidos. Los tubérculos supernumerarios son pequeños y cónicos, el tubérculo palmar es tripartido, finalmente le prepolex es moderadamente alargado y en machos reproductores está cubierto por una excrecencia nupcial. Los dedos de estas extremidades están conectados por una membrana que barca un tercio de le longitud de estos. Las extremidades posteriores son cortas y robustas. En estas extremidades se encuentra el tubérculo metatarsal que es largo y elíptico y suele ser más pronunciado en especímenes del Noreste de México. Los dedos de estas extremidades suelen ser largos y amplios, suelen ser más pequeños que los dedos de las extremidades posteriores. Los tubérculos subárticulares suelen ser grandes y casi cónicos, los tubérculos supernumerarios suelen ser pequeños y cónicos y suelen estar presentes en una sola fila por dedo. Los dedos de estas extremidades están tres cuartos enlazados con una membrana que los conecta desde la base del disco del primer dedo hasta la base del disco del quinto dedo (Savage, 2002).

Su historia natural se desarrolla en tierras bajas cercanas a costas donde la vegetación es xerófila. Se puede encontrar en estanques, pozas y canales (Bartlett y Bartlett, 1999) y su presencia se puede distinguir desde las primeras semanas de lluvia (Luna-Gómez eta at. 2017). Durante época de secas o estivación se refugian en las axilas de algunas plantas del género Bromelia, pueden enterrarse en el suelo que mantiene la humedad a varios metros de la superficie y con menor frecuencia en agujeros de árboles. La época de reproducción ocurre entre junio y octubre en tierras bajas de la costa del Pacifico de México, sin embargo, en climas más húmedos como los del Caribe y América central los periodos de reproducción suelen ser más largos (Duellman 2001). Los machos suelen llamar desde la vegetación baja alrededor de pozas e incluso desde la orilla y el amplexo suele ocurrir con mayor frecuencia en aguas poco profundas (NatureServer, 2017; Savage 2002). Dada la descripción de sus estrategias de reproducción, se le ha catalogado como un hílido de reproducción explosiva (Esparza-Orozco, 2014; Moreno-Rodríguez, 2016).

Esta especie tiene una amplia distribución nacional (Figura 6E): Campeche, Chiapas, Chihuahua, Coahuila, Colima, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán.

Figura 6E. Tomado de IUCN (2017). Mapa de distribución de *Smilisca baudinii.*

Esta rana no se encuentra listada en la NOm-059-SEMARNAT-2010, mientras que en la Lista Roja de la IUCN se encuentra bajo la categoría de *Least concern* o baja preocupación.

4.4 *Smilisca fodiens* (rana de árbol de tierras bajas)

Los colores del dorso de este hílido suelen ser desde tonos bronceados, color olivo o café claro y gris con subtonos cafés. Los individuos suelen presentar líneas longitudinales y pequeñas manchas marrones o rojizas con contorno negro o marrón oscuro. Las pupilas suelen ser horizontales con un iris en color bronce o café. La piel del vientre y dorso es granular mientras que la de los muslos suele ser más bien suave (Trueb, 1969). La LHC no es significativamente diferente entre machos y hembras y el promedio de esta longitud oscila entre 54 y 63 mm (AmpbhiaWeb, 2013). Su cabeza es pequeña y ligeramente más ancha que larga, en ella, la piel está parcialmente coosificada con los huesos craneales. El saco vocal es subgular y bilobado y el hocico en vista dorsal es redondo. Los dedos de las extremidades anteriores son largos y tienen pequeños discos en la parte final. Los dedos delgados no presentan una membrana interconectándolos como ocurre en otros miembros del grupo. Los dedos de las extremidades inferiores sí presentan una breve membrana entre ellos. El tubérculo metatarsiano interno es grande, elíptico y en forma de palo (Trueb, 1969).

Habita en bosques tropicales de matorral. Dada la temporalidad de este, la lluvia abundante entre julio y septiembre marca el inicio de la época reproductora. Su presencia es irregular, pero siempre está asociada positivamente con la acumulación de lluvia; la estrategia reproductora descrita para

esta especie es la estrategia explosiva (Luna-Gómez *et al.*, 2017). Durante el resto del año, dadas las modificaciones como las extremidades cortas y robustas y los huesos de la cabeza unidas a la piel, permiten a la rana estivar a varios metros debajo del sustrato, pero no se descarta su presencia en árboles pues los bordes internasales y labiales le permiten a la rana tener un comportamiento fragmótico (la fragmosis involucra el uso del cráneo como tapa de madriguera contra los depredadores, contra el viento y la pérdida de humedad) (Trueb. 1969; Ford y Finch, 1994). En México se distribuye en las costas del Pacífico desde el sur de Sonora, Sinaloa, Nayarit, Colima y en las partes centrales de Jalisco y Michoacán, justo adyacente a Guanajuato (Figura 7E).

Figura 7E. Tomado de IUCN (2017). Mapa de distribución de Smilisca *fodiens.*

Este anuro no se encuentra listado en la NOM-059-SEMARNAT-2010, y tiene una categoría de *Least concern* o baja preocupación en la Lista Roja de la IUCN.

4.5 Tlalocohyla smithii

El color en el dorso es principalmente amarillo con una banda dorsolateral blanca que se extiende desde la punta del hocico hasta la mitad del torso. Usualmente, esta banda esta bordeada por debajo por una línea café. El dorso, puede o no tener pequeñas manchas cafés. En las patas suele presentar manchas cafés. De acuerdo con las descripciones de Duellman (1970), los machos de esta especie alcanzan una LHC de 26 mm y las hembras de 30.8 mm. La proporción media entre la longitud de la tibia y la LHC fue de 0.506; entre la longitud del pie y la LHC es de 0.427; entre la longitud de la cabeza y la LHC es de 0.333. Las diferentes proporciones no son significativamente diferentes entre hembras y machos. La cabeza de esta rana es ligeramente más estrecha que el cuerpo, la punta de ésta es plana. El hocico es ligeramente largo y en éste, las fosas nasales son protuberantes y se encuentran aproximadamente a tres cuartos de le distancia entre los ojos y la

punta del hocico, finalmente visto lateralmente es redondeado. La región loreal es plana y al final de ella los labios están ligeramente engrosados. Las extremidades delanteras están moderadamente engrosadas y cortas, además presentan una membrana axilar. No hay tubérculos en la parte ventrolateral de las patas delanteras, es estas, los dedos son cortos y robustos con discos de tamaño medio. Los tubérculos subárticulares son largos y cónicos, ninguno de ellos es bífido. Los tubérculos supernumerarios son redondeados y esta presentes en los segmentos proximales de los dígitos. El prepólex se encuentra alargado y en machos reproductores lo cubre una excrecencia nupcial. Por su parte, las extremidades traseras son moderadamente cortas y robusta. Existen un tubérculo interior en el metatarso que es pequeño, ovoide y plano, pero el tubérculo por fuera del metatarso está ausente. Los dedos de las extremidades inferiores son largos y delgados, los discos que se encuentran en la punta de cada uno de ellos son bastantes largos, a veces tanto como los propios dedos. Los tubérculos subárticulares de los dedos son largos y casi cónicos, mientras que los supernumerarios son planos. Estos dedos están unidos por una membrana que se extiende desde la parte media de la penúltima falange del primer dedo hasta la penúltima del quinto dedo.

Habita en las áreas de las tierras bajas de las costas del Pacífico, caracterizadas por temporadas de lluvias entre julio y septiembre. En temporadas secas, las ranas se pueden considerar ubicuas, pero definitivamente, no expuestas a la intemperie, en cambio prefieren refugiarse en axilas de las plantas de la familia Arácea, preferentemente las conocidas como oreja de elefante (Género Xanthosoma). Son ranas particularmente abundantes durante la temporada de lluvias, pero su mayor acumulación ocurre mientras más avanzada se encuentre esta temporada, por lo que su actividad reproductora se asocia con la humedad y la acumulación de lluvia (Luna-Gómez, eta al, 2017) Los machos pueden ser escuchados desde los primeros días de lluvia cerca de cuerpos de agua, ellos usualmente hacen el llamado o canto desde la vegetación baja. Aparentemente esta especie prefiere ríos de cauce lento o pozas sin corriente para reproducirse (Duellman, 1970). El área de distribución abarca los estados de Chihuahua, Colima, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Sinaloa y Sonora (Figura 8E).

Figura 8E. Tomado de IUCN (2017). Mapa de distribución para *Tlalocohyla smithii*.

Esta especie no se encuentra listado en la NOM-059-SEMARNAT-2010, y tiene una categoría de *Least concern* o baja preocupación en la Lista Roja de la IUCN.

4.6 Trachycephalus vermiculatus (Rana lechera común)

Este hílido presenta una capa de piel gruesa y granulosa tanto en el dorso como en la parte ventral, usualmente el dorso presenta una mancha más oscura que el resto del cuerpo, esta mancha abarca desde la parte posterior de la cabeza hasta la parte sacra del cuerpo. Algunos individuos presentan un tono uniforme de color café o gris. Los sacos vocales se encuentran detrás de las mandíbulas (Duellman, 1970). En la descripción de Duellman (1970), los machos tienen una LHC promedio de 105.5 mm mientras que las hembras pueden alcanzar hasta los 113.7 mm. Las proporciones entre la tibia y la LHC es de 0.461 en promedio, entre la longitud del pie y la LHC es de 0.394 en promedio y finalmente entre la cabeza y la LHC es de 0.330 en promedio. La cabeza es comúnmente más estrecha que el resto del cuerpo, el cual es robusto; la punta de la cabeza es plana y observada dorsalmente el hocico resulta francamente redondeado, mientras que observado lateralmente es redondo pero truncado. En el hocico, las fosas nasales son protuberantes y se encuentran a cuatro quintos de distancia desde los ojos hasta la punta del hocico. La región loreal es ligeramente cóncava y al final, los labios son delgados y planos. Un pliegue dermal se extiende desde la parte posterior del ojo y hasta el tímpano, mismo que, en algunos especímenes llega a cubrir el tímpano. Las extremidades anteriores son robustas y no presentan membranas axilares. En estas extremidades tampoco se encuentran tubérculos ventrolaterales en el borde de los antebrazos, pero sí existe un pliegue en las muñecas. Los dedos en estas extremidades son cortos y robustos con discos grandes en las puntas, incluso el diámetro del disco del tercer dedo resulta más grande que el propio tímpano. Los tubérculos supernumerarios resultan pequeños, mientras que los tubérculos palmares definitivamente no se pueden distinguir. El prepólex es grande y en machos reproductores presenta una excrecencia nupcial. Los dedos se encuentras unidos por una membrana vestigial desde el primer dedo y hasta la penúltima falange del cuarto dedo. Las extremidades posteriores son cortas y robustas, los tubérculos metatarsales son grandes y ovoides, también, se encuentran los tubérculos metatarsales que son pequeños y cónicos. Los dedos de estas extremidades presentan una membrana que los une desde la base del disco del primer dedo hasta la base del disco del quinto dedo.

Habita en tierras baja tropicales, donde las lluvias son por temporadas entre julio y septiembre. Cuando llegan las temporadas completamente secas los individuos sí pueden ser observados, pero solo en la noche, cuando dejan sus escondites en ramas en vegetación de altura para alimentarse. Aunque se ha descrito que no son necesarias lluvias fuertes ni largas para poder observarlas incluso, cantando (Duellman, 1970), si son muy infrecuentes durante toda la temporada de lluvias (Luna-Gómez *et al*., 2017). En contraste, para reproducirse, sí es necesaria la presencia de lluvias fuertes y la acumulación de esta (Luna-Gómez *et al.,* 2017) y solo ocurre en pozas temporales, sin corriente.

Una vez formados estos cuerpos de agua, los machos suelen llamar desde el borde de las pozas, pero más frecuentemente desde adentro de ellas, mientras flotan, aunque siempre aferradas a algún tipo de sustrato, rama o piedra. En cada coro existe una jerarquía: un macho dominante canta a aproximadamente a cinco metros de las demás. Estos coros siempre son pequeños e iniciados por el macho dominante (Duellman, 1970). Su estrategia reproductora es de tipo explosiva.

Su distribución abarca los estados de Campeche, Chiapas, Colima, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Nayarit, Oaxaca, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán (Figura 9E).

Figura 9E. Tomado de IUCN (2017). Mapa de distribución de *Trachycephalus vermiculatus.*

Esta especie no se encuentra listado en la NOM-059-SEMARNAT-2010, y tiene una categoría de *Least concern* o baja preocupación en la Lista Roja de la IUCN.

5. Estudios previos sobre la influencia de variables ambientales en la ocurrencia de hílidos en la RBChC

Específicamente en la Reserva de Biósfera de Chamela-Cuixmala, se han realizado estudios que indican que las comunidades de anuros de este ecosistema tienen estrategias que minimizan los efectos negativos de las temperaturas elevadas y la escasez de agua, así como la adaptación a patrones de lluvias que son escasas y la formación de pozas de agua, no solo para emerger, si no para reproducirse. García y Cabrera-Reyes (2008) estudiaron la estructura de la vegetación y la estacionalidad ambiental (en una serie de tiempo, se refiere a los cambios climáticos que se repiten a lo largo de un periodo definido y suelen ser predecibles) como factores determinantes en la estructura de la comunidad de anfibios y reptiles; de ellos, los anfibios presentaron mayores fluctuaciones estacionales y mayor recambio de especies espacial y temporal. Por otro lado, en un estudio reciente (Luna-Gómez *et al*., 2017) que abarcó dos temporadas de lluvias (2013 y 2014) en la RBChC y que contempló para el muestreo 3 arroyos y 2 cuencas hidrológicas, se profundizó en cómo los factores que propician la estacionalidad del área influyen en la actividad reproductora en medios acuáticos de 15 especies de anuros de 12 géneros diferentes. En principio, la especie más abundante durante la temporada de lluvias (junio-octubre) en los sitios contemplados, fue *Tlalocohyla smithii* seguida por *Exerodonta smaragdina,* y las menos abundantes fueron *Leptodactylus melanonotus* e *Incilius mazatlanenzis.* Respecto a los sitios de muestreo, el Arroyo Zarco fue el sitio que presentó más diversidad de especies y número de individuos (cuando se compara el número relativo de individuos registrados para cada especie en un sitio particular con respecto al número total registrado para esa especie en todos los sitios), probablemente asociado al gran número de pozas que se llegan a formar (Esparza-Orozco, 2014; Luna-Gómez *et al*., 2017).

A lo largo de las temporadas de lluvias se puede observar un recambio de las especies presentes. Para anuros de talla grande (*large-bodied*), como *A. dacnicolor* y *S. baudinii,* su presencia o aparición comenzó durante la primer semana de lluvias, no así, las ranas de talla pequeña (*small-bodied*), como *E. smaragdina* y *T. smithii* que son más activas mientras más avanzada se encontraba la temporada de lluvias (cuando la lluvia acumulada excede los 300 mm) y las corrientes comenzaban a tomar fuerza, sin embargo, para varias especies observaron que, dependiendo de la especie puede existir un traslape o una segregación espacial y temporal respecto a la actividad reproductora de las diferentes especies. Específicamente, los hílidos *Dendropsophus sartori*, *Smilisca fodiens* y *Trachycephalus vermiculatus* fueron particularmente infrecuentes durante los muestreos, pero durante su presencia se asoció positivamente con la lluvia; por otro lado, *T. smithii* y *E. smaragdina* fueron monitoreadas durante varios semanas y su actividad reproductora esta positivamente relacionada con la humedad y la acumulación de la lluvia (cuando los arroyo ya presentaban corriente significativa) a diferencia de *Agalychnis dacnicolor,* cuya presencia también fue monitoreada durante gran parte del periodo de estudio pero estas presentan una correlación negativa con la precipitación, disminuyendo su presencia mientras más aumentaba la lluvia acumulada (Moreno-Rodríguez, 2016; Luna-Gómez *et al.*, 2017).

Basados en las tendencias y correlaciones de las especies y las variables climáticas, se agruparon a las especies en dos grupos de estrategias reproductoras: explosiva o prolongada. Las especies clasificadas dentro de la estrategia de reproducción prolongada se subdividieron en dos grupos:

a. Especies correlacionadas positivamente con la acumulación de la lluvia y con humedad y negativamente correlacionadas con temperatura
b. Especies correlacionadas negativamente con la acumulación de la lluvia y positivamente correlacionada con la temperatura.

El estudio de Esparza-Orozco (2014), define a *A. dacnicolor* como una especie con reproducción prolongada ya que dicha actividad se ve reflejada en la presencia de adultos asociados a pozas temporales durante toda la temporada de lluvias y cuyo éxito reproductivo se encuentra relacionada con la humedad y la precipitación media. En otro estudio, Moreno Rodríguez (2016) discute sobre las estrategias reproductivas *k* y *r,* en donde la estrategia *r* contempla una tasa de crecimiento natural alta, la reproducción temprana en la población, un tamaño corporal más bien pequeño, alta tasa de supervivencia y tipo de reproducción explosiva, mientras que la estrategia *k*, contempla valores inversos a la estrategia *r; A. dacnicolor* se le ha definido como una estrategia del tipo *r* con tendencias a estrategia *k*, dado que comparadas con otras especies de hílidos como *S. baudinii*, es la que contempla un mayor periodo del desarrollo embrionario aunado a un menor índice de fecundidad (Moreno- Rodríguez, 2016).

Las especies relacionadas con un tipo de reproducción explosiva están fuertemente relacionadas con patrones de precipitación específicos cuya acumulación de lluvia usualmente es mayor a 300mm (por ejemplo *T. vermiculatus* y *S. fodiens).* Otros estudios (Esparza-Orozco, 2014; Moreno-Rodríguez, 2016), también clasifican a *S. baudinii* como un hílido de reproducción explosiva.

Si bien existen traslapes en la aparición de las diferentes especies y por lo tanto competencia inter e intraespecífica (Esparza-Orozco, 2014), sí es posible identificar un recambio a lo largo de la temporada de lluvias; las diferencias en las estrategias reproductivas son las responsables de este recambio entendidas como los mecanismos para disminuir la competencia interespecífica en primera instancia (Luna-Gómez et. al. 2017). Incluso, las diferentes ocasiones en que ocurre la ovoposición describe que, aun cuando se sabe que existen traslapes espaciales entre especies, no existen traslapes temporales, como ocurre específicamente con hílidos que comparten el hábitat (espacio) como *A. dacnicolor* y *S. baudinii* evitando competencia por recursos o depredación entre renacuajos (Moreno-Rodríguez, 2016).

En general, se sabe que la comunidad de anuros en la RBChC tiene estrategias que minimizan o evitan los efectos negativos de la temperatura y la escases de recursos hídricos (específicamente consultar: Moreno- Rodríguez 2016, Luna-Gómez *et al.,* 2017) sin embargo, las alteraciones ya sean antropogénicas o a causa de eventos naturales que resultan en desastres para el ambiente, podrían influir en la aparición, los eventos reproductores, la dinámica y composición de las poblaciones y finalmente, su supervivencia. Cada uno de estos eventos esta dado por intervalos específicos de variables climáticas que en mayor o menor medida afectan las dinámicas de los hílidos.

F. MÉTODOS

1. Actividades de campo, muestreo y recopilación de datos ambientales

1.1 Lugar y periodo del muestreo

El muestreo se realizó en el arroyo Zarco (Figura 1F), que es temporal dentro de la Estación de Biología Chamela que pertenece a la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala (RBChC), en el Estado de Jalisco y para el cuál se ha registrado una mayor abundancia de anuros en general (Luna-Gómez *et al.*, 2017). El trabajo de campo se realizó del 18 de julio al 13 de agosto del 2016 para llevar a cabo la colecta de datos climáticos, condiciones generales de las pozas y los conteos nocturnos de las diferentes especies de hílidos. El período de muestreo correspondió al inicio de las temporadas de lluvias, lo cual nos permitió muestrear tanto en condiciones de secas como de lluvias moderadas (hasta 44.8 mm en un día) aunque no pudimos presenciar lluvias fuertes. Por los hábitos nocturnos de los hílidos a estudiar (Duellman, 1986 y Dundee *et al.,* 2002), el muestreo se efectuó aproximadamente entre las 20:30 y las 01:30 hrs.

Figura 1F. Ubicación de la RBChC-C (en verde) dentro del estado de Jalisco. Modificado de Instituto de Biología (2017b).

1.2 Transectos y localización

Con el fin de poder establecer unidades de longitud similar, previamente se midieron trayectos de aproximadamente 100 m cada uno considerando el camino central del arroyo. Éstos fueron elaborados por estudiantes del *Verano de la Ciencia* bajo la asesoría del Dr. Andrés García en la estación, aproximadamente un mes antes de la fecha de muestreo. Se marcó el inicio de cada transecto con cinta marcadora (*flagging*) de color amarillo y verde para poder ser detectada fácilmente. El muestreo abarcó 20 transectos numerados del 0 a 19. Cada transecto fue referido geográficamente con ayuda de la aplicación mapas de Google (*Google maps*).

1.3 Variables atmosféricas (climáticas macroambientales)

Se recabó la información de parámetros meteorológicos a través de los datos disponibles en la Red Universitaria de Observatorios Atmosféricos del área de la RBChC correspondientes al periodo de muestreo (estos datos son actualizados diariamente y pueden ser consultados por hora en la página de internet de la Red (http://www.ruoa.unam.mx/)). Las variables que se emplearon fueron: temperatura (°C), la humedad relativa (%), la velocidad del viento (m s-1), la dirección del viento (grados) la precipitación (mm), la presión promedio (hPa) y la radiación promedio (W/m m²). Los datos disponibles se descargaron cada hora de cada día durante todo el periodo de muestreo.

1.4 Variables microambientales (parámetros a nivel transecto y pozas)

Las condiciones de temperatura y humedad, dada la longitud del recorrido, eran muy variables. Dichas variables, temperatura y humedad relativa fueron registradas con un termohigrómetro manual, de la siguiente manera (por transecto):

a. Se dividió cada transecto en tres partes equivalentes; a la mitad de cada uno de estos tercios se registró la humedad y temperatura relativa.
b. La temperatura y la húmeda relativa se registraron a la altura del pecho con el brazo estirado.

En los transectos, se realizó una búsqueda libre y sin restricciones, conocido como el método más eficiente para obtener el mayor número de individuos de cada especie (Angulo *et al.,* 2006). En esta técnica no existen reglas en general para la búsqueda, pero, señala el autor que la búsqueda debe de ser minuciosa para lograr registrar el mayor número de individuos y reduciendo lo más posible el sesgo por esfuerzo. Una vez entendido esto, la búsqueda abarcó por transecto:

1. Condiciones del recorrido: considerando la naturaleza de las especies a estudiar, el recorrido se hizo en silencio y con pasos suaves.
2. Aproximación auditiva de los individuos a encontrar: a 2 o 3 m antes del inicio del transecto, se mantenían las lámparas apagadas y en silencio. Durante 3 minutos se escucharon los

cantos de las especies y de ser posible el número de individuos que se escuchaban. Esto no es considerado como un registro, su objetivo era proporcionar información sobre qué especies debía ser encontrada (porque habían sido escuchadas).

3. A 3 o 2 m aproximadamente antes de llegar al inicio del transecto, se realizó una búsqueda con una linterna LED (Truper, modelo LIFLO-230) que por sus características iluminaba de manera efectiva, sobre a) el suelo, b) la vegetación lateral y c) la vegetación de altura (árboles). Nuevamente, esto no fue considerado como un registro (salvo que el individuo pudiera ser identificado).
4. Se entró a pie cada uno de los transectos identificando a todos los individuos de interés con ayuda de al menos dos personas: el identificador y el escritor. El identificador, cuya persona fuese más experimentado y hábil físicamente, fue aquel que por medio de la identificación auditiva o visual informó al escritor los siguientes datos:

a. La especie
b. El número de individuos presentes
c. La acción que realizaban:

    i. Perchando o permaneciendo: cuando el animal se encontraba en vegetación o árbol, poza o roca sin emitir ningún sonido o sin realizar otra acción durante al menos 1 minuto
    ii. Cantando o llamando: cuando el animal tenía evidencia (muchas veces sustentada por la aproximación auditiva) de haber estado cantando, así como aquellos individuos que francamente se encontraban cantando.
    iii. En amplexo: cuando dos (o más) animales se encontraban realizando el abrazo nupcial; para este conteo, se consideraban al par o al número de individuos involucrados.
    iv. Otros: otras actividades menos comunes como peleando o nadando.

d. Ubicación donde se encontraban:

    i. Vegetación: considerada como todos aquellos arbustos, ramas, pastos y mantillo.
    ii. Árbol: en los troncos o ramas que estaban por arriba de la vegetación (aproximadamente a por arriba de 1.80 de la poza o suelo)
    iii. Roca o sustrato rocoso
    iv. C.A: cuando se encontraba dentro del cuerpo de agua
    v. Indefinido: Cuando se encontraba en constante movimiento.

e. Finalmente, la temperatura y humedad relativa el sitio donde se había encontrado el individuo para hacer registros de microambientes.

5. Adicionalmente, cuando se localizaba en un árbol algún individuo, se escalaba de la manera más simple a un árbol aledaño para poder realizar su identificación. Esta acción siempre se realizó tras haber revisado el árbol (fauna peligrosa para el escalador y resistencia del árbol).

Cabe mencionar que, todos los recorridos nocturnos, que se realizaron a lo largo del mismo camino central del arroyo, se planificaron de tal manera que, el tiempo y esfuerzo invertido fuera aproximadamente los mismo. No se realizaron recorridos fuera de esta ruta.

1.5 Registro de condiciones microambientales de cada individuo (por poza)

Dentro de cada transecto había diferente número de pozas. Previamente al inicio de nuestro muestreo, ya se habían marcado pozas que se formaron antes en las primeras lluvias de julio del 2016. Se lograron contabilizar y muestrear 14 de ellas. Adicionalmente, tras las lluvias del 6 y 7 de agosto, se formaron 21 pozas nuevas que marcamos con una nueva serie de números romanos. En total se consideraron 35 pozas con posibilidades de ser muestreadas. Con el objetivo de facilitar el manejo de los datos y el análisis estadístico, los nombres de las pozas fueron nombrados del 1 al 35 de acuerdo con su posición en Zarco iniciando en la parte más cercana al este del camino central del arroyo.

Estas pozas no fueron constantes, pues durante los días con mayor radiación y temperatura algunas se secaban por completo y en días con pequeñas lluvias consecutivas otras podían llegar a fusionarse. Para evitar confusiones y dobles marcajes, se consideró:

a. Poza: cuerpo de agua con profundidad mayor a 3cm.
b. Cuando se marcó una poza nueva, la marca con cinta adhesiva se mantuvo hasta el final del muestreo.
c. Si la poza desaparecía (se secaba) se mantuvo la marca de cinta adhesiva. Al emerger de nuevo, no se consideraría una nueva, sino la original.
d. Si dos o más pozas se fusionaban, no se consideró como el surgimiento de una nueva gran poza. Estas pozas fueron manejadas de manera individual como originalmente se había etiquetado pues los datos de ambas, por la extensión de una poza de estas características, varía mucho dado su tamaño.
e. Si la poza se segmentaba se mantenía el mismo etiquetado, pero en los datos de campo se consideraba una poza con sub-compartimentos nombrados como letras del abecedario y se realizaba un promedio para poder sustentar los datos de una sola poza.

Para aquellos individuos que se encontraban dentro de estas pozas, se midió la humedad relativa y temperatura con un termohigrómetro (para cada individuo) y adicionalmente se tomaron los datos de las pozas (un dato por poza). Los parámetros dentro de cada poza fueron registrados con un medidor multiparamétrico de una sonda modelo Hanna HI9828-0. Con esta fueron explorados los siguientes parámetros microambientales:

a. Temperatura
b. pH
c. Partículas disueltas totales
d. Presión barométrica

Finalmente, con un gancho herpetológico graduado (la graduación fue manual) se registraron 3 medidas de la profundidad de la poza para poder otorgar un promedio. Cada poza se dividió en tres segmentos aproximadamente, a la mitad de cada uno de éstos, se tomó la profundidad. En caso de ser la poza más larga que 1.5m se registró un dato más para el promedio. Además, de manera empírica se registraron el tipo de sustrato en porcentajes (rocoso, arenoso o arcilloso) y la cobertura vegetal.

2. Inferencias estadísticas

2.1 Descripción de los parámetros meteorológicos proporcionadas por la RUOA

La naturaleza de los parámetros meteorológicos proporcionados por la RUOA nos condujo a describir a cada uno de ellos de manera diferente a lo largo del periodo de estudio (18 de junio del 2016 al 13 de agosto del 2016):

a. Series de tiempo y correlogramas para la temperatura, la humedad relativa, la velocidad del viento y la presión atmosférica.
b. Estimación de densidad por kernel y gráficas de dispersión para las variables con ceros en sus registros como radiación y precipitación.
c. Estimación de la densidad de kernel para datos circulares (Salgado-Ugarte y Pérez-Hernández, 2014; Salgado-Ugarte, et al., 2016) para la dirección del viento.

2.2 Descripción y comportamiento de la abundancia durante los muestreos nocturnos a lo largo del periodo de estudio

Para el periodo del 18 de julio al 13 de agosto del 2016 excluyendo el 24 y 31 de julio y el 6 y 11 de agosto del mismo año, se describió la presencia y abundancia correspondiente a los conteos nocturnos de las especies muestreadas para cada una de las registradas para la RBChC (IBUNAM, 2017), empleando los siguientes métodos:

a. Gráfico de dispersión para visualizar la dinámica de la abundancia de los organismos muestreados durante los conteos nocturnos. Se realizaron tres diagramas de dispersión en total: el primero que contenía a las especies más abundantes, el segundo con las especies más escasas y el tercero con la información de todos los individuos muestreados en conjunto de la Familia Hylidae.
b. Regresión lineal entre los datos de los conteos nocturnos de cada especie y las diferentes variables climáticas y microambientales para establecer si había tendencias con fundamento estadístico.

2.3 Intervalos generales e intervalos de mayor abundancia de las variables macro y microambientales en las cuales las especies fueron muestreadas

Partiendo de la hipótesis de que cada especie tiene un conjunto de condiciones ambientales en las cuales su abundancia aumenta y para poder comprobarla, en primera instancia fue importante saber en qué intervalos de las variables atmosféricas y microclimáticas las especies se encontraron. Para ello, se emplearon dos acercamientos:

a. Diagramas de violín: son una combinación entre los diagramas de caja y bigotes y los estimadores de densidad por kernel (Hintze y Nelson, 1998; Steichen, 2001; Salgado-Ugarte, 2013). Éstos se realizaron con base en la abundancia de los conteos nocturnos y las variables tanto macroclimáticas (parámetros atmosféricos proporcionados por la RUOA), variables microclimáticas (temperatura y humedad relativa de la locación donde el hílido fue encontrado) y variables microclimáticas en las pozas (temperatura, presión atmosférica, partículas disueltas totales, profundidad promedio y pH) en los intervalos en las que fueron muestreados los individuos (el recorrido de las variables ambientales).
b. Diagrama de densidad: para aquellos casos donde el número de registros fue insuficiente o se concentraban en un intervalo muy pequeño de variación (en lugar de un diagrama de violín) (Valleman, 1980; Valleman y Hoaglin 1981).
c. Diagrama de densidad por kernel para datos circulares: específicamente la variable *dirección el viento* fue estudiada a través de estos diagramas (Salgado-Ugarte y Pérez-Hernández *et al.,* 2014; Salgado-Ugarte et al., 2016).

2.4 Relaciones entre los muestreos nocturnos y las variables atmosféricas y microambientales

En este apartado se describen las posibles relaciones lineales o no lineales (GLM) para describir las particulares condiciones atmosféricas y microambientales en las que la abundancia de las especies fue mayor durante los conteos nocturnos.

2.4.1 Relaciones lineales entre los conteos nocturnos y las variables atmosféricas y microambientales

Una vez descritos los intervalos de variables macro (atmosféricas) y microambientales en los que los individuos se encontraron durante el muestreo, se buscaron correlaciones lineales para, a través de ésta, poder explicar aquellas variables que explican el aumento en la abundancia o el fin de la estivación de estos hílidos.

En un trabajo similar de Henzi y colaboradores (1995) fueron contempladas para los posteriores análisis estadísticos, variables incluso fuera de las horas fuera del periodo de muestreo, algunas de ellas resultaron ser buenos predictores de la abundancia de individuos de la especie *Hyperolius marmoratus.* Para esta tesis, se buscaron correlaciones lineares para las siguientes variables (tabla 1F) y cada una de las abundancias de las especies durante los muestreos nocturnos.

Tabla 1F. Variables atmosféricas (macroclimáticas) consideradas en esta tesis, sus particiones (mañana, tarde, noche, durante el muestro)

Variable atmosférica considerada en esta tesis	Periodo en el cual la variable fue medida	Abreviatura empleada
Temperatura mañana (°C)	2:00 -7:59 hrs	Tm
Temperatura tarde (°C)	08:00-13:59 hrs	Tt
Temperatura noche (°C)	14:00-19:59 hrs	Tn
Temperatura muestreo (°C)	20:00- 01:59 hrs	Tmu
Humedad mañana (%)	2:00 -7:59 hrs	Hm
Humedad tarde (%)	08:00-13:59 hrs	Ht
Humedad noche (%)	14:00-19:59 hrs	Hn
Humedad muestreo (%)	20:00- 01:59 hrs	Hmu
Velocidad del viento mañana (m s-1)	2:00 -7:59 hrs	Vm
Velocidad del viento tarde (m s-1)	08:00-13:59 hrs	Vt
Velocidad del viento noche (m s-1)	14:00-19:59 hrs	Vn
Velocidad del viento muestreo (m s-1)	20:00- 01:59 hrs	Vmu
Dirección del viento mañana (grados)	2:00 -7:59 hrs	Dm
Dirección del viento tarde (grados)	08:00-13:59 hrs	Dt
Dirección del viento noche (grados)	14:00-19:59 hrs	Dn
Dirección del viento muestreo (grados)	20:00- 01:59 hrs	Dmu
Precipitación mañana(mm)	2:00 -7:59 hrs	Pcm
Precipitación tarde (mm)	08:00-13:59 hrs	Pct
Precipitación noche (mm)	14:00-19:59 hrs	Pcn
Precipitación muestreo (mm)	20:00- 01:59 hrs	Pcmu

Presión mañana (hPa)	2:00 -7:59 hrs	Pm
Presión tarde (hPa)	08:00-13:59 hrs	Pt
Presión noche (hPa)	14:00-19:59 hrs	Pn
Presión muestreo (hPa)	20:00- 01:59 hrs	Pmu
Radiación mañana (W/m²)	2:00 -7:59 hrs	Rm
Radiación tarde (W/m²)	08:00-13:59 hrs	Rt
Radiación noche (W/m²)	14:00-19:59 hrs	Rn
Radiación muestreo (W/m²)	20:00- 01:59 hrs	Rmu
Abundancia de las especies presentes durante los conteos nocturnos		AD, DS, SB, SF, TS, TV

Dado que las variables macroclimáticas describían un panorama general sobre el clima, fue necesario hacer inferencias también sobre las condiciones exactas en las que los hílidos fueron encontrados. Para ello, se buscaron relaciones para generar un modelo entre la abundancia durante el muestreo nocturno y las variables microclimáticas.

Las variables por considerar para los individuos muestreados dentro de las pozas (tabla 2F): la temperatura (°C), el pH, las partículas disueltas totales, la profundidad (cm), la presión (hPa); para los registros de individuos fuera de las pozas, las variables microclimáticas fuera de la poza a considerar fueron: la temperatura (°C) y la humedad relativa (% de humedad).

Tabla 2F. Variables Microambientales consideradas durante el periodo de muestreo y sus abreviaciones empleadas en los programas estadísticos.

Variable microambiental considerada en esta tesis	Periodo en el cual la variable fue medida	Abreviatura empleada
Temperatura (°C)	Durante el muestreo: 20:00- 01:59 hrs	Tpz
pH de la poza		Phpz
Partículas disueltas totales (pdt)		Pdpz
Presión poza (hPa)		Ppz
Profundidad promedio poza(cm)		Hpz
Temperatura microambiente (°C)		Tmcr
Humedad microambiente (%)		Hmcr

2.4.2 Modelos lineales generalizados entre los conteos nocturnos y las variables atmosféricas y microambientales

Dada la naturaleza de los datos (Ver sección *Resultados*) se descartó la posibilidad de realizar solo un modelo lineal, por lo que el siguiente paso fue generar un modelo lineal generalizado para cada especie. Este *GLM* contempla varias ventajas dada la naturaleza no normal de nuestros datos, además puede trabajar con datos que no tienen relaciones necesariamente lineales o con una relación no muy fuerte, aunado a esto se ha empleado en un estudio muy similar donde al igual que esta tesis contemplaba el estudio durante un mes, de datos de relaciones no lineales y datos no normales (Henzi *et al.*, 1995). El modelo contempló la técnica comúnmente llamada GLM *de eliminación hacia atrás* o *backward elimination.* Esta consiste en modelar *mutatis mutandis* a través de la eliminación de variables poco significativas, hasta que la significancia de las que restantes sea alta.

Cada uno de los métodos anteriores (puntos 2.1, 2.2, 2.3 y 2.4) puede ser ejecutado de manera sencilla a través de programas estadísticos como *R (*R Core Team, 2016) y Stata (StataCorp., 2009). Las especificaciones técnicas, los procedimientos y los comandos (scripts) empleados para ejecutar dichos procedimientos, así como la resolución de algunas particularidades de los datos (valores perdidos e imputaciones de datos) se describen detalladamente en el apéndice 1 (Especificaciones para la descripción estadística de parámetros proporcionados por la RUOA).

G. RESULTADOS

El periodo de estudio contempló 27 días, de los cuales en 4 de ellos no se llevó a cabo el muestreo por diferentes razones, principalmente seguridad. Incluso durante estos días sin muestreo sí se recopilaron datos de las variables atmosféricas. Durante este periodo se elaboraron dos bases de datos principales: la que se encuentra relacionada con las especies, sus hábitos y variables atmosféricas y microclimáticas y la relacionada con el recorrido, las pozas y coordenadas de estas.

La base de datos de especies, misma que se usó para realizar inferencias estadísticas sobre la influencia de diferentes factores ambientales sobre las especies, contempló por especie muestreada (8/6 hílidos registrados para la EBChC): la fecha del muestreo, 28 variables atmosféricas (ver tabla 1F) Y 7 variables microambientales (ver tabla 2F), en cada una se registró por noche el número de individuos y las actividades y sustrato asociado. De esta manera registramos, en orden descendente, para *A. dacnicolor* (n= 252 individuos), *S. baudinii* (n=159), *T. vermiculatus* (n=41), *S. fodiens* (n=38), *D. spatulata* (n=17) y finalmente, *T. smithii* (n=6).

La segunda base de datos considero la información propia de cada una de las 19 zonas y las 35 pozas muestreadas, así como las coordenadas y permanencia de las pozas.

1. El muestreo se llevó a cabo en arroyo Zarco, alrededor de 1025m fueron recorridos durante un periodo de 27 días.

El muestreo se llevó a cabo del 18 de julio del 2017 hasta el 13 de agosto del 2016 sobre el camino central del Arroyo Zarco a 2km aproximadamente de los edificios de la Estación de la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala (figura 1G). El recorrido de muestreo contempló 1.25Km.

Figura 1G. Ubicación de la ruta de muestreo dentro de la RBChC. La marca o *tag* rojo señala la ubicación de los edificios de la estación, los círculos blancos denotan el recorrido realizado cada día durante el muestreo sobre el camino principal del arroyo Zarco.

2. Inferencias estadísticas

2.1 Los parámetros macroclimáticos (atmosféricos) no presentaron ninguna tendencia significativa durante el periodo de estudio.

De acuerdo con la naturaleza de los datos descargados del portal de la RUOA, cada parámetro macroclimático o atmosférico, fue descrito con diferentes aproximaciones: series de tiempo para la temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y presión atmosférica; estimación de la densidad por kernel y gráficas de dispersión para la precipitación y radiación solar y finalmente estimación de la densidad por kernel circular para la dirección del viento. Para su descripción se consideraron todos los registros por hora desde el 18 de julio del 2016 a las 00:00hrs y hasta el 14 de agosto del 2016 a las 00:00hrs incluso cuando no hubo muestreo por la noche (649 registros totales).

2.1.1 La temperatura, la humedad relativa y la velocidad del viento presentaron variaciones cíclicas de 24 horas mientras que la presión presentó ciclos de 5 a 6 horas.

Como se describió en el método, las series de tiempo a estudiar no pueden contener valores perdidos ya que para los programas estadísticos *R* y Stata uno de los supuestos sobre los tipos de datos que pueden analizar en series de tiempo es, precisamente, que no existan valores de cero. Nuestra base de datos contenía diversos valores perdidos y para solucionar este problema empleamos el paquete estadístico *Amelia II* (Honaker *et al*., 2013) en el programa estadístico *R.* La resolución específica de este problema puede ser encontrada en el apéndice 1 de esta tesis.

Posteriormente se obtuvieron para cada variable: los índices de autocorrelación el valor de probabilidad (tabla 1G), y el gráfico de correlograma (gráficas 1-4G).

Los correlogramas gráficados posteriormente (figuras 1G a 3G) mostraron que las variables atmosféricas de temperatura, humedad relativa y velocidad del viento tuvieron un ciclo de variaciones cíclicas a lo largo de un mismo día (24 horas, 24 retardos), a diferencia de la presión atmosférica cuyo comportamiento a lo largo de un día parece contener dos ciclos por día y donde nunca presenta una autocorrelación negativa (figura 4G). Las 4 variables estudiadas como series de tiempo son más bien estáticas.

Tabla 1G. Para cada variable y su asociada suavizada se muestran los *lags* o retrasos, así como los índices de autocorrelación simple y valores de probabilidad, excepto para la *fecha* (*f*).

Variable	Nombre variable suavizada	LAG	AC	Prob>Q
f	NA			
Temperatura	st	1	0.9561	0
		2	0.8418	0
		3	0.6796	0
		4	0.4926	0
		5	0.2979	0
		6	0.1065	0
		7	-0.0734	0
		8	-0.2336	0
		9	-0.3653	0
		10	-0.4617	0
		11	-0.5194	0
		12	-0.5384	0
		13	-0.5203	0
		14	-0.467	0
		15	-0.3814	0
		16	-0.2685	0
		17	-0.135	0
		18	0.0116	0
		19	0.1641	0
		20	0.3152	0
		21	0.4556	0
		22	0.5725	0
		23	0.6509	0
		24	0.6781	0
Humedad	sh	1	0.9554	0
		2	0.8358	0
		3	0.6708	0
		4	0.4887	0
		5	0.3092	0
		6	0.1428	0
		7	-0.0057	0
		8	-0.1328	0
		9	-0.2349	0
		10	-0.3098	0
		11	-0.3573	0
		12	-0.3785	0
		13	-0.3737	0
		14	-0.3425	0
		15	-0.2845	0
		16	-0.2015	0
		17	-0.0984	0
		18	0.0182	0
		19	0.1415	0
		20	0.2655	0
		21	0.382	0
		22	0.4791	0
		23	0.5428	0
		24	0.5619	0

Variable	Nombre variable suavizada	LAG	AC	Prob>Q
Velocidad del viento	sv	1	0.9545	0
		2	0.8361	0
		3	0.6729	0
		4	0.4924	0
		5	0.3143	0
		6	0.151	0
		7	0.01	0
		8	-0.1043	0
		9	-0.1901	0
		10	-0.2484	0
		11	-0.2829	0
		12	-0.2979	0
		13	-0.2963	0
		14	-0.2777	0
		15	-0.2385	0
		16	-0.175	0
		17	-0.0865	0
		18	0.0232	0
		19	0.1472	0
		20	0.2762	0
		21	0.3981	0
		22	0.4998	0
		23	0.5682	0
		24	0.5931	0
Presión atmosférica	spa	1	0.9759	0
		2	0.918	0
		3	0.8414	0
		4	0.7632	0
		5	0.6992	0
		6	0.6599	0
		7	0.6488	0
		8	0.6621	0
		9	0.6898	0
		10	0.7183	0
		11	0.7346	0
		12	0.7295	0
		13	0.6998	0
		14	0.6491	0
		15	0.5875	0
		16	0.5285	0
		17	0.4847	0
		18	0.4656	0
		19	0.474	0
		20	0.5051	0
		21	0.548	0
		22	0.5888	0
		23	0.613	0
		24	0.61	0

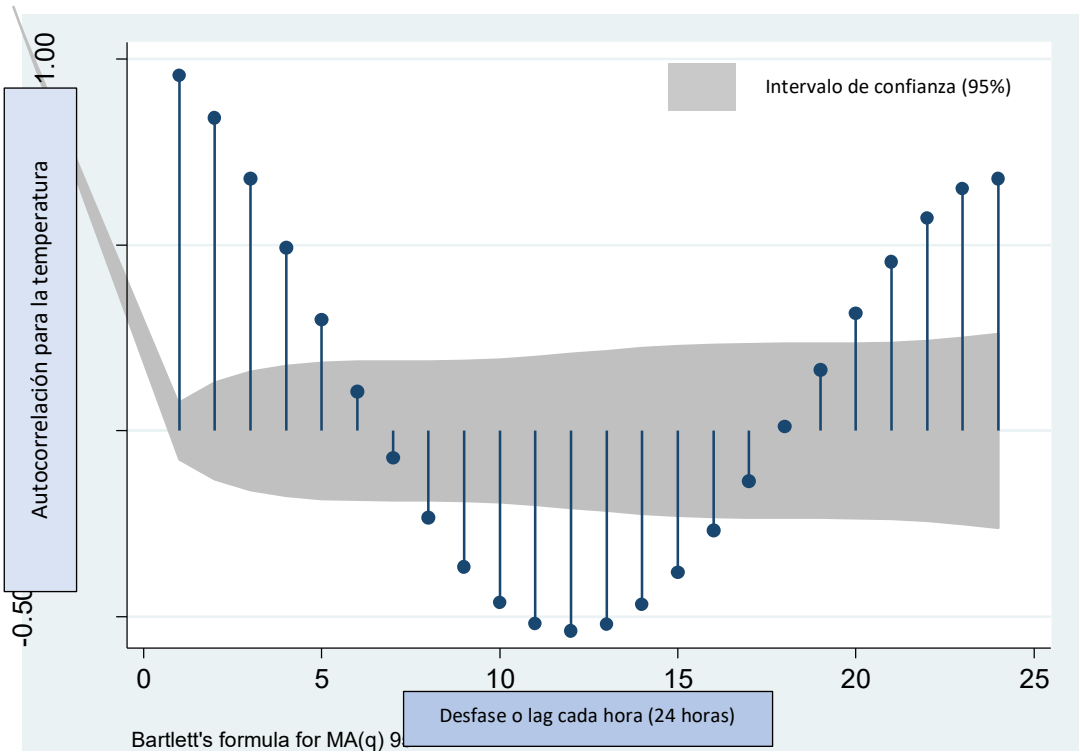


Figura 1G. Autocorrelograma para la variable temperatura. El intervalo de confianza al 95% está definido con una banda de color gris. Exactamente a los 12 lags presenta la autocorrelación negativa más baja: -0.54, tras este punto no vuelve a presentar otro valor de autocorrelación negativo. A las 24 horas retoma prácticamente el valor de 1, por lo que podemos definir que la dinámica de la temperatura sí abarca un ciclo de 24 horas.

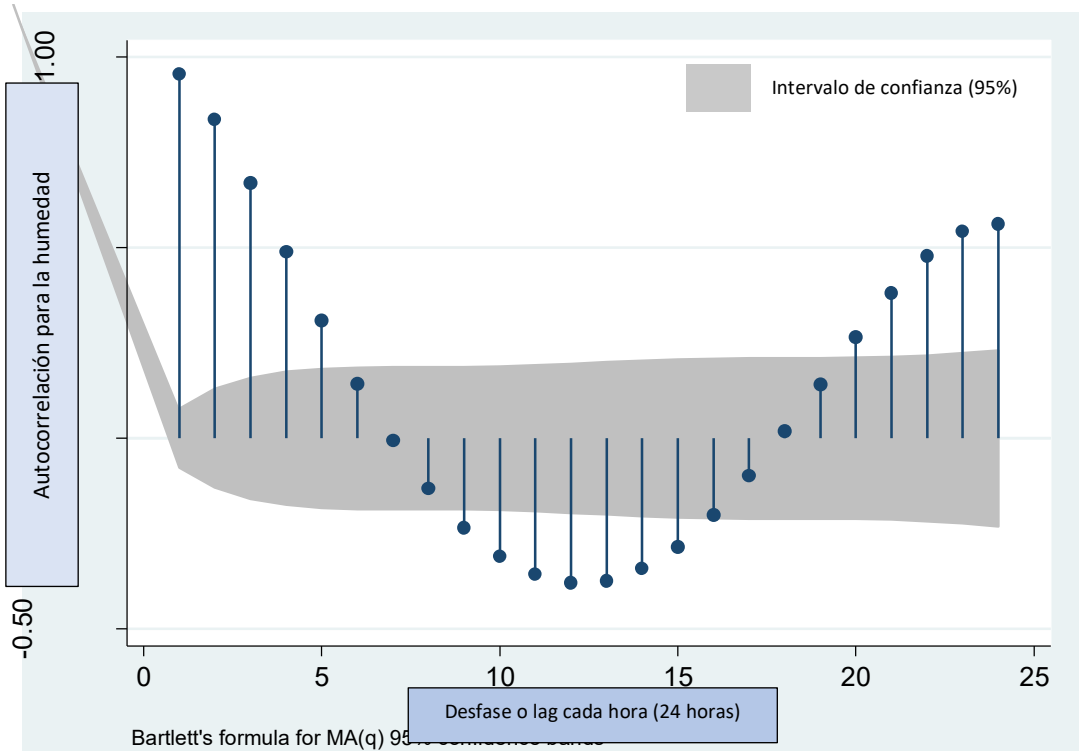


Figura 2G. Autocorrelograma para la variable humedad relativa. El intervalo de confianza al 95% está definido con una banda de color gris. A los 12 lags se presenta la autocorrelación negativa de valor más bajo: -0.38 donde se forma una cuenca, cuyo valor negativo es el mencionado anteriormente. Posteriormente, no presenta otra cuenca.

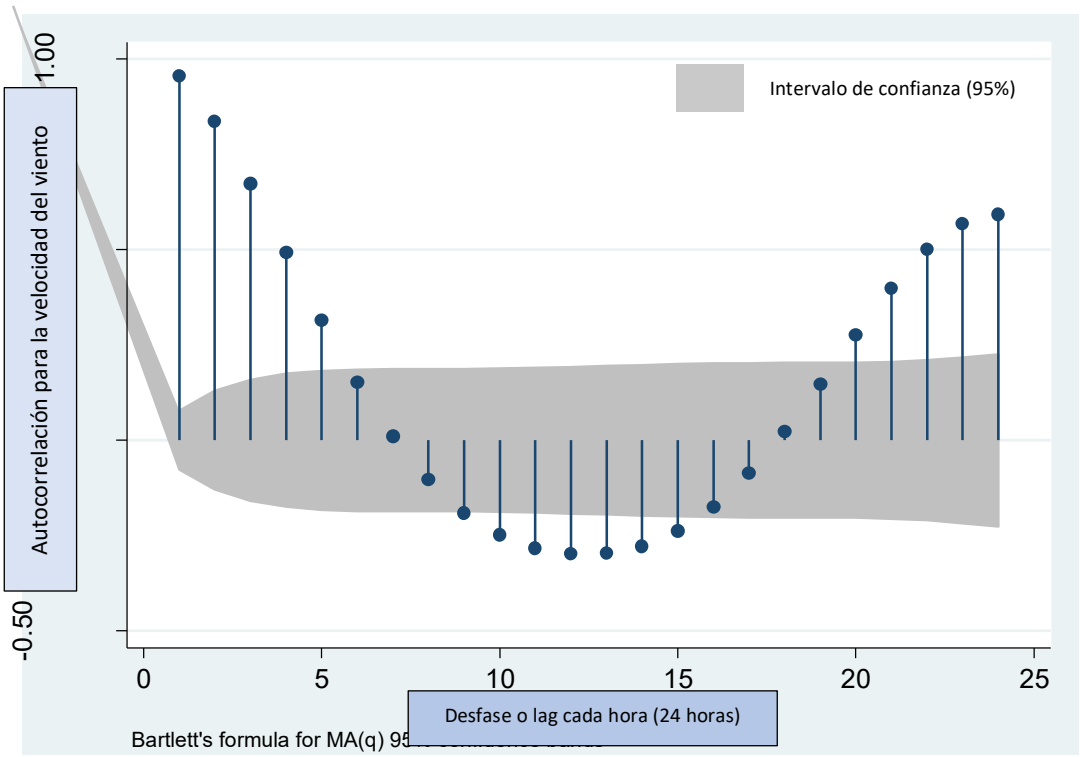


Figura 3G. Autocorrelograma para la variable velocidad del viento. El intervalo de confianza al 95% está definido con una banda de color gris. A los 12 lags se encuentra el valor de autocorrelación más bajo: -0.30. Siendo este el valor más bajo y no existiendo otro que determine otra cuenca similar.

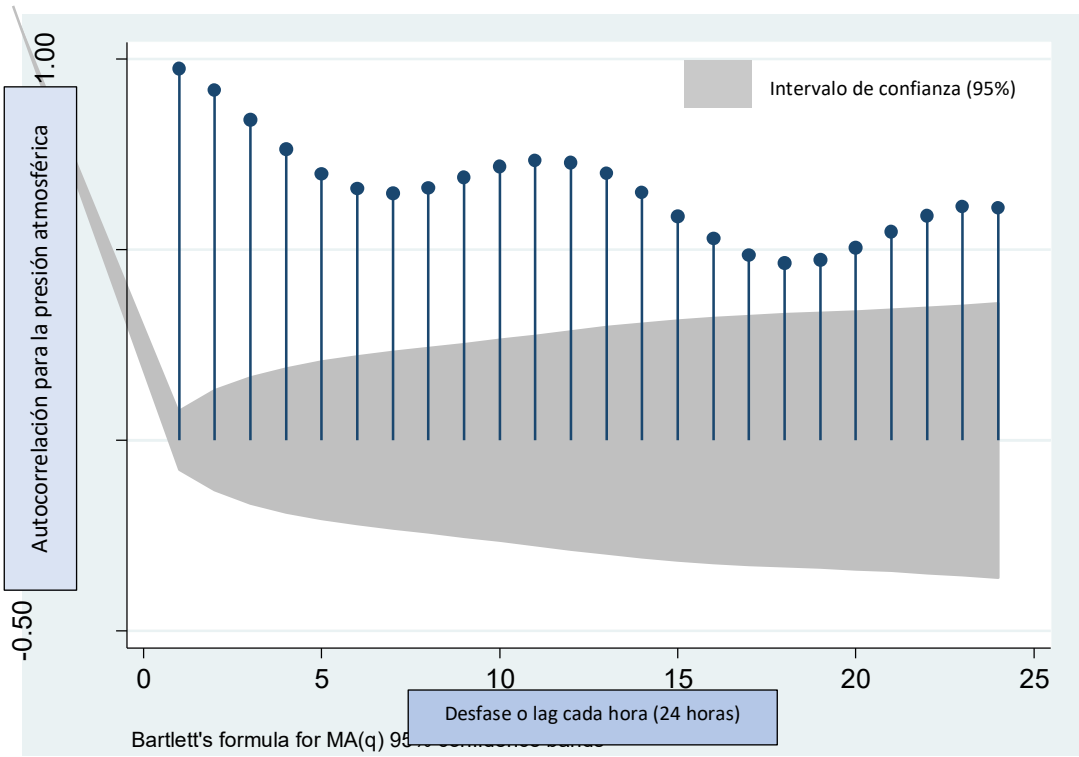


Figura 4G. Autocorrelograma para la variable presión atmosférica (*spa*) El intervalo de confianza al 95% está definido con una banda de color gris. Este correlograma presenta dos puntos negativos que forman cuencas en el lag 7 y 18 con una autocorrelación de 0.65 y 0.47 respectivamente. Esta variable no presenta periodos cíclicos de 24 horas, si no de aproximadamente 5 o 6 horas.

Posteriormente se realizó una correlación lineal para cada variable, de esta manera se estableció si había tendencias a lo largo del periodo estudiado para cada una de ellas. Dados los valores de probabilidad la humedad relativa (p=0.0), la velocidad del viento (p=0.0)y la presión atmosférica (=0.0) presentan una tendencia, sin embargo, dado el valor de r^2 podemos verificar que no es significativa (r^2=0.03, r^2=0.02 para la velocidad del viento y r^2=0.12); la temperatura considerando ambos valores (p=0.41 y r^2=0.00) no presento absolutamente ninguna tendencia. De esta manera, estas cuatro variables son estacionarias y no presentaron ninguna tendencia significativa para el periodo de muestreo.

2.1.2 La mayor densidad de precipitación se encuentra en un intervalo muy pequeño (0-2.82 mm), los valores más altos de la misma coinciden con los valores más bajos de la radiación.

Para elaborar las estimaciones de densidad por kernel para los datos de precipitación y radiación solar. Los anchos de banda óptimos variaron entre sí; mientras que para la radiación el ancho de banda a usar fue el de Silverman (=72.49), para la precipitación no fue posible calcular el ancho de banda de Silverman, para ésta se empleó el ancho de banda sobresuavizado de Scott (=0.47).

Una vez contemplados estos valores, graficamos la función de densidad para la radiación (Figura 5G) y para la precipitación (Figura 6G) y se generó una tabla con las antimodas y modas.

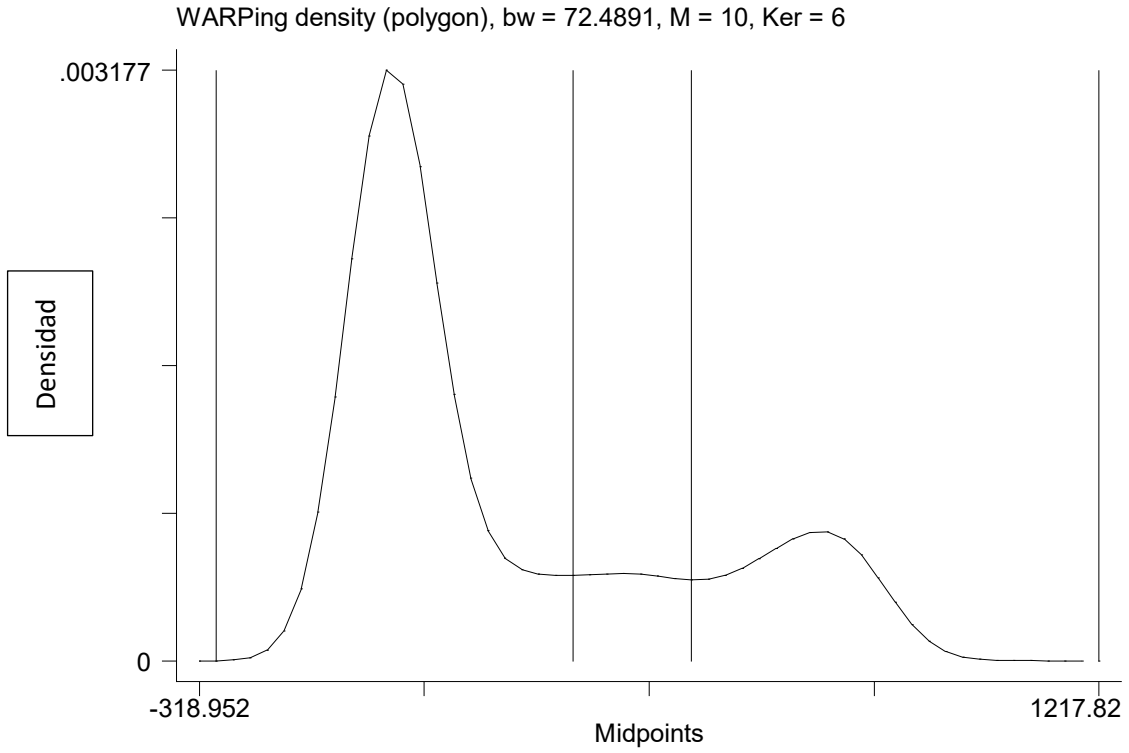


Figura 5G. Gráfica de densidad estimado con el kernel Gaussiano para la radiación (W/m², eje de las abscisas). Se trazaron las 4 antimodas que limitan las 3 modas de la variable. Las antimodas se encuentran marcadas en los puntos: -289.96, 318.95, 521.92, 1217.82 en el eje de las abscisas.

La gráfica 7R en particular resultó compleja a simple vista, pues mientras que permanece con valores muy grandes en pocos eventos, los eventos restantes se encuentran esparcidos con valores relativamente pequeños en comparación con los primeros. Los registros de precipitación sumaron 649, de los cuales 630 incluían valores menores a 1 (mm), 14 registros entre los valores 1 y 10 (mm) y apenas 3 que oscilan entre 10 y 25 (mm), esta naturaleza produce un muy forzado ancho de banda y por lo tanto el diagrama de densidad por kernel resulta de la siguiente manera:

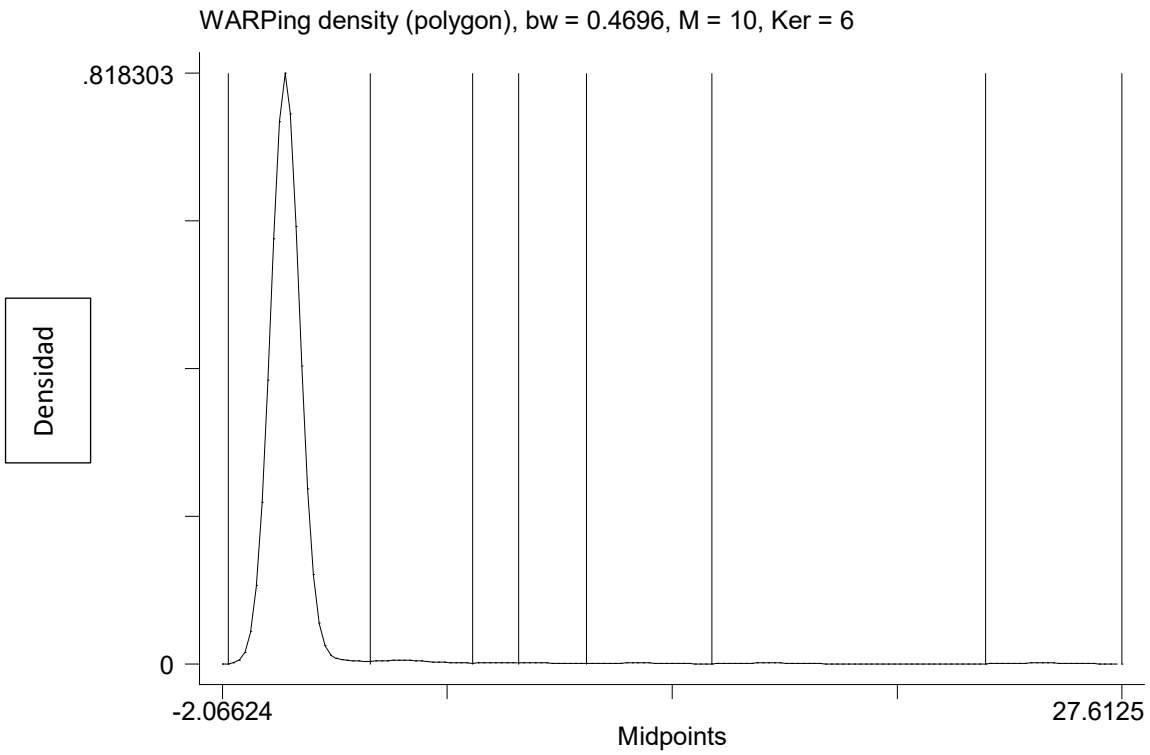


Figura 6G. Gráfica de densidad estimada con el kernel Gaussiano para la precipitación (mm, eje de las abscisas), además se trazaron las 8antimodas que limitan las 7 modas de la variable radiación. Las antimodas están marcadas en los puntos: -1.88, 2.82, 6.20, 7.70, 9.96, 14.09, 23.10, 27.61 en el eje de las abscisas.

Adicional a la información de los gráficos anteriores (Figura 5-6G) se decidió hacer un gráfico de dispersión tanto para esta variable como para la radiación para observar posibles tendencias (Figura 7G).

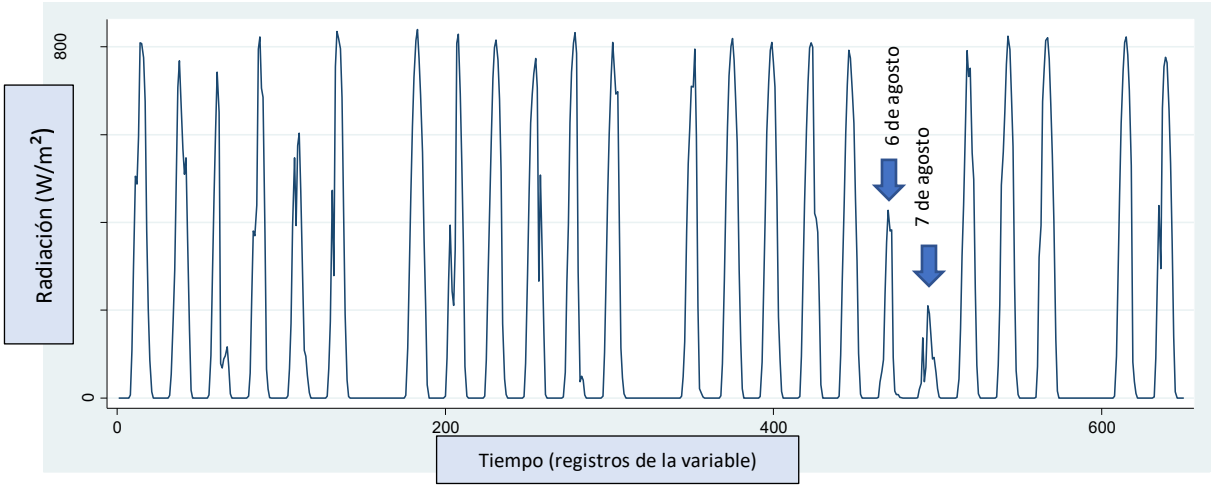


Figura 7G. Diagrama de dispersión para la radiación (eje de ordenadas) y a lo largo del tiempo (eje de abscisas). Los días con menor radicación se señalan con flechas azules y corresponden al intervalo entre 6 y 7 de agosto del 2016.

Incluso sin una prueba de tendencia se logró observar en la figura 10, que ésta es prácticamente nula. Resaltó para los registros correspondientes entre el 6 y 7 de agosto una disminución de la radiación (Figura 11G, marcados con una flecha azul).

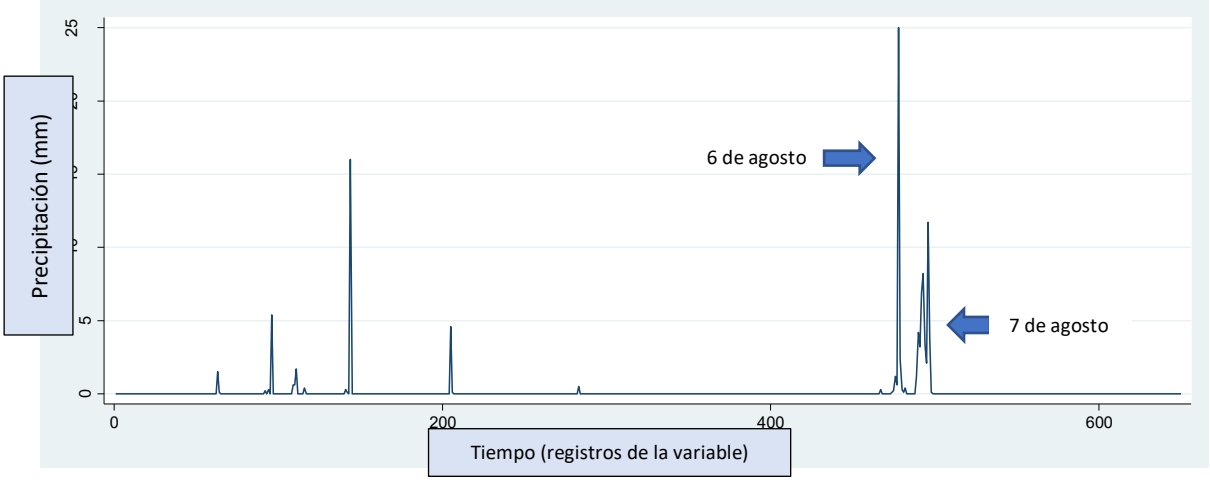


Figura 8G. Diagrama de precipitación prc en mm (eje de ordenadas) y a lo largo del tiempo dh (eje de abscisas). Los picos de lluvia de mayor altura corresponden al 6 y 7 de agosto (señalados con una flecha azul).

En la gráfica 8G no se observa una tendencia marcada, pero sí un par de picos relacionados con los días 6 y 7 de agosto, los días con más volumen de precipitación: Entre las 17:00 hrs del 6 de agosto y las 01:00 del día siguiente, sumaron 30.3mm y entre las 08:00 y las 17:00 hrs del 7 agosto, sumaron 44.8 mm.

Con las gráficas de dispersión se aprecia la dinámica propia de cada variable y cómo estas aumentan o disminuyen en función de los días, siendo los días 5,6 y 7 de agosto los más conspicuos. Para afinar la descripción, se buscaron tendencias a lo largo del tiempo con la función a través de una correlación lineal. De acuerdo con los valores de probabilidad, la precipitación presentó una tendencia positiva (=0.0049), sin embargo, al observar el valor de r^2 (0.012) podemos inferir que no es significativa; mientras que, para la radiación, tanto el valor de probabilidad (=0.824) ni el valor de r^2 (=0.0001) demostraron que existiera una tendencia.

2.1.3 La dirección del viento provenía mayoritariamente del NE y del NO, sin embargo, no existe una tendencia significativa a lo largo del tiempo de estudio.

De acuerdo con la naturaleza de esta variable (dirección del viento) donde cada dirección es expresada en grados a partir del norte geográfico (0°), se evaluó a través de estimadores de densidad por kernel para datos, precisamente, circulares (para más información ver apéndice 1). Para ello, se buscó y uso el número de ancho de banda de kappa de Fisher y se graficó la estimación

de densidad por kernel para los datos de dirección del viento como se muestra en la siguiente gráfica (9G).

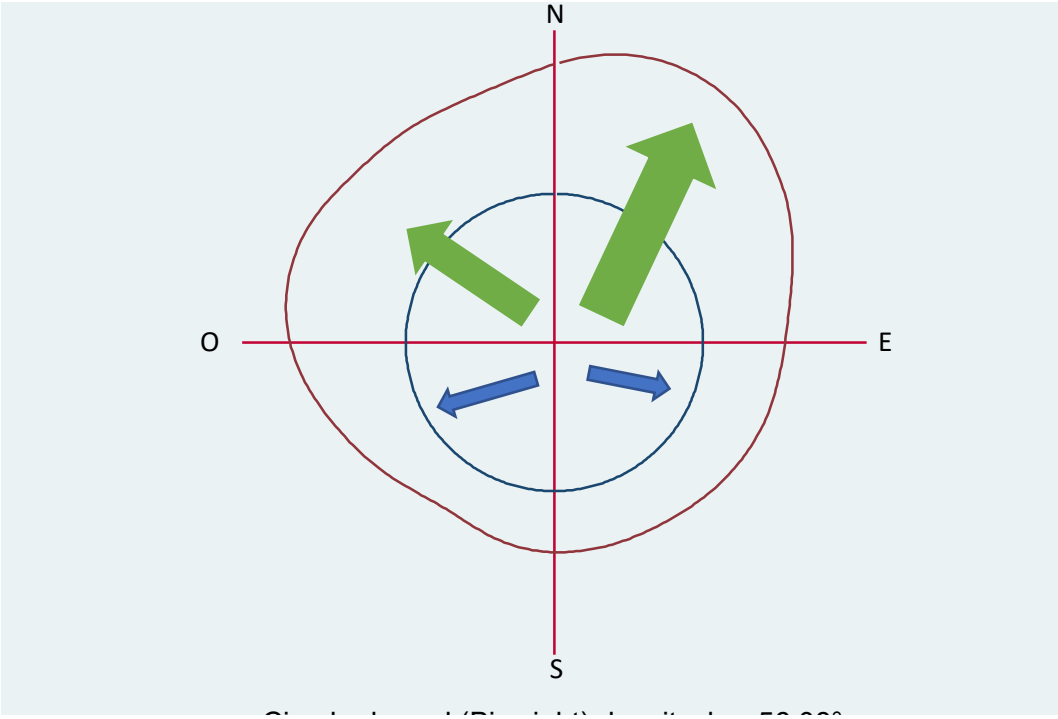


Figura 9G. Diagrama de kernel circular para datos para la dirección del viento. El viento, mayoritariamente proviene del noreste (NE).

Este acercamiento por densidad por kernel para datos circulares para la dirección del viento permitió observar la tendencia de la variable durante el periodo de muestreo. Las antimodas se ubican en los grados: 159.21° y 334°. La mayor densidad y notable en esta variable es hacia el NE y en segundo plano hacia el NO.

Posteriormente, se realizó un diagrama de dispersión para la dirección del viento que contempla las horas y días del periodo estudiado, con el mismo objetivo que los anteriores: conocer el comportamiento de esta variable a lo largo del periodo de estudio (Figura 10G).

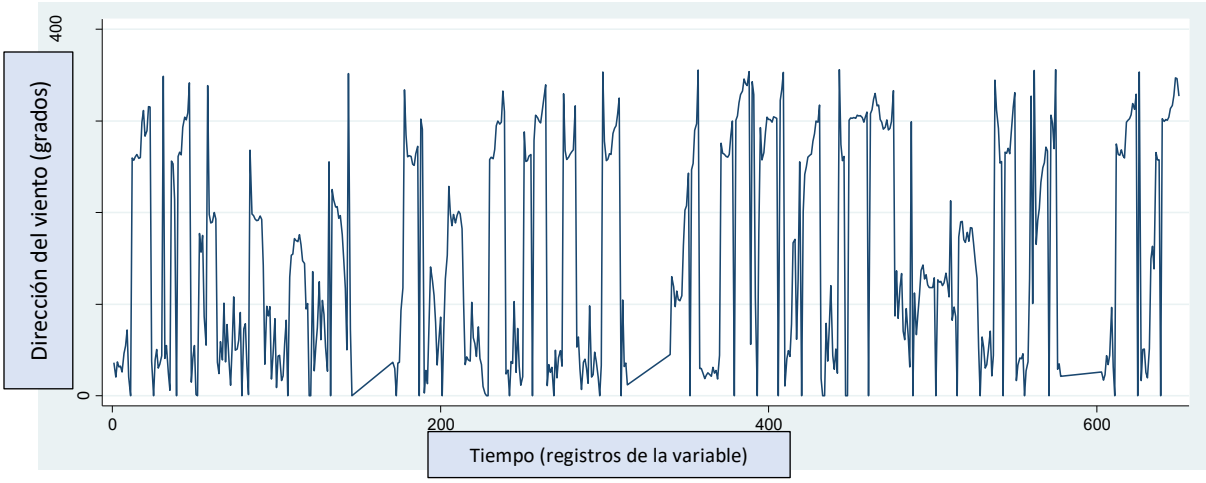


Figura 10G. Diagrama de dispersión de la dirección del viento en grados a lo largo del periodo estudiado. Ninguna tendencia fue descrita.

La figura 10G a simple vista no denota ninguna tendencia, lo cual finalmente nos condujo a realizar una regresión lineal para buscar una posible tendencia con fundamento estadístico, los índices correspondientes fueron los marcados en la siguiente tabla. De acuerdo con coeficiente de probabilidad (p=0.0001), existe una tendencia, pero al cotejar el valor de r^2 (0.025), podemos discernir de esta opción pues apenas alcanza un valor de 0.02, lo cual indica una correlación muy baja y por lo tanto una tendencia prácticamente nula.

2.2 La abundancia durante los conteos nocturnos a lo largo del periodo de muestreo no fue constante ni equivalente entre las especies muestreadas.

Para el periodo del 18 de julio al 13 de agosto del 2016 excluyendo el 24 y 31 de julio y 6 y 11 de agosto del mismo año (días en los que no hubo muestreo), se describió la abundancia de las especies durante los muestreos nocturnos, a dos niveles: de manera individual para cada especie y en conjunto, todos los individuos de las especies presentes de la Familia Hylidae muestreadas (Tabla 2G).

De las 8 especies de hílidos registrados para la Estación Biológica de Chamela- Cuixmala (IBUNAM, 2017), solo se muestrearon 6: *Diaglena spatulata, Smilisca baudinii, S. fodiens, Tlalocohyla smithii y Trachycephalus vermiculatus.* No todas estas especies se encontraron en igual magnitud durante el periodo de muestreo (Tabla 2G) a pesar de que las condiciones atmosféricas fueron similares y durante los muestreos. Las especies restantes, *Exorodonta smaragdina* y *Dendropsophus Sartori*, no fueron muestreadas en ningún momento dadas las condiciones que necesitan para emerger de la estivación y que han sido descritas en los *Antecedentes* de este trabajo.

Tabla 2G. Total de individuos por especie y como familia Hylidae por cada día de muestreo (renglones) y durante todo el muestreo (columnas)							
Fecha del conteo nocturno	AD	DS	SB	SF	TS	TV	Total de hílidos
18/07/2016	14	0	1	1	0	0	16
19/07/2016	8	0	1	1	0	0	10
20/07/2016	18	0	5	0	0	1	24
21/07/2016	9	0	0	0	2	0	11
22/07/2016	11	0	9	0	0	0	20
23/07/2016	5	1	3	2	0	0	11
25/07/2016	8	0	4	0	0	2	14
26/07/2016	4	1	4	0	0	1	10
27/07/2016	8	0	1	2	0	2	13
28/07/2016	3	0	3	0	0	2	8
29/07/2016	4	0	0	0	0	0	4
30/07/2016	3	0	0	0	0	0	3
01/08/2016	5	0	1	0	0	2	8
02/08/2016	3	0	1	0	0	4	8
03/08/2016	9	0	0	0	0	1	10
04/08/2016	7	0	0	0	0	0	7
05/08/2016	15	0	2	0	0	1	18
07/08/2016	64	14	114	34	3	25	254
08/08/2016	21	1	5	0	0	0	27
09/08/2016	10	0	2	0	0	0	12
10/08/2016	7	0	0	0	0	0	7
12/08/2016	5	0	2	0	1	0	8
13/08/2016	11	0	1	0	0	0	12
Total de individuos por especie	252	17	159	40	6	41	515

En orden descendente, las dos especies presentes de mayor abundancia respecto a los conteos nocturnos fueron *A. dacnicolor,* seguida de *S. baudinii;* mientras que las especies de menor presencia fueron *T. smithii y D. spatulata.* Transversalmente, los días de mayor presencia de hílidos en general fue el 5 y 8 de agosto del año en estudio. Con la única excepción de *A. dacnicolor,* todas las especies tuvieron ausencias a lo largo del muestreo, es decir su presencia no fue constante a lo largo del periodo de estudio: *D. spatulata* presentó 19 ausencias, *S. baudinii* 6, *S. fodiens* 18 y finalmente *T. vermiculatus* 13. De hecho, la especie que cada noche predominó en general fue *A. dacnicolor* con tres excepciones: el 26 y 28 de julio fue igual de abundante que *S. baudinii*, mientras que el día de muestreo con mayor precipitación, 7 agosto, *S. baudinii* casi duplica el número de *A. dacnicolor.*

2.2.1 Destacó la abundancia nocturna de A. dacnicolor y S. baudinii; en general las especies no mostraron tener un patrón de incremento o decremento a lo largo del tiempo, pero sí tuvieron una mayor abundancia durante los conteos nocturnos en los días de mayor precipitación.

Se realizaron diagramas de dispersión de las especies más abundantes (Figura 11G), las menos abundantes (Figura 12G) y el total de hílidos (Figura 13G), así como los coeficientes respectivos a las regresiones lineales de cada una de especies individuales y como grupo (tabla 3G).

Cabe mencionar que el formato *dd/mm/aaaa* para los días dentro del muestreo es leída como una variable de cadena o *string variable*, por lo que se le asignó un número a cada día de muestreo (1 para el primero, 2 para el segundo y así sucesivamente sin considerar días sin muestreo, hasta el último día con el número 23).

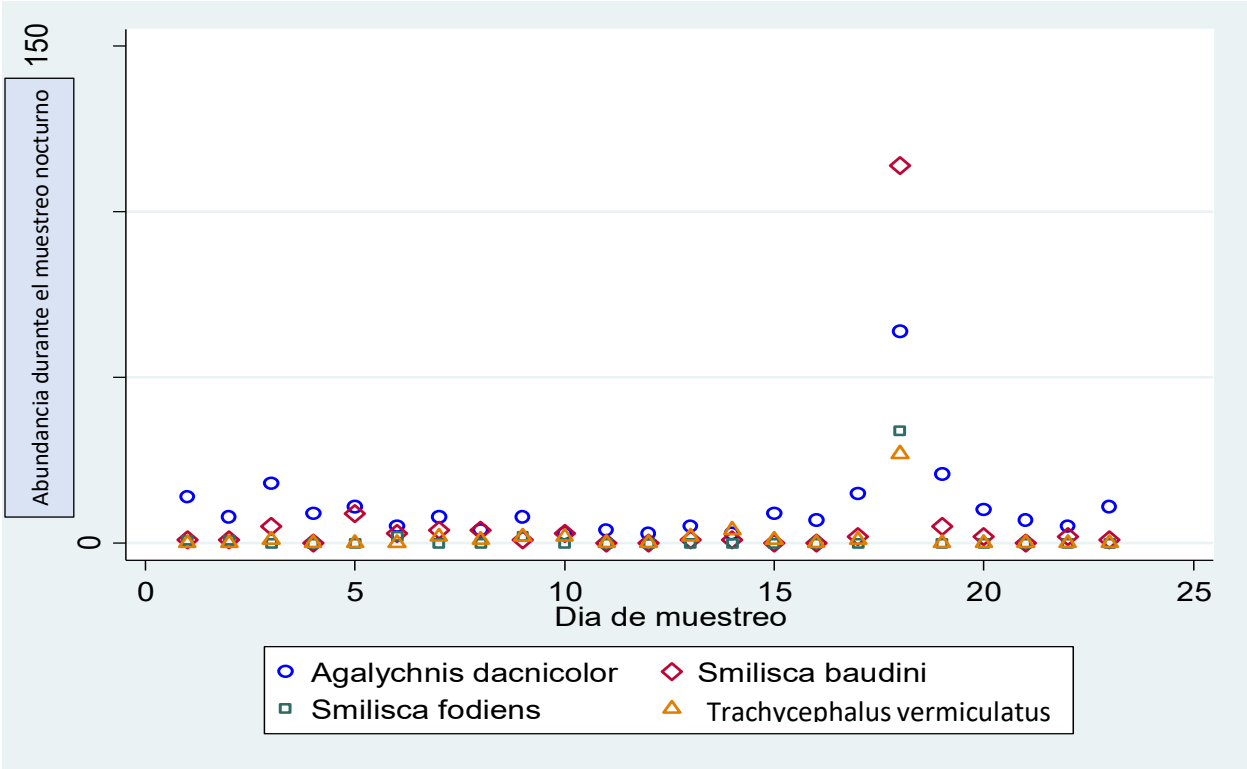


Figura 11G. Diagrama de dispersión que despliega a las 4 especies más abundantes durante el muestreo (n>50 individuos al menos una noche).

A simple vista la figura 15G despliega un comportamiento relativamente estable hasta el 16o día (5 de agosto), tras este día el valor más alto fue el 18vo día del muestreo que corresponde al 7 de agosto del 2016. De manera contraria, el día con menos abundancia durante el muestreo fue el 12vo día de muestreo, 3 de julio del 2016.

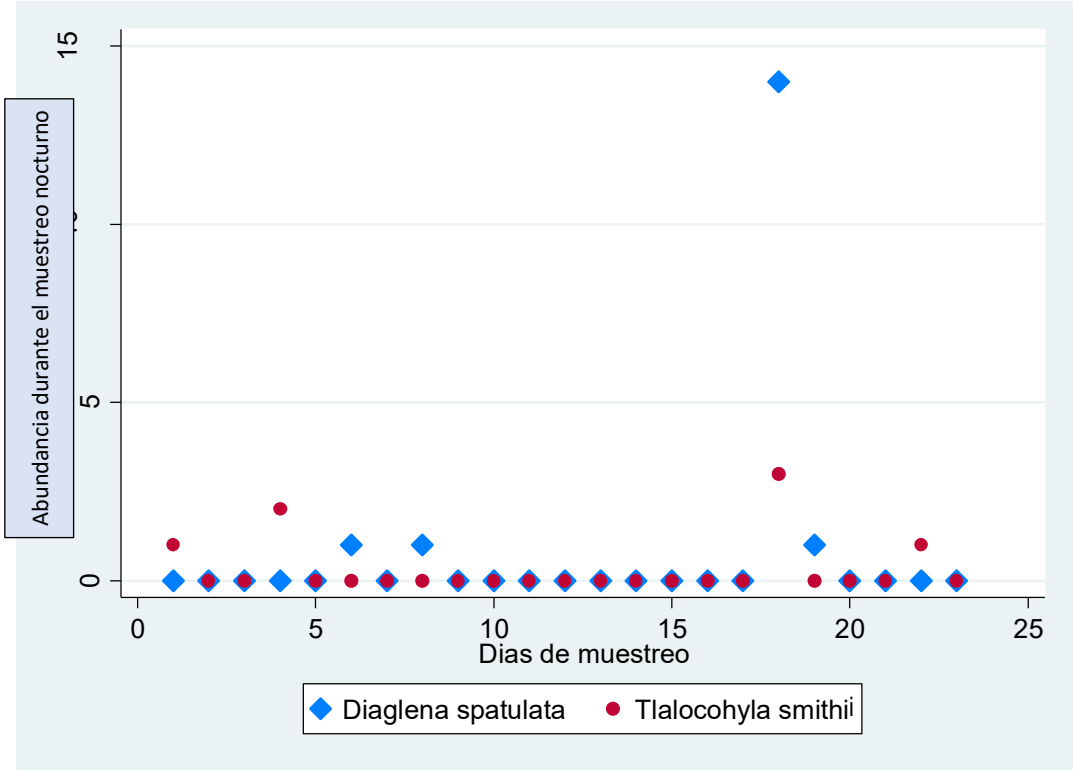


Figura 12G. Diagrama de dispersión que despliega a las 2 especies menos abundantes muestreadas durante el muestreo (n<50 individuos).

A pesar de ser las especies menos frecuentes y con menos abundancia en los conteos nocturnos, existe un pico de ésta el 18vo día del muestreo que corresponde al 7 de agosto del 2016.

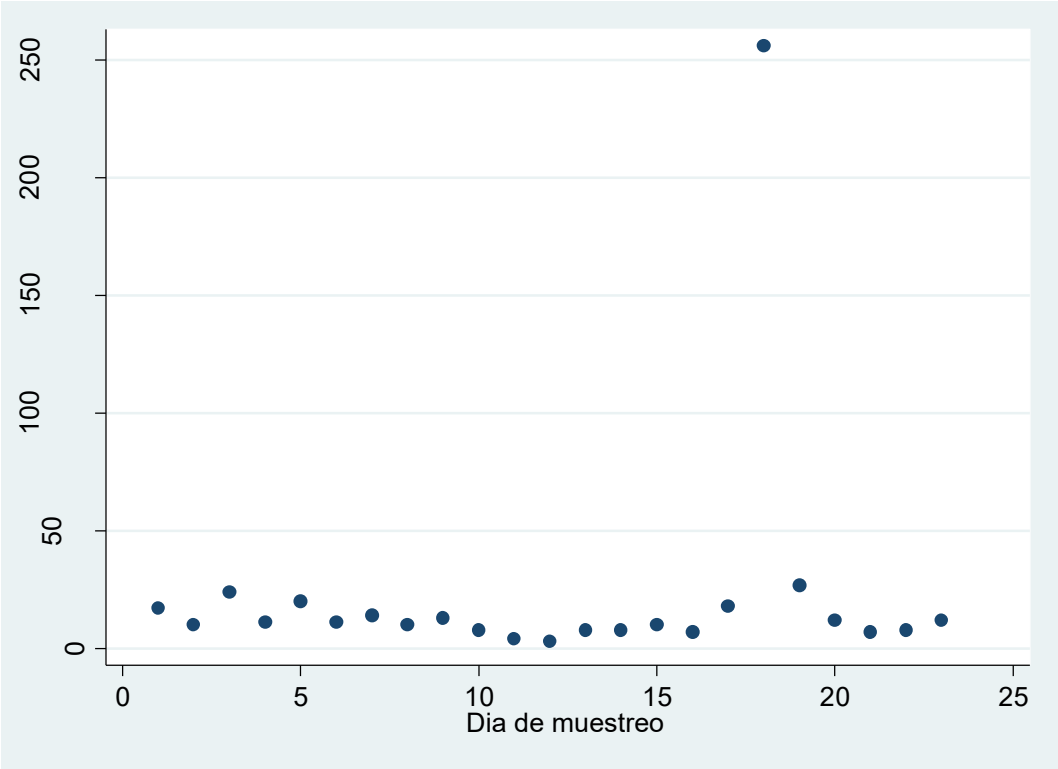


Figura 13G. Diagrama de dispersión que despliega a todos los individuos muestreados de la Familia Hylidae.

La totalidad de los hílidos muestreados corresponde con los picos de abundancia durante el muestreo de los dos grupos antes marcados como las especies más abundantes (Figura 11G) y las menos abundantes (Figura 12G): el día con más abundancia respecto a los conteos nocturnos y en el cual puede observarse un pico fue el 18vo día del muestreo que corresponde al 7 de agosto del 2016, antes y después de este pico puede observarse que los conteos nunca exceden los 50 individuos.

Tras visualizar el comportamiento de las abundancias durante los muestreos nocturnos de las diferentes especies, se examinó si existía alguna tendencia a lo largo del tiempo a través de diferentes regresiones lineales (Tabla 3G). Los valores considerados para establecer una tendencia o la usencia de ella fueron: el valor de la probabilidad de F (*Prob>F*) que siendo menor a 0.05 indicaría que hay correlación y a su vez, una tendencia; la r^2(R-*squared*) nos indicó cual es el porcentaje de la varianza del tiempo que esta está siendo explicada por la variable climática (con qué magnitud se están relacionando).

Tabla 3G. Valores de probabilidad y r^2 para cada especie y para todos los individuos muestreados							
	A. dacnicolor	*D.spatulata*	*S. baudinii*	*S. fodiens*	*T. smithii*	*T. vermiculatus*	Todos los hílidos muestreados
Prob>F	0.24	0.42	0.27	0.01	0.01	0.95	0.87
r^2	0.07	0.03	0.06	0.31	0.27	0.00	0.00

Dados los valores de probabilidad de F, no existe tendencia para *A. dacnicolor, D. spatulata, S. baudinii, T. vermiculatus* ni para la Familia de Hílidos. Sin embargo, para *S. fodiens* y *T. smithii* considerando el único valor definitorio como el valor de probabilidad de F, existe una tendencia. Inmediatamente se analizaron los valores de r^2 y se comprobó que en realidad existe una tendencia, pero muy débil (r^2<0.5). Por lo tanto, para todas las especies estamos hablando que son más bien secuencias estacionarias, sin tendencia, pero interrumpidas por un pico entre los días 5 y 7 de agosto del 2016, cuyas condiciones cambiaron radicalmente (consultar sección inmediata anterior en esta parte de Resultados).

2.3 Los intervalos de las variables atmosféricas y climáticas fueron multimodales, además fueron diferenciales entre cada especie.

Dado que cada especie tienen un conjunto de condiciones ambientales en las cuales su abundancia aumentó durante los conteos nocturnos, se decidió realizar diagramas de violín considerando la abundancia durante los muestreos nocturnos y las variables tanto atmosféricas (proporcionadas por la RUOA), variables microclimáticas (temperatura y humedad relativa de la locación donde el hílido fue encontrado) y variables microclimáticas en las pozas (temperatura, presión atmosférica, partículas disueltas totales, profundidad promedio y pH) en los intervalos en las que fueron muestreadas (el recorrido de las variables ambientales).

Para cada variable, se elaboró en principio, un diagrama de violín, sin embargo, hubo tres casos donde se estimó otra opción:

a. Cuando faltaron registros (el muestreo contempló muy pocos registros) por ejemplo para *D. spatulata o T. smithii* (20 y 9 registros respectivamente) y no fue posible trazar ningún tipo de gráfico.
b. Cuando los datos eran escasos y/o se concentraban en un intervalo muy pequeño, los gráficos de violín no despliegan información adecuada (media, cuartiles, máximos y mínimos), en cuyo caso, fue más informativo un gráfico de densidad.
c. Para datos circulares como la dirección del viento, esta fue graficada con estimadores de densidad por kernel para datos circulares (consultar apéndice 1 para más información).

A continuación, se describe para cada especie los intervalos propios en los cuales fueron muestreados, además de la información complementaria a estas figuras como las antimodas, las modas, las medias, cuartiles y puntos máximos y mínimos.

2.3.1 Agalychnis dacnicolor

Para esta especie se muestrearon 252 registros de individuos, 154 registros dentro de pozas y el resto (99 individuos) fuera de ellas. La distribución de la densidad de los conteos nocturnos se puede observar a nivel variables atmosféricas (Figura 14G), la densidad de conteos nocturnos respecto a la dirección (Figura 15G), microclimáticas (Figura 16G) y microclimáticas dentro de las pozas (Figura 17G).

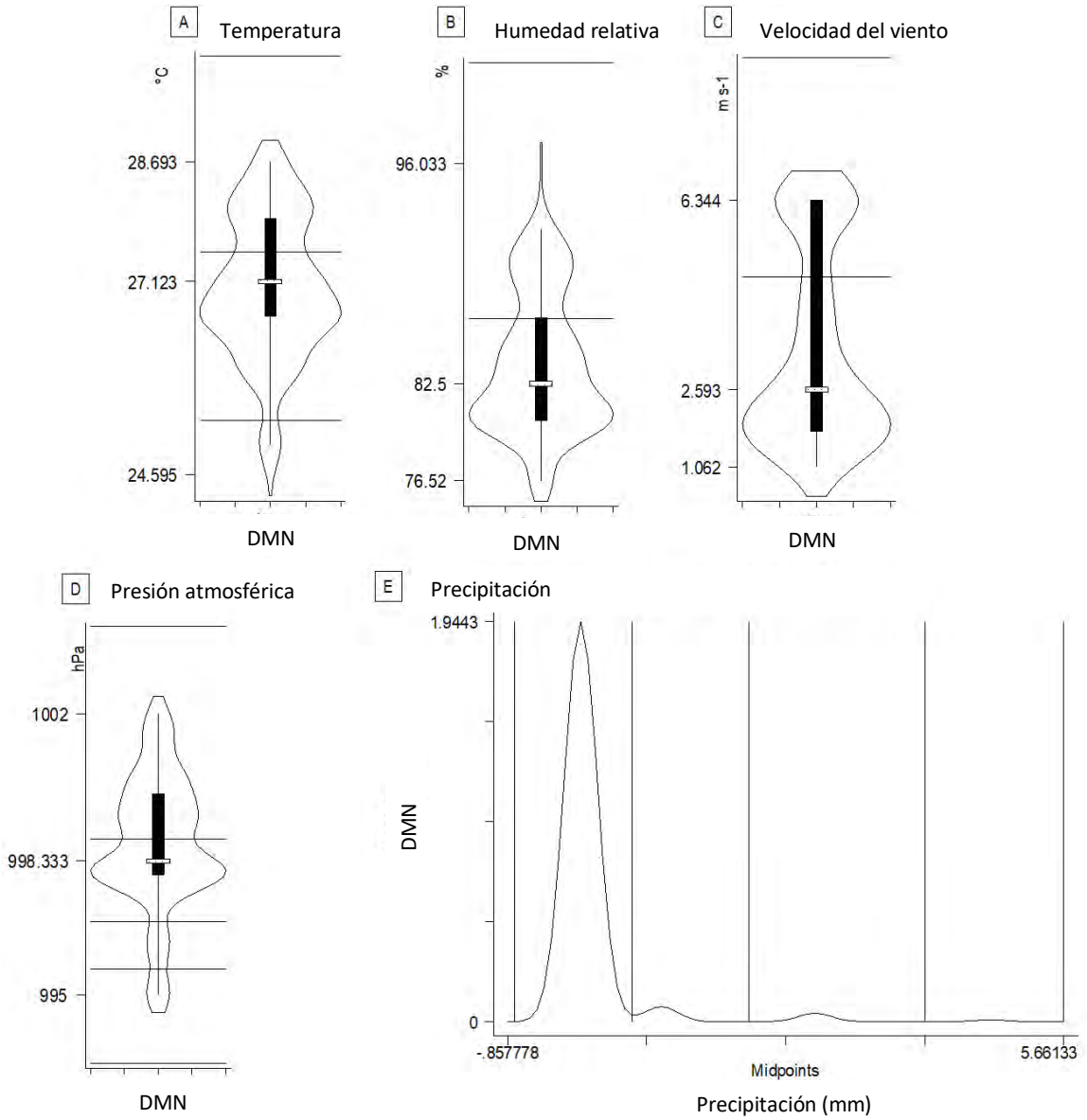


Figura 14G.Variables atmosféricas proporcionadas por la RUOA y la densidad de los muestreos nocturnos (DMN): A) temperatura (°C) durante el muestreo con antimodas marcadas en los puntos 25.31,27.51 y 30.08; B) humedad relativa (% de humedad) durante el muestreo con antimodas marcadas en 86.48 y 102.20; C) velocidad del viento (ms-1) durante el muestreo con antimodas marcadas en 4.83 y 9.16; D) pmu o presión atmosférica (hPa) durante el muestreo con antimodas marcadas en 993.29,995.64,996.82,998.88 y 1004.17, E) Precipitación durante el muestreo (mm) con antimodas marcadas en: -0.77, 0.60, 1.97, 4.03 y 5.66

Tabla 4G. Información complementaria a los diagramas de violín para las variables atmosféricas proporcionadas por la RUOA en relación con la abundancia de *Agalychnis dacnicolor*							
Variable	Límite inferior	Q25:	Q75:	Límite superior	Mínimo	Mediana	Máximo

Tmu (°C)	24.98	26.67	27.95	28.69	24.59	27.12	28.69
Hmu (%)	76.52	80.23	86.55	92.00	76.52	82.50	96.03
Vmu (ms-1)	1.06	1.77	6.34	6.34	1.06	2.59	6.34
Pmu (hPa)	995.00	998.00	1000.00	1002.00	995.00	998.33	1002.00
Pcmu (mm)	-0.77	0.00	0.00	5.66	0.00	0.11	4.80

Para *A. dacnicolor*, los intervalos de las variables atmosféricas en general fueron amplios durante el muestreo, con excepción de la temperatura cuyo intervalo fue más bien reducido (Tabla 4G). La humedad abarcó entre 76.52 % y 96.03% con 19.51 puntos porcentuales de recorrido y mayor concentración de densidad entre el mínimo y 86.48%; la velocidad el viento entre 1.06 ms-1 y 6.34 ms-1 con 5.28 unidades de diferencia y mayor densidad entre el mínimo registrado y 4.83, la presión entre 996.33 y 1002 con una diferencia de 5.67 hPa y una mayor densidad entre 996.82 hPa y 998.88 hPa, finalmente, para la temperatura el intervalo varió de 24.59°C a 28.69°C que representa 4.1°C de diferencia con una mayor concentración de la densidad entre 25.31 y 27.51°C. Para la precipitación se muestrearon varios registros en 0 mm, por lo que un diagrama de violín no brindó la información gráfica necesaria para hacer inferencias, en cambio realizamos un diagrama de densidad por kernel, el cual resulto multimodal y registro una mayor densidad entre el mínimo (0mm) y 2.22mm.

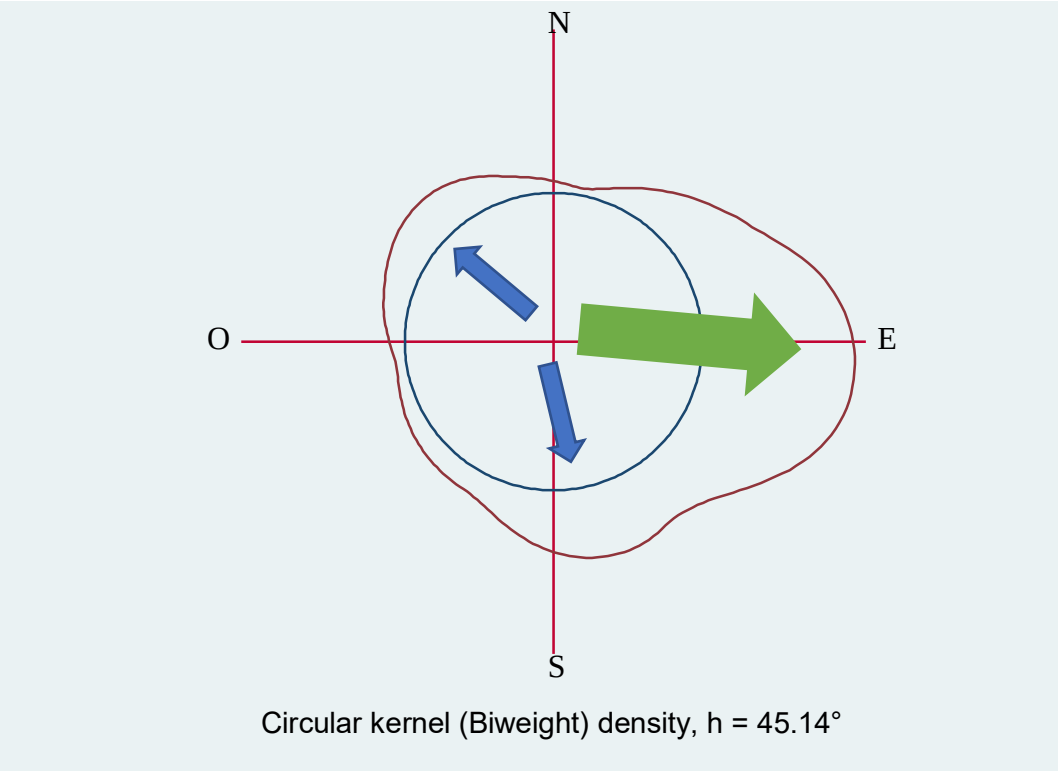


Figura 15G. Tendencia de la dirección del viento durante el muestreo en relación con la abundancia de los individuos de *A. dacnicolor* entre los grados: 10,145.71, 260 y 360, la dirección del viento proviene mayoritariamente desde el este (E).

Para la misma especie (*A. dacnicolor*) la tendencia de la dirección del viento, dada la naturaleza de los datos (consultar sección de *Método* y *Apéndice 1*), se estudió bajo un esquema de kernel circular donde se detectaron 3 modas y donde la mayor abundancia durante el muestreo se registró cuando el viento tenía origen en el este y particularmente en el sureste (Figura 15G).

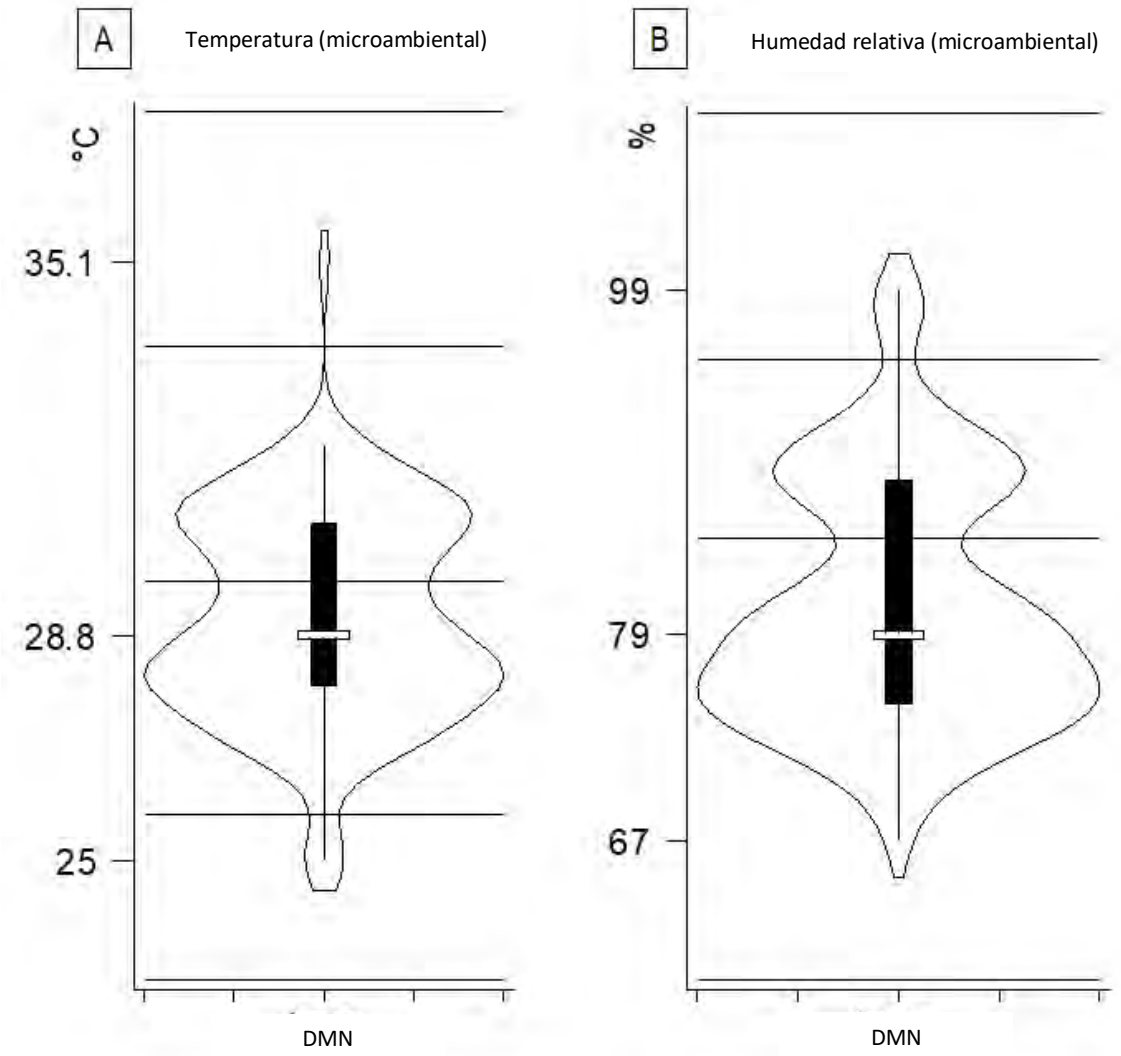


Figura 16G: Diagramas de violín para los individuos de *A. dacnicolor* en relación con la densidad de los muestreos nocturnos (DMN): A) temperatura microambientales (°C) con antimodas marcadas en 22.99, 25.77, 29.72, 33.67 y 37.61; B) humedad relativa microambientales (% de humedad) donde las antimodas fueron marcadas en 58.91,84.57, 95.02 y 109.28.

Tabla 5G. Información complementaria a los diagramas de violín para las variables microambientales en relación con la abundancia de *Agalychnis dacnicolor*.							
Variable	Límite inferior	Q25:	Q75:	Límite superior	Mínimo	Mediana	Máximo
Tmcr (°C)	25.00	27.93	30.68	32.00	25.00	28.80	35.10
Hmcr (%)	67.00	75.00	88.00	99.00	67.00	79.00	99.00

Las variables microclimáticas no fueron en ningún caso unimodales (figura 16G) y los intervalos (tabla 5G) para la temperatura fue entre 35.10°C y 25°C con 10.01°C de diferencia y una densidad mayor entre 25.77 y 29.72°C; la humedad relativa abarcó entre 67% a 99% y un recorrido de 32 puntos porcentuales y una concentración de densidad mayor entre el mínimo valor registrado y 82.57.

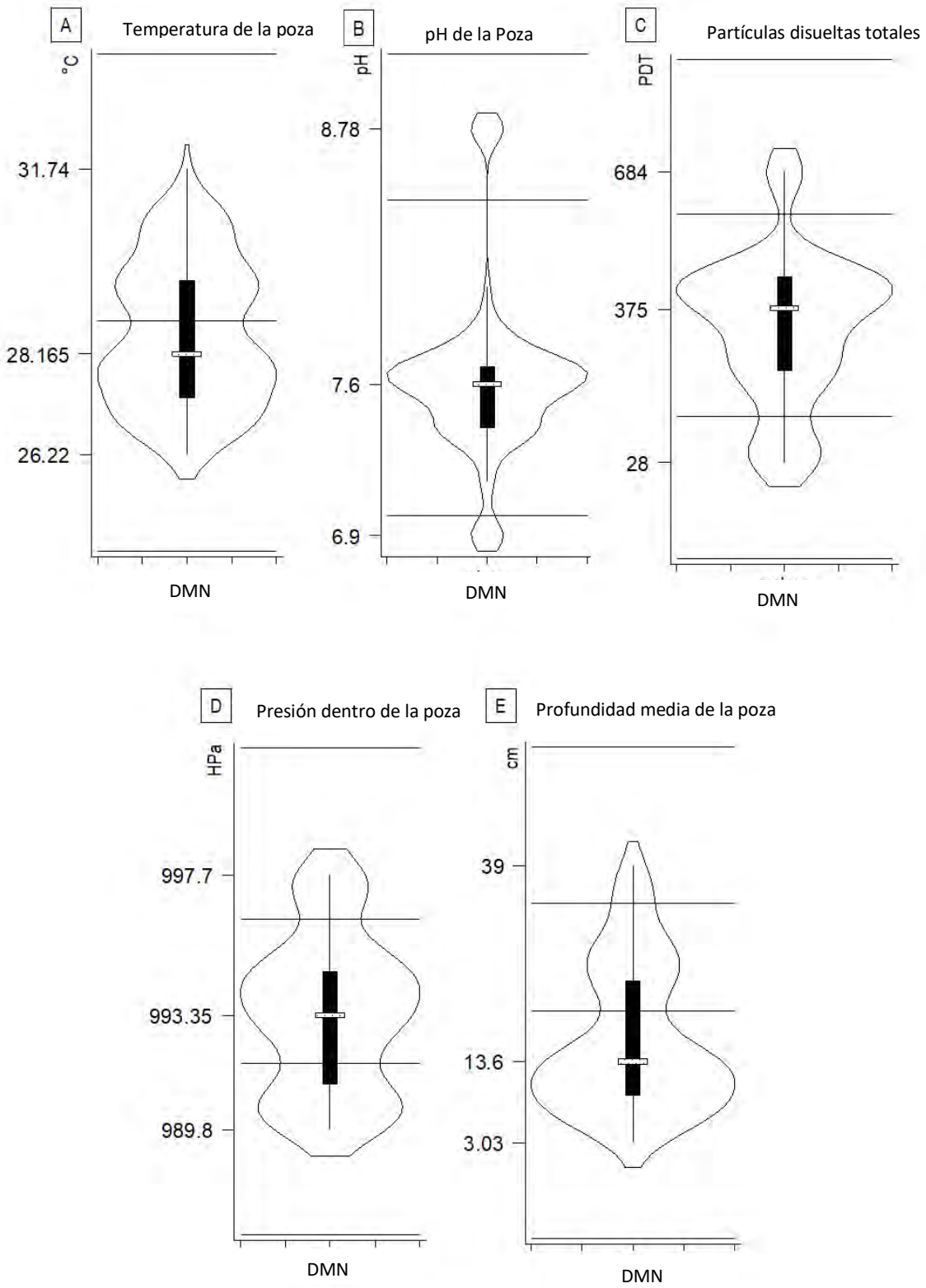

A
Temperatura de la poza
°C
31.74
28.165
26.22
DMN
B
pH de la Poza
pH
8.78
7.6
6.9
DMN
C
Partículas disueltas totales
PDT
684
375
28
DMN
D
Presión dentro de la poza
HPa
997.7
993.35
989.8
DMN
E
Profundidad media de la poza
cm
39
13.6
3.03
DMN

Figura 17G: Diagramas de violín que relaciona la densidad de los muestreos nocturnos (DMN) de *A. dacnicolor* y las variables dentro de la poza: A) temperatura de la poza (°C) con antimodas marcadas para los puntos 24.36, 28.81 y 33.96; B) pH de la poza (pH) con antimodas marcadas para los puntos 6.99, 8.45 y 9.12; C) partículas disueltas totales con antimodas marcadas para los puntos: -187.29,133.78, 588.62 y 936.43; D) presión dentro de la poza con antimodas marcadas en los puntos 986.56, 991.86, 996.34 y 1001.64; E) profundidad media de la poza (cm) con antimodas marcadas en -9.30,20.14, 34.09 y 54.23.

Tabla 6G. Información complementaria a los diagramas de violín para las variables microambientales de las pozas en relación con la abundancia nocturna de *Agalychnis dacnicolor.*

Variable	Límite inferior	Q25:	Q75:	Límite superior	Mínimo	Mediana	Máximo
Tpz (°C)	26.22	27.30	29.59	31.74	26.22	28.17	31.74
Phpz (pH)	7.15	7.40	7.68	8.05	6.90	7.60	8.78
Pdpz (PTD)	28.00	236.00	447.00	684.00	28.00	375.00	684.00
Ppz (hPa)	989.80	991.20	994.70	997.70	989.80	993.35	997.70
Phz (cm)	3.03	9.21	24.00	39.00	3.03	13.60	39.00

Finalmente, las variables microclimáticas de las pozas donde fueron hallados y contabilizados estos individuos fueron de intervalos amplios y en todos los casos multimodales. (Tabla 7G) Para la temperatura el recorrido fue de 5.52°C entre 26.22 y 31.74°C con una concentración de la densidad entre 24.36 y 28.81; para el pH de la poza, éste abarco entre 6.90-8.78, manteniéndose entre neutro y básico con 1.18 puntos de diferencia y con una mayor concentración de densidad en el intervalo 6.9 y 8.45; en el caso de las partículas disueltas, el intervalo abarcó entre 28 y 684 unidades, es decir, existe una diferencia de 656 unidades entre los extremos del intervalo y una concentración de la densidad mayor entre 133.78 y 588.6; respecto a la presión de la poza, ésta mantuvo un intervalo entre 997.70 y 989.80 (con una diferencia de 7.9hPa) y concentración de la densidad mayor entre 991.86 y 996.34; finalmente la profundidad de la poza abarco entre 3.03 y 39 centímetros en promedio de la poza con una densidad de densidad entre la mínima y 20.14.

2.3.2 Diaglena spatulata

Respecto a *D. spatulata* se registraron 17 individuos, 8 de ellos dentro de las pozas y 9 en otro tipo de sustrato. La distribución de la densidad de los conteos nocturnos se puede observar a nivel variables atmosféricas (Figura 18G), la dirección preferencial (Figura 19G), microclimáticas (Figura 20G) y microclimáticas dentro de las pozas (Figura 21G)

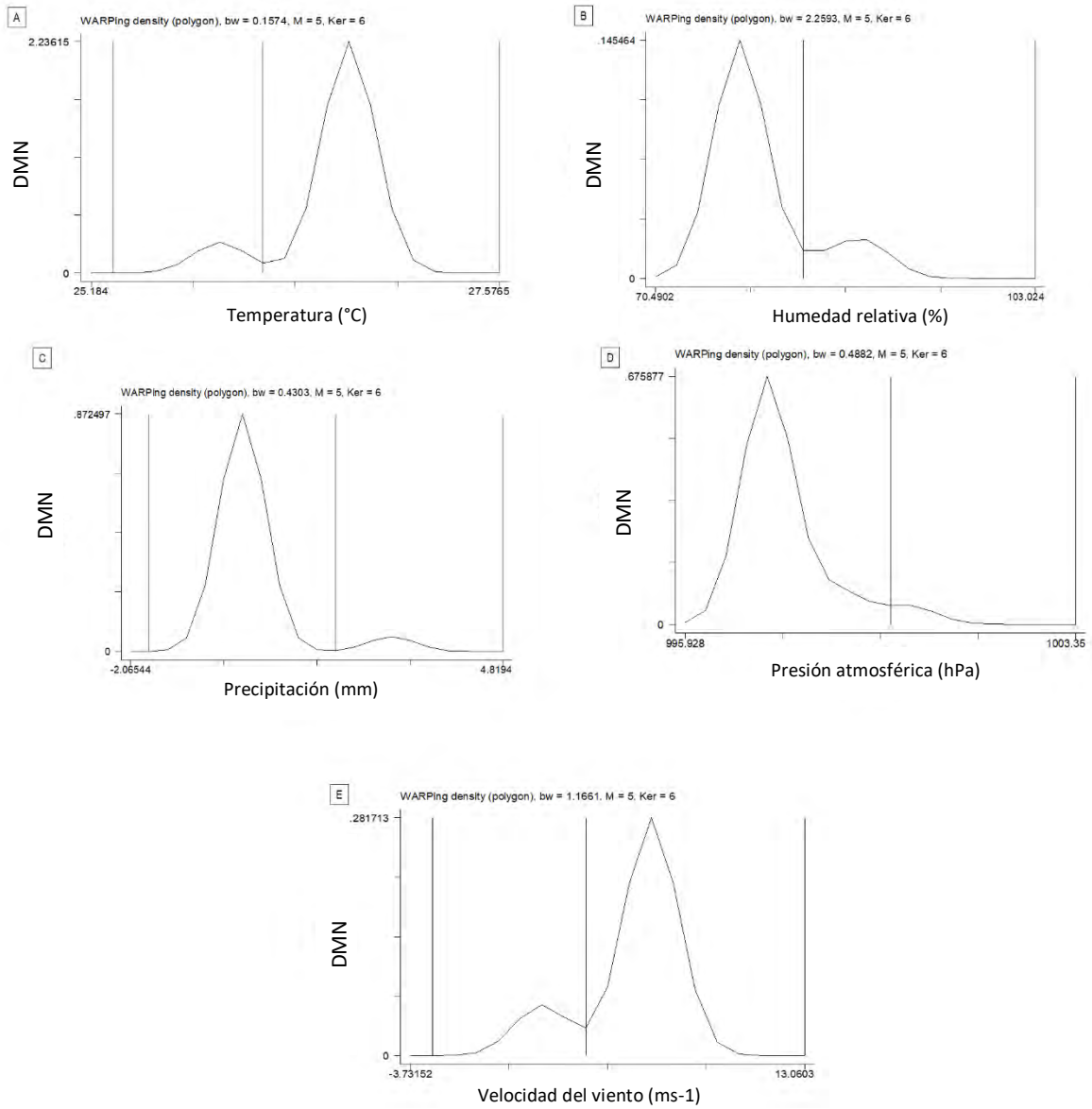


Figura 18G. Diagramas de violín que relaciona la densidad de los muestreos nocturnos (DMN) de *D. spatulata* y las variables atmosféricas proporcionadas por la RUOA: **A) temperatura** (°C) durante el muestreo con antimodas marcadas en los puntos 25.31, 26.19 y 27.58; **B) humedad relativa** (% de humedad) durante el muestreo con antimodas marcadas en 83.14 y 103.02; **C) Precipitación** durante el muestreo (mm) con antimodas marcadas en -1.72, 1.72 y 4.82; **D)presión atmosférica** (hPa) durante el muestreo con antimodas marcadas en 999.83 y 1003.35**; E) velocidad del viento** (ms-1) durante el muestreo con antimodas marcadas en -2.80, 3.73 y 13.06.

Tabla 7G. Información complementaria a los diagramas de densidad para las variables atmosféricas de las pozas en relación con la abundancia nocturna de *D. spatulata*.							
Variable	Límite inferior	Q25:	Q75:	Límite superior	Mínimo	Mediana	Máximo
Tmu (°C)	26.67	26.67	26.67	26.67	25.89	26.59	26.67

Hmu (%)	80.23	80.23	80.23	80.23	80.23	81.75	90.48
Vmu (ms-1)	6.34	6.34	6.34	6.34	1.54	5.54	6.34
Pmu (hPa)	998.00	998.00	998.00	998.00	998.00	998.31	1000.67
Pcmu (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	2.73

Respecto a las variables atmosféricas para *D. spatulata,* aunque presentaron 17 individuos muestreados durante todo el periodo de estudio, 8 individuos distribuidos en apenas 5 pozas; el diagrama de violín no brindó información gráfica relevante, por esta razón se optó por un esquema de densidad por kernel. En ningún caso la distribución de las variables atmosféricas fue unimodal. Respecto a sus intervalos, estos fueron más bien breves (Tabla 7G)

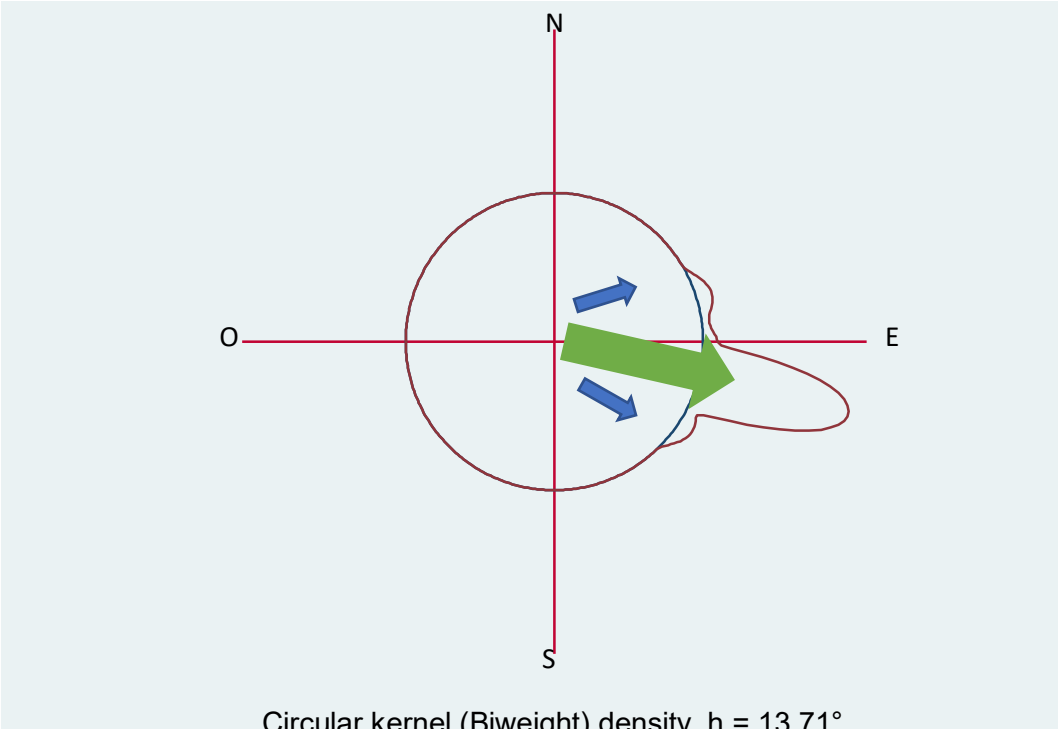


Figura 19G. Tendencia de la dirección del viento durante el muestreo en relación con la abundancia nocturna de los individuos de *D. spatulata* entre 58.16, 82.23, 117.33, 360. El viento proviene mayoritariamente del este-sureste (E-SE).

Respecto a la dirección del viento, ésta tiene una dirección bien definida hacia el sureste.

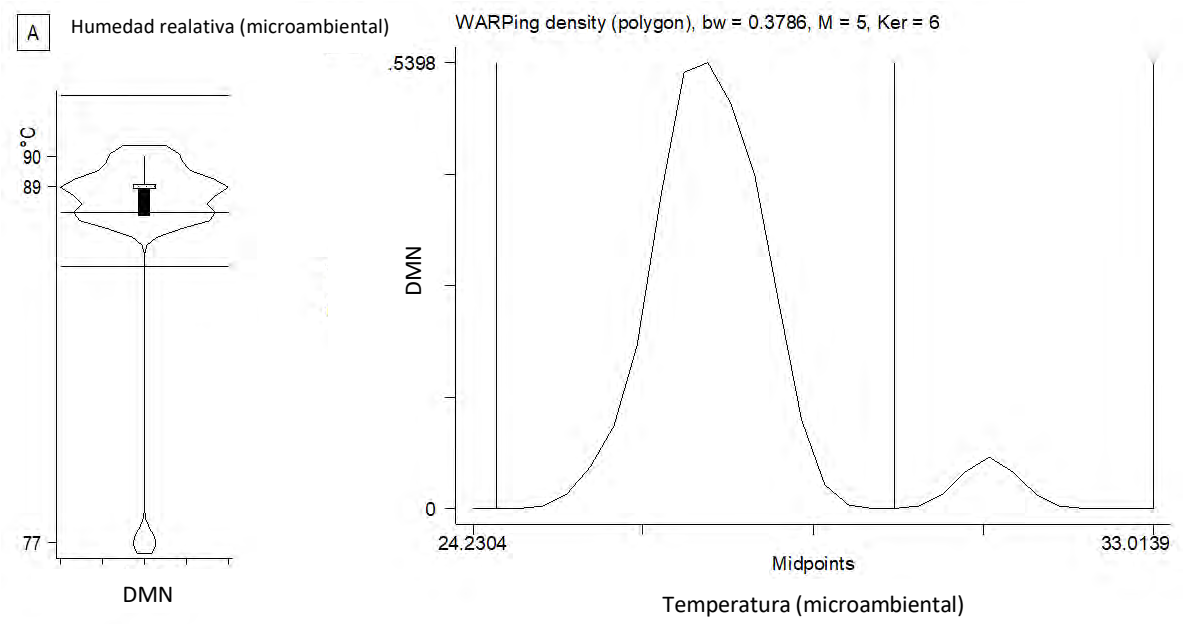


Figura 20G. Diagramas de violín que relaciona la densidad de los muestreos nocturnos (DMN) de *D. spatulata* y las variables microclimáticas: A) humedad relativa microambiental (% de humedad) donde las antimodas fueron marcadas en 86.32, 88.14, 92.08; B) temperatura microambiental (°C) con antimodas marcadas en 24.53, 29.68 y 33.01.

Tabla 8G. Información complementaria al diagrama de violín para la humedad relativa microambientales respecto a la abundancia nocturna de *D. spatulata*							
Variable	Límite inferior	Q25:	Q75:	Límite superior	Mínimo	Mediana	Máximo
Tmcr(°C)	26.00	27.00	28.00	28.30	26.00	27.30	31.00
Hmcr (%)	88.00	88.00	89.00	90.00	77.00	89.00	90.00

Las condiciones o variables microclimáticas fueron observadas siempre como multimodales; la temperatura tuvo un recorrido de 5 °C, mientras que la humedad tuvo un intervalo amplio de 13 puntos porcentuales (Tabla 8G).

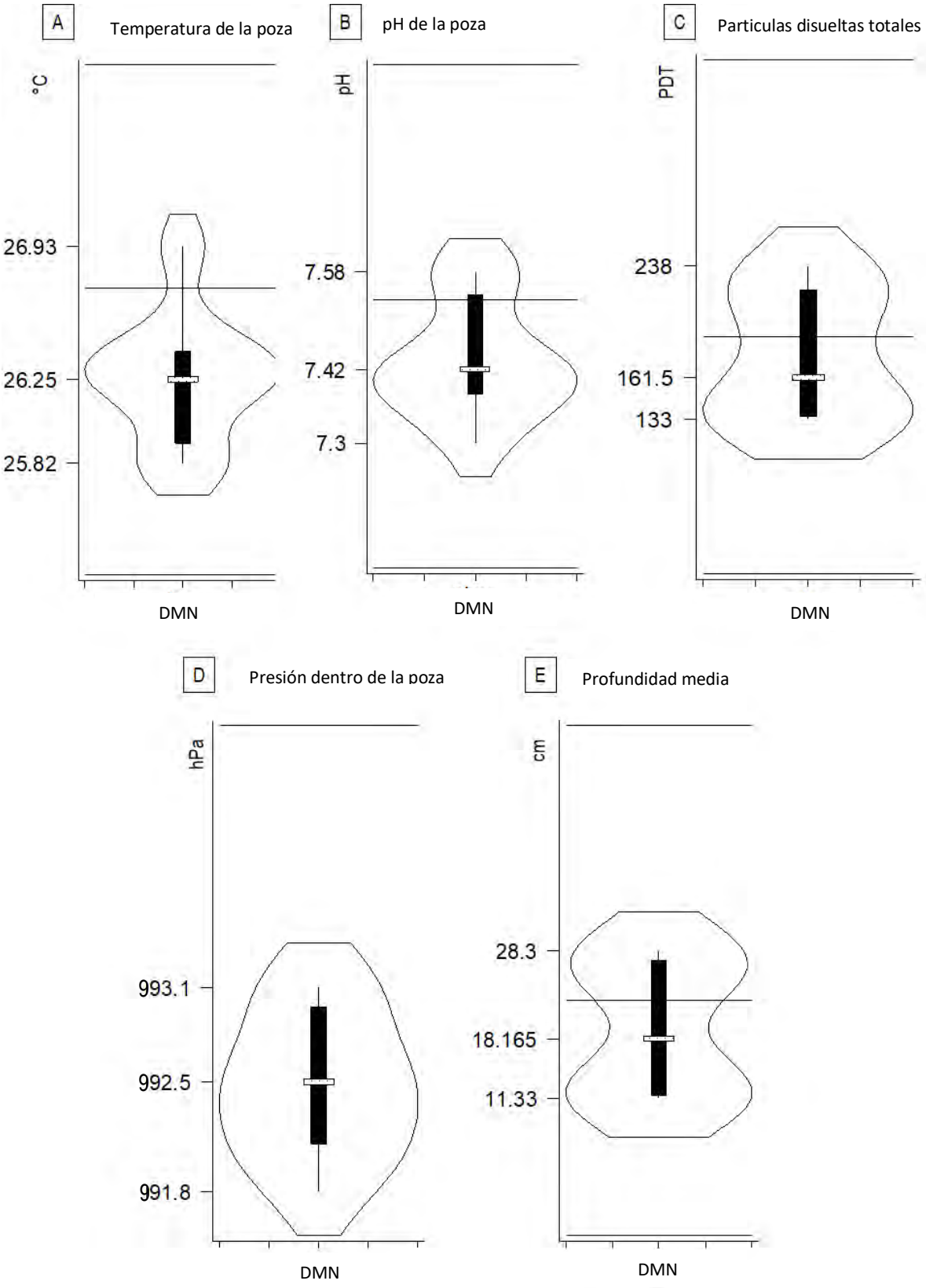

A
Temperatura de la poza
°C
26.93
26.25
25.82
DMN
B
pH de la poza
pH
7.58
7.42
7.3
DMN
C
Particulas disueltas totales
PDT
238
161.5
133
DMN
D
Presión dentro de la poza
hPa
993.1
992.5
991.8
DMN
E
Profundidad media
cm
28.3
18.165
11.33
DMN

Figura 21G. Diagramas de violín que relaciona la densidad de los muestreos nocturnos (DMN) de *D.spatulata* las variables variables microclimáticas de las pozas donde algunos individuos de *D. spatulata* fueron encontrados: **A) temperatura** de la poza (°C) con antimodas marcadas para los puntos 25.25, 26.72 y 27.86; **B) pH** de la poza (pH) con antimodas marcadas -- para los puntos 7.10, 7.54 y 7.92; **C) partículas disueltas** totales con antimodas marcadas para los puntos: 27.09, 189.66 y 379.33; **D) presión** dentro de la poza con antimodas marcadas en 994.76; **E) profundidad media** de la poza (cm) con antimodas marcadas en -4.52, 22.62 y 54.29.

Tabla 9G. Información complementaria a los diagramas de violín para las variables microambientales de las pozas en relación con la abundancia nocturna de *D. spatulata.*

Variable	Límite inferior	Q25:	Q75:	Límite superior	Mínimo	Mediana	Máximo
Tpz(°C)	25.82	25.92	26.39	26.93	25.82	26.25	26.93
Phpz (pH)	7.30	7.38	7.54	7.58	7.30	7.42	7.58
Pdpz (PDT)	133.00	134.50	222.00	238.00	133.00	161.50	238.00
Ppz (hPa)	991.80	992.10	992.97	993.10	991.80	992.50	993.10
Hpz (cm)	11.33	11.66	27.25	28.30	11.33	18.17	28.30

Las variables microclimáticas de las pozas donde fueron hallados y contabilizados estos individuos fueron de intervalos angostos y en todos los casos multimodales (Tabla 9G). Para la temperatura el recorrido fue de 1.11°C entre 25.82 y 26.93°C; para el pH de la poza, éste abarco entre 7.58 y 7.30, manteniéndose en un pH muy cercano al neutro (7) 0.12 puntos de diferencia; en el caso de las partículas disueltas, el intervalo abarcó entre 238 y 133 unidades, (diferencia de 105 unidades); respecto a la presión de la poza, ésta mantuvo un intervalo entre 993.10 y 991.80 (con una diferencia de 1.3 hPa; finalmente la profundidad de la poza abarco entre 11.33 y 28.30 centímetros en promedio de la poza.

2.3.3 Smilisca baudinii

De los 159 registros para *S. baudinii,* 100 fueron registradas dentro de cuerpos de agua y 59 fuera de ellos. La distribución de la densidad de los conteos nocturnos se puede observar a nivel variables atmosféricas (Figura 22G), la dirección preferencial (Figura 23G), microclimáticas (Figura 24G) y microclimáticas dentro de las pozas (Figura 25G)

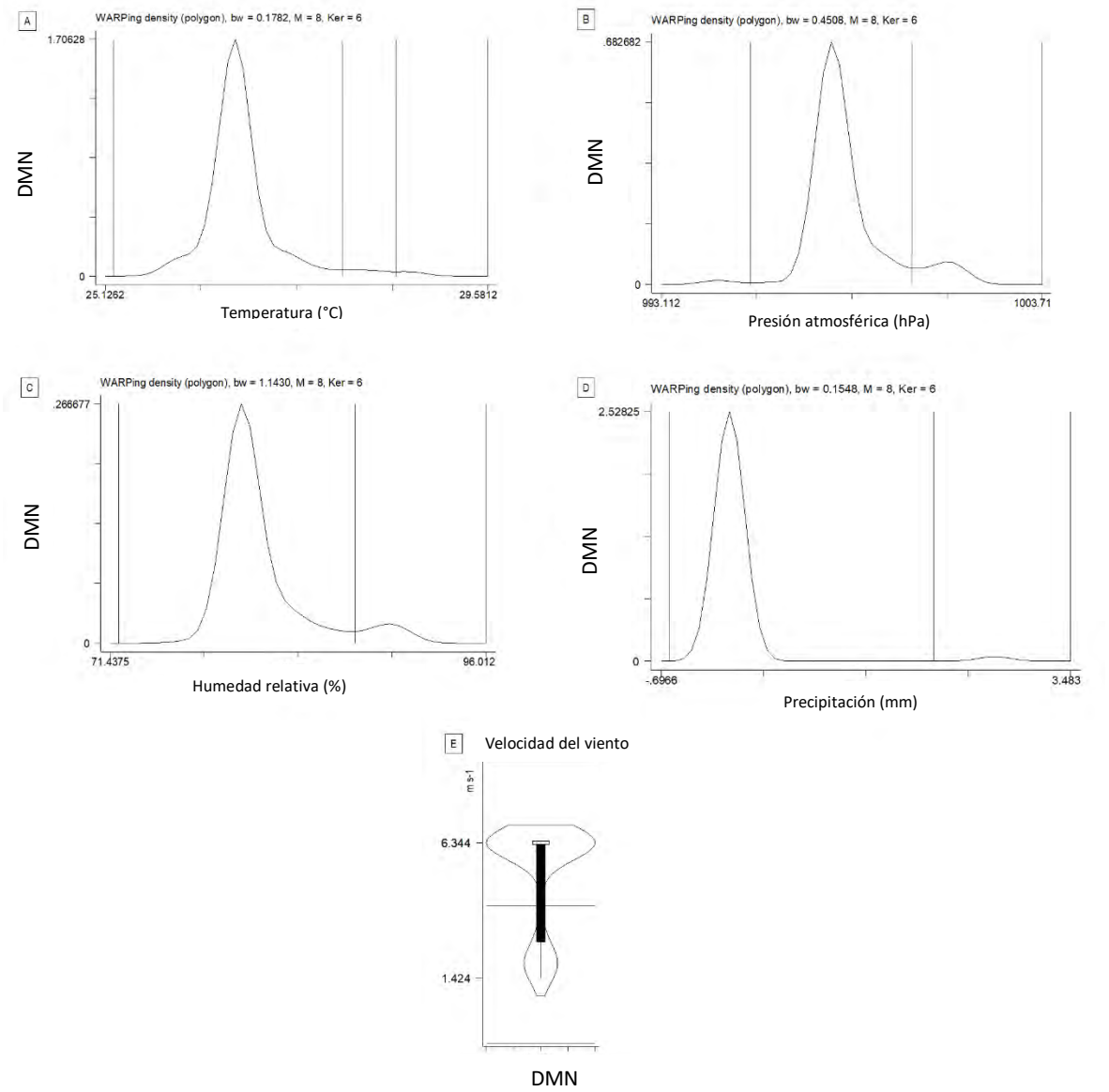


Figura 22G. Diagramas de violín que relaciona la densidad de los muestreos nocturnos (DMN) de *S. baudinii* y las variables atmosféricas proporcionadas por la RUOA: **A) temperatura** (°C) durante el muestreo con antimodas marcadas en los puntos 25.22,27.89,28.51 y 29.58**; B) Presión atmosférica** (hPa) durante el muestreo con antimodas marcadas en 995.59, 1000.10 y 1003.71; **C) humedad relativa** (% de humedad) durante el muestreo con antimodas marcadas en 72.01, 87.44 y 96.01 **D) Precipitación** durante el muestreo (mm) con antimodas marcadas en -0.62, 2.09 y 3.48**; E) velocidad del viento** (ms-1) durante el muestreo con antimodas marcadas en -0.94, 4.06 y 9.37.

Tabla 10G. Información complementaria al diagrama de violín para la velocidad respecto a la abundancia nocturna de *S. baudinii*.							
Variable	Límite inferior	Q25:	Q75:	Límite superior	Mínimo	Mediana	Máximo
Tmu (°C)	26.67	26.67	26.67	26.67	25.89	26.67	28.69

Hmu (%)	79.63	80.28	80.87	81.40	76.52	80.24	90.48
Vmu (ms-1)	1.42	2.74	6.35	6.34	1.42	6.34	6.34
Pmu (hPa)	998.00	998.00	998.16	998.33	995.00	998.00	1001.50
Pcmu (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	2.73

Para *Smilisca baudinii,* al igual que para las variables atmosféricas de *D. spatulata*¸ no son susceptibles para graficar como diagramas de violín, con una única excepción con la velocidad del viento. Cabe mencionar que ninguna distribución fue unimodal, pero sí se concentran algunos datos de manera preferencial entre determinados intervalos; para la temperatura entre 25.22°C y 27.89°C, para la humedad entre 72.01% y 87.44%, para la precipitación entre 0 y 2.09mm Y finalmente para la presión entre 1000.10 y 1003. 71 (Tabla 10G).

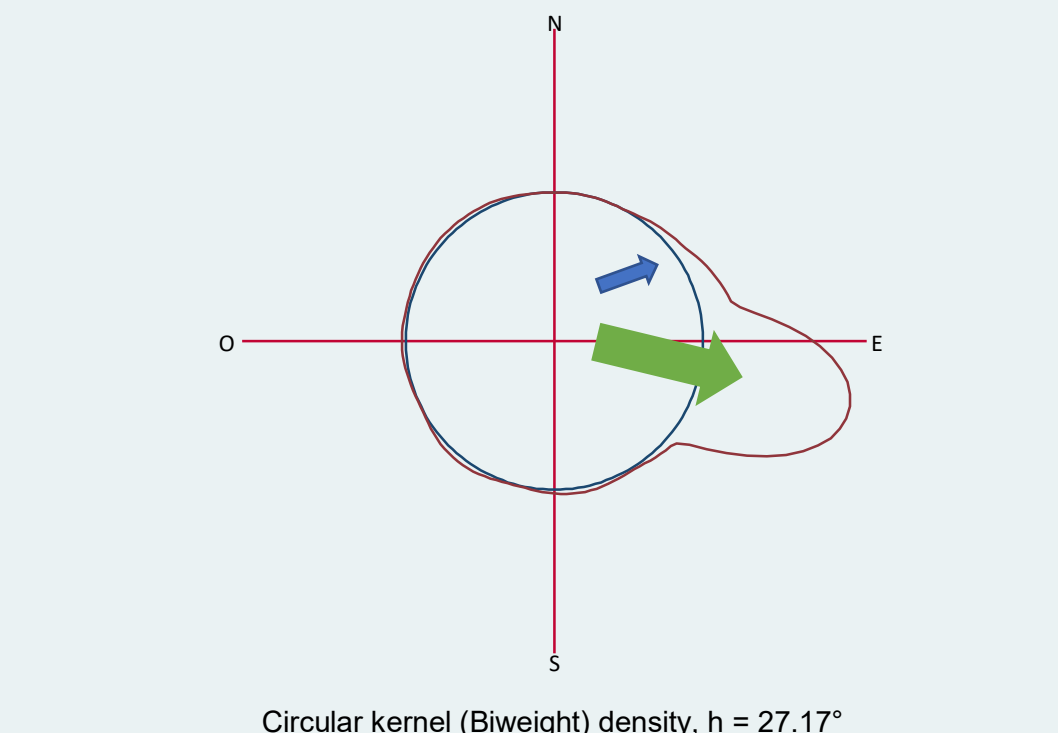


Figura 23G. Tendencia de la dirección del viento durante el muestreo en relación con la abundancia nocturna de los individuos de *S. baudinii* entre los grados 25.06, 150.38, 193.67,246.07, 287.9 y 360. El viento mayoritariamente proviene del este-sureste (E-SE).

Para la misma especie, *S. baudinii*, se puede observar una tendencia bastante conspicua desde el este, más detalladamente, desde el sureste; Aparentemente esta tendencia podría determinar una sola moda, sin embargo, fueron encontradas hasta 5 modas.

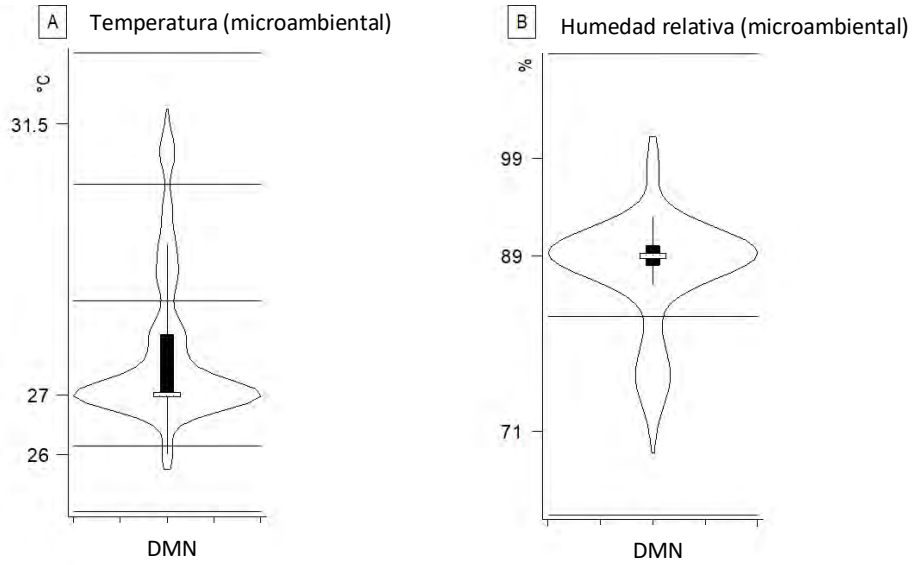


Figura 24G. Diagramas de violín que relaciona la densidad de los muestreos nocturnos (DMN) de *S. baudinii* y las variables microclimáticas: A) temperatura microambiental (°C) con antimodas marcadas en25.06,26.15,28.57,30.50 y 32.68; B) humedad relativa microambiental (% de humedad) donde las antimodas fueron marcadas en 62.39, 82.83 y 109.72.

Tabla 11G. Información complementaria a los diagramas de violín para las variables microambientales en relación con la abundancia nocturna de *S. baudinii.*

Variable	Límite inferior	Q25:	Q75:	Límite superior	Mínimo	Mediana	Máximo
Tmcr (°C)	26.00	27.00	28.00	29.50	26.00	27.00	31.50
Hmcr (%)	86.00	88.00	90.00	93.00	71.00	89.00	99.00

Las variables microclimáticas tuvieron intervalos amplios para la temperatura fue entre 31.5°C y 26°C con 5.5°C de diferencia y para la humedad entre 99% a 71% con una diferencia de 28 puntos porcentuales (Tabla 11G).

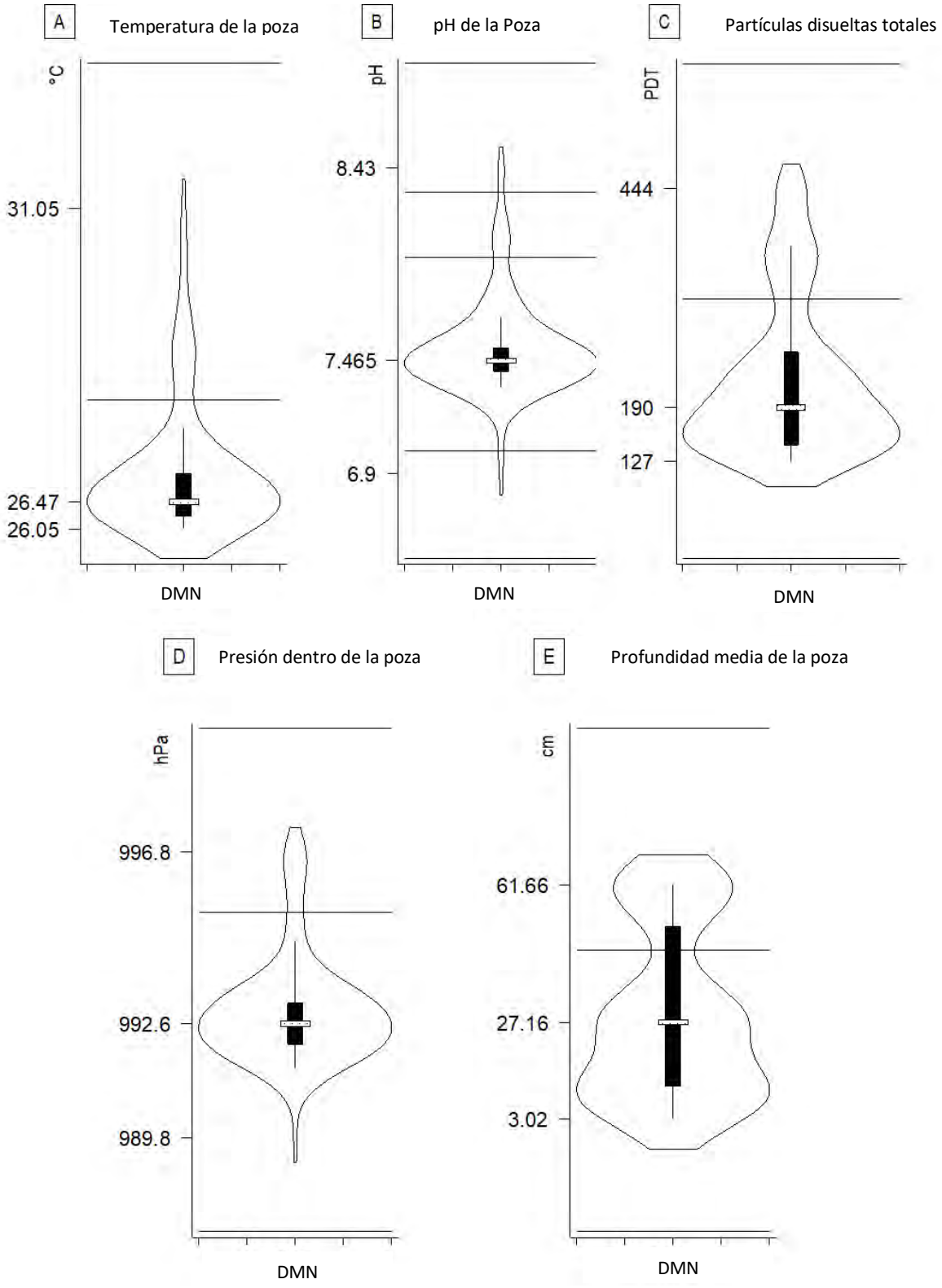

A
Temperatura de la poza
°C
31.05
26.47
26.05
DMN
B
pH de la Poza
pH
8.43
7.465
6.9
DMN
C
Partículas disueltas totales
PDT
444
190
127
DMN
D
Presión dentro de la poza
hPa
996.8
992.6
989.8
DMN
E
Profundidad media de la poza
cm
61.66
27.16
3.02
DMN

Figura 25G. Diagramas de violín que relaciona la densidad de los muestreos nocturnos (DMN) de *S. baudinii* y las variables microclimáticas de las pozas: A) Tpz o temperatura de la poza (°C) con antimodas marcadas para los puntos 28.07 y 33.32; B) phpz o pH de la poza (pH) con antimodas marcadas para los puntos 6.47, 7.01, 7.98, 8.31 y 8.96; C)pdpz o partículas disueltas totales con antimodas marcadas para los puntos:14.34, 315.53 y 588.04; D) ppz o presión dentro de la poza con antimodas marcadas en 987.50, 995.32 y 999.83; E) hpz o profundidad media de la poza (cm) con antimodas marcadas en -25.19, 45.34, 100.76.

Tabla 12G. Información complementaria a los diagramas de violín para las variables microambientales de las pozas en relación con la abundancia nocturna de *S. baudinii.*

Variable	Límite inferior	Q25:	Q75:	Límite superior	Mínimo	Mediana	Máximo
Tpz (°C)	26.05	26.25	26.91	27.63	26.05	26.47	31.05
Phpz (pH)	7.33	7.41	7.53	7.68	6.90	7.46	8.43
Pdpz (PDT)	127.00	146.00	254.00	376.00	127.00	190.00	444.00
Ppz (hPa)	991.50	992.10	993.10	994.60	989.80	992.60	996.80
Hpz (cm)	3.02	11.33	51.33	61.66	3.02	27.16	61.66

Las variables microclimáticas de las pozas donde fueron hallados y contabilizados individuos de esta especie, fueron de intervalos amplios en la mayoría de las variables y en todos los casos multimodales (Tabla 12G). Para la temperatura el recorrido fue de 5°C entre 26.05 y 31.05°C; para el pH de la poza, éste abarco entre 8.43 y 6.90, cercano al pH neutro pero tocando, por definición, tanto el pH ácido como el básico (mayoritariamente) con 1.53 puntos de diferencia; en el caso de las partículas disueltas, el intervalo abarcó entre 444 y 127 unidades, es decir, existe una diferencia de 317 unidades entre los extremos del intervalo; respecto a la presión de la poza, ésta mantuvo un intervalo entre 996.80 y 989.80 (con una diferencia de 7 hPa); finalmente la profundidad de la poza abarco entre 61.66 y 27.16 cm siendo la especie cuyas pozas donde fue muestreada resultaron particularmente profundas.

2.3.4 Smilisca fodiens

Los registros para *S. fodiens* fueron 38, de los cuales 24 se encontraban en pozas y 14 fuera de ellas. La distribución de la densidad de los conteos nocturnos se puede observar a nivel variables atmosféricas (Figura 26G), la dirección preferencial (Figura 27G), microclimáticas (Figura 28G) y microclimáticas dentro de las pozas (Figura 29G).

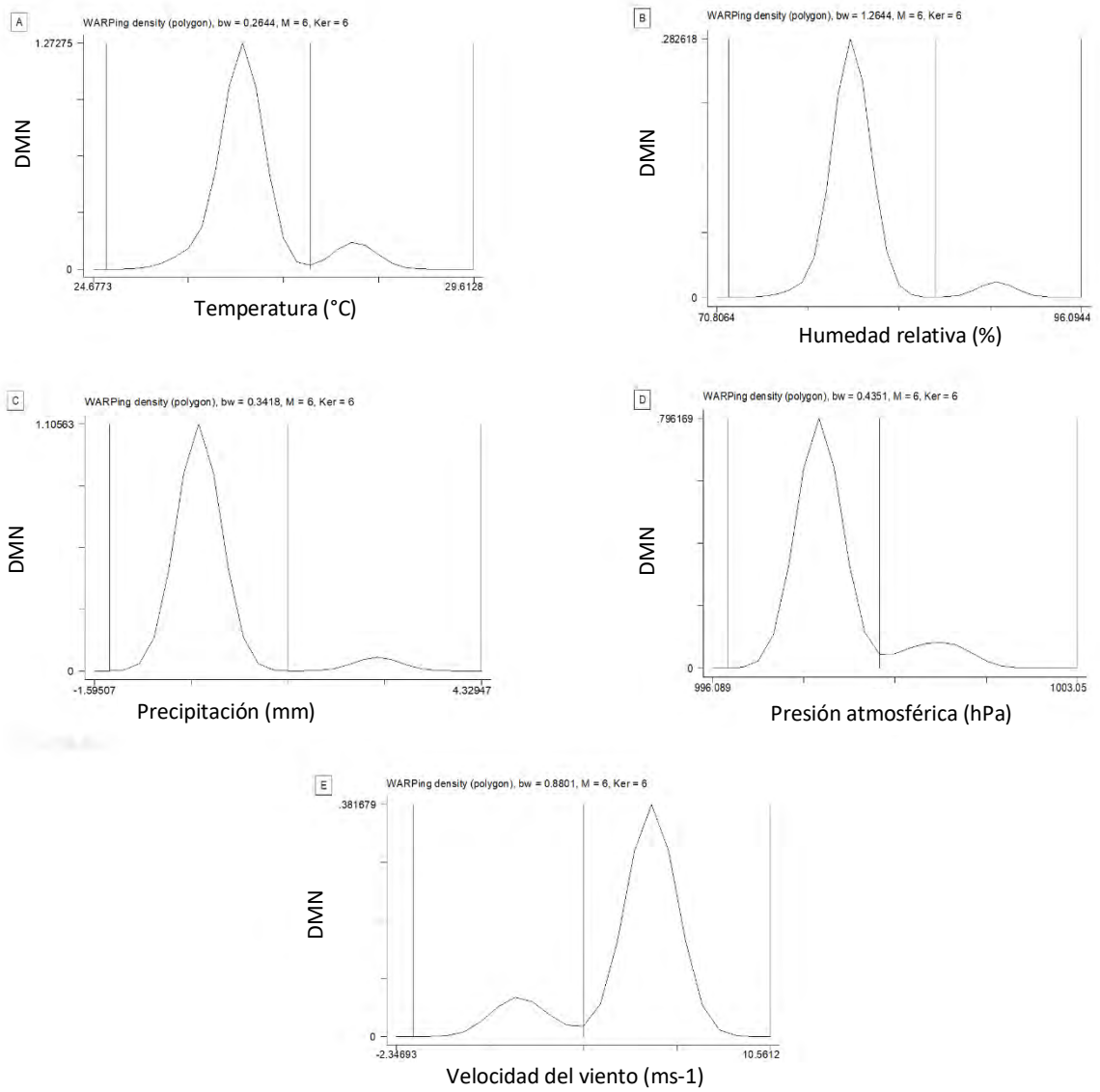


Figura 26G. Diagramas de violín que relaciona la densidad de los muestreos nocturnos (DMN) de *Smilisca fodiens* y las variables atmosféricas proporcionadas por la RUOA: A) temperatura (°C) durante el muestreo con antimodas marcadas en los puntos 24.85, 27.49 y 29.61; B) humedad relativa (% de humedad) durante el muestreo con antimodas marcadas en 71.64, 85.97 y 96.09; C) Precipitación durante el muestreo (mm) con antimodas marcadas en -1.60, 1.37 y 4.32 ; D) Presión atmosférica (hPa)durante el muestreo con antimodas marcadas en 996.38, 999.28 y 1003.05; E) velocidad del viento (ms-1) durante el muestreo con antimodas marcadas en -1.76, 4.1 y 10.56.

Tabla 13G. Información complementaria a los diagramas de violín para las variables atmosféricas en relación con la abundancia nocturna de *S. fodiens.*							
Variable	Límite inferior	Q25:	Q75:	Límite superior	Mínimo	Mediana	Máximo

Tmu (°C)	26.67	26.67	26.67	26.67	25.89	26.67	28.25
Hmu (%)	80.24	80.24	80.24	80.24	76.52	80.24	89.88
Vmu (ms-1)	6.34	6.34	6.34	6.34	1.77	6.34	6.34
Pmu (hPa)	998.00	998.00	998.00	998.00	998.00	998.30	1000.67
Pcmu (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	2.73

Al igual que para *D. spatulata,* los diagramas de violín no hubiesen mostrado la información que se aprecia en la figura 26G. En ningún caso se observaron distribuciones unimodales; se observaron concentraciones de densidad en cierto intervalos o modas: en el caso de la temperatura entre 24.85 y 27.49, para la humedad entre 71.64 y 85.97, para la precipitación entre 0 y 1.37 y finalmente para la velocidad del viento entre 4.1 y 10.56 (Tabla 13G).

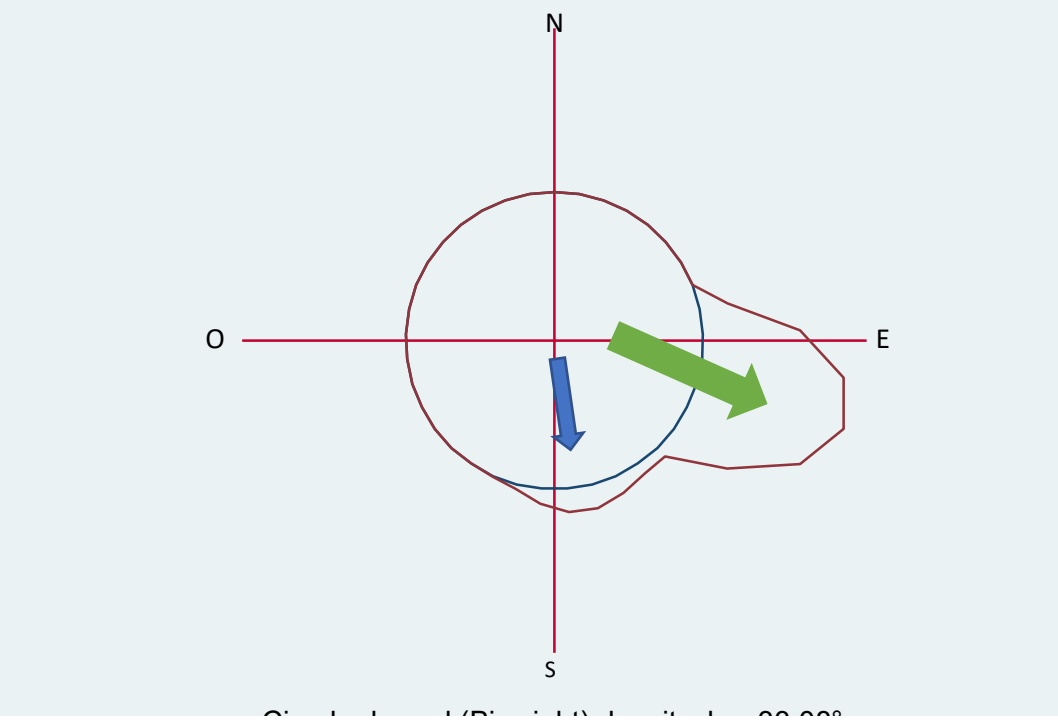


Figura 27G. Tendencia de la dirección del viento durante el muestreo en relación con la abundancia nocturna de los individuos de *S. fodiens* en 68.11, 136.22 y 360, mayoritariamente desde el este-sudeste (E-SE).

Para *S. fodiens* la dirección del viento en la figura 27G tiene un par de sesgos visibles hacia el suroeste

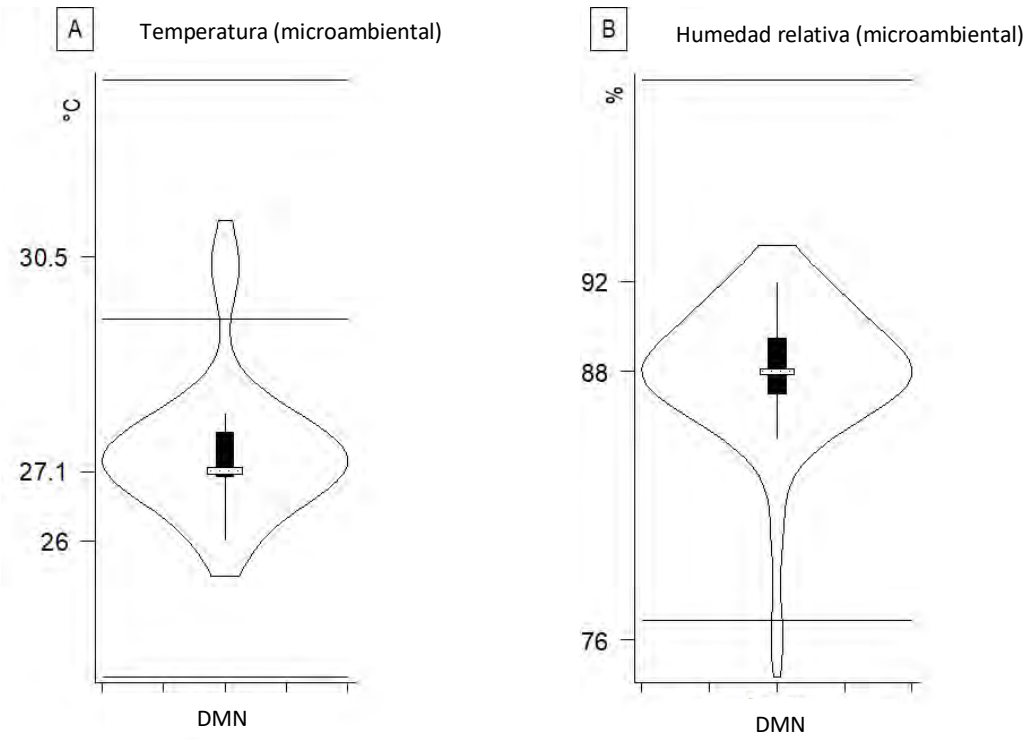
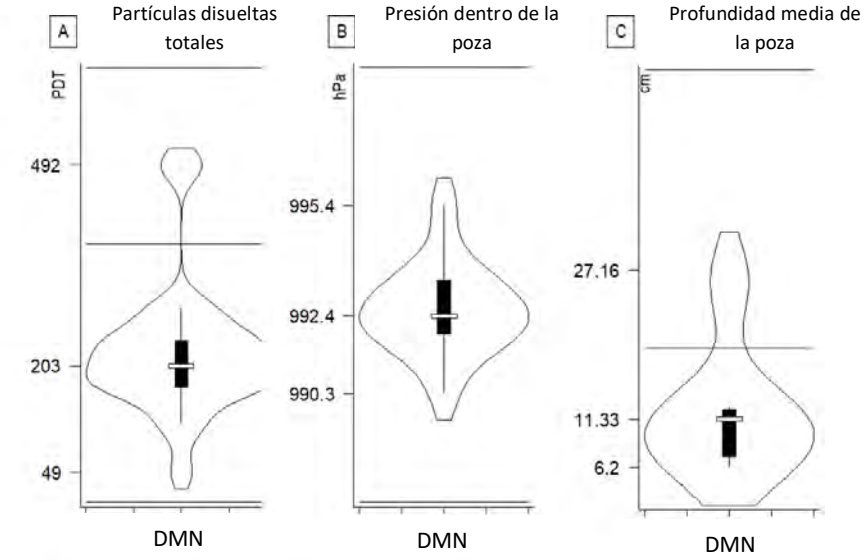


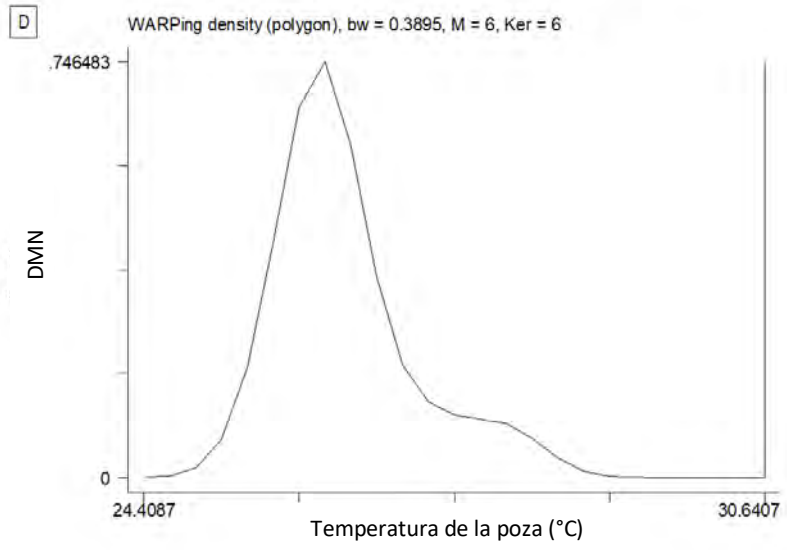
Figura 28G. Diagramas de violín que relaciona la densidad de los muestreos nocturnos (DMN) de *Smilisca fodiens* y las variables microclimáticas: A) temperatura microambiental (°C) con antimodas marcadas en23.84, 29.5204 y 33.31; B) humedad relativa microambiental (% de humedad) donde las antimodas fueron marcadas en 76.87 y 101.04.

Tabla 14G. Información complementaria a los diagramas de violín para las variables microambientales en relación con la abundancia nocturna de *S. fodiens*.

Variable	Límite inferior	Q25:	Q75:	Límite superior	Mínimo	Mediana	Máximo
Tmcr (°C)	26.00	27.00	27.73	28.00	26.00	27.10	30.50
Hmcr (%)	85.00	87.00	89.50	92.00	76.00	88.00	92.00

Respecto a las variables microclimáticas fuera de las pozas, los intervalos no fueron amplios, pero sí es evidente que los datos se concentran en intervalos específicos de manera mayoritaria entre 23. 84 y 29.52°C para la temperatura y entre 76.87 y 101.04 de manera unimodal (Tabla 14G).


A
Partículas disueltas totales
PDT
492
203
49
DMN
B
Presión dentro de la poza
hPa
995.4
992.4
990.3
DMN
C
Profundidad media de la poza
cm
27.16
11.33
6.2
DMN


D
WARPing density (polygon), bw = 0.3895, M = 6, Ker = 6
.746483
DMN
0
24.4087
30.6407
Temperatura de la poza (°C)

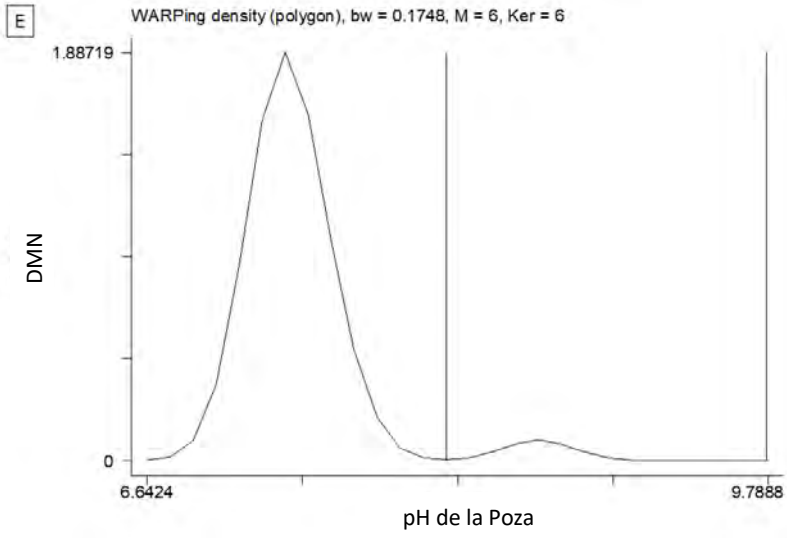

E
WARPing density (polygon), bw = 0.1748, M = 6, Ker = 6
1.88719
DMN
0
6.6424
9.7888
pH de la Poza

Figura 29G. Diagramas de violín que relaciona la densidad de los muestreos nocturnos (DMN) de *Smilisca fodiens* y las variables microclimáticas de las pozas: A) partículas disueltas totales con antimodas marcadas para los puntos: 6.13, 378.77 y 631.29; B) presión dentro de la poza con antimodas marcadas en 987.35 y 999.13; C) profundidad media de la poza (cm) con antimodas marcadas en 18.86 y 48.50; D) temperatura de la poza (°C) con una sola antimodas marcada para el punto 30.64; E) pH de la poza con antimodas marcadas para los puntos 8.16 y 9.78.

Tabla 15G. Información complementaria a los diagramas de violín para las variables microambientales de las pozas en relación con la abundancia nocturna de *S. fodiens.*

Variable	Límite inferior	Q25:	Q75:	Límite superior	Mínimo	Mediana	Máximo
Tpz (°C)	26.19	26.46	26.71	26.78	26.05	26.45	28.41
Phpz (pH)	7.36	7.43	7.50	7.50	7.36	7.44	8.78
Pdpz (PDT)	120.00	172.00	239.00	286.00	49.00	203.00	492.00
Ppz (hPa)	990.30	991.90	993.38	995.40	990.30	992.40	995.40
Hpz (cm)	6.20	7.33	12.33	12.66	6.20	11.33	27.16

Finalmente, las variables microclimáticas dentro de las pozas fueron divididas en aquellas que sí pudieron ser estudiadas con diagramas de violines: partículas disueltas totales, presión y profundidad de la poza, con intervalos entre 492 y 49 unidades, 995.40 y 990.30 hPa y 27.16 y 6.20 cm de recorrido, respectivamente. Las variables restantes como temperatura y pH de las pozas, al igual que las variables atmosféricas de *D. spatulata,* fueron analizadas a través de diagramas de densidad por kernel. En el caso de la temperatura es unimodal y el pH entre 6.68 y 8.15 puntos (Tabla 15G).

2.3.5 Tlalocohyla smithii

Los registros correspondientes a esta especie corresponden a 2 dentro de una sola poza y 4 fuera de ella, en total 6 registros. La distribución de la densidad de los conteos nocturnos se puede observar a nivel variables atmosféricas (Figura 30G), la dirección preferencial (Figura 31G) y microclimáticas (Figura 32G).

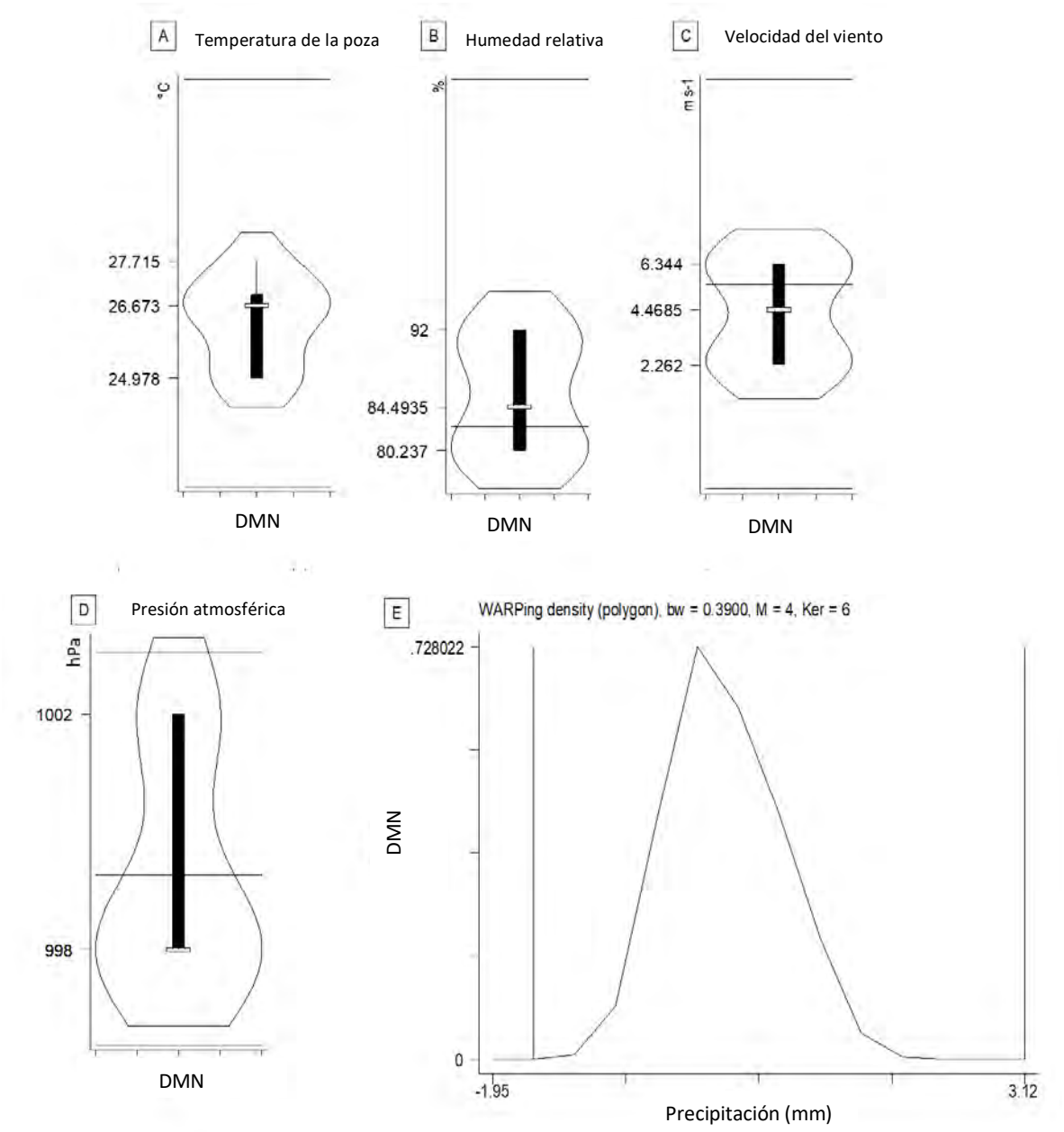


Figura 30G. Diagramas de violín que relaciona la densidad de los muestreos nocturnos (DMN) de *Tlalocohyla smithii* y variables atmosféricas proporcionadas por la RUOA: A)temperatura (°C) durante el muestreo con antimodas marcadas en los puntos: 22.44 y 31.96; B) humedad relativa (% de humedad) durante el muestreo con antimodas marcadas en 82.58 y 116.37; C) velocidad del viento (ms-1) durante el muestreo con antimodas marcadas en -2.7484, 5.49 y 13.74; D) Presión atmosférica (hPa) durante el muestreo con antimodas marcadas en 996.379, 999.28 y 1003.05; E)Precipitación durante el muestreo (mm) con antimodas marcadas en -1.3672, 1.3672 y 4.32.

Tabla 16G. Información complementaria al diagrama de violín para los diagramas de violín correspondientes a las variables proporcionadas por la RUOA respecto a la abundancia nocturna de *T. smithii.*							
Variable	Límite inferior	Q25:	Q75:	Límite superior	Mínimo	Mediana	Máximo
Tmu (°C)	24.98	24.98	26.93	27.72	24.98	26.67	27.72
Hmu (%)	80.24	80.24	92.00	92.00	80.28	84.49	92.00
Vmu (ms-1)	2.26	2.26	6.34	6.34	2.26	4.47	6.34
Pmu (hPa)	998.00	998.00	1002.00	1002.00	998.00	998.00	1002.00
Pcmu (mm)	0.00	0.00	0.95	0.95	0.00	0.32	0.95

Para *Tlalocohyla smithii*, el muestreo abarcó apenas 6 individuos durante todo el muestreo. Las variables atmosféricas de temperatura, humedad, velocidad del viento y presión atmosférica, se graficaron como diagramas de violín, mientras que para la precipitación se realizó un diagrama de densidad por kernel. Ninguna variable fue unimodal. Los intervalos de las variables atmosféricas fueron en general angostos, con la única excepción de la humedad. La temperatura abarco de 37.72 a 24.98°C con 2.74°C de recorrido, la humedad abarcó entre 92% y 80.28% con 11.72 puntos porcentuales de recorrido, la velocidad el viento entre 6.34 y 2.26 ms-1 con 4.08 unidades de diferencia, la presión entre 998 y 1002 con una diferencia de 4 hPa. En el caso de la precipitación durante el muestreo, esta pareciera ser unimodal entre 0 y 1.37, sin embargo, existe otra moda entre 1.37 y 4.32 mm (Tabla 16G)

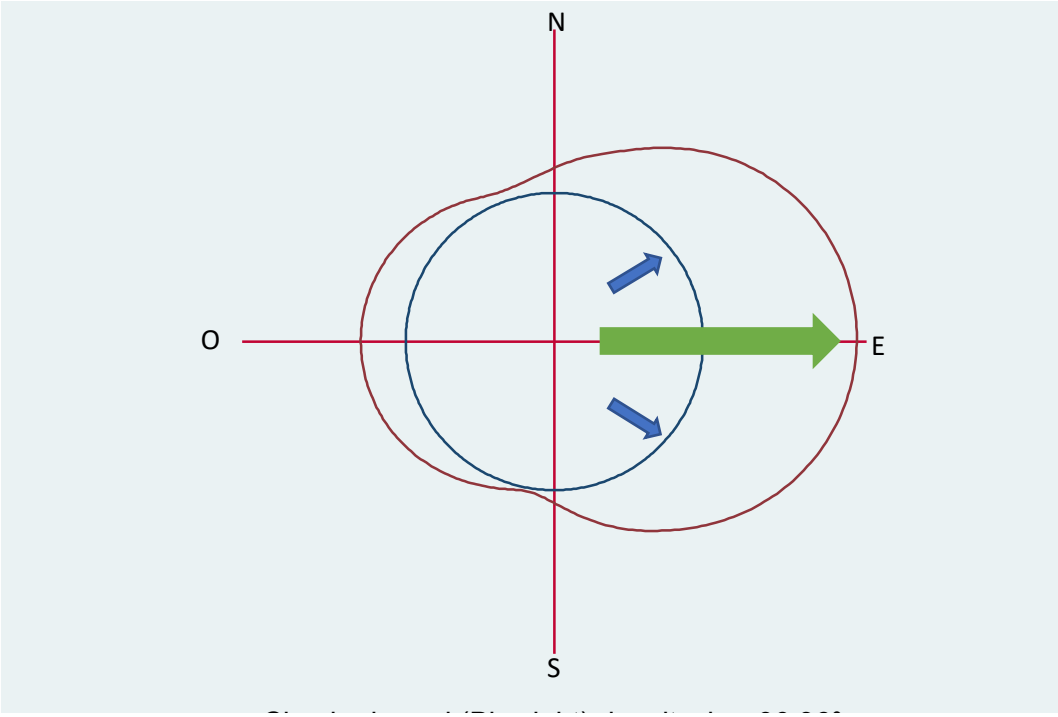


Figura 31G. Tendencia de la dirección del viento durante el muestreo en relación con la abundancia nocturna de los individuos de *T. smithii en* 191.53 y 340.95 grados, el viento proviene desde el este (E).

Para la misma especie, *T. smithii*, la dirección del viento parece abarcar mayoritariamente el este, entre noreste y sudeste.

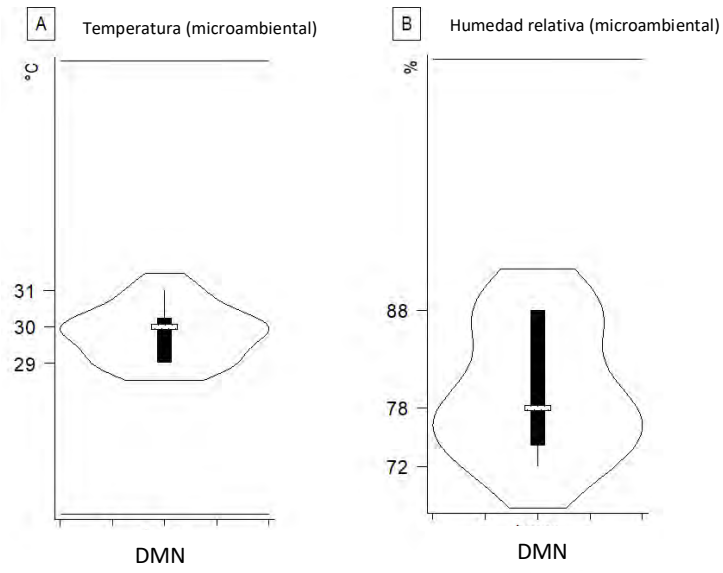


Figura 32G. Diagramas de violín que relaciona la densidad de los muestreos nocturnos (DMN) de *Tlalocohyla smithii* y variables microclimáticas: A) tmcr o temperatura microambiental (°C) con antimodas marcadas en24.86 y 37.29; B) hmcr o humedad relativa microambiental (% de humedad) donde la única antimoda fue marcada en 113.67.

Tabla 17G. Información complementaria a los diagramas de violín para las variables microambientales en relación con la abundancia nocturna de *T. smithii.*							
Variable	Límite inferior	Q25:	Q75:	Límite superior	Mínimo	Mediana	Máximo
Tmcr (°C)	29.00	29.00	30.25	31.00	29.00	30.00	31.00
Hmcr (%)	72.00	74.25	88.00	88.00	72.00	78.00	88.00

La temperatura, como variable microclimáticas, se trata de una distribución bimodal con un intervalo entre 29 y 31°C; para la humedad relativa microclimáticas el recorrido se encuentra entre 72 y 88 puntos porcentuales (Tabla 17G).

Las variables microclimáticas dentro de las pozas no fueron posibles de graficar como diagrama de violín ni de densidad ya que los datos del muestreo resultaron insuficientes: de un total de 6 registros durante todo el periodo de muestreo, solo se muestrearon dos individuos dentro de una poza lo que anula la posibilidad de gráfica, de calcular la media, el máximo, el mínimo, entre otros, pues solo se refiere a un dato, cuando al menos se deberían de considerar dos; sin embargo, los promedios de estas variables en estos dos únicos registros dentro de la misma poza, son los mostrados en la tabla 18G:

Tabla 18G. Información sobre las variables de las pozas muestreadas donde individuos de *T. smithii* fueron muestreados.		
	Abreviatura	Promedio
Temperatura (°C)	Tpz	28.20
pH de la poza	Phpz	7.24
Partículas disueltas totales (PDT)	Pdpz	475.00
Presión (hPa)	Ppz	998.80
Profundidad promedio(cm)	Hpz	4.20

2.3.6 Trachycephalus vermiculatus

Para *T. vermiculatus* se registraron 41 registros en total, de los cuales 10 pertenecen a registros de individuos que se encontraron dentro de cuerpos de agua, mientras que 31 se encontraban fuera de ellos. La distribución de la densidad de los conteos nocturnos se puede observar a nivel variables atmosféricas (Figura 33G), la dirección preferencial (Figura 34G), microclimáticas (Figura 35G) y microclimáticas dentro de las pozas (Figura 36G)

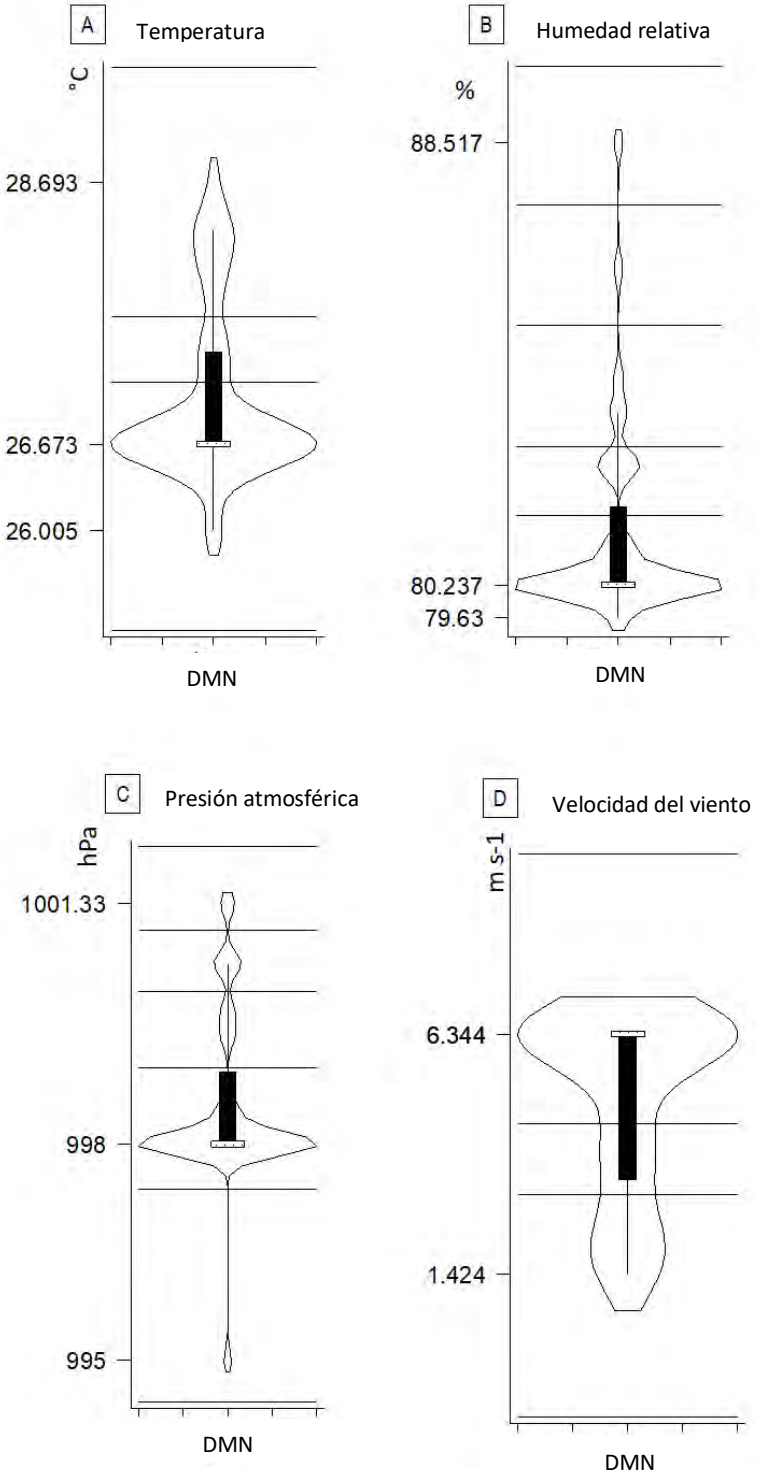
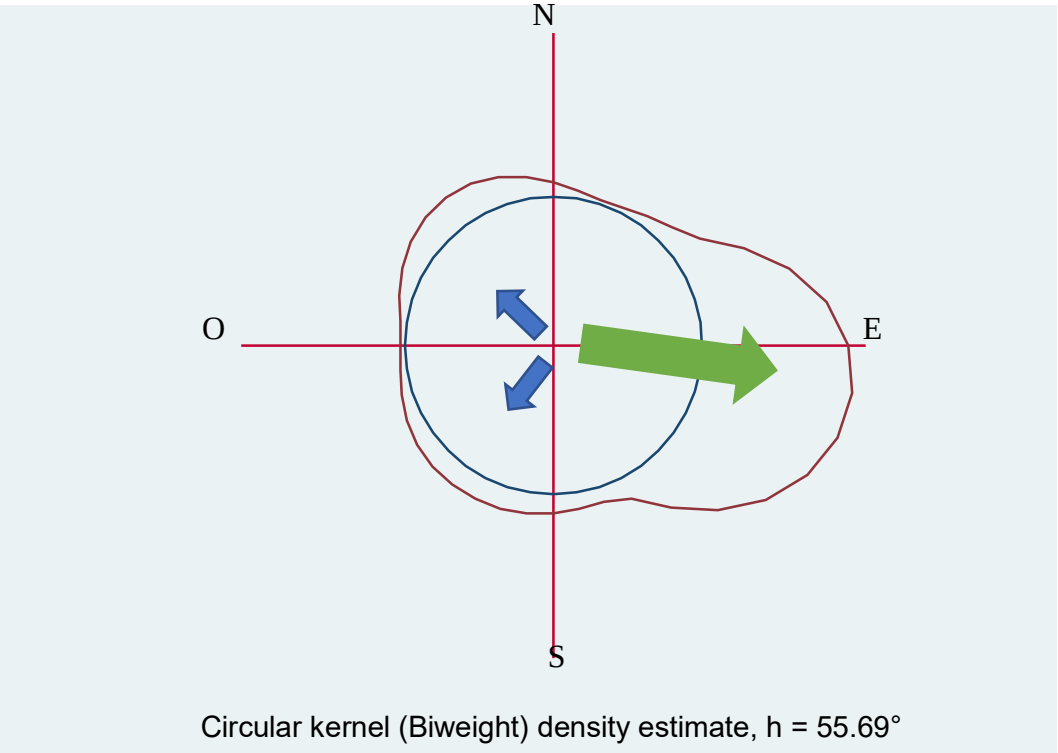


Figura 33G. Diagramas de violín que relaciona la densidad de los muestreos nocturnos (DMN) de *Trachycephalus vermiculatus* y variables atmosféricas proporcionadas por la RUOA: A) temperatura (°C) durante el muestreo con antimodas marcadas en los puntos25.2291, 27.15, 27.66 y 29.58; B) humedad relativa (% de humedad) durante el muestreo con antimodas marcadas en 81.54, 82.83, 85.09, 87.35 y 89.93; C) Presión atmosférica (hPa) durante el muestreo con antimodas marcadas en 994.41, 997.37, 999.06, 1000.12, 1000.97, 1002.13; D) velocidad del viento durante el muestreo con antimodas marcadas en: -1.50, 3.06, 4.51 y 10.01.

Tabla 19G. Información complementaria al diagrama de violín para los diagramas de violín correspondientes a las variables proporcionadas por la RUOA respecto a la abundancia nocturna de *T. vermiculatus*.

Variable	Límite inferior	Q25:	Q75:	Límite superior	Mínimo	Mediana	Máximo
Tmu (°C)	26.00	26.67	27.38	28.33	26.00	26.67	28.69
Hmu (%)	79.63	80.24	81.71	83.47	79.62	80.24	88.52
Vmu (ms-1)	1.42	3.36	6.34	6.34	1.42	6.34	6.34
Pmu (hPa)	998.00	998.00	999.00	1000.50	995.00	998.00	1001.33

Las variables atmosféricas proporcionadas por la RUOA de precipitación durante el muestreo (mm) no arrojo ningún grafico pues la variable siempre se mantuvo en 0 mm, por esa razón no se muestra ningún diagrama relacionado a esta variable. En general, las variables restantes fueron multimodales y de recorrido francamente amplios en el caso de la velocidad del viento, la presión y la humedad. Para ellas, los recorridos abarcan de 88.52 a 79.62% para la humedad, entre 6.34 y 1.42 para la velocidad del viento y 1001.33 y 998 para la presión atmosférica (Tabla 19G).



Fig[illegible] los individuos de *T. vermiculatus* con antimodas en 18, 162, 270 y 360 grados, la dirección del viento proviene principalmente desde el este-sureste (E-SE).

Para la misma especie, *T. vermiculatus*, la tendencia de la dirección del viento sigue abarcando el este, pero a diferencia de las demás especies, esta también presentó individuos muestreados en otro tipo de condiciones del viento.

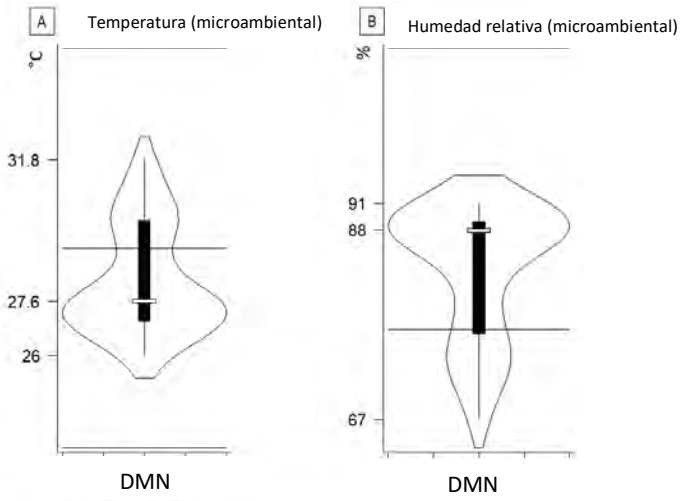


Figura 35G. Diagramas de violín que relaciona la densidad de los muestreos nocturnos (DMN) de *Trachycephalus vermiculatus* y variables microclimáticas: A) tmcr o temperatura microambiental (°C) con antimodas marcadas en23.25, 29.18 y 35.11; B) hmcr o humedad relativa microambiental (% de humedad) donde las antimodas fueron marcadas en 76.96 y108.16

Tabla 20G. Información complementaria a los diagramas de violín para las variables microambientales en relación con la abundancia nocturna de *T. vermiculatus.*

Variable	Límite inferior	Q25:	Q75:	Límite superior	Mínimo	Mediana	Máximo
Tmcr (°C)	26.00	27.00	30.00	31.80	26.00	27.60	31.80
Hmcr (%)	67.00	76.50	89.00	91.00	67.00	88.00	91.00

Las variables microclimáticas donde fueron hallados y contabilizados individuos de esta especie fueron bimodales. La temperatura tuvo un intervalo de entre 31.80 a 26 °C (5.8°C de diferencia), mientras que la humedad tuvo un recorrido de entre 91% y 67% (24 puntos porcentuales) (Tabla 20G).

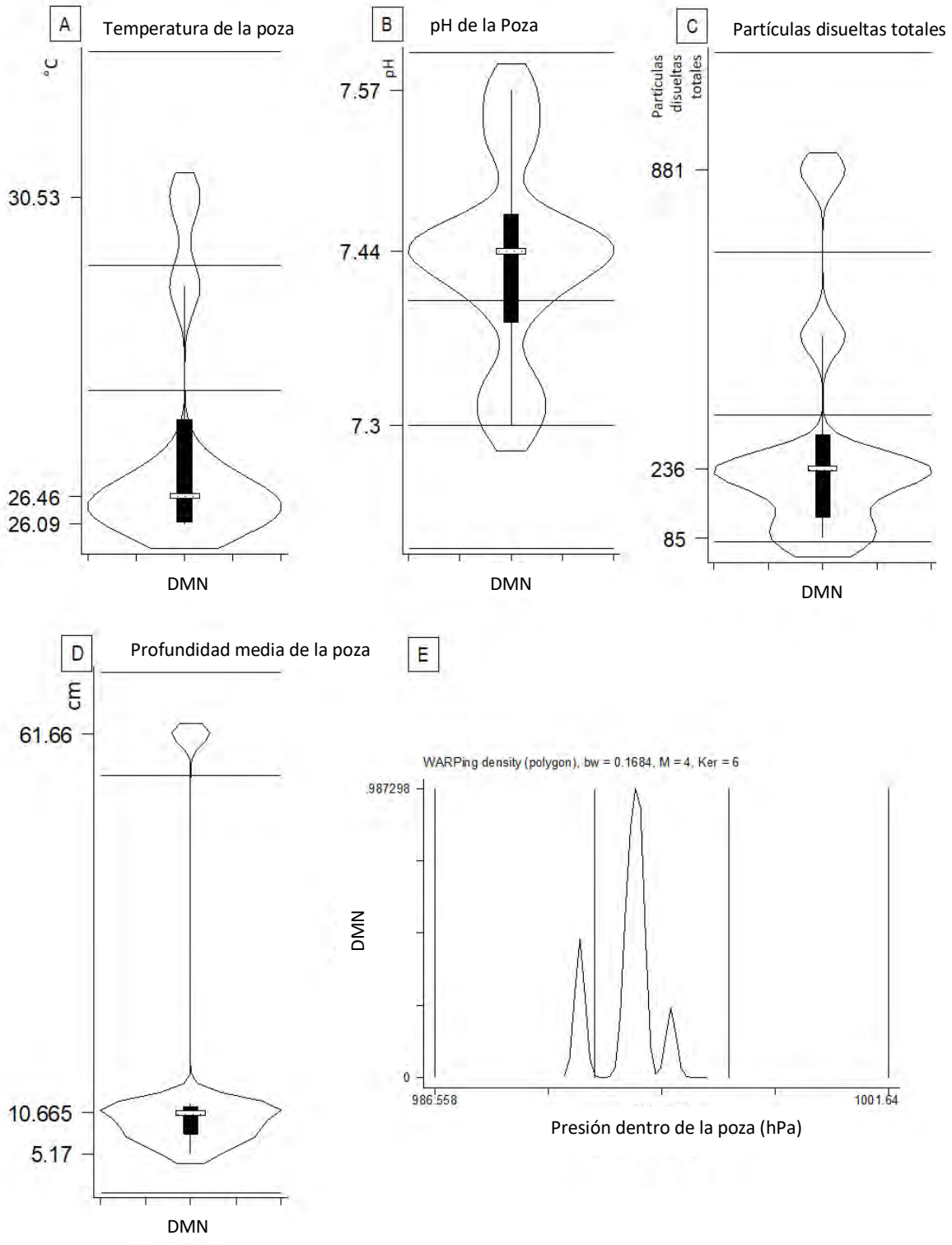

A
Temperatura de la poza
°C
30.53
26.46
26.09
DMN
B
pH de la Poza
pH
7.57
7.44
7.3
DMN
C
Partículas disueltas totales
Partículas disueltas totales
881
236
85
DMN
D
Profundidad media de la poza
cm
61.66
10.665
5.17
DMN
E
WARPing density (polygon), bw = 0.1684, M = 4, Ker = 6
.987298
0
DMN
986.558
1001.64
Presión dentro de la poza (hPa)

Figura 36G. Diagramas de violín que relaciona la densidad de los muestreos nocturnos (DMN) de *Trachycephalus vermiculatus* y variables microclimáticas de las pozas: A) tpz o temperatura de la poza (°C) con antimodas marcadas en los puntos 27.9, 29.6 y 32.5; B)phpz o pH de la poza (pH) con antimodas marcadas para los puntos 7.2, 7.3, 7.4 y 7.6; C)pdpz o partículas disueltas totales con antimodas marcadas para los puntos:78.2, 352.2, 704.5 y 1135.06; D) hpz o profundidad de la poza con antimodas marcadas en 0, 56 y 70; E) presión de la poza con medias en 986.56, 991.86, 996.34 y 1001.64

Tabla 21G. Información complementaria a los diagramas de violín para las variables microambientales de las pozas en relación con la abundancia nocturna de *T. vermiculatus*

Variable	Límite inferior	Q25:	Q75:	Límite superior	Mínimo	Mediana	Máximo
Tpz (°C)	26.09	26.12	27.51	29.32	26.09	26.46	30.53
Phpz (pH)	7.30	7.38	7.45	7.57	7.30	7.44	7.57
Pdpz (PDT)	85.00	130.75	309.75	522.00	85.00	236.00	881.00
Ppz (hPa)	998.00	998.00	999.00	1000.50	995.00	998.00	1001.33
Hpz (cm)	5.17	7.83	11.49	12.00	5.17	10.67	61.66

Las variables microclimáticas de las pozas presentaron intervalos cortos exceptuando las partículas disueltas. La presión se registró entre 998 y 995 hPa, es decir 3 hPa de recorrido y con mayor densidad entre 991.86 y 996.34 hPa; en el caso de la temperatura, entre 30.53 y 26.09 y el recorrido fue de 4.44°C con mayor densidad entre el límite inferior y 27.9; para el pH entre 7.57 y 7.30 (básico) y el intervalo fue de 0.27 unidades con mayor densidad en 7.4 y 7.6; las partículas disueltas totales ocurrieron entre 881 y 85 con 796 unidades con mayor densidad entre 353.2 y 704.5 unidades; finalmente la profundidad de las pozas ocurrió entre 5.17 y 61.66 con un recorrido de 5.5 cm, la mayor densidad fue registrada entre 56 y 70cm (Tabla 21).

Fue decidido, para una mejor comprensión de los resultados, resumir la información en las siguientes tablas la relación de densidad de las especies y las variables atmosféricas (tabla 22G), y sobre las relaciones con las variables microambientales (tabla 23G).

Tabla 22G. Síntesis de los resultados: incluye por especie los resultados obtenidos de los violines y gráficos de densidad (relación densidad de los conteos nocturnos y la variable atmosférica).

		Variables atmosféricas					
		Temperatura (°C)	Humedad (%)	Velocidad del viento (sm-1)	Presión (hPa)	Precipitación (mm)	Dirección del viento (grados)
A. dacnicolo	Intervalo	24.59-28.69	76.52-96.03	1.06-6.34	995-1002	0-4.8	NA

	Recorrido	4.1	19.51	5.28	5.67	4.8	NA
	Intervalo de mayor densidad	25.31 -27.51	76.52-86.48	1.06-4.83	996.82-998.88	mín-2.22	SE
D. spatulata	Intervalo	25.89-26.67	80.23-90.48	1.54-6.34	998-1000.67	0-2.73	NA
	Recorrido	0.78	10.25	4.8	2.67	2.73	NA
	Intervalo de mayor densidad	26.19-27.58	mín-83.14	3.73 y 13.06	mín-999.83	mín-1.72	SE
S. baudinii	Intervalo	25.89-28.69	76.52-90.48	1.42-6.34	995-1001.5	0-2.73	NA
	Recorrido	2.8	13.96	4.92	6.5	2.73	NA
	Intervalo de mayor densidad	25.22-27.89	72.01-87.44	4.06-9.37	995.59-1000.10	0.62-2.09	SE
S. fodiens	Intervalo	25.89-28.25	76.52-89.88	1.77-6.34	998-1000.67	0-2.73	NA
	Recorrido	2.36	13.36	4.57	2.67	2.73	NA
	Intervalo de mayor densidad	mín-27.49	71.64-85.97	4.1-10.56	mín-999.28	1.37-1.60	SE
T. smithii	Intervalo	24.98-27.72	80.28-92	(-)2.26-6.34	998-1002	0-0.95	NA
	Recorrido	2.74	11.72	8.6	4	0.95	NA
	Intervalo de mayor densidad	UM	82.58-máx	mín-5.49	mín-999.28	UM	SE, NE
T. vermiculatus	Intervalo	26-28.69	79.62-88.52	1.42-6.34	995-1001.33	0	NA
	Recorrido	2.69	8.9	4.92	6.33	0	NA
	Intervalo de mayor densidad	mín-27.15	mín-81.54	4.51-máx	997.37-999.06	0	SE

*NA: no aplica; UM: unimodal (solo se detectó un intervalo)

Tabla 23G. Síntesis de los resultados: incluye por especie los resultados obtenidos de los violines y gráficos de densidad (relación densidad de los conteos nocturnos y cada variable microambiental)								
		Variables climáticas microambiental (dentro de la poza)					Variables macroambientales (fuera de la poza)	
		Temperatura (°C)	p H	Partículas disueltas totales	Presión (hPa)	Profundidad (cm	Temperatura (°C)	Humedad (%)
A. dacnicolor	Intervalo	26.22- 31.74	6.90-8.78	28 -684	989.80-997.70	3.03-39	25-35.10	67-99
	Recorrido	5.52	1.88	656	7.9	35.97	10.01	32
	Intervalo de mayor densidad	24.36 y 28.81	6.99-8.45	133.78-588.62	991.86-996.34	mín-20.14	25.77-29.72	67-82.57
D.spatulata	Intervalo	25.82-26.93	7.30-7.58	133-238	991.80-993.10	11.33-28.30	26-31	77-90
	Recorrido	1.11	0.28	105	1.3	16.97	5	13
	Intervalo de mayor densidad	25.25-26.72	7.10-7.58	27.09-189.66	NA	mín-22.62	mín-29.68	88.14-máx
S. baudinii	Intervalo	26.05-31.05	6.90-8.43	127-444	989.80-996.80	3.02-61.66	26-31.5	71-99
	Recorrido	5	1.53	317	7	58.64	5.5	28
	Intervalo de mayor densidad	mín-28.07	7.01-7.98	14.34-315.53	987.50-995.32	mín-45.34	26.15-28.57	82.83-máx
S. fodiens	Intervalo	26.45-28.41	7.36-8.78	49-492	990.30-995.40	6.20-27.16	26-30.5	76-92
	Recorrido	1.96	1.42	443	5.1	20.96	4.5	16
	Intervalo de mayor densidad	UM	mín-8.16	mín-378.77	UM	mín-18.86	mín-29.52	76.87 y máx.
T. smithii	Intervalo	NA	NA	NA	NA	NA	29-31	72-88
	Recorrido	NA	NA	NA	NA	NA	3	16
	Intervalo de mayor densidad	NA	NA	NA	NA	NA	UM	UM

T. vermiculatus	Intervalo	26.09-30.53	7.30-7.57	85-881	995-1001.33	5.17-61.66	26-31.80	67-91
	Recorrido	4.44	0.27	796	6.33	56.49	5.8	24
	Intervalo de mayor densidad	mín-27.9	7.4-7.6	78.35-352.2	991.86-996.34	mín-70	mín-29.18	76.96-máx

*NA: no aplica; UM: unimodal (solo se detectó un intervalo)

3. La mayoría de las correlaciones lineales fueron débiles, pero no se descartan las relaciones moderadas y fuertes.

En este rubro se buscaron las variables determinantes o que se relacionaran directamente con la abundancia correspondiente a los muestreos nocturnos de las especies. Este primer modelo asume que entre las variables y entre los conteos nocturnos existen relaciones lineales que pueden ser detectadas a través de regresiones lineales.

3.1 Las relaciones lineales entre la velocidad del viento por la madrugada-mañana y la precipitación durante las horas del muestreo tuvieron una significancia moderada a fuerte para todas las especies.

Con ayuda del programa estadística *Stata* y empleando la función *pw corr* se calcularon los valores de r^2 y el valor de p, para cada especie (Tabla 24G).

Tabla 24G. Correlaciones entre la abundancia nocturna tanto de cada especie como de todos los hílidos muestreado de la Familia Hylidae (filas) y las diferentes variables climáticas (columnas)

		Tm	Ht	Hn	Hmu	Vm	Vt	Dm	Dt	Pcmu	Pm	Pt	Pn	Rt	Rn
A. dacnicolor	r^2	0.54	0.59	0.61	0.42	0.77	0.65	0.63	0.43	0.76	-0.63	-0.62	-0.55	-0.56	-0.61
	valor *p*	0.01	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
D. spatulata	r^2	0.56	0.46	0.46	0.51	0.81	0.51	0.63	0.48	0.88	-0.57	-0.52	-0.52	-0.52	-0.44
	valor *p*	0.01	0.03	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.03
S. baudinii	r^2	0.55	0.44	0.47	0.49	0.82	0.52	0.62	0.50	0.85	-0.54	-0.51	-0.50	-0.49	-0.47

	valor *p*	**0.01**	0.03	0.02	0.02	**0.00**	**0.01**	**0.00**	**0.02**	**0.00**	**0.01**	**0.01**	0.02	0.02	0.02
S. fodiens	r^2	**0.56**	0.42	0.40	0.49	**0.81**	0.45	**0.62**	0.48	**0.87**	**-0.51**	-0.48	**-0.50**	-0.44	-0.41
	valor *p*	**0.01**	0.04	0.06	0.02	**0.00**	0.03	**0.00**	0.02	**0.00**	**0.01**	0.02	**0.02**	0.04	0.05
T. smithii	r^2	0.42	0.41	0.24	**0.51**	**0.67**	0.29	0.43	0.36	**0.72**	-0.28	-0.21	-0.17	-0.35	-0.26
	valor *p*	0.05	0.05	0.27	**0.01**	**0.00**	0.18	0.04	0.09	**0.00**	0.19	0.34	0.44	0.10	0.24
T. vermiculatus	r^2	**0.53**	0.35	0.40	0.45	**0.80**	0.45	**0.60**	**0.54**	**0.82**	**-0.50**	-0.47	**-0.50**	-0.40	-0.39
	valor *p*	**0.01**	0.10	0.06	0.03	**0.00**	0.03	**0.00**	**0.01**	**0.00**	**0.01**	0.02	**0.02**	0.06	0.07
Todos los hílidos muestreados	r^2	**0.56**	0.48	0.49	0.48	**0.82**	**0.54**	**0.63**	0.49	**0.84**	**-0.56**	**-0.53**	**-0.52**	**-0.50**	-0.49
	valor *p*	**0.01**	0.02	0.02	0.02	**0.00**	**0.01**	**0.00**	0.02	**0.00**	**0.01**	**0.01**	**0.01**	**0.02**	0.02

*Para cada especie: se muestran dos renglones, en el primero el valor de r^2 y en la segunda el valor de p. solo se muestran aquellas columnas cuya variable climática contenga al menos un valor r^2>0.5)

** Las abreviaciones fueron colocadas en la tabla para un mejor manejo del espacio, sus significados pueden ser consultados en la tabla 1F.

Para decidir cuáles eran las correlaciones lineales con mayor poder estadístico se emplearon los valores de r^2 y la aseveración de que si el valor de probabilidad (*p*) es menor que α (en nuestro caso, ésta es igual a 0.05), entonces la hipótesis nula se rechaza (la hipótesis implica que no hay correlación). Por lo tanto, para determinar si existía o no una correlación lineal entre la abundancia durante el muestreo y la variable atmosférica r^2 debía ser mayor a 0.5 y el valor *p* menor a 0.05. La fortaleza de las correlaciones se estableció de la siguiente manera:

Sin relación: $|0 \geq r^2 \geq 0.49|$

Relación débil: $|0.5 \geq r^2 \geq 0.65|$

Relación moderada: $|0.65 \geq r^2 \geq 0.8|$

Relación fuerte: $|0.8 \geq r^2 \geq 0.95|$

Relación total: $|0.95 \geq r^2 \geq 1|$

De tal manera que de acuerdo con cada especie las correlaciones significativas (fuertes; ver tabla 24G) para cada especie fueron:

a. Agalychnis dacnicolor.
   Sin correlaciones lineales fuertes
b. *Diaglena spatulata*.
   positivos: Velocidad del viento por la mañana-madrugada, precipitación durante el muestreo

c. *Smilisca baudinii*.
positivos: Velocidad del viento por la mañana-madrugada y con la precipitación durante el muestreo.

d. *Smilisca fodiens*.
positivos: Velocidad del viento por la mañana-madrugada y con la precipitación durante el muestreo.

e. *Tlalocohyla smithii*.
Sin correlaciones lineales fuertes

f. *Trachycephalus vermiculatus*.
positivos: velocidad del viento por la mañana y con la precipitación durante el muestreo.

Al igual que sus homólogas macroclimáticas, las variables microambientales fuera y dentro de las pozas donde se muestrearon hílidos, se buscó encontrar alguna correlación entre éstas y la abundancia nocturna de las diferentes especies presentes con ayuda del programa estadística *Stata* y empleando la función *pwcorr* (Tabla 25G).

Tabla 25G. Correlaciones lineales entre las variables de las pozas y la abundancia nocturna de las especies. En amarillo se muestras aquellas únicas relaciones fuertes, pero sin significancia de acuerdo con el valor *p* (marcadas en color amarillo)

		Tpz	Phpz	Pdpz	Ppz	Hpz	Tmcr	Hmcr
A. dacnicolor	r^2	-0.04	0.16	0.18	0.03	0.18	-0.11	0.01
	valor *p*	0.82	0.35	0.28	0.87	0.28	0.52	0.93
D. spatulata	r^2	-0.85	0.30	-0.23	0.24	-0.44	0.70	-0.33
	valor *p*	0.15	0.70	0.77	0.76	0.56	0.30	0.67
S. baudinii	r^2	-0.39	-0.11	-0.34	-0.23	0.47	-0.37	0.30
	valor *p*	0.02	0.50	0.04	0.16	0.00	0.02	0.07
S. fodiens	r^2	0.01	-0.16	0.06	0.30	-0.44	-0.10	0.14
	valor *p*	0.98	0.61	0.86	0.31	0.13	0.74	0.66
T. vermiculatus	r^2	-0.31	-0.09	-0.26	0.14	-0.25	-0.19	-0.09
	valor *p*	0.45	0.83	0.54	0.74	0.55	0.66	0.84
Todos los hílidos muestreados	r^2	-0.05	0.05	0.02	-0.03	0.22	-0.10	0.04
	valor *p*	0.59	0.60	0.84	0.80	0.03	0.31	0.68

* Las abreviaturas de pueden ser consultadas en la tabla 2F

Se emplearon los mismos valores par los parámetros r^2 y del valor *p* para determinar si existía correlaciones lineales entre los conteos nocturnos y las variables microambientales.

Las correlaciones encontradas corresponden a *Diaglena spatulata*, de manera positiva para la temperatura microambiental (fuera de la poza) y de manera negativa para la temperatura dentro de la poza. Cabe resaltar que *sensu stricto* ninguna de estas correlaciones representó una correlación significativa de acuerdo con valor *p* pues ninguna de las dos variables obtuvo un valor $p<0.05$.

4. Los modelos lineales generalizados, al considerar relaciones no lineales y distribuciones no normales, complementaron al primer modelo.

De las 196 posibles correlaciones lineales entre las variables atmosféricas y las especies y las 49 correlaciones entre las variables microambientales y las especies, solo 14 resultaron ser de moderadas a fuertes para las variables ambientales y apenas 2 para las variables microambientales (ver Tabla 24G). Si bien, este modelo de relaciones lineares nos brinda pautas para establecer qué factores determinan el fin de la estivación, el inicio de la actividad reproductiva o el periodo para alimentarse, consideramos que al omitir otro tipo de relaciones (diferentes a las lineales) con otras variables (con las cuales no existió una relación lineal fuerte), podríamos estar omitiendo información importante de todas las variables que no se relacionan linealmente con los conteos nocturnos. Decidimos generar un Modelo Lineal Generalizado (*GLM*) en la plataforma estadística *R* cuyas ventajas son descritas en la parte de método de esta tesis.

Tabla 26G. Para cada especie y para el conjunto de especies muestreadas en el periodo de estudio (Familia Hylidae), se muestran los índices en los cuales, las variables ambientales influyen en la abundancia nocturna de éstas

	Coeficientes	Valor del coeficiente	Error estándar	Pr(>|z|)	Significancia
A. dacnicolor	Ht	0.0320947	0.0028494	< 2e-16	***
	Vm	0.3475002	0.0574934	1.50E-09	***
	Rn	-0.0020025	0.0003666	4.71E-08	***
D. spatulata	Pcmu	1.0677336	0.1599677	2.48E-11	***
	Pm	-0.0025234	0.0007044	0.000341	***
S. baudinii	Vt	0.4405619	0.0720643	9.75E-10	***

	Pcmu	0.6317339	0.0477492	< 2e-16	***
	Pm	-0.0008189	0.000308	0.00784	**
S. fodiens	Tm	-0.07471	0.02035	0.000242	***
	Pcmu	1.16672	0.12717	< 2e-16	***
T. smithii	Hmu	0.022158	0.006442	0.000583	***
	Pcmu	0.663084	0.180783	0.000245	***
T. vermiculatus	Vt	0.2368134	0.1357361	0.081	.
	Pcmu	0.6216757	0.0973928	1.73E-10	***
	Pn	-0.0011081	0.0004905	0.0239	*
Código de significancia					
0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

*Las abreviaturas de las variables atmosféricas pueden ser consultadas en la tabla 1F.

Tal como se indica en el *Método*, estos resultados solo muestran aquellas variables que podrían predecir la surgencia de las especies con base en la información recopilada a nivel ambiental sobre las 28 proporcionadas por la RUOA. De acuerdo con la tabla 26G, se sugirió que las relaciones entre variables atmosféricas (variables *explicativas*) y la abundancia nocturna de las especies (variable *outcome* o *a explicar*) son las siguientes y *sensu stricto* los resultados deberían leerse en cada caso de la siguiente manera:

a. *Agalychnis dacnicolor*. La abundancia nocturna de esta especie se incrementó en 0.03 unidades por cada punto porcentual adicional de humedad durante la tarde (tm), 0.35 unidades por cada m s-1 que se incrementó respecto a la velocidad del viento en la mañana, y aumentó en 0.002 unidades por cada W/m² de radiación disminuyó.

b. *Diaglena spatulata*: La abundancia nocturna de esta especie se incrementó 1.06 unidades por cada milímetro de lluvia que se acumuló durante el muestreo y se incrementó 0.002 unidades por cada hPa que disminuyó por la mañana.

c. *Smilisca baudinii*: La abundancia nocturna de esta especie aumentó 0.44 unidades por cada m s-1 de velocidad del viento durante la tarde, 0.63 unidades por cada milímetro de lluvia que se acumuló durante el muestreo y 0.0008 unidades por cada hPa que disminuyó durante la mañana.

d. *Smilisca fodiens*: La abundancia nocturna de esta especie tuvo un incremento de 0.07 unidades por cada grado centígrado que disminuyó por la mañana y 1.17 unidades por cada milímetro de precipitación durante el muestreo.

e. *Tlalocohyla smithii*: La abundancia nocturna incrementó en 0.02 por cada punto por porcentual en la humedad durante el muestreo e incrementó 0.66 unidades por cada mm de precipitación se acumuló durante el muestreo.
f. *Trachycephalus vermiculatus*: La abundancia nocturna de esta especie se incrementó en 0.62 unidades por cada m s-1 de viento que se incrementó durante tarde, 0.55 unidades por cada milímetro de precipitación que se acumuló durante la precipitación durante el muestreo, 0.80 unidades por cada hPa que se incrementó por la tarde y 0.82 por cada hPa que se incrementó durante la noche.

En el caso de las correlaciones entre variables microambientales y abundancia durante los conteos nocturnos de las diferentes especies, es notable que prácticamente no existen correlaciones lineales significativas, por lo que el siguiente paso fue averiguar si existen relaciones no necesariamente lineales a través del modelaje con GLM. Los resultados de éstos en la tabla 27G.

Tabla 27G. Para cada especie y para el conjunto de especies muestreadas en el periodo de estudio (Familia Hylidae), se muestran los índices en los cuales, las variables microambientales influyen en la abundancia de éstas.

	Coeficientes	Estimado	Error estándar	Pr(>|z|)	Significancia
A. dacnicolor	Pdpz	0.0022214	0.00033813	5.69E-09	***
	Hpz	0.0318547	0.0078198	4.63E-05	***
D. spatulata	Tpz	0.02111	0.01437	1.42E-01	
S. baudinii	Hpz	0.01843	0.004759	1.08E-04	***
	Hmcr	0.006788	0.001881	0.000308	***
S. fodiens	Hmcr	0.006913	0.002296	0.0026	**
T. smithii		Datos insuficientes			
T. vermiculatus	Tmcr	0.01243	0.01132	0.272	
Código de significancia 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

*El significado de las abreviaciones de las variables puede ser encontrado en la tabla 2F

Finalmente, dentro de las pozas o en los sitios exactos donde el organismo fue contabilizado, la abundancia estará dada por determinados factores, los cuales varían por especie y éstos son:

a. *Agalychnis dacnicolor*. La abundancia de esta especie se incrementó en 0.002 unidades por cada partícula disuelta en la poza y 0.03 unidades por cada cm en la profundidad de esta.
b. *Diaglena spatulata*: La abundancia de esta especie se incrementó en 0.02 unidades por cada °C que aumentó en la temperatura de la poza.
c. *Smilisca baudinii*: La abundancia de esta especie aumentó 0.18 unidades conforme aumente un centímetro en la profundidad de la poza y 0.006 unidades conforme un punto porcentual de humedad se incrementó.

d. *Smilisca fodiens*: La abundancia de esta especie tuvo un incremento de 0.006 unidades conforme la humedad se incrementó en un punto porcentual.
e. *Tlalocohyla smithii*: No fue posible determinar ninguna relación por falta de datos.
f. *Trachycephalus vermiculatus*: La abundancia de esta especie se incrementó 0.012 unidades por cada grado centígrado que aumentó en la temperatura de la poza. Cabe resaltar que, aunque se formuló un modelo para esta especie, este no resultó significativo.

H. DISCUSIÓN

1. Riqueza de hílidos durante el inicio de la temporada de lluvias (julio-agosto, 2016) en Arroyo Zarco.

Dada la bibliografía mencionada anteriormente (Luna-Gómez *et al.,* 2017), el Arroyo Zarco es el área con mayor probabilidad para encontrar y muestrear anfibios en general (dada la densidad de especies e individuos). Incluso partiendo de esta aseveración solo se lograron registrar 6 de 8 especies de hílidos registrados para la RBChC. Esto ocurrió, en primera instancia, porque la probabilidad de muestrear hílidos, aumenta para temporadas más extensas de muestreo, por ejemplo, muestreos que abarquen poco antes de la temporada de lluvias y hasta que ésta haya avanzado lo suficiente para generar corriente en el arroyo o incluso hasta que la temporada haya finalizado (Esparza, 2014; Moreno-Rodríguez, 2016; Luna-Gómez, *et al.,* 2017). Con esto en mente, es necesario recordar que los muestreos de esta tesis fueron realizados al inicio de la temporada de lluvias en el año 2016, durante un periodo de 4 semanas. Es preciso resaltar, sin embargo, que estudios cortos, buscan en primera instancia cambios finos en el comportamiento como respuesta a las variables ambientales (un excelente ejemplo: Henzi, *et al,* 1995).

Durante las 4 semanas de muestreo y con base en los datos recopilados, las variables climáticas atmosféricas no presentaron ninguna tendencia significativa (al menos, $r^2 < 0.7$) durante este periodo; incluso cuando es conocido que a lo largo del año el área de la RBChC tiene variaciones propias del BTC (García-Oliva *et al.,* 2002) y que estas pueden presentarse entre cada año teniendo periodos de precipitación más cortos o más largos, así como periodos fragmentados o desplazados. Nuevamente, esta aseveración debe ser interpretada dentro del marco del periodo del estudio que, aunque correspondió al inicio de la temporada de lluvias y por lo tanto podría esperarse una tendencia positiva, al menos en la precipitación o humedad, dichas tendencias no se reflejaron estadísticamente. No se deben confundir las tendencias con los ciclos de las variables, por ejemplo, el ciclo de variación de la temperatura de 24 horas que se repitieron de manera constante durante el periodo de estudio.

Cada noche, los registros colectados de los individuos de las 6 especies muestreadas para este estudio, variaron en primera instancia, entre ellos, pues no todas las especies resultaron equivalentes en el tiempo. Las especies de hílidos con mayor número de individuos durante el inicio de la temporada de lluvias en los muestreos nocturnos corresponden a *A. dacnicolor y S. baudinii,* incluso cuando las condiciones ambientales (ausencia de precipitación, radiación prolongada y pozas de hidroperiódo efímero) no eran totalmente favorables para que los anfibios realizaran actividades en general. Sin embargo, estudios recientes como los de Luna-Gómez y colaboradores (2017), indican que las especies más conspicuas de la zona son por lo general, *T. smithii* y *E. smaragdina*. Es importante considerar el contexto temporal: en el actual trabajo se recopilaron conteos del inicio de la temporada de lluvias mientras que Luna-Gómez y colaboradores lo

realizaron durante dos temporadas de lluvias completas en 2013 y 2014, al ser desglosada la información proporcionada, es posible contabilizar que los registros que se reportan para el inicio de la temporada de lluvias sí reportan a *A. dacnicolor* y *S. baudinii* como los hílidos más abundantes en ambos años; primordialmente, *A. dacnicolor* fue más abundante que *S. baudinii,* este hallazgo también ha sido reportado por Moreno-Rodríguez (2016) y Esparza (2014).

Por una parte, la abundancia durante los muestreos nocturnos de *A. dacnicolor*, una especie de anfibio de talla grande y que se mantiene parcialmente activa durante todo el año, que fue muestreada al mismo tiempo en que se observaban machos cantando y puestas de huevos en los árboles sobre pozas perenes, particularmente pozas cuyo sustrato era rocoso (similar a lo reportado por Luna-Gómez y colaboradores (2017) Y Moreno-Rodríguez (2016)). Dicho sustrato, impidió la extinción de al menos una de las pozas visitadas, durante todo el periodo estudiado, donde se observaron renacuajos y amplexos de manera constante durante todo el muestreo; es un hecho que su actividad principal era la reproducción (datos no mostrados: 51.4% de los registros para los individuos de esta especie permanecían cantando o formando amplexos). En el caso de *S. baudinii*, su presencia se reportó desde las primeras lluvias, pero existió un incremento considerable cuando los *pulsos* (episodios de precipitación de breve duración y de intensidad moderada) de lluvia tenían lugar, un evento similar fue registrado para muestreos en el trabajo de Luna-Gómez y colaboradores (2017) y Moreno-Rodríguez (2016). A diferencia de *A. dacnicolor*, para los individuos muestreados de *S. baudinii*, la actividad principal durante el muestreo no era la reproducción durante las horas del muestreo (amplexos e individuos emitiendo cantos 36.48% del total) en la temporada temprana de lluvias. Incluso el día de mayor precipitación en que pudieron ser muestreados los individuos de esta especie (7 de agosto del 2016) y que superaron la densidad de los conteos nocturnos de *A. dacnicolor* (64 contra 114 individuos) las actividades no estaban relacionadas con la reproducción, sin embargo, sí fueron detectados renacuajos en diferentes pozas y algunas masas de huevos. Las pozas donde fueron detectados presentaban un hidroperiódo corto (no permanecían más de un par de noches).

Aun cuando la especie *S. baudinii* se encuentra activa durante todo el año, la baja incidencia de adultos en los muestreos puede hipotetizarse como una particularidad dada por la pérdida de biomasa (sobre todo adultos) por el paso previo del Huracán Patricia (un año antes) y/o por la falta de pozas con hidroperiódo amplio en ese particular momento de la temporada de lluvias. Al ser anfibios de reproducción explosiva se esperaría un incremento de actividades reproductivas cuando la acumulación de milímetros de lluvia se incrementara más adelante en la temporada de lluvias (excediendo 300 mm de lluvia de acuerdo con Luna-Gómez y colaboradores, 2017) asegurando que las elevadas temperaturas y radiación durante el día no lograran evaporar el contenido de las pozas, facilitando un hidroperiódo más extenso, sobre todo aquellas pozas cuyo sustrato es poroso.

Específicamente, sería necesario contemplar un estudio que evalúe a *S. baudinii* y los efectos colaterales de eventos meteorológicos de gran magnitud (como el Huracán Patricia) sobre la resiliencia de esta especie, pues se ha registrado que Arroyo Zarco es un lugar propicio para la formación de pozas de diferentes cualidades y tras el paso del Huracán muchos micro-nichos fueron formados y podrían haber funcionado como sitios para actividades reproductivas, así como para el

desarrollo de los renacuajos, como el caso de la rana *Eleutherodactylus coqui* que, tras el Huracán Hugo en Puerto Rico, experimento un aumento poblacional en el área de Luquillo , contrario a la idea de *devastación* que un Huracán representa (Woolbright, 1991; Lugo, 2008); sin embargo, esto no parece estar siendo así para *S. baudinii.*

Ambos patrones, el de *A. dacnicolor* y *S. baudinii,* contribuyen con la tendencia ya descrita por Luna-Gómez y colaboradores (2017) para la temporada de lluvias: especies de tamaño corporal grande son más abundantes al inicio de la temporada de lluvias, mientras que las especies de tamaño pequeño comienzan a surgir de la estivación cuando la temporada de lluvias es más avanzada.

La contraparte de la tendencia antes mencionada, probablemente sea la razón principal por la cual *T. smithii* fue el hílido con menor incidencia en los registros nocturnos y durante toda la temporada de estudio, pues su LHC ronda entre los 26 y 30 mm. Incluso en el trabajo de Luna-Gómez y colaboradores (2017) la baja ocurrencia en los conteos de las primeras semanas de la temporada de lluvia para esta especie es coincidente con los muestreos del actual trabajo; además, *Exorodonta smaragdina* cuyos conteos tuvieron una baja incidencia para el trabajo de Luna-Gómez y colaboradores (≤ 5, durante el primer mes de la temporada de lluvia), fueron nulos para el actual trabajo, al igual que para *Dendropsophus. sartori.* Dichas especies concretamente corresponden a hílidos de talla pequeña (la LCH≤ promedio 30 mm), por lo cual, al inicio de la temporada de lluvias no se esperaba su aparición en los muestreos ni en actividades reproductivas ni de forrajeo.

En el caso particular de *E. smaragdina* es necesario evaluar si la presencia y abundancia nocturna, sobre todo mientras más acumulación de milímetros de lluvia sume, es diferente a la de años anteriores, pues uno de sus principales escondites o sitios de estivación son las bromelias que habitaban el dosel medio y alto lateral de Zarco cuya mayoría desapareció tras el Huracán Patricia como antes se mencionó en esta sección; de hecho, durante los muestreos de reconocimiento (por la mañana) y los muestreos nocturnos, no observamos bromelias vivas sino tiradas a lo largo del arroyo y en sus laterales. Menos de una decena de bromelias fueron encontradas aún en algún sustrato arbóreo e inspeccionadas (aquellas visibles a los costados del arroyo) para revisar la existencia de cualquier hílido, pero sin presencia alguna.

En contraposición a dicha tendencia sobre la talla de las especies y la temprana aparición de estas en eventos reproductivos*, D. spatulata* cuya talla corporal (LHC) corresponde más bien a una especie grande, fue la segunda especie menos abundante. La particularidad de éste hílido radica en la forma craneal y la cosificación de la piel con el hueso de esta zona, formando una "pala" que puede funcionar a manera de tapadera en los huecos de los árboles que habitan para estivar (Duellman, 1970). Sin embargo, el dosel por arriba de tres metros era prácticamente nulo debido al Huracán Patricia que devastó la selva de la región un año antes en 2015. Por lo tanto, a pesar de ser una especie de cuerpo grande y ser catalogada como resiliente ante perturbaciones en el ambiente (Serrato-Vidal et al., 2015), se considera que la erosión de una proporción importante del dosel alto de la vegetación lateral del Arroyo Zarco probablemente fue un factor para su poca representación en los muestreos nocturnos; por supuesto se recomienda un muestreo de mayor duración y durante más años para comprobar esta hipótesis. Cabe mencionar que solo la minoría de los individuos

muestreados de ambas especies, *D. spatulata* (23.5%) *y T. smithii* (33.3%) se encontraban emitiendo algún canto y ningún amplexo, ni se encontraron puesta de huevos, por lo que su actividad principal no era la reproducción.

Otro hílido poco frecuente en los muestreos nocturnos fue *T. vermiculatus*; siendo una rana de tamaño considerable, se esperaría una representación constante durante las noches desde el inicio de la temporada de lluvias, dada la tendencia positiva entre el tamaño y la incidencia en las primeras semanas de la temporada de lluvias. Sin embargo, se ha descrito a *T. vermiculatus* como un anfibio que para reproducirse es sensible a las lluvias fuertes, a la acumulación de agua y a corrientes en los cuerpos de agua, debido a su reproducción explosiva (Luna-Gómez, *et al.,* 2017); de hecho, durante los conteos nocturnos tuvo un aumento de estos de casi 7 veces, el día con mayor precipitación, aunque solo una minoría del total fue encontrada emitiendo cantos (7.79%) y ninguna pareja en amplexo.

De manera coincidente para *T. vermiculatus* y *D. spatulata*, ambos hílidos presentan un tipo de reproducción catalogada recientemente como explosiva (Luna-Gómez *et. al¸* 2017), además, no fueron abundantes en los muestreos al inicio de la temporada de lluvias a pesar de tener una talla grande. Esto puede deberse a que, si bien las condiciones que permiten el forrajeo libre de algunos individuos, probablemente machos, para las hembras los requerimientos ambientales y microambientales son específicos y diferentes como se ha demostrado para otras especies (Henzi *et al.* 1995), pues las hembras, involucradas directamente en los amplexos y elección del sitio para ovopositar, podrían estar necesitando pozas de hidroperiódo constante y de características más bien homogéneas. De tal manera, es altamente probable que la asociación positiva con acumulación de lluvias semanales mayores a 300mm (Luna-Gómez, *et al.,* 2017), propicie estas características y por ello su incidencia haya sido baja a comparación de otras ranas de cuerpo grande como *A. dacnicolor,* cuya estrategia reproductiva involucra la rapidez del desarrollo de sus renacuajos y por ello ha sido catalogada con una estrategia tipo *r* (Moreno-Rodríguez, 2016), o *S. baudinii* de reproducción explosiva, desarrollo particularmente veloz y formación de amplexos en cuerpos de agua sin mucha profundidad (NatureServer, 2017; Savage 2002; Orozco, 2014).

Los individuos de *S. fodiens* no fueron tan abundantes como otros hílidos de talla grande como *S. baudinii* o *A. dacnicolor*, pero no fueron tan escasas como *D. spatulata* o *T. smithii*. Aunado a ello, fueron muy infrecuentes (hasta una semana de ausencia en los muestreos nocturnos) durante todo el periodo de estudio. Incluso, siendo infrecuentes, su actividad principal (57.89%) cuando fueron contabilizadas, estaba asociada a cantos y amplexos, actividades claramente reproductivas y que puede deberse al tipo de reproducción explosiva que ha sido descrita para esta especie. Como lo indica Luna-Gómez y colaboradores (2017), probablemente durante los días de más acumulación de milímetros lluvia (≥300mm), donde la lluvia sea de baja frecuencia, pero de intensidad fuerte, también refleje una mayor abundancia de individuos por noche, amplexos, puesta de huevos o incluso renacuajos.

2. Intervalos de tolerancia específicos para las especies muestreadas

Incluso cuando sabemos qué especies pueden ser más tolerantes a intervalos extremos de variables atmosféricas (temperatura, radiación, periodos de lluvias cortos, entre otros) ya sea por la elasticidad fenotípica propia de la especie o por las estrategias conductuales, fisiológicas y morfológicas que se han desarrollado como consecuencia de su evolución, también es conocido que para actividades específicas como la reproducción, los anfibios necesitan intervalos más acotados de condiciones atmosféricas y microclimáticas a diferencia de las condiciones requeridas para forrajear, por ejemplo. De hecho, como se describe tempranamente en la introducción de esta tesis, *A. dacnicolor* suele emerger de su escondite para alimentarse, durante todo el año incluso cuando no existe precipitación constante ni en grandes volúmenes; pero las condiciones para reproducirse sí implican por lo menos la espera al inicio de la temporada de lluvias (Duellman 1970; Lemos-Espinal, 2006; Luna-Gómez et al., 2017). Al igual que para esta especie se sabe que la cantidad de lluvia acumulada, la intensidad y la continuidad de ésta es un factor determinante para que los eventos de reproducción de varios anfibios den inicio (por ejemplo se ha registrado que para *S. baudinii* la actividad presenta un incremento tras lluvias mayores a 25mm o que para la actividad de *T. smithii* se correlacionan positivamente con la acumulación de lluvia semanal); sin embargo, no es la única condición que puede estar propiciando el aumento de individuos durante los muestreos nocturnos.

De hecho, los recorridos o intervalos descritos (distancia entre el valor más bajo hasta el más alto de una variable específica donde la especie fue encontrada) para temperatura ambiental y dentro de las pozas, humedad ambiental y microambiental, pH, presión en el lugar exacto del conteo y precipitación fueron los más amplios para *A. dacnicolor* que para cualquier otra especie; especialmente para la temperatura, el intervalo de mayor densidad registrado en este trabajo (entre 24.4 y 28.8 °C) coincide parcialmente con el intervalo descrito por Pynburn (1970) para que los eventos reproductivos tengan lugar (27.3 Y 29.6 °C). Para la velocidad del viento, el intervalo más amplio fue registrado para ejemplares de la especie *T. smithii*; los recorridos más amplios de presión atmosférica y los de la profundidad de las pozas para *S. baudinii* y el recorrido más amplio de partículas disueltas totales en las pozas para *T. vermiculatus.* Lo que coloca a *A. dacnicolor,* en primera instancia y a *S. baudinii* en segundo plano, como especies ampliamente tolerante a diversas condiciones climáticas.

De manera coincidente, tanto *A. dacnicolor* como *S. baudinii,* presentan intervalos amplios de tolerancia, sobre todo microambientales, durante el inicio de la temporada de lluvias, justo cuando las condiciones suelen ser mucho menos homogéneas, a diferencia de una etapa más avanzada cuando el arroyo ya presenta pozas establecidas o corrientes; así, dichos intervalos dejan entrever cuáles especies pueden ser más resilientes ante un cambio intempestivo y que tan probable es que tengan la capacidad de volver al estado de equilibrio predicho.

De la misma manera en que hablamos de las *especies más tolerantes*, podemos hablar de la especie *más sensibles* a diferentes variables, ésta es *D. spatulata* cuyos recorridos al observar las variables, dejan expuesto que para la temperatura ambiental y microambiental, para la presión atmosférica, las partículas disueltas, la presión dentro de las pozas y la profundidad de las pozas, son variables, que al inicio de la temporada de lluvias resultan muy fluctuantes, que podrían determinar

tajantemente la probabilidad de encontrar o no al individuo, dados los recorridos tan estrechos de las variables; esta explicación puede denotar, en principio la escasa incidencia en los conteos de esta especie.

Todas las especies, entonces, presentan intervalos diferentes en los cuales son *frecuentes* de encontrar y también en las que son *altamente probables* de encontrar (intervalo de mayor densidad), pero la relación entre cada variable ambiental y entre cada especie es aún más fina: en algunos casos se limita a correlaciones lineales y en otros casos, más complejos, estas se complementan con correlaciones no necesariamente lineales (GLMs).

3. Correlaciones lineales entre variables ambientales o microambientales y los conteos nocturnos

Las correlaciones lineales, en esta tesis, indicaron una relación proporcional entre la abundancia durante los muestreos nocturnos de las especies muestreadas y las diferentes variables atmosféricas o microambientales. Dichas relaciones se establecieron de manera diferencial entre cada especie en mayor o menor magnitud de acuerdo con su valor de significancia r^2. Es interesante notar que todas las especies tuvieron una correlación ($|0.65 \geq r^2 \geq 0.95|$) con la velocidad del viento por la mañana-madrugada (de 2:00 a 7:59 hrs) y con la precipitación durante el muestreo. Puntualmente, las relaciones lineales fueron fuertes para *S. baudinii, S. fodiens, T. vermiculatus* y para *D. spatulata.* Estas dos variables demostraron ser las más fuertes (la mayoría, $r^2 \geq 0.8$), lo cual no implica que sean las únicas correlaciones existentes.

Específicamente para los hílidos de la Reserva, se han registrado otras correlaciones con variables ambientales tales como las descritas en el trabajo de Luna-Gómez y colaboradores (2017): positivas entre *A. dacnicolor* y *S. baudinii* con la temperatura, positivas entre *T. smithii* y la humedad atmosférica o entre *D. spatulata* y *T. vermiculatus* y la precipitación*;* dichas correlaciones también fueron encontradas, pero de manera débil ($0.5 \geq r^2 \geq 0.6$) en este trabajo.

La tendencia descrita por Luna-Gómez y colaboradores, donde las actividades reproductivas de *A. dacnicolor* están negativamente relacionadas con la acumulación de lluvia durante todo el periodo estudiado, es complementada con los hallazgos encontrados en este trabajo. Mientras que una mayor acumulación de lluvia semanal (variable medida en el trabajo de Luna-Gómez y colaboradores) refleja lluvia constante, vientos más veloces, poca radiación y por lo tanto menor temperatura, las precipitaciones esporádicas o a manera de “pulso” ocurridas durante el muestreo (variable medida para este trabajo) no tienen una gran influencia negativa sobre la temperatura a largo plazo y por lo tanto no influyen negativamente ni en las actividades reproductivas ni en las de forrajeo de la especie, esto se traduce en una presencia más o menos constante de los individuos de *A. dacnicolor* al inicio de la temporada de lluvias , ya que la temperatura permanece en un intervalo elevado en contraste con lo observado por Luna-Gómez y colaboradores al avanzar la temporada de lluvias. Por ello, ambos trabajos, lejos de resultar contradictorios, resultan complementarios.

Por un lado, la velocidad del viento en la mañana (2:00-7:59 hrs) que es una variable no descrita previamente en la bibliografía como influyente en la presencia de hílidos o en fin de la estivación, forrajeo y/o actividades reproductivas para hílidos, resultó correlacionado positiva y fuertemente con *S. baudinii, D. spatulata, S, fodiens* y *T. vermiculatus* (en dicho orden). Tal conjunto se encuentra constituido por especies de talla grande (respecto a su LHC) y reproducción catalogada como explosiva (Duellman y Trueb, 1994, AmbhibiaWeb, 2013, Luna-Gómez *et al.,* 2017). La velocidad del viento y su influencia en la presencia y abundancia de los conteos nocturnos es novedosa y debe de ser estudiada a profundidad en diferentes modelos (en campo y laboratorio), especies y hábitats.

Las funciones del viento, a nivel ecosistema, en general se acotan a trasportar todo aquel material liviano en la masa de aire (que siempre va de la zona de mayor presión a la zona de menor presión) y como agente erosivo de la superficie por donde pasa. Específicamente, la velocidad es frenada por la orografía y a nivel del suelo, suele ser menor. Por otro lado, a nivel organismo, la velocidad del viento puede estar influyendo en la sensación térmica (*wind chill,* término meteorológico) de los vertebrados del Arroyo y sus laterales; además, el viento, puede ser un factor deshidratante para aquellos individuos en el plano por donde el aire se mueva. Considerando los siguientes puntos:

a. Los eventos correlacionados (la velocidad del viento por la madrugada-mañana y la abundancia de los hílidos durante el muestreo) se encuentran separados por 12 horas por lo que el efecto del viento y su velocidad no es inmediato sobre la abundancia de los hílidos en los conteos nocturnos.
b. Entre 2:00 y 7:59 hrs., al menos al inicio del periodo, algunos hílidos se encuentran fuera de sus escondites, en las pozas, formando coros, amplexos o alimentándose.

Se han desarrollado las siguientes hipótesis:

a. La velocidad del viento, en conjunto con la temperatura del aire (sensación térmica), es un indicador no inmediato o tardío sobre las condiciones que predominaran el ambiente ese día más tarde (aproximadamente 12 horas después).
b. Este indicador es evaluado directamente por los hílidos que aún se encuentran fuera de sus sitios de percha o expuestos, e indirectamente por los hílidos refugiados en los árboles o debajo de la tierra, a través de un mecanismo a discutir. El mecanismo por el cual los hílidos sensan o evalúan a esta variable compuesta, puede ser discutido en términos tan parsimoniosos como la sensación o evaluación del hílido de la humedad y temperatura de la tierra (en caso de estar enterrado), o la sensación térmica que el aire puede proporcionar dentro del hueco del árbol o planta donde el organismo se encuentre perchando o escondido.
c. Incluso cuando interpretamos la velocidad del viento como un indicador o predictor tardío o no inmediato de la presencia de anuros durante las horas de muestreo, puede ser visto como un indicador directo si ponemos sobre el plano las consecuencias del aire sobre los organismos: la desecación. Los hílidos que se correlacionan con esta variable son a la vez los de mayor talla por lo que, se esperaría que su tasa de desecación no fuese mayor a la de los hílidos más tardíos y pequeños (de los cuales, solo contabilizamos a *T. smithii*). Es decir, la

relación de área y volumen que presentan los hílidos de mayor tamaño no permite que pierdan tanta cantidad de agua dada el área expuesta a diferencia de un hílido más pequeño cuya relación volumen y área, propicia una mayor velocidad de deshidratación.

Cobra sentido la correlación positiva con la temperatura máxima descrita por Luna-Gómez y colaboradores (2017), cuyo potencial de deshidratación del anuro es alto, pero que forma una sinergia con la velocidad del viento y la temperatura (relación meteorológica: wind chill) en el caso de especies como *A. dacnicolor* y *S. baudinii*, reduciendo el riesgo de desecación por altas temperaturas.

Por otro lado, todas las especies y en conjunto como hílidos (todos aquellos hílidos contabilizados en muestreos nocturnos) presentaron una correlación significativa en relación con la precipitación durante el muestreo (20:00- 01:59 hrs) incluso cuando todas las especies muestreadas tienen diferentes tallas, dinámicas de reproducción o hábitos. Esta dinámica fortalece la idea establecida en la bibliografía y en conjunto con el actual estudio de campo que la precipitación sigue siendo el elemento de mayor influencia en la abundancia de los individuos durante los muestreos nocturnos, incluso cuando estos no se encuentran reproduciéndose. Específicamente, las correlaciones de fuerte magnitud entre conteos nocturnos de especies y la precipitación correspondieron a *D. spatulata, S. fodiens, S. baudinii, y T. vermiculatus* (en dicho orden). Todos ellos de talla grande y reproducción explosiva, lo que coincide con la descripción bibliográfica de anuros de talla grande emergiendo ante las primeras lluvias (Moreno-Rodríguez, 2016; Luna-Gómez *et al.,* 2017). De tal manera que la precipitación durante el muestreo es un indicador inmediato pues la variable ambiental corresponde al mismo periodo que la variable correlacionada (el conteo de los individuos) y puede ser visto como una estrategia conductual. Además, es un buen indicador o predictor directo, pues se sabe que uno de los principales problemas con las actividades de forrajeo, exploración y reproducción es la desecación y que la humedad del ambiente es fortalecida en gran medida por la presencia de lluvia (tema abordado en la parte introductoria de esta tesis).

Por supuesto este razonamiento, donde una sola variable desencadena el fin de la estivación o el inicio de las actividades reproductivas o para la alimentación o exploración, no puede dejar de lado otros factores. Por ejemplo, la ausencia de radiación, la velocidad del viento durante la madrugada-mañana, la precipitación durante el muestreo y las correlaciones individuales con la abundancia de los conteos nocturnos de los hílidos muestreados conforman las relaciones más significativas para esta tesis. Más adelante se discuten las relaciones de las variables climáticas y microclimáticas que, en conjunto, son significativas por especie y no necesariamente son lineales.

Es importante entender que las anteriores correlaciones, aunque lineales y significativas, fueron parte de la temporada inicial de lluvias, es decir, probablemente mientras más avanzada la temporada de lluvias se encuentre, la frecuencia y magnitud de estas variables atmosféricas que influencian de manera positiva o negativa la abundancia de las especies en muestreos nocturnos debería:

a. Llegar a un límite. Dicho límite representaría de manera gráfica una meseta, ya que estas relaciones no pueden tender al infinito desde el punto de vista ecológico (un incremento

considerable de lluvia o velocidad del viento no implicaría más individuos por noche, de hecho, los limitaría en algún punto, como cuando ocurren huracanes). Para determinar el punto donde la recta termina y comienza la meseta (o algún cambio en dirección o símbolo de la recta) hacen falta estudios que contemplen la totalidad de ciclos y tendencias de cada variable atmosférica.

b. Cambiar entre variables predictoras. Se sabe que a lo largo de la temporada de lluvias hay variaciones para cada variable atmosférica. Estrictamente, el inicio de la temporada de lluvias puede o no iniciar de manera paralela a la actividad reproductiva de los anuros en general (Savage, 2002, Moreno-Rodríguez, 2016; Luna-Gómez *et al.* 2017). En parte, las variables que desencadenan la formación de coro por parte de los machos, los amplexos por parte de ambos sexos o la ovoposición por parte de las hembras van variando a lo largo del ciclo de lluvias. De igual manera, estudios que contemplen las variaciones a lo largo del año y cómo los hílidos responden por especie y sexo, son necesario para describir el registro histórico de cómo y qué variables influencian cada fracción del ciclo de vida de los anuros.

c. Sería un error asegurar que no existen más correlaciones (moderadas o fuertes) que las descritas en esta tesis entre las especies y las variables ambientales y microambientales. Dada la dinámica de las condiciones climáticas a lo largo de toda la temporada, algunas nuevas correlaciones lineales se formarán o serán más notables como las correlaciones negativas entre la precipitación acumulada y la abundancia nocturna de *A. dacnicolor* y *S. baudinii* registrado por Luna-Gómez y colaboradores (2017).

A nivel microambiental también se correlacionaron variables específicas del lugar exacto donde se encontraba el individuo dentro o fuera de las pozas. La única especie que tuvo correlaciones lineales de moderadas a fuertes (de acuerdo con el valor de r^2) fue la especie *D. spatulata* sin embargo la significancia sobrepasa el valor de $p \leq 0.5$ (por lo que la correlación no puede ser aceptada como significativa). La primera correlación fuerte se refiere a la temperatura microambiental (de manera positiva) y valor $p = 0.3$ y la segunda, de manera moderada, a la temperatura dentro de la poza (de manera negativa) y valor $p = 0.15$. Respecto a la temperatura ambiental, Duellman (1970) había descrito que, para el inicio de las actividades reproductivas, era necesaria una temperatura ambiental más bien baja lo cual puede reflejar una temperatura también baja en las pozas de la zona; mientras que en el trabajo de Luna-Gómez y colaboradores (2017), la presencia de este hílido, exclusivamente se podía encontrar tras episodios de lluvias fuertes, lo cual, tiene una incidencia directa sobre la temperatura tanto a nivel ambiental como dentro de las pozas (a mayor precipitación, la temperatura tiende a disminuir), estos hechos son coincidentes con la correlación negativa encontrada entre los conteos nocturnos y la temperatura dentro de la poza; sin embargo no explica la correlación positiva entre la temperatura microambiental y los conteos nocturnos.

Una hipótesis del porqué de ambas correlaciones tan diametralmente distintas, apunta a la diferencia de necesidades entre machos y hembras; esto es, durante los primeros días de la temporada de lluvias, los pocos machos registrados probablemente busquen un clima más bien cálido para incrementar su metabolismo, alimentarse antes de propiciar cualquier evento reproductivo y comenzar a formar algunos coros, mientras que las hembras buscarían (dicho evento

ya no fue registrado en este trabajo) temperaturas más bajas que aseguren que las pozas no se secarán y estarán disponibles tanto para mantener la humedad alta (o al menos al área cercana a la ovoposición) y para que los renacuajos se desarrollen posteriormente. Aparentemente, los diferentes sexos, dado su rol en la reproducción, buscan diferentes aspectos ambientales y microambientales a simple vista contrastantes. Este tipo de hipótesis, donde las hembras y los machos responden a diferentes variables ambientales, se ha demostrado en especies como *Hyperolius marmoratus,* donde la abundancia nocturna de las hembras en eventos reproductivos se relacionó con variables climáticas que fomentaban un desarrollo más rápido de los renacuajos; mientras que los machos se encontraban asociados a las condiciones que favorecieran un ambiente húmedo para evitar la pérdida de agua (Henzi, *et al,* 1995).

Ambas variables microambientales son indicadores o predictores directos e inmediatos de la abundancia de *D. spatulata* durante los muestreos nocturnos; directos porque son variables específicas del lugar donde el individuo se encontraba y lo afectaba directamente e inmediatos porque los conteos y el registro (que se correlacionan) ocurren en el mismo lapso.

4. Modelos lineales generalizados (segundo modelo, relaciones no lineales entre variables ambientales o microambientales y los conteos nocturnos)

Hasta ahora la dirección de esta tesis había tenido un enfoque individual entre el estudio de las variables climáticas y microclimáticas de interés y los conteos nocturnos de las especies de hílidos, sin embargo, la naturaleza de los ecosistemas a lo largo del planeta tiene dinámicas explicadas por más de una variable, y no necesariamente a través de relaciones lineales.

Para estudiar cuál era el conjunto de variables explicativas para la cantidad de conteos de los individuos de las diferentes especies durante nuestro periodo de muestreo, empleamos modelos lineales generalizados (GLM). Es de suma importancia denotar al lector, que el hecho de que un modelo, regresión lineal o modelo lineal generalizado, desplieguen resultados que contemplan variables diferentes como influyentes en la abundancia de la especie durante los conteos nocturnos no implica que sean incorrectos o contrarios, más bien son complementarios, pues mientras uno detecta relaciones estrictamente lineales, el segundo detecta relaciones no necesariamente lineales bajo un supuesto de no normalidad y distribuciones de Poisson.

En el caso de ***A. dacnicolor***, rana de talla grande, reproducción continua, hábito arbóreo y presencia continua durante todo el año, el modelo indicó tres variables ambientales como predictoras: humedad durante la mañana-tarde, velocidad del viento en la madrugada-mañana y radiación por la tarde- noche. Las dos primeras de manera positiva y la última de manera negativa; todas ellas con un valor *p* significativo.

La humedad en la tarde-noche (8:00-13:59 hrs) es una variable desfasada de la hora de muestreo (entre 12 y 6 horas inmediatas anteriores a la hora del muestreo), pero registrada como importante para la supervivencia de esta especie. Específicamente, la correlación negativa con la humedad

durante la tarde y hasta el muestreo asegura una baja posibilidad de pérdida de humedad por desecación para las puestas de huevos (lo cual no incide sobre el organismo adulto directamente, pero sí en la decisión de elegir un momento adecuado para ovopisitar). La humedad toma un papel determinante en la perpetuación de la especie cuando se sabe que, la mortalidad por deshidratación es una de las principales causas de la pérdida de puestas (Neckel-Olivera, 2004) y concretamente para este género, la mortalidad en puestas expuestas a deshidratación aumenta 6 veces en comparación con aquellas en condiciones de humedad constante (Salica *et al.*, 2017).

En conjunto con la humedad, la correlación negativa con la baja radiación en la tarde-noche (14:00-19:59 hrs) asegura que el intervalo de temperatura será más bajo durante la noche y esto puede verse reflejado en la decisión de salir de sus escondites a alimentarse, reproducirse y colocar nuevas puestas sin deshidratarse como ocurriría durante el día. Al igual que la humedad, la radiación se consideró un indicador o predictor parcialmente inmediato y directo sobre el anuro y sobre el ecosistema.

La velocidad del viento en la madrugada-mañana (2:00- 7:59 hrs) es un factor que se sabe, propicia la resequedad en anuros y coincide con la correlación lineal descrita anteriormente (revisar punto 3 de esta discusión, específicamente la sección de las correlaciones que involucran al viento); de la misma manera robustece la idea de que ésta variable es un predictor confiable indirecto (pues no es una variable coordinada con el horario de muestreo) al menos para las primeras etapas de la época de lluvia. Particularmente con la velocidad del viento, la relación entre el tamaño del cuerpo de estos individuos y la pérdida de agua puede ser estudiada y estandarizada como en el caso de *Eleutherodactylus portoricensis* (Klein *et al.* 2016) donde dicha correlación es negativa.

Otras variables han sido estudiadas como factores ambientales puntuales del comienzo de las actividades reproductivas para esta especie como las correlaciones positivas con la máxima temperatura y las correlaciones negativas con el incremento de precipitación acumulada (Luna-Gómez *et al.* 2017) o intervalos específicos de los cuerpos de agua donde ocurren los amplexos (Pynburn *te al,* 1970). Como tempranamente se plantea en esta discusión, la influencia de estos factores debe de contemplarse en el marco de tiempo referente al inicio de la temporada de lluvias. Mientras que ejercicios como los de Luna-Gómez y colaboradores (2017) han planteado todo un estudio que abarcó más de una temporada completa de lluvias y para el cuál la temperatura y la precipitación acumulada tienen efectos sobre las actividades reproductivas de los individuos de esta especie, este trabajo se enfocó de manera precisa en la temporada inicial de lluvias, no en el espectro completo de lluvias, por esta razón las condiciones de este intervalo son diferentes a las del intervalo completo, así, las relaciones detectadas tanto por las relaciones lineales como por los GLMs fueron distintas, es decir, son específicas del inicio de la temporada de lluvias.

Al igual que para las variables atmosféricas, los GLM se ejecutaron para variables microambientales. En el caso de *A. dacnicolor* las variables predictoras fueron las partículas disueltas y profundidad en los cuerpos de agua; ambas de manera positiva y significativa respecto al su valor *p.*

Las partículas disueltas en el agua son un parámetro fisicoquímico de las pozas que en general se refiere a la materia (minerales, metales, cationes o aniones) disuelta en el agua y es un reflejo de la

conductividad del agua; se sabe que el agua que es altamente conductiva tiende a deshidratar a los organismos que se encuentran en ella y por ello es evitada por los adultos (Mageski *et al*., 2016) mientras que en el desempeño de los renacuajos no tiene efectos discernibles (Loma y Lardner, 2006); Es necesario un estudio más amplio que contemple:

a. Naturaleza de las partículas disueltas
b. Origen de las partículas
c. Concentraciones evitadas/requeridas para reproducción, ovoposición y desarrollo de los renacuajos y que puede estar relacionada con la reproducción.

Por ahora interpretamos que las concentraciones altas de partículas disueltas son la consecuencia indirecta de las escasas lluvias, pues al evaporarse el agua, la concentración se eleva irremediablemente; esto es concordante a su vez con el hallazgo de una correlación negativa con el incremento de precipitación acumulada de Luna-Gómez y colaboradores (2017), de manera indirecta: a menor acumulación de agua, mayor cantidad de partículas y mayor número de conteos nocturnos; mientras la temporada de lluvias permita precipitaciones de mayor magnitud y frecuencia y las concentraciones de partículas disueltas decaiga, menos individuos en los muestreos nocturnos deberían de ser contabilizados, para dar lugar a los hílidos de talla pequeña. Además, se deben de buscar, con ayuda de estudios de campo enfocados específicamente a esta especie, el porqué de la preferencia de esta a las concentraciones altas de partículas disueltas totales y discernir si es una consecuencia colateral al estado de las pozas o si en realidad representa una ventaja, incluso, por sexos.

Por otro lado, una mayor profundidad en las pozas significa una mayor calidad de hábitat para la puesta de huevos: mientras que una poza de pocos centímetros tiende a extinguirse rápidamente (hidroperiódo corto) ante las altas temperaturas que constantemente secaban a las pozas pequeñas, una poza de varios centímetros de profundidad es vista como un buen sitio para colocar (en la vegetación sobre ella) las puestas, así como el desarrollo de los renacuajos sin riesgo a perder el cuerpo de agua ni por la velocidad del aire, ni por la radiación o temperaturas elevadas. Esparza (2014) encontró que pozas de gran tamaño son favorables para una abundancia elevada y constante para esta especie. La profundidad puede ser un reflejo de una poza grande, en la mayoría de los casos sí representa una poza de hidroperiódo largo. Aunque la profundidad es un factor de relevancia, no puede ser tomado como la única variable que determinará la permanencia de la poza, por ejemplo, la poza que permaneció sin secarse durante todo el periodo de muestreo de esta tesis tenía un sustrato 100% rocoso y una cobertura vegetal muy densa, lo cual es consistente con este estudio y el de Luna-Gómez y colaboradores (2017). En conjunto nos permitió sin falta cada noche, observar individuos de *A. dacnicolor,* así como sus respectivas puestas y renacuajos.

La siguiente especie evaluada a través de un GLM, fue ***D. spatulata,*** especie esperada a lo largo de las semanas durante el inicio de la temporada de lluvias debido a su talla, pero escasamente representada probablemente por la erosión de árboles que funcionaban como su principal escondite y refugio por el paso del Huracán Patricia. Para esta especie las variables indicadoras o predictoras de la abundancia en los conteos nocturnos, fueron la precipitación durante el muestreo

y la presión atmosférica durante la madrugada-mañana. La primera tiene una correlación positiva y la segunda una correlación negativa, ambas tienen una significancia alta respecto a su valor *p.*

El 82% del total de individuos fueron contabilizados en el segundo día de mayor precipitación (7 de agosto, el 6 de agosto fue el día de mayor precipitación, pero por seguridad no se muestreo en dicha fecha) lo que se relaciona de manera contundente y directa con un mayor conteo de individuos respecto a la precipitación durante el muestreo, pero no con eventos reproductivos. De igual manera, la presión atmosférica durante la madrugada-mañana (2:00-7:59 hrs) es un indicador o variable predictiva indirecta y no inmediata de la presencia de hílidos ese día por la noche durante el muestreo. Recordemos que, la presión mientras más baja, mayor probabilidad de lluvia existe; de tal manera la presión baja puede estar siendo sensada o evaluada de manera indirecta tanto por los anuros expuestos (no refugiados) como los refugiados.

Este hecho es coincidente con la relación análoga estudiada por Luna-Gómez y colaboradores (2017) donde la abundancia y eventos reproductivos de esta especie se correlacionan de manera positiva con las lluvias semanales, así como un incremento de la actividad tras lluvias de más de 30mm.

Lo más probable respecto a las relaciones entre esta especie y las variables ambientales es que, conforme la temporada de lluvias avance, aparezcan nuevas correlaciones. Como se puede observar en el trabajo de Luna-Gómez y colaboradores, esta especie suele aparecer no al inicio de la temporada sino tras la tercera y sexta semana. Una primera hipótesis indica que más adelante cuando la temperatura disminuyese, las pozas pudieran mantener condiciones más estables (comparadas con aquellas en el inicio de la temporada), entonces los cantos, amplexos y ovoposiciones pudieran ser más frecuentes a diferencia de los observado en los muestreos nocturnos de esta tesis. Incluso sabemos que, al abarcar el inicio de las temporadas de lluvias con radiación y temperaturas altas, nos alejamos de la descripción de las características ambientales que han sido descritas como agradables o favorables para actividad reproductiva como describe Duellman (1970), pues la temperatura era alta, el cielo muy pocas veces se vio nublado y no había lluvia suficiente ni frecuente.

Para esta especie, el GLM microambiental no resultó significativo para ninguna combinación de variables, lo cual, como se ha descrito antes no significa que no exista una relación entre dichas variables y la especie, más bien asumimos que dado el número tan bajo de conteos, la formación de relaciones no se ve robustecida o incluso que aún no son detectables variables microambientales con relaciones fuertes. Un estudio similar puede llevarse a cabo en periodos que abarquen al menos hasta la mitad de la temporada de lluvias y los conteos nocturnos puedan aumentar en número.

La segunda especie más abundante durante el muestreo de esta tesis, ***Smilisca baudinii*** y que la bibliografía describe como común durante el inicio de la temporada de lluvias (Duellman, 1970; Duellman y Trueb, 1994; Esparza, 2014; Moreno-Rodríguez, 2016; Luna-Gómez *et al.,* 2017) se asoció o explicó a través del conjunto de las variables: velocidad del viento durante la mañana-tarde (08:00-13:59 hrs), la precipitación durante el muestreo (20:00- 01:59 hrs) y la presión durante la madrugada-mañana (2:00 -7:59 hrs). Las dos primeras de manera positiva y la última de manera

negativa. Cabe destacar que la presión durante la mañana-madrugada tiene un menor valor *p* que las dos primeras, sin embargo, aún es significativo.

La relación con la abundancia de esta especie durante los conteos nocturnos y el viento sigue siendo un patrón que llama la atención. Recordemos que, de manera lineal esta especie esta correlacionada con el viento durante la madrugada-mañana (2:00- 7:59 hrs), un bloque de 6 horas antes que la velocidad asociada a través del GLM (entre 8:00 y 13:59 hrs). Esto nos puede hablar sobre una relación compuesta para la velocidad del viento en relación con otras variables atmosféricas: mientras que la relación entre la velocidad del viento durante la madrugada resulta lineal, con el paso de las horas otras variables se agregan a esta relación, modificándola: en este caso la presión durante la madrugada-mañana y la precipitación durante el muestreo. La relación del viento con la abundancia durante los muestreos nocturnos es una variable predictiva no directa sobre el organismo ni inmediata respecto a la temporalidad; incluso y solamente relacionada con esta variable, se podría estudiar la relación del volumen del cuerpo contra la pérdida de agua por resequedad causada por el viento (Klein *et al.* 2016). Por otro lado, la precipitación sigue siendo una variable directa sobre el organismo e inmediata (porque su correlación ocurre durante el muestreo), mientras que la presión durante la madrugada-mañana es un indicador o variable predictiva indirecta y no inmediata de la presencia de hílidos de la especie *S. baudinii*.

La combinación entre las correlaciones de una alta probabilidad de lluvia (en este caso descrito indirectamente a través de la presión durante la madrugada-mañana) y la precipitación *per se* durante el muestreo han sido estudiados e identificados como una variable ambiental propicia para el aumento de la abundancia así como para la actividad reproductiva de esta especie (Savage, 2002; Moreno-Rodríguez, 2016), ya que dicha señal atmosférica representar un bajo peligro de deshidratación y/o extinción de las pozas (probablemente sensado o evaluado en mayor medida por hembras). Ambas variables, son consideradas como indicadores no inmediatos que inciden sobre la decisión del organismo para salir o no a forrajear o reproducirse, ya que puede estar siendo sensada o evaluada por los organismos incluso cuando se encuentran enterrados o perchando en el dosel lateral del arroyo. Este domo de variables brinda seguridad contra la desecación durante esta temporada (inicio de lluvias) que suele ser más variable en cuanto a frecuencia e intensidad de las lluvias.

Para esta especie, fue descrito el conjunto de las variables microambientales que incluyen la profundidad promedio de la poza y la humedad microambiental, que en conjunto explican la abundancia de los conteos nocturnos. Ya que la profundidad de la poza es una variable que es buscada por esta especie, probablemente sea para eventos de reproducción y desarrollo de huevos y renacuajos. Esta especie se había descrito como una rana generalista en relación con la elección de las pozas para eventos reproductivos y que solo ovoposita cuando el resto de los anuros han abandonado la poza, realizando la ovoposición incluso durante la mañana (Orozco, 2014). A su vez esto explicaría que a mayor tiempo de espera (para *usar la poza*) la humedad microambiental es necesaria para no desecarse, así como la profundidad de la poza es un requisito único para que no se extinga mientras ocurre el turno de *S. baudinii*.

La especie ***S. fodiens***, al igual que su congénere *S. baudinii* presentan un tipo de reproducción explosiva, pero durante los conteos nocturnos no pudieron ser equiparadas. Mientras que *S. baudinii* presentó un conteo total de 159 individuos, *S. fodiens* solo presentó 38 eventos de conteos nocturnos durante el periodo estudiado, además, coincidente con el trabajo de Luna-Gómez y colaboradores (2017), esta especie resultó altamente irregular durante el muestreo. El conjunto de variables explicativas tampoco fue completamente equiparable, para *S. fodiens* las variables que explicaban los conteos nocturnos fueron la temperatura durante la madrugada-mañana (2:00 -7:59 hrs) y la precipitación durante el muestreo (20:00- 01:59 hrs). La primera de manera negativa y la segunda de manera positiva (al igual que *S. baudinii*). Ambas variables de manera significativa dado su valor *p.*

La lluvia durante las horas del muestreo sigue siendo un factor de relevancia por ser una variable directa e inmediata sobre los conteos nocturnos; además, la importancia de la lluvia coincide con lo establecido por Luna-Gómez y colaboradores (2017) sobre una correlación positiva entre la precipitación y la actividad reproductiva de la especie. Por otro lado, la temperatura durante la madrugada-mañana es una variable parcialmente directa (pues puede ser sensada o evaluada por integrantes de la especie que aún no se hayan refugiado e incluso por aquellos bajo tierra) y tardía (porque la correlación sobre los conteos se observa entre 12 y 18 horas después que la variable fue medida). En principio, la correlación con la temperatura no podría ser infinita como se mencionó antes en esta sección; sin embargo, una temperatura fría podría estar favoreciendo la poca incidencia de perdida de humedad a causa de la temperatura, es decir, a menor temperatura menor probabilidad de que las pozas desaparezcan o que los individuos se deshidraten.

Resalta que a diferencia de *S. baudinii*, poco más del 50% de los conteos para *S. fodiens,* se encontraban formando coros o en amplexos, pero el 90% de estos ocurrió durante el día de muestreo con mayor precipitación. Hipotetizamos que el conjunto de estas dos variables es relevante para las hembras pues, aunque podamos registrar machos cantando, dicho día también encontramos amplexos (evento que no ocurrió antes o después del día de mayor precipitación). Ambas variables podrían estar siendo cotejadas por las hembras con la finalidad de sensar o evaluar si el ambiente es propicio para colocar las puestas y que estas sobrevivan. Se sabe que un factor que afecta tanto al tamaño del renacuajo como al desarrollo independientemente del tamaño del huevo es la temperatura del agua. Williamson y Bull (1989) encontraron que, para *Rana signifera*, un aumento de 3°C en la temperatura disminuye el tiempo promedio hasta la eclosión en 15 días. En este caso, la temperatura del ambiente tempranamente sensada o evaluada, puede ser un indicador de altas probabilidades de encontrar o no pozas constantes y además indica la probabilidad de poder llevar a cabo amplexos y puestas con éxito.

Respecto a las variables microclimáticas, el GLM no mostró un conjunto de variables relevantes para la especie sino una sola variable relacionada con los conteos nocturnos, dicha variable es la humedad microambiental. Dado que fue una variable propia del microambiente de cada individuo contabilizado en el sitio y hora de los muestreos, se consideró como una variable directa sobre el organismo e inmediata sobre su abundancia nocturna. La humedad ambiental en etapas tan tempranas de la temporada de lluvias toma un rol relevante pues en conjunto con la lluvia (antes

mencionada para esta especie) es el único factor ambiental que podría estar asegurando que la probabilidad de perder agua al alimentarse o intentar reproducirse sea baja a diferencia de las etapas más avanzadas de lluvia, donde, seguramente la relevancia de otros factores comenzará a resaltar (pues la lluvia, las pozas llenas o la corriente del arroyo se convertirán en una constante). Además de esta estrategia conductual, la cual guarda seguridad hídrica para esta especie, podrían ser estudiadas las estrategias fisiológicas propias de hílidos pequeños como la producción de mucosa o vascularización cutánea contra la deshidratación que emplean especies de talla pequeña y cómo esto influye en la aparición de dichos hílidos o incluso en el desarrollo de las actividades reproductivas (Halliday y Adler, 2007; Dundee 2002).

A su vez, la humedad microambiental es un reflejo indirecto de precipitación; al existir eventos considerables de precipitación (de acuerdo con Luna-Gómez *et al.,* 2017, mayores a 30 mm) entonces la humedad necesaria para el aumento de la abundancia de esta especie puede ser alcanzada (en el presente análisis se registraron entre 76 y 100 puntos porcentuales).

Para la especie ***T. smithii***, el único hílido de talla pequeña contabilizado, el conjunto de variables atmosféricas explicativas se constituyó de la humedad y precipitación durante el muestreo. Ambas de manera positiva y significativa respecto a su valor p. Estas asociaciones positivas son similares a las encontradas por Luna-Gómez y colaboradores (2017) cuyos hallazgos relacionaron la precipitación acumulada semanal y la humedad relativa con la presencia de esta especie en actividades reproductivas.

Al ser una especie de talla pequeña, la humedad es de los mayores problemas con que lidiar cuando emerge para alimentarse y a reproducirse debido a que el tamaño corporal de los individuos de esta especie permite una fácil pérdida de agua (Klein *et al,* 2016). Aunque los registros fueron pocos, la mayoría de ellos indicaba intentos tempranos de reproducción: machos formando coros, aunque ningún amplexo fue registrado, lo cual vuelve a traer a la discusión la idea de que los factores ambientales que influyen en machos y hembras para terminar el periodo de estivación o iniciar con las actividades reproductivas, son diferentes. Con los datos recopilados, podemos hipotetizar que este trabajo captó la información correspondiente a los primeros avistamientos de toda la temporada; de acuerdo con lo descrito por Luna-Gómez y colaboradores, las hembras y por lo tanto los amplexos se pueden formar más adelante en la temporada de lluvias solo hasta que las lluvias fuertes tuvieron lugar.

Debido a los pocos registros tampoco pudo ser calculado un GLM para variables microambientales.

En el caso de ***T. vermiculatus***, la tercera especie con mayor relevancia en los conteos nocturnos e hílido de talla grande, presentó un conjunto de variables explicativas similar al de *S. baudinii*. El conjunto de variables involucra una relación positiva con la velocidad del viento por la mañana-tarde (08:00-13:59 hrs), la precipitación durante el muestreo (20:00- 01:59 hrs), y de manera negativa con la presión durante la tarde-noche (14:00-19:59 hrs), exactamente antes del muestreo. El modelo arrojado fue el más significativo, pero dentro del modelo algunas variables tienen más significancia que otras; en este caso, la precipitación durante el muestreo fue la más significativa

con un valor de *p*, seguida por la presión en la tarde-noche y velocidad del viento por la mañana-tarde en menor medida (pero aún válido).

En principio, debido a que es una especie de talla grande, se esperaba encontrar con mayor frecuencia, por lo que una evaluación completa debería de abarcar la temporada completa de lluvias. Sin embargo, Luna-Gómez y colaboradores (2017) reportan a esta especie como sensible a las lluvias semanales mayores a 30mm.

En relación con el conjunto de variables, la velocidad del viento durante la mañana-tarde y la precipitación durante el muestreo ya han sido descritas antes en el caso de la especie *Smilisca baudinii*, otra especie de talla grande. Al igual que *S. baudinii*, *T. vermiculatus* también presentó una correlación lineal con la velocidad del viento en la madrugada-mañana. La gran diferencia entre estas dos especies es que los conteos de *T. vermiculatus* son explicados también por la presión durante la tarde-noche y no durante la madrugada-mañana. Aunado a ello, la presión es sensada o evaluada en un bloque de 6 horas antes de los muestreos, es prácticamente una variable inmediata y directa de los conteos de el mismo día, porque colinda en la línea del tiempo con el horario de muestreo.

Por otro lado, como ha ocurrido con todas las especies de hílidos excepto *A. dacnicolor*, para *T. vermiculatus* la relación con la precipitación durante el muestreo es directa e inmediata y al igual que lo indicado tempranamente en esta tesis, la precipitación es un factor determinante para el fin de la estivación, así como paras las primeras evidencias de reproducción en el caso de esta especie (46.34% de los individuos contabilizados, se encontraban cantando).

Respecto al GLM de las variables microambientales en relación con *T. vermiculatus,* la temperatura microambiental es la única detectada como relevante para dar explicación a la abundancia de los conteos nocturnos (por su valor de significancia). Dicha relación se presenta de manera positiva; es por seguro, una relación con un límite marcado que puede ser materia prima para una nueva investigación tanto en campo como en laboratorio. Por ahora, los valores detectados en este trabajo ocurren entre 26 y 31.5 °C. Dicha temperatura puede ser asociada al aumento de metabolismo, mismo que desencadena actividades de forrajeo, alimentación y por supuesto, una vez ganada la energía necesaria, reproducción. Aunque la especie no fue encontrada en la mayoría de los casos realizando actividades propias de la reproducción, puede tratarse de los primeros intentos; las hembras muy probablemente estuvieron siendo incentivadas por otras características ambientales (atmosféricas y microambientales) que se desarrollarían más adelante, cuando la temporada de lluvias estuviese más avanzada y el arroyo tuviese corriente.

En general, la diferencia entre la abundancia nocturna de las especies es un reflejo de diferentes estrategias para afrontar las mismas condiciones climáticas en un área compartida. Las ranas que necesariamente buscan condiciones de relativa constancia para llevar a cabo las actividades reproductivas de la temporada permanecen en estivación o sin actividades reproductivas hasta que estas condiciones llegan (por ejemplo, *S. fodiens* o *T. vermiculatus*), pues al inicio de la temporada de lluvias, variables atmosféricas como la precipitación, la humedad o la radiación y variables microambientales como la profundidad media, la temperatura (y por lo tanto el hidroperiódo), las

partículas disueltas y el pH son fluctuantes. Por otro lado, los hílidos que emergen al inicio de la temporada de lluvias como *A. dacnicolor* y *S. baudinii* son los más tolerantes a variables atmosféricas y microambientales, incluso cuando no se reproduzcan inmediatamente o sus estrategias reproductivas sean diferentes entre ellas. En concreto, y considerando lo anterior, pueden ofrecerse algunas interpretaciones generales al lector producto del análisis de dichas relaciones, como a continuación se muestra:

a. Todas las especies con excepción de *A. dacnicolor*, resolvieron para los GLMs que la precipitación durante los muestreos es un buen predictor directo e inmediato para la abundancia en los conteos nocturnos.
b. Las 3 especies más abundantes, que además son las de mayor talla (*A. dacnicolor, S. baudinii* y *T. vermiculatus*) arrojaron como parte de su resultado a la velocidad del viento, en alguna fracción del día, como variable predictora de los conteos nocturnos.

   b.1. De estas estas tres especies, solamente las que presentan reproducción de tipo explosivo se correlacionaron negativamente con la presión atmosférica previo al muestreo nocturno (*S. baudinii* y *T. vermiculatus*).

   b.2. De estas tres especies, solo las dos primeras y más abundantes tuvieron una correlación positiva con la profundidad media de la poza (*A. dacnicolor* y *S. baudinii*).

c. Solo las especies muestreadas con reproducción de tipo continúo fueron asociadas de manera positiva con la humedad atmosférica, incluso cuando son de tallas muy diferentes: *A. dacnicolor* y *T. smithii.*
d. *A. dacnicolor* es una especie generalista y podría resultar más resiliente ante una perturbación como la ocurrida con el Huracán Patricia o ante una perturbación antropogénica.

Aunque que no fue parte de los objetivos del proyecto relacionar los bloques por sexo de los individuos durante el conteo nocturno y las variables atmosféricas ni microambientales, es evidente que en algunas ocasiones eran machos los contabilizados (porque formaban coros) y en otras ocasiones eran machos y hembras (porque se contabilizaron amplexos y puestas). Podemos hipotetizar y dar pie a nuevas investigaciones que contemplen que tanto machos como hembras, de todas las especies y en distintas fases de la temporada de lluvia, tendrán preferencias diferenciales por cada bloque (especies, sexo, temporalidad). Se propone un nuevo trabajo que abarque toda la temporada de lluvias con un mes de anticipación y un mes de posterioridad tras el fin de la temporada, donde estos bloques sean estudiados en función de las variables ambientales descritas en esta tesis (y, por supuesto, adicionales si existe la oportunidad) complementando el actual entendimiento con otro tipo de variables como los descritos para *Hypsiboas rosenbergi,* (Höbel, 2017) donde se contemplan señales sociales y ambientales, además, diferenciadas para cada sexo y cómo esta diferencia regula la actividad de reproducción; o para *Pseudacris triseriata* (Buxton, *et al.,* 2017) y el análisis de la fidelidad al sitio para colocar la puesta de huevos que se ve afectada por una relación de depredador-presa. Esta recomendación surge de observaciones

realizadas en campo en las que pudimos observar un aumento en el número de las interacciones depredador-presa (colúbrido-anuro) durante los días de mayor cantidad de precipitación.

Finalmente, los modelos GLM para todas las especies, tuvieron por objetivo encontrar aquel conjunto de variables ambientales predictivas de la abundancia durante los conteos nocturnos, que puede ser extrapolado en consecuentes estudios al inicio de la temporada de lluvias en el Arroyo Zarco. Una ventaja que ofrece este tipo de modelo es la capacidad de poder interpretar conjuntos de variables, y no individualmente como ocurre con las correlaciones lineales (que se tornan complementarias), incluso, a manera de ecuación.

5. Consideraciones adicionales

Cada *conjunto de variables climáticas* descrito para cada especie es solo una proporción de las variables totales que predicen la presencia de dichas especies en los muestreos nocturnos pues aun cuando todos los requisitos ambientales y microambientales pueden estar dentro del intervalo de tolerancia de la especie, los organismos se rigen por otras interacciones como las relaciones inter e intraespecíficas e incluso por la modificación en el paisaje por eventos naturales como Huracanes. Por ejemplo, a pesar de que *A. dacnicolor* y *S. baudinii* se presentan al mismo tiempo (al inicio de la temporada de lluvias), tienen intervalos de tolerancia microambientales similares e incluso comparten una dieta similar (Barrios y Melgoza, 2005), las intensidades de las actividades reproductivas no coinciden en el tiempo, pues primero ocurren los eventos bastante conspicuos de *A. dacnicolor*. Esto puede ocurrir, en principio dado la abundancia natural de las especies, pero no podemos descartar el impacto que eventos naturales como el Huracán Patricia pudo tener sobre la densidad poblacional de la zona.

Es importante, más adelante y con evidencia de campo, identificar cómo los factores sociales influyen o complementan en las relaciones individuo-ambiente, pues incluso se han descrito como *mejores* variables para la descripción de las actividades reproductivas (Höbel, *et al,* 2017) cuya aseveración puede o no ser cierta dependiendo del hábitat: un clima y cuerpos de agua constantes, degradación antropogénica nula y un paisaje libre de eventos que lo modifique puede dar pie a enfatizar a las correlaciones entre variables sociales e individuos; mientras que definitivamente las variables ambientales en paisajes estacionales, fuertemente modificados por eventos naturales como huracanes y quizá con huellas antropogénicas leves como lo es la RBChC, tienen un gran peso en la dinámica tanto de fin de la estivación como de reproducción de las diferentes especies.

Finalmente, producto de este trabajo, se recomienda concentra en las investigaciones a mediano y largo plazo en temas relacionados a esta tesis. Aparentemente, las poblaciones de especies de hílidos de Arroyo Zarco de mayor abundancia no se vieron afectadas por el huracán Patricia, sin embargo, no se descarta un efecto colateral en poblaciones menos abundantes y de hábito arbóreo que usualmente empleaban bromelias para su estivación o escondite dada la erosión del dosel alto y quizá la pérdida de adultos en edad reproductiva. Para ellas se sugiere realizar estudios de campo que contemplen toda la temporada de lluvias haciendo hincapié en la comparación entre la riqueza

y abundancia poblacional antes y después del Huracán Patricia; estas especies son: *D. spatulata, E. smaragdina, T. vermiculatus* e incluso para *S. baudinii.* Todas ellas, podrían ser candidatas para una pronta evaluación por la NOM-059-SEMARNAT.

I. CONCLUSIONES

El inicio de la temporada de lluvias correspondiente al año 2016 describe un patrón heterogéneo de variables climáticas, sobre todo de precipitación, humedad y características de las pozas que cubren el Arroyo Zarco. En una ventana de tiempo de 4 semanas, dicha heterogeneidad no puede describirse a través de ninguna tendencia estadística por la naturaleza de los datos, a diferencia de una ventana de tiempo de 4 o 5 meses que abarcaría toda la temporada de lluvias. Sin embargo, son los cambios puntuales y finos, así como la sensibilidad fisiológica, morfológica o conductual de los hílidos muestreados lo que marcó el recambio de especies de acuerdo con diferentes condiciones para el fin de la estivación y comienzo de las actividades reproductivas. Dicho esto, las conclusiones que la tesis sustenta son las siguientes:

1. Al inicio de la temporada de lluvias (periodo de un mes), fueron *A. dacnicolor*, *S. baudinii* y *T. vermiculatus* las especies más frecuentes, mientras que *T. smithii* fue el hílido de menor frecuencia en conjunto con *D. spatulata.* La especie que se presentó de manera más irregular (más de una semana de ausencia) fue *S. fodiens.* No todas las especies son equivalentes en el tiempo, existe un recambio temporal entre las especies.
2. En este trabajo, *A. dacnicolor* y *S. baudinii* presentan los intervalos de tolerancia más amplios de temperatura ambiental, temperatura dentro de las pozas, humedad ambiental y microambiental, pH, presión en el lugar exacto del conteo y precipitación; lo cual las convierte claramente en especies fisiológicamente tolerantes (sobre todo relacionado con la economía del agua) e incluso altamente resilientes ante perturbaciones. De manera contrastante, incluso cuando es una especie de talla grande, *D. spatulata* fue la especie con intervalos más cortos (temperatura ambiental y microambiental, presión atmosférica, partículas disueltas, presión dentro de las pozas y profundidad para las mismas) que cualquier otra especie muestreada.
3. Particularmente, el primer modelo (correlaciones lineales) demostró con alta confiabilidad estadística, la correlación entre la abundancia durante los conteos nocturnos de los hílidos y, por separado, la velocidad del viento durante la mañana-madrugada (2:00-8:00 hrs) y la precipitación durante el muestreo (20:00 a 2:00 hrs).
4. Es importante señalar que, para el inicio de la temporada de lluvias, las especies catalogadas con un tipo de reproducción prolongado no mostraron correlaciones lineares fuertes con ninguna variable climática ni microambiental, dichas especies son: *A. dacnicolor* y *T. smithii*.
5. Dadas las variables individuales resultado de las correlaciones lineales, los conjuntos de variables a partir del segundo modelo de GLMs y características propias de las especies podemos concluir que es notable el recambio entre las diferentes especies que hábitat el Arroyo Zarco. El recambio, en primera instancia, fue establecido por la división entre hílidos *grandes* (como *A. dacnicolor*) e hílidos pequeños (como *T. smithii*) la que determinó cuál grupo emergía de la estivación primero; sin embargo, de manera más fina podemos establecer subgrupos que se establecen a continuación:

A. Primero emergieron los hílidos de talla grande que, de acuerdo con la bibliografía presentan un desarrollo de renacuajos a organismos jóvenes descrito como rápido; estas especies son dependientes del conjunto de variables descritas por modelo GLM: precipitación durante las horas de muestreo y velocidad del viento.
    i. La especie *A. dacnicolor* (de mayor abundancia nocturna durante el inicio de la temporada de lluvia) que presenta un tipo de reproducción prolongada con características de continua, responde negativamente a la radiación durante las horas previas al muestreo. Esta especie fue observada desde el principio de los muestreos en congregación, formando coros (cantando), amplexos, con puestas sobre pozas y renacuajos en diferentes estadios.
    ii. La segunda especie más abundante durante el inicio de la temporada de lluvias fue *S. baudinii* de reproducción explosiva, sin embargo, para su reproducción son necesarios eventos aislados y fuertes (*pulsos*) de lluvia; a pesar de los pocos pulsos registrados para esta temporada, pudieron ser observados renacuajos de la especie. La especie *S. baudinii* responde negativamente a la presión atmosférica registrada previamente al muestreo.
B. Tras *A. dacnicolor* y *S. baudinii*, otros hílidos de talla *grande* surgieron: *T. vermiculatus* y *S. fodiens*. Para ellos la reproducción ha sido descrita como explosiva, pero con desarrollo de larva a joven que dependen de condiciones estables en los cuerpos de agua. Estas especies presentan mayor abundancia durante los muestreos nocturnos, mientras mayor sea la velocidad del viento y mientras más volumen de precipitación existan. Ambas, exhiben una relación negativa con la presión atmosférica antes del muestreo.
C. Finalmente emergieron, los hílidos de menor densidad registrada para el inicio de la temporada de lluvias, pero aún relacionados positivamente con la precipitación durante el muestreo
    i. La especie *D. spatulata*, a pesar de ser un hílido de talla grande y reproducción catalogada como explosiva, no emergió en grandes cantidades, ni se registró desarrollando actividades reproductivas. Además, se correlacionó de manera negativa con la presión atmosférica previa al muestreo.

6. La dinámica descrita al inicio de la temporada de lluvias aún debe de ser complementada con aquellas especies que no fueron ampliamente muestreadas (*D. spatulata*, *T. smithii*) y con aquellas que no fueron parte del muestreo (*E. smaragdina* y *D. sartori*).

J. APÉNDICE 1: Especificaciones para la descripción estadística de variables atmosféricas, microambientales y de abundancia nocturna

1. Series de tiempo y correlogramas: temperatura, humedad relativa, velocidad y presión atmosférica

Una serie tiempo es una secuencia de registros u observaciones que son medidas durante un periodo siguiendo un orden cronológico y donde los datos son en la mayoría de los casos, dependientes o relacionados entre sí. De esta manera pueden describir la evolución de un fenómeno o variable a lo largo del tiempo (Mauricio, 2008). Los parámetros meteorológicos como la temperatura, la humedad relativa, la velocidad del viento y la presión atmosférica pueden ser descritas y estudiadas respecto a nuestro periodo de estudio, de tal manera que los componentes de esta serie de tiempo (tendencia, ciclos y estacionalidad) pueden ser puntualizados y relacionados posteriormente con otros eventos como la abundancia de las especies de hílidos. Cada medición de cada variable está asociada a un momento del intervalo, en este caso a cada hora de cada día.

Para el estudio de las series de tiempo se pueden emplear diferentes enfoques, el más sencillo sería desplegar un gráfico de dispersión donde el *eje x* contenga los valores del periodo y el *eje y* los del parámetro meteorológico, para finalmente verificar *a grosso modo* si existe una tendencia o estacionalidad. Sin embargo, un acercamiento más adecuado y con fundamento estadístico recae en las funciones de autocorrelación. Las autocorrelaciones sirven para conocer la existencia de relaciones entre los datos de una misma variable en diferentes periodos y el grado de intensidad de ésta (correlaciones) (Villavicencio 2010). Existen dos tipos de funciones de autocorrelación, la autocorrelación simple y la autocorrelación parcial: Autocorrelación simple (FACS): mide la relación lineal entre las observaciones de datos distanciados en un lapso de tiempo *k* (retraso o *lag*) y la autocorrelación parcial (FACP): Es la estimación de la autocorrelación simple para el mismo retardo *k*, pero eliminando el efecto producido por las autocorrelaciones para retardos menores a *k*, es decir no considera las autocorrelaciones acumuladas para el retardo *k* para el que se estima. La diferencia entre las anteriores recae en que la FACS brindan para un retardo *k* tanto la relación entre las observaciones con una diferencia de *k* retardos de tiempo como para la relación para retardos menores, mientras que la FACP sólo la relaciona para la diferencia estricta en *k* retrasos. A pesar de esta diferencia, tienen en común el recorrido que el coeficiente de autocorrelación puede tomar y que varía para amabas entre [+1 y -1] (Villavicencio, 2010).

Por otro lado, un correlograma es la herramienta gráfica que representa a las funciones de autocorrelación. Es útil, de fácil interpretación y seguro para tomar decisiones sobre la serie de tiempo sobre todo cuando se combina con los coeficientes probabilidad y los coeficientes de los FACS y FACP (Mauricio, 2008). Para esta tesis, se consideraron todos los registros por hora desde el

18 de julio del 2016 a las 00:00hrs y hasta el 14 de agosto del 2016 a las 00:00hrs incluso cuando no hubo muestreo por la noche (649 registros totales, uno por cada hora de cada día).

Para describir a las variables temperatura, humedad relativa, velocidad y presión atmosférica a lo largo del periodo antes descrito (como una serie de tiempo), se deben cubrir dos supuestos requeridos por los programas *R* y *STATA*: a) que todos los valores estuvieran completos, es decir, que no faltasen valores (*missing values*) y b) que todos los registros fueran positivos. La base de datos que contenía estas variables y el periodo de estudio, no contenían valores negativos, por lo que este supuesto ya estaba cubierto. Para determinar si existían o no valores perdidos bastó con hacer un escaneo de la base de datos de cada variable a estudiar. Una vez que se confirmó que había valores perdidos, se empleó el paquete estadístico *Amelia II* (Honaker *et al.,* 2013) para hacer imputaciones de datos faltantes para las cuatro variables. El paquete *Amelia II* implementa un algoritmo basado en *bootstrap* (técnica estadística de reemuestreo), por lo que generalmente es más rápido que otros enfoques y puede manejar muchas más variables. Posteriormente generó 5 opciones con diferentes imputaciones, en las cuales los valores perdidos fueron calculados para cada parámetro meteorológico. Este paquete fue empleado sobre el programa estadístico *R*.

A través del comando *ameliaView ()* se desplegó la interfaz del programa donde una vez cargada la información (base de datos con las variables a trabajar) se comenzó el análisis de los datos faltantes. Primero, el programa definió el número de valores faltantes y posteriormente realizó la imputación múltiple con el botón *imputation* en la interfaz. Las imputaciones múltiples se guardaron automáticamente dentro de la carpeta donde el archivo original se encontraba. Tal como se explicó anteriormente, la imputación múltiple generó 5 nuevos escenarios con los nuevos valores calculados para cada parámetro meteorológico, de los cuales solo se eligió solo uno para continuar con el segundo paso. Una vez completados los valores perdidos de las variables, continuamos en el programa estadístico Stata para la obtención del índice de autocorrelación y la elaboración de correlogramas de cada variable. Al comenzar el análisis de la serie de tiempo en Stata, la variable de fecha y hora fue marcada como variable cadena o *variable string* si se conservaba el formato *dd/mm/aaahr:hr* de tal manera que se generó una nueva variable llamada *f* y se asignaron números consecutivos para poder tener una variable numérica. La interfaz y los pasos por seguir dentro de ella se encuentran desarrollados en esta sección en el numeral 8.

El siguiente paso fue suavizar a las variables a través del comando *smooth 4253eh,twice* (Salgado-Ugarte y Curts-García, 1992; Salgado-Ugarte y Curts-García, 1993) y generar nuevas variables con el comando *gen.* La suavización permitió una mejor visualización del comportamiento de cada variable. Por ejemplo, al suavizar la variable de temperatura (*t*), y generar una variable suavizada de la anterior (llamada *st*), se empleó el siguiente comando:

smooth 4253eh, twice t, gen(st)

Posteriormente, para obtener el coeficiente de autocorrelación y el valor de probabilidad, primero se estableció el periodo a estudiar y sus valores: en este caso lo hicimos con el comando *tsset* y definimos a la variable *f* como el periodo en que la serie de tiempo se desarrolló (18 de julio del

2016 a las 00:00hrs y hasta el 14 de agosto del 2016 a las 00:00hrs). Una vez establecido, se escribió el siguiente comando (para cada variable):

corrgramst, lags (24)

Donde, *corrgram* es la función para elaborar correlogramas con el despliegue de los valores de autocorrelación simple y parcial, así como los valores de probabilidad y un correlograma muy sencillo; *st* es la variable suavizada, en este caso se trata de la temperatura; *lags (24)* establece el número de retardos contra los cuales se correlacionará la misma variable: en este caso al ser 24 horas se trata de 24 retardos o *lags.*

Aunque el comando anterior arroja un correlograma vertical, el siguiente comando despliega un correlograma más completo pues incluye los intervalos de confianza, marcados por *default* al 95%. para graficar la correlación (correlograma) en el periodo antes establecido (18 de julio del 2016 a las 00:00hrs y hasta el 14 de agosto del 2016 a las 00:00hrs, cada hora de cada día asignada a un número del 1 al 648) se empleó la función en *Stata:*

ac st, lags (24)

Donde, *ac* es la función para dibujar un correlograma, *st* es la variable suavizada y *lags (24)* representa el número de retrasos o *lags.*

Posteriormente se realizó una correlación lineal para cada variable y de esta manera se estableció si había tendencias (Sarmiento, 2008) para cada una de ellas con el comando *regress.* Recapitulando brevemente, la correlación lineal resuelve problemas que implican conjuntos de variables (al menos dos) de las cuales se infiere, podrían tener una relación inherente entre sí (Figura Ap1). En estos modelos existen dos tipos de variables: variables dependientes naturales o respuesta y variables independientes naturales o regresores. Esta relación se expresa con la siguiente función matemática:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1$$

Donde *Y* es la variable respuesta, y el regresor *x* es la relación lineal; el β_0 es la intersección y β_1 es la pendiente (figura Ap1). La relación está calculada para no contener ningún componente aleatorio o probabilístico, sin embargo, en varios fenómenos naturales, esta aseveración no ocurre, por lo que se asume que el modelo se trata de la mejor relación calculada entre *Y* y *X*.

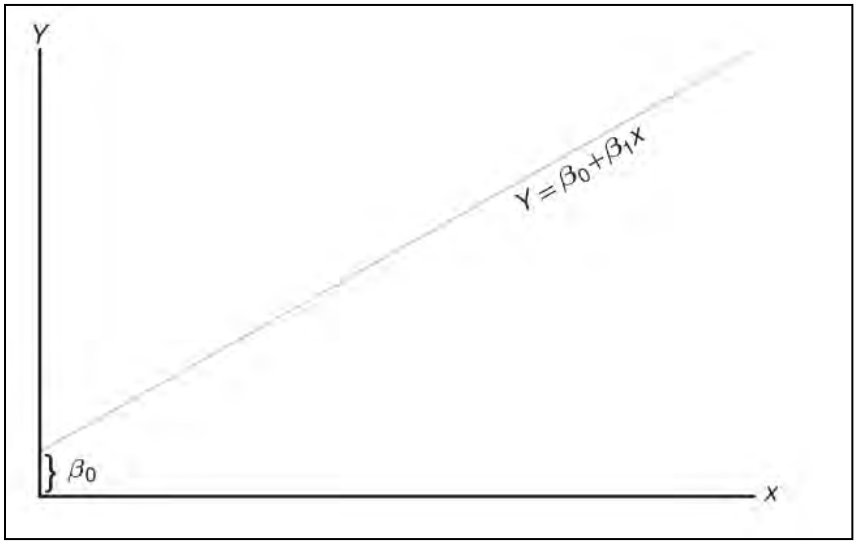


Figura Ap1. Imagen tomada de Walpole et a., l (2012) donde β_0 es la intersección y β_1 es la pendiente.

La regresión puede relacionar el aumento o disminución de la abundancia (en los conteos nocturnos) de las especies a través del tiempo, es decir, puede marcar si existe o no una tendencia incluso con solo tener en cuenta los valores de la probabilidad de F (*Prob>F*) que siendo menor a 0.05 indicaría que hay correlación y a su vez, una tendencia (serie de tiempo no estacionaria)y el valor de r^2(*R-squared*) o coeficiente de determinación indica cual es el porcentaje de la varianza del tiempo que esta está siendo explicada por la variable climática (con que magnitud se están relacionando) y su signo, indica hacia el tipo de tendencia (positiva o negativa). El valor de r^2 ajustado representa la eficiencia de agregar o no, puntos o variables al modelo de tal manera que el porcentaje de r^2 ajustado aumenta (hay diferencia y mejora el ajuste) o se mantiene en el mismo valor (no hay diferencia y el ajuste resultaría lo mismo con o sin la última variable o punto agregado en el modelo).

2. Estimación de la densidad de kernel y gráficas de dispersión para la precipitación y la radiación solar

En nuestro particular caso, la precipitación y la radiación solar, al contener valores iguales a cero (diferentes a los casos de valores perdidos) no pueden ser analizados como anteriormente se describió para la temperatura, la humedad, la velocidad del viento y presión atmosférica (como series de tiempo) y tampoco como se describirá más adelante para la dirección del viento (estimación de la densidad del núcleo para datos circulares). Para estos casos, la distribución de las variables es una de las características que hay que investigar para entenderlas correctamente y un procedimiento que resulta útil para este propósito son los histogramas. Los histogramas son un simplificador de datos, útil para propósitos descriptivos de acuerdo con una revisión crítica de Tarter y Kronmal (1976) sin embargo presentan problemas técnicos que pueden dar diferentes resultados ambiguos entre ellos (Fox ,1990; Salgado-Ugarte, 2017). Estos problemas fueron retomados,

estudiados y erosionado en numerosas publicaciones (por ejemplo, Salgado-Ugarte ,2002; Salgado-Ugarte, 2017), y son:

a. El resultado es dependiente del origen $x_{\circ}$: al trazar el histograma se debe elegir la posición en la cual colocar el origen de los intervalos. Muchas veces esta decisión es conveniente a la investigación y comienza en números centrados o redondeados, sin embargo, esta decisión afectará la construcción o despliegue del histograma, pues interactúa directamente con el número de intervalos y el ancho de banda, generando resultados diferentes entre ellos.
b. El resultado depende de la amplitud y número de intervalos: cuando se tienen grandes conjuntos de datos, un gran número de intervalos debería de dar una representación suave de la función desconocida, pero si usamos pocos intervalos, el resultaron tendrá una pérdida de cualquier detalle de la distribución, pasando desapercibidas las distribuciones potenciales. La mayoría del tiempo tanto el número como la amplitud de los intervalos se determina arbitrariamente a pesar de su importancia.
c. Es discontinuo: Las discontinuidades en un histograma están dadas principalmente por la localización de los intervalos y de ser el caso, por la naturaleza discreta de los registros a manipular. Para todo histograma, la densidad local se calcula sólo en cada centro de clase de los intervalos y las barras se dibujan suponiendo una densidad constante a lo largo de cada intervalo.

Para prevenir o erosionar la ambigüedad de resultados causada por la elección del origen, el número de intervalos, el ancho de banda y las discontinuidades propias del histograma se ha sugerido centrar la estimación de la frecuencia en la posición de cada dato, en lugar de colocarlo en el centro de la clase de intervalo; adicionalmente en lugar de utilizar cuadrados para representar cada número, se sugiere el empleo de curvas que maximizan el valor en el centro y disminuyen gradualmente hacia los extremos. Estas estrategias conducen a los estimadores de densidad por núcleo o kernel, donde la densidad es otra escala de la frecuencia y el kernel o núcleo se refiere a la curva (función ponderal) usada para representar a cada dato. La ecuación que representa a estos estimadores es:

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{nh}\sum_{i=1}^{n} K(*)$$

En donde $\hat{f}(x)$ representa la estimación de la densidad (frecuencia), *n* es el número de datos, *h* es la amplitud de banda (intervalo) y *K (*)* es el kernel, es decir la función que define el peso de cada dato en la estimación de frecuencia (forma la curva para cada observación).

El objetivo de la investigación y la eficiencia del kernel determinará cuál emplear; los más comunes son el de Epanechnikov, biponderado, triangular, gaussiano y rectangular, de los cuales, una descripción más profunda puede ser revisada en Salgado-Ugarte (2002). Para elaborar las

estimaciones de densidad de kernel para los datos de precipitación y radiación solar comenzamos con la elección del ancho de banda óptimo (*optimal bandwith*), el número de intervalos (*Sturgess´ number of bins*) y el kernel gaussiano (*gaussian kernel*) con la función *bandw* para cada variable. Una vez contemplados estos números graficamos la función de densidad y generamos una tabla con las antimodas (que a su vez puede contabilizar las modas) con el comando:

warpdenm var, b (#) m (#) k (#) amo nuamo

Donde *warpdemn* es la función para generar y graficar la función densidad; *var* es el nombre de la variable a graficar; *b* es el ancho de banda óptimo para suavizar; *m* es el número de histogramas desplazados en promedio, utilizados para calcular las estimaciones de densidad requeridas; *k* es el código del kernel a emplear; *amo* permite enlista las antimodas (ocurre cuando la distribución de los datos tiene forma de "u", en punto medio de la distribución) y estos pueden ser trazados sobre la gráfica de densidad para contabilizar el número de modas exactas).

Tras graficar la densidad por kernel, además se realizó un gráfico de dispersión con el comando:

scatter atm_vartime_var

donde *scatter* es la función que grafica ambas variables: la atmosférica (*atm*_var) y la de tiempo (*time*_var).

Con este diagrama se logró visualizar el comportamiento de cada variable atmosférica a lo largo del tiempo. El comando desplegó un diagrama en el cual, el *eje x* contenía la información sobre el periodo de estudio y el *eje y* la magnitud de la variable para cada punto en el tiempo. Para robustecer el diagrama y verificar si existen tendencias, se realizó una regresión lineal para cada variable con el comando *regress* entre la variable atmosférica y la variable de tiempo (para mayor descripción ver el apartado anterior (Series de tiempo y correlogramas en la parte de regresión lineal). Cabe mencionar que, para la elección de ancho de banda, se suavizaron las variables con fines exploratorios, pues algunos aspectos importantes de la densidad cambian al modificar este número. En esta tesis empleamos el número de Silverman y el de Sturges (Salgado-Ugarte, 2002).

3. Estimación de la densidad de kernel para datos circulares: dirección del viento

La dirección del viento (de qué dirección procede) está medida en grados (norte=0°, este=90°, sur=180°, oeste=270°). Esta variable necesitó una aproximación diferente, pues no es lo mismo tratar con variables como la temperatura, cuyos valores, al aumentar denotan un aumento de la magnitud de la variable y viceversa. Para la RUOA, la dirección del viento indicaba de dónde procede el viento y lo denota en grados: un valor de 359 se aproxima hacia el norte incluso cuando 360, cuantitativamente difiere por 359 puntos del 0 (norte); de manera contraria cuando se habla de 180 grados, esto no implica que al ser más cercano al 0, esté más cerca del norte, de hecho está apuntando en dirección totalmente contraria (sur); para este tipo de registros se han desarrollado diferentes herramientas que permiten visualizar el comportamiento de la dirección del viento en un gráfico circular, nosotros emplearemos la estimación de la densidad del núcleo o kernel para datos circulares (*Kernel Density Estimation for Circular Data*) desarrollada por Salgado-Ugarte y Pérez-Hernández (2014). Estas funciones son descritas como una función que soluciona los problemas

típicos de los histogramas como el efecto del origen y la discontinuidad de los bordes de las columnas (ver punto anterior *histogramas: precipitación y radiación solar*) pero en esta ocasión para datos circulares. Antes de poder usar esta función, se buscó el ancho de banda adecuado de cada variable con la función *circbw* para cada variable; una vez contemplado, este valor se usó en la siguiente función:

circkden vs, h (#) circgph amo nuamo

Donde la función *circkden* calculó la estimación de la densidad del núcleo o kernel para variables circulares con escala acimutal (mantiene la escala de las distancias respecto al centro del círculo trazado de 0 a 360 grados) mediante un procedimiento discretizado y dibuja el resultado (Salgado-Ugarte y Pérez-Hernández, 2014) en el cual de manera eficiente es posible visualizar la tendencia; *vs* es la variable suavizada; *h(#)* se refiere al valor del ancho de banda seleccionado como el óptimo; *circghp* despliega la gráfica circular; *amo* permite enlista las antimodas; *mo* lista los valores estimados para cada moda.

4. Dinámica de la abundancia nocturna de las especies a lo largo del periodo de estudio

Para visualizar los cambios de abundancia a lo largo de los 23 días de muestreo, se realizó un gráfico de dispersión con ayuda del programa estadístico *STATA,* con el comando:

scatter sp f

Donde *scatter* es la función para dibujar el diagrama de dispersión y *sp* es la abundancia de cada especie a lo largo del tiempo (por día) *f.*

El grafico de dispersión funcionó para poder visualizar el comportamiento a lo largo del tiempo y verificar días con picos muy elevados de abundancia durante los muestreos nocturnos. El comando desplegó un diagrama en el cual, el *eje x* contenía los días de muestreo (*f*) y el *eje y* la abundancia durante los muestreos nocturnos de las especies.

Se realizaron tres diagramas de dispersión en total: el primero que contenía a las especies más abundantes, el segundo con las especies más escasas y el tercero con la información de todos los individuos muestreados en conjunto de la Familia Hylidae.

Finalmente se realizó una regresión lineal para cada dato de abundancia de los conteos nocturnos de cada especie (previamente suavizada) y de esta manera poder establecer si había tendencias con fundamento estadístico (Sarmiento, 2008) para cada una de ellas con el comando *regress* incluyendo inmediatamente la variable ambiental suavizada y la variable del tiempo:

regressvariable_ambiental_suavizadavariable_tiempo

La decisión sobre si existía tendencia o no fue hecha a partir de los coeficientes de *r-squared* o r^2 o coeficiente de determinación.

5. Intervalos de los parámetros atmosféricos y variables microambientales en las cuales las especies fueron muestreadas

Para graficar los diagramas de violín recurrimos a *Stata;* en primer plano, se obtuvo el ancho de banda óptimo, las modas y las antimodas en cada caso.

warpdenm var, b (#) m (#) k (6) amo nuamo

Donde *warpdenm* es la función para estimar la densidad de la variable ambiental *var*; *b* es el ancho de banda óptimo (se recurrió al ancho de banda óptimo de Silverman en la mayoría de los casos, aquellas excepciones se expresa en los resultados); *m* es el número de histogramas desplazados promediados utilizados para calcular las estimaciones de densidad requeridas (generalmente 10 por defecto); *k(6)* indica el uso del kernel gaussiano; finalmente *amo nuamo* estima el número y los valores de las antimodas, información que se trazó en los diagramas de violines para identificar las modas.

Para trazar el diagrama de violín con las antimodas trazadas sobre él, empleamos el siguiente comando:

violin var, gau yline (#, #, #)

Donde *violin* es la función que traza el diagrama de violín de la variable *var*; este diagrama es suavizado a través del componente *gau*(Gauss); *yline (#, #, #)* indicó los puntos específicos en los que se trazaron las antimodas (#) en este ejemplo 3, en el eje de las ordenadas.

Finalmente, para la variable *dirección del viento,* se trazaron diagramas circulares de densidad suavizados con kernel. Para obtener el número de Kappa de Fisher se empleó el comando *circbw* y para graficar el gráfico se empleó el comando:

Circkdenwvc, h (#) circgph amo nuamo

Donde *cirdenwvc* calcula la densidad por kernel circular, *h (#)* representa el ancho de banda elegido de acuerdo con la información que desplegó *warpdenm*; *circgph* despliega el grafico, finalmente *amo nuamo* despliega una tabla con el número y punto en la recta que corresponden a las antimodas.

6. Relaciones lineales entre las abundancias durante los conteos nocturnos y las variables atmosféricas y microambientales

Considerando las variables atmosféricas o macroclimáticas y las microambientales de la tabla 1F y 2F, respectivamente, se ejecutó el siguiente comando para encontrar relaciones lineales entre variables atmosféricas y la abundancia de los conteos nocturnos:

pwcorr var1, var2, varn, sig

Donde *pwcor r*es la función que calculará el nivel de correlación entra cada variable ambiental y la abundancia de la especie; *var1, var2, varn* son el número de variables a correlacionar (se correlacionaran entre ellas); *sig* calculará y desplegará el valor de significancia que será empleado para definir si la correlación es o no adecuada.

7. Modelos lineales generalizados entre las abundancias nocturnas y las variables atmosféricas y microambientales

El GLM para cada especie fue generado con el software estadístico *R*, empleando el comando:

glm (sp~var1+var2+var3...+varn -1, family=poisson(log), data=DH

Donde *glm* es la función que calculará el modelo a partir de las variables explicativas; *sp* corresponde a la variable *Outcome* o variable a predecir o modelar, en este caso se trata de la abundancia de cada especie; *var1+var2+var3...+varn*son las variables que para cada especie se han elegido para ser las variables explicativas de la abundancia; *family=poisson(log)* es la familia a la que los datos se ajustan, es decir una distribución de Poisson dado que se trata de conteos en un lugar y periodo específicos, y en este la función *link* fue *log* tal como se emplea en Henzi *et al.* (1995); finalmente *data=DH* se refiere a la base de datos original de los registros, en este caso nombrado como *DH.*

El modelo de GLM fue elaborado en principio colocando todas las variables descritas con los datos de la ROUA, sin embargo, esto generó una redundancia de los valores de significancia donde al intentar compararlos todos resultaron con un Pr(>|z|) =1, lo que nos llevó a eliminar variables con relaciones lineales débiles (ver en *Resultados*).

Partiendo de este punto se modeló con la técnica comúnmente llamada GLM *de eliminación hacia atrás* o *backward elimination.* Esta consiste en modelar *mutatis mutandis* a través de la eliminación de variables poco significativas, hasta que la significancia de las que restantes sea alta.

Al igual que con las variables atmosféricas, las relaciones no lineales de las variables microambientales nos condujeron a buscar otros modelos, es decir a través de modelos de *GLM*. Cada modelo se desarrolló en el software estadístico *R*, empleando el comando *glm* bajo las mismas premisas que sus homólogos macroclimáticas (distribución de Poisson y función *link log*) y bajo la misma técnica: *eliminación hacia atrás* o *backward elimination.*

8. Imputación de Valores con el programa Amelia II

Con ayuda del programa Amelia II (Honaker *et al*., 2013) se imputaron los valores perdidos en los siguientes casos: la variable *T* que corresponde a la temperatura de cada día y hora que contenía 3 valores perdidos; la variable *H* que representa la humedad relativa de cada día y hora que presentó 3 valores perdidos; la variable *V* que representa la velocidad del viento fue la variable con más valores perdidos dentro de las 4 variables a considerar con 43 registros de 649 registros totales; finalmente la variable *hpa* que representa la presión atmosférica, tuvo 2 valores perdidos (Figura Ap2). Para los valores de la variable *F* que corresponde a la fecha con los días y horas durante los cuales las variables fueron registradas, no tuvo ningún valor perdido.

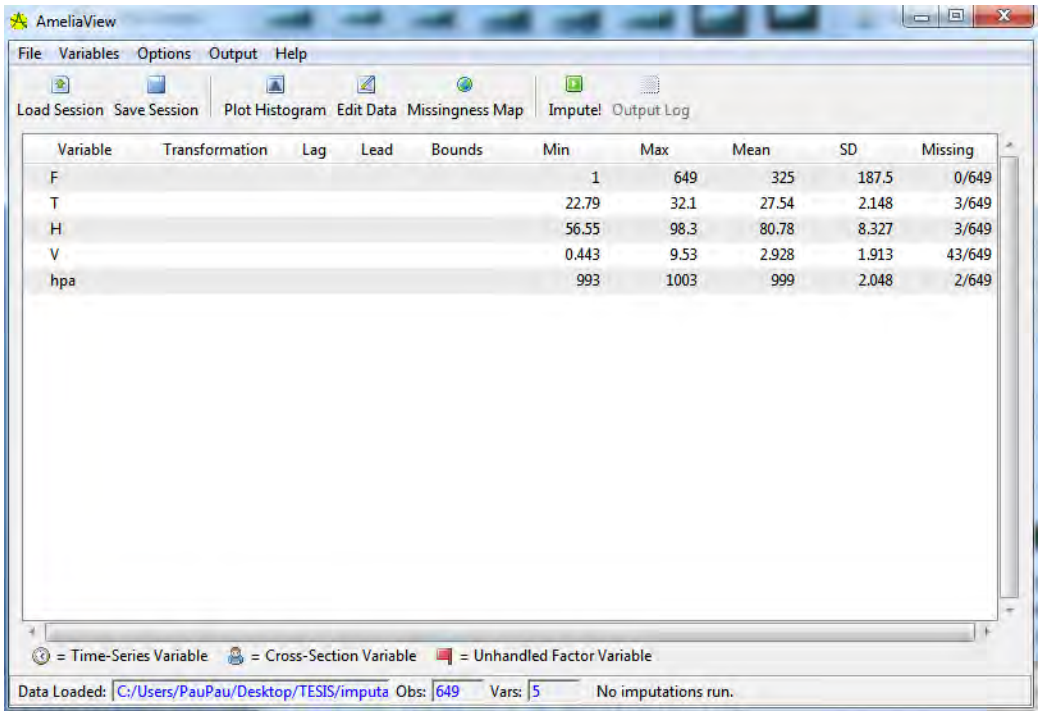


Figura Ap2. Interfaz de Amelia II y la descripción de los datos iníciales: valores como el máximo, mínimo, máximo, media y desviación estándar, así como la cantidad de valores perdidos (missing values). En la parte inferior describe la ruta de la carpeta de donde fueron extraídos los registros, el total de observaciones y el número de variables.

El segundo paso dentro de la interfaz de *Amelia* fue realizar las imputaciones para completar los valores faltantes de cada variable (Figura Ap3). La imputación múltiple generó 5 nuevos escenarios con los nuevos valores calculados para aquellos valores perdidos de cada variable. Para la elección sobre el conjunto de imputaciones más adecuado, se consideró en primer plano que las nuevas imputaciones no fueran en contra de los supuestos requeridos para estudiar a estas variables como series de tiempo. La velocidad del viento fue la única variable que, en todos estos nuevos escenarios, mantenía valores negativos: la primera imputación contenía 1 registro negativo, la segunda 4 registros, la tercera 4 registros, la cuarta 2 registros y finalmente la quinta con 2 registros. Finalmente consideramos el escenario con menos valores negativos (1) y posteriormente decidimos eliminar a este único valor, dejando un total de 648 registros.

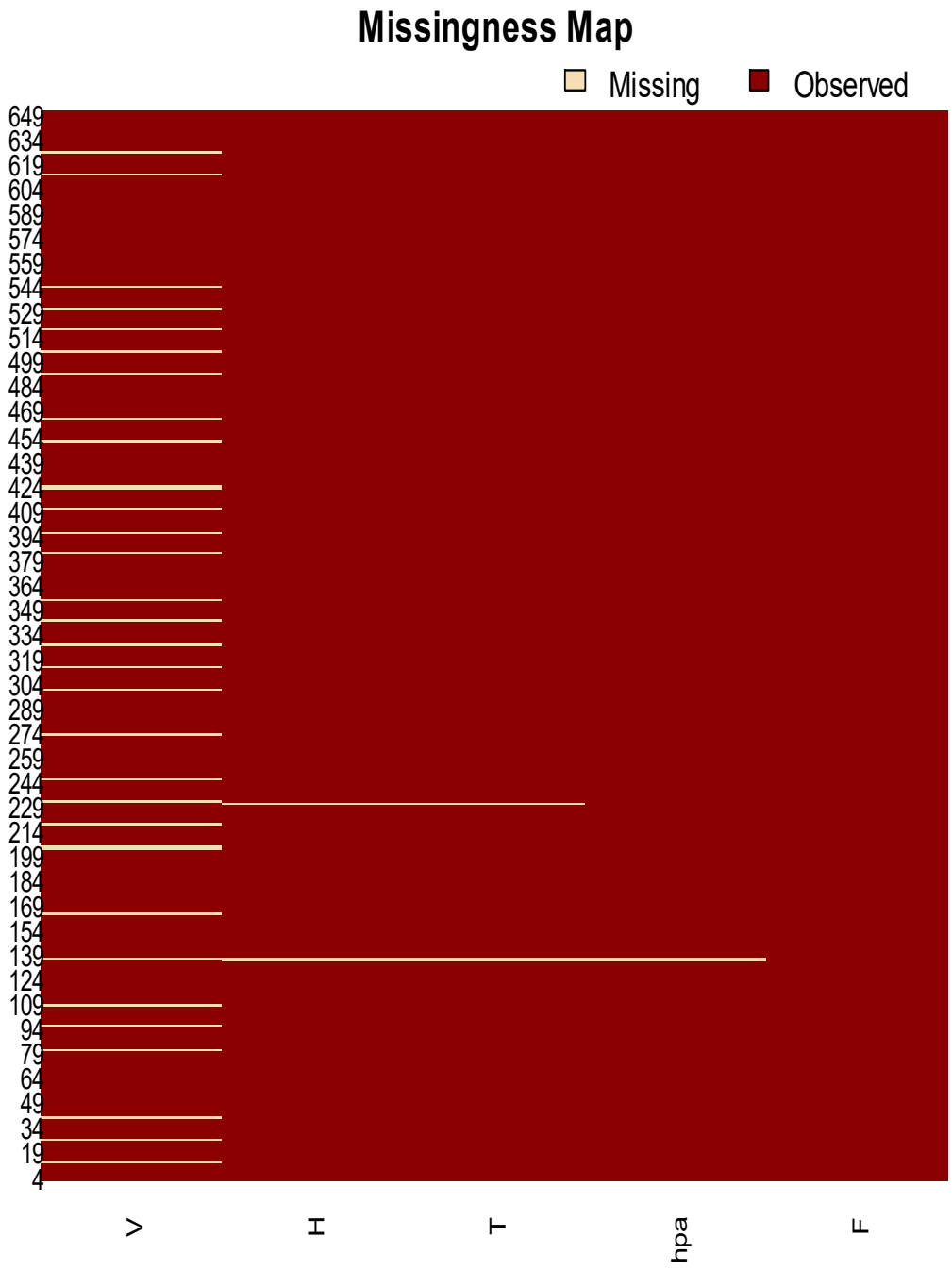

Missingness Map
Missing
Observed
649
634
619
604
589
574
559
544
529
514
499
484
469
454
439
424
409
394
379
364
349
334
319
304
289
274
259
244
229
214
199
184
169
154
139
124
109
94
79
64
49
34
19
4
V
H
T
hpa
F

Figura Ap3. Mapa de datos perdidos generado por *Amelia II* para cada variable: *V* o velocidad del viento con 43 valores perdidos, *H* o humedad relativa con 3 valores perdidos, aunque por la cercanía entre ellos no logran visualizarse nítidamente, *T* o tiempo con 3 variables perdidas y finalmente *pha* o presión atmosférica con 2 valores perdidos. La variable *F* no contienen ningún valor perdido pues corresponde a las fechas y horas del intervalo del estudio.

K. LITERATURA CITADA

- Amphibia Web: Information on amphibian biology and conservation. [web application]. (2013) Berkeley, California: Amphibia Web. Disponible: http://amphibiaweb.org/. Consultada en el periodo: agosto 2016, mayo 2018
- Angulo, A., Marca, E. La, Rueda-Almonacid, J., & Rodríguez-Mahecha, J. (2006). Técnicas de inventario y monitoreo para los anfibios de la Región Tropical Andina. Bogotá, Colombia: Conservación internacional.
- Bagnara J., Rastogi R., (1992). Reproduction in Mexican leaf frog, Pachymedusa dacnicolor. Springer New York. 98-111 pp
- Bartlett, R. D., and P. P. Bartlett. (1999). A field guide to Texas reptiles & amphibians. Gulf Publishing Company, Houston, Texas. xviii + 331 pp.
- Bentley P.J., Yorio T. (1979). Evaporative water loss in anuran amphibian_ a comparative study. Comp. Biochem. Physiol. Vol 62A 1005-1009
- Blaustein, R. A., Han, A. B., Relyea, R. A., Johnson, T.J. P. , Buck, C. J., Gervasi, S. S., & Kats, B. L. (2011). The complexity of amphibian population declines: understanding the role of cofactor in driving amphibian losses. Annals of the New York Academy of Science, 11223(1), 108-119.
- Boaratti A.Z., Rodrigues F. (2015). Relationships between environmental gradients and geographic variation in the intraspecific body size of three species of frogs (Anura). Austral Ecology. Volumen 40(8): 869-876
- Brattstrom B. (1968) Thermal Acclimation in Anuran Amphibians As a Function of Latitude and Altitude. Comp. Biochem. Physiol., 1968, Vol. 24, pp. 93 -111.
- Buxton, V. L., Ward, M. P., & Sperry, J. H. (2017). Frog breeding pond selection in response to predators and conspecific cues. Ethology, 123(5), 397-404.
- Coyle d.r., Nagendra U.J., Taylor, M.K.,Campbell J.H., Cunard C.E., Joslin A.H.,Mundepi A., Phillips C.A., Callaham, M.A. (2017). Soil fauna responses to natural disturbances, invasive species, and global climate change: Current state of the science and a call to action. Soil Biology & Biochemestry.
- Cui, J.,Song, X.,Fang G., Xu, F., Brauth, E., Tang Y. (2011) Circadian Rhythm of Calling Behavior in the Emei Music Frog (Babina daunchina) is Associated with Habitat Temperature and Relative Humidity. Asian Herpetological Research 2(3): 149-154
- Dirzo, R., Young, S. H., Mooney, A. H., & Ceballos, G. (Eds.) (2011). Seasonally dry tropical forest: Ecology and conservation. Washington, Covelo, London: Island Press.
- Diario Oficial de la Federación (2010) Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. SEMARNAT. 78 pp
- Duellman, W. (1970). Hylids frogs of Middle America. Kansas: The University of Kansas.
- Duellman W., Trueb L. (1986). Biology of amphibians.JHU Press. 670 pp
- Duellman W., Trueb L. (1994) Biology of Amphibians. The Johns Hopkins University Press. 670 pp
- Duellman W. (2001) Hylids frogs of Middle America. Society for the Study of Amphibians and Reptiles. New York, USA. Vol. 1. Pp.1180
- Dundee, H. A., History, N., & Chasse, B. (2002). Anura (Frogs). Encyclopedia of Life Sciences, (I), 1–7.
- Emlen S., Oring L. (1977). Ecology, Sexual Selection, and the Evolution of Mating Systems. Science. Vol. 197. Num. 4300: 215-233
- Esparza, O. A. (2014) Análisis espacio-temporal de la actividad reproductora de *Agalychnics dacnicolor* y *Smilisca baudinii* en el bosque tropical caducifolio de Chamela, Jalisco. Tesos de Licenciatura. Universidad de Colima, México. 63 págs.
- Faivovich, J., Haddad, C. F. B., Garcia, P. C. a, Darrel, R., Campbell, J. a., & Wheeler, W. C. (2005). Systematic Review of the Frog Family Hylidae , With Special Reference To Hylinae : Phylogenetic Analysis and Taxonomic Revision Systematic Review of the Frog Family Hylidae , With Special Reference To Hylinae : Phylogenetic Analysis and. Bulletin American Museum of Natural History, 11(2), 10–12. http://doi.org/10.1206/0003-0090(2005)294
- Fisher, N.I. (1989) Smoothing a sample of circular data. Journal of Structural Geology, 11(6): 775-778.

- Fisher, N.I. (1993) Statistical Analysis of Circular Data. Cambridge University Press. Great Britain, 277 p.
- Ficetola G.F., Maiorano L. (2015). Contrasting effects of temperature and precipitation change on amphibian phenology, abundance and performance. Oecologia (2016) 1881: 683-693
- Ford, Paulette L., Finch, D.M. (1994) "Habitat and Breeding Ecology of Amphibians of the Tropical Deciduous Forests of Jalisco, Mexico." United States Department of Agriculture General Technical Report, Downloaded on 17 March 2013 from http://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=umn.31951d03001066w;view=1up;seq=241
- Fox J. Describing univariate distributions. En: (Fox, J. y Long J.S. (1990) Modern methods of data analysis. CA: Sage publications. Newbury Park. 58-125 pp
- García-Oliva, F., Camou, A., & Maass, J. (2002). El clima de la región central de la costa del Pacífico mexicano. En: Noguera F.A, J.H., Rivera, García Aldrete y M. Quesada Avedaño (Ed.) (2002) Historia Natural de Chamela. Instituto de Biología, UNAM, México. Páginas: 3-10
- García A., Cabrera-Reyes, A. (2008). Estacionalidad y estructura de la vegetación en la comunidad de anfibios y reptiles de Chamela, Jalisco, México. Acta ZOOLOGICA Mexicana 24(2): 91-115
- García, A., Ortega-Huerta, M. A., & Martinez-Meyer, E. (2014). Potential distributional changes and conservation priorities of endemic amphibians in western Mexico as a result of climate change. Environmental Conservation,41(01), 1-12.
- García, E. (1988). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Guimond, R. W., & Hutchison, V. H. (1976). Gas exchange of the giant salamanders of North America. Respiration of amphibious vertebrates, 313-338.
- Gunzburger, M. S., Hughes, W. B., Barichivich, W. J., & Staiger, J. S. (2010). Hurricane storm surge and amphibian communities in coastal wetlands of northwestern Florida. Wetlands ecology and management, 18(6), 651-663.
- Haddad, C.B., Prado C.P. (2005) Evolution of adaptative plasticity: risk-sensitive hatching in Neotropical leaf breeding treefrogs. Ecological Monograph. 78: 205-224
- Halliday T., Adler, K. (2007) Anfibios: ranas y sapos. Halliday T., Adler, K. (2007) En La gran enciclopedia de los anfibios y reptiles. Libsa, Madrid España. Páginas 64-97
- Henzi S.P., Dyson M.L., Piper S.E., Passmore N.E., Bishop P. (1995). Chorus Attendance by male and female Painted Redd Frogs (Hyperolius marmoratus): enviromental factors and selections pressures. Functional Ecology 9: 485-491-
- Hillyard S.D. , "The Role of Antidiuretic Hormones in the Water Economy of the Spadefoot Toad, Scaphiopus couchi," Physiological Zoology 48, no. 3 (Jul., 1975): 242-251.
- Höbel, G. (2017). Social facilitation is a better predictor of frog reproductive activity than environmental factors. Biotropica, 49(3), 372-381.
- Honaker J., King G., Blackwell M., 2013, Amelia II: A Program for Missing Data. http://gking.harvard.edu/amelia [Ultima consulta: 25/06/2014]
- Hutchison, V.H. (2008). Amphibians: Lung´s Lift Lost. Current Biology Vol 18 No 9 R392
- Hutchison, V.H. (1998). The Goliath frog (Conraua goliath): Physiological ecology of the largest anuran. Intl. Symp. Animal Adaptation, InstituteofZoology,AcademiaSinica,Taipei1–5.
- Hutchison, V. H., Whitford, W. G., & Kohl, M. (1968). Relation of body size and surface area to gas exchange in anurans. Physiological Zoology, 41(1), 65-85.
- Instituto de Biología (2017) Anfibios y reptiles. [online] Available at: http://www.ibiologia.unam.mx/ebchamela/www/reptiles.html [Accessed 9 May 2017].
- Instituto de Biología (2017) Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala [online] Available at: http://www.ibiologia.unam.mx/ebchamela/www/reserva.htm [Accessed Jul 2017].}
- IUCN 2017. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2017-3. <http://www.iucnredlist.org>. Downloaded on May 2018.
- Johnson W.E., Hillyard S.D., Propper C.R. (2010) Plasma and brain angiotensin concentrations associated with water response behavior in the desert anuran, Scaphiopus couchii under natural conditions in the field. Comparative Biochemistry And Physiology A-Molecular & Integrative Physiology. Volumen 157 (4): 377-381

- Klein W., Dabés L., Gomes Bonfim V.M., Magrini L., Felguerias Napoli M. (2016). Allometric relationships between cutaneous surface area and body mass in anuran amphibians. Zoologischer Anzeiger - A Journal of Comparative Zoology. Volumen 263: 45-54
- Lee, J. (2000). A Field Guide to the Amphibians and Reptiles of the Maya World: The Lowlands of Mexico, Northern Guatemala, and Belize. Cornell University, Press. United States
- Lemos-Espinal, J. (2006). Anfibios y reptiles del este/noreste del estado de Sonora. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. Informe final SNIB-CONABIO proyecto N. BE002.
- Lillywhite H.B. (1971). T hermal modulation of cutaneous mucus discharge as a determinant of evaporative water loss in the frog, Rana catesbeiana. Zeitschrift für vergleichende Physiologie. Volumen 73 (1): 84-104
- Lillywhite H.B., Licht P. (1974) Movement of water over Toad Skin: Functional Role of Epidermal Sculpturing. Vol. 1974, No. 1 (Mar. 28, 1974), pp. 165-171
- Lillywhite H.B., Licht P. (1975) A comparative study of integumentary mucous secretions in amphibians. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology. Volumen51(4): 937-941
- Lillywhite H.B. (1975). Physiological correlates of basking in amphibians. Comparative Biochemistry and Physiology. Volumne 52 (2): 323-330
- Lillywhite H.B. (2006). Water relations of terapods integument. Journal of experimental biology. Volumnes 209 (2): 2002-226
- Lingnau R., Bastos P. (2007). Vocalizations of the Brazilian torrent frog Hylodes heyeri (Anura : Hylodidae): Repertoire and influence of air temperature on advertisement call variation. Journal of Natural History. 41(17-20): 1227-1235
- Llusia, D., Márquez, R., Beltrán, J. F., Moreira, C., & Do Amaral, J. P. (2013). Environmental and social determinants of anuran lekking behavior: intraspecific variation in populations at thermal extremes. Behavioral Ecology and Sociobiology, 67(3), 493-511.
- Loman, J. & Lardner, B. (2006). Does pond quality limit frogs Rana arvalis and Rana temporaria in agricultural landscapes? A field experiment. Journal of Applied Ecology, 43(4), 690-700.
- Loveridge, J. P., & Withers, P. C. (1981). Metabolism and water balance of active and cocooned African bullfrogs Pyxicephalus adspersus. Physiological Zoology, 54(2), 203-214.
- Luna-Gómez, M., García A., Santos-Barrera G. (2017). Spatial and temporal distribution and microhabitat use of aquatic breeding amphibians (Anura) in a seasonally dry tropical forest in Chamela, Mexico. Revista de Biología Tropical. Vo. 65. N.3
- Lugo, A.E. (2008). Visible and invisible effects of hurricanes on forest ecosystems: an international review. Austral Ecology, 33(4), 368-398.
- Maejima, S., Yamada, T., Hamada, T., Matsuda, K., & Uchiyama, M. (2008). Effects of hypertonic stimuli and arginine vasotocin (AVT) on water absorption response in Japanese treefrog, Hyla japonica. General and comparative endocrinology, 157(2), 196-202
- Mageski M. M., Ferreira, R. B., Beard, K. H., Costa, L. C., Jesus, P. R., Medeiros, C. C., & Ferreira, P. D. (2016). Bromeliad Selection by Phyllodytes luteolus (Anura, Hylidae): The Influence of Plant Structure and Water Quality Factors. Journal of Herpetology.
- Malvin G.M. (1993) Vascular effects of arginine vasotocina in toad skin. American Journal of physiology. Volumén 256 (2): R426-R432
- Martin J.A., Hillman, S.S (2009) The Physical Movement of Urine from the Kidneys to the Urinary Bladder and Bladder Compliance in Two Anurans. Physiological And Biochemical Zoology. Volumen 82 (2): 163-169.
- Mauricio, J.A. (2008). Introducción al análisis de series temporales. Universidad Computense de Mdrid. Madrid, España. 286 paginas.
- McClanahan L., Baldwin R. (1968) Rate of water uptake through the integument of the desert toad Bufo punctatus. Comp. Biochem. Physiol. Vol 28: 381 389
- Moreno Rodríguez V. (2016). Las estrategias reproductoras de tres especies de anuros y su interrelación en el bosque tropical caducifolio de Chamela, Jalisco, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. 87 pp.

- NatureServe. 2017. NatureServe Explorer: An online encyclopedia of life [web application]. Version 7.1. NatureServe, Arlington, Virginia. Available http://explorer.natureserve.org. (Accessed: May 28, 2017).
- Navas C.A., Jared C., Antoniazzi M.M. (2002) Water economy in the casque-headed tree-frog Corythomantis greeningi (Hylidae): role of behaviour, skin, and skull skin co-ossification, Journal of Zoology. Volumen 257 (4): 525-532).
- Neckel-Oliveira, S. (2004). Effects of landscape change on clutches of Phyllomedusa tarsius, a neotropical treefrog. Biological Conservation, 118(1), 109-116.
- Ochoa-Ochoa, L., O. Flores-Villela, U. García-Vázquez, M. Correa-Cano, L. Canseco-Márquez, (2006). Áreas potenciales de distribución de la herpetofauna en México. En CONABIO (2017). Portal de geoinformación. http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/. Consultado durante el periodo agosto 2016 a junio 2017.
- Ogushi Y., Tsuzuki A., Sato M., Mochida H., Okada R., Suzuki M., Hillyard D., Tanaka S. (2010). The water-absorption region of ventral skin of several semiterrestrial and aquatic anuran amphibians identified by aquaporins. American Journal Of Physiology-Regulatory Integrative And Comparative Physiology. vOLUMEN 299(5): 1150-R1162
- Oseen, K. L., & Wassersug, R. J. (2002). Environmental factors influencing calling in sympatric anurans. Oecologia, 133(4), 616-625.
- Pough H.F., Taigen T., Stwewart M., Brussard P. (1983) Behavioral Modification of Evaporative Water Loss by a Puerto Rican Frog Ecology. Volumen 64 (2): 244-252
- Pyburn W. F. (1970). Breeding Behavior of the Leaf-Frogs Phyllomedusa callidryas and Phyllomedusa dacnicolor in Mexico. Copeia. Vol 1970 N.2 Jun (209-218)
- R Core Team (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/.
- Ramírez Bautista, A. y M. C. Arizmendi. (2004) Hyla sartori. Sistemática e historia natural de algunos anfibios y reptiles de México. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Unidad de Biología, Tecnología y Prototipos (UBIPRO), Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto W013. México. D.F.
- Ramírez Bautista, A. y Hernández Ibarra, X. (2004) Ficha técnica de Dendropsophus sartori, Exerodonta smaragdina En: Arizmendi, M. C. (compilador). Sistemática e historia natural de algunos anfibios y reptiles de México. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Unidad de Biología, Tecnología y Prototipos (UBIPRO), Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB-CONABIO. México, D.F.
- Rastogi R., Pinelli C., Polese G., D´Aniello B., Chieffi-Baccari G. (2011) Chapter 9: Hormones and reproductive cycles in anuran amphibians. En: Norris D., Lopez K. (Eds.) Hormones and reproduction of vertebrates: Ambhibians. Academic press. California, USA, Vol. 2: 171-186
- Riubal R. (1962) The Adaptive Value of Bladder Water in the Toad, Bufo cognatus. Physiological Zoology. Vol 35 (3): 218-223

- Roskov Y., Abucay L., Orrell T., Nicolson D., Bailly N., Kirk P.M., Bourgoin T., DeWalt R.E., Decock W., De Wever A., Nieukerken E. van, Zarucchi J., Penev L., eds. (2017). Species 2000 & ITIS Catalogue of Life, 30th April 2017. Digital resource at www.catalogueoflife.org/col. Species 2000: Naturalis, Leiden, the Netherlands. ISSN 2405-8858.
- Roth, J. J. (1973). Vascular supply to the ventral pelvic region of anurans as related to water balance. Journal of Morphology, 140, 443-460.
- Salgado-Ugarte, I. H., Curts-García J. (1992). Resistant smoothing using Stata. Stata Technical Bulletin 7: 8–11. Reprinted in Stata Technical Bulletin Reprints, vol. 2, pp. 99–103. College Station, TX: Stata Press.
- Salgado-Ugarte, I. H., Curts-García J.(1993) Twice reroughing procedure for resistant nonlinear smoothing. Stata Technical Bulletin 11: 14–16.
- Salgado-Ugarte, I.H., M.Shimizu, and T. Taniuchi (1995). Practical rules for bandwidth selection in univariate density estimation. Stata Technical Bulletin, 27: 5 - 19.
- Salgado-Ugarte, I.H.(2002) Suavización no paramétrica para análisis de datos. FES Zaragoza y DGAPA (PAPIIT IN217596; PAPIME 192031), 139 p. (7 CAPÍTULOS). I.S.B.N. 970-32-0292-6.
- Salgado Ugarte I. (2013) Métodos estadísticos exploratorios y confirmatorios para análisis de datos. Un enfoque biométrico. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. México. 307 paginas
- Salgado-Ugarte, I.H., Pérez-Hernández M.A. (2014). Estimación DE Densiasa por Núcelo (Kernel) para datos circulares. Cartel científico presentado en el XXIX Foro Internaciona de Estadistíca. Puebla, Puebla. Salgado-Ugarte I.H., Saito-Quezada V.M., Pérez-Hernandez M.A. (2016) ASH-WARP Procedure for Kernel Density Estimation of Univariate. Circular Data. En: "Memorias del XXIX Foro Internacional de Estadística", Chapingo, Estado de México.
- Salgado-Ugarte, I.H., (2017). Métodos estadísticos exploratorios y confirmatorios para análisis de datos. Un enfoque biométrico. Libro de texto, F.E.S. Zaragoza y DGAPA, U.N.A.M, 299 p. (14 capítulos, 2 apéndices). I.S.B.N.978-607-02-4231-1.
- Salica, M. J., Vonesh, J. R., & Warkentin, K. M. (2017). Egg clutch dehydration induces early hatching in red-eyed treefrogs, Agalychnis callidryas. PeerJ, 5, e3549.
- Sarmiento M. (2008) Predicción son series de tiempo y regresión. Panorama: Volumen II, marzo: 36-58
- Seibert E.a., Lillywhite H.B., Wassersug R.J. (1974). Cranial co-ossification in Frogs Relationship to rate of evaporative water-loss. Physiologycal Zoology. Volumen 47(4): 261-265
- Semlitsch, R. D. (2003) Amphibians Conservation. Smithsonian Books, Washington, D.C., EUA.
- Serrato-Vidal, D.A; Gutiérrez-Ospina, G.; Phillips-Farfán, B; Fuentes-Farías, A; Suazo Ortuño, I; Alvarado Díaz, J ; MeléndezHerrera, E. (2015) Diaglena spatulata: una rana resiliente. Nthe, Secretaría de Educación del Poder Ejecutivo del Estado de Querétaro. 13-16 pp
- StataCorp. (2009) Stata Statistical Software: Release 11. College Station, TX: StataCorp LP.
- Schneider H (1977) Acoustic behavior and physiology of vocalization in the European tree frog, Hyla arborea (L.) En: The reproductive biology of amphibians. Plenum Press, New York, pp 295–335
- Schriever, T. A., Ramspott, J., Crother, B. I., & Fontenot Jr, C. L. (2009). Effects of hurricanes Ivan, Katrina, and Rita on a southeastern Louisiana herpetofauna. Wetlands, 29(1), 112-122.
- Shelton, G. (1976). Gas exchange, pulmonary blood supply, and the partially divided amphibian heart. Perspectives in experimental Biology, 1, 247-259.
- Soto-Sandoval Y., Suazo-Ortuño I., Urbina-Cardona N. (2017). Efecto de los estadios sucesiones del bosque tropical seco sobre el microhábitat usado por Agalychnis dacnicolor (Anura: Phyllomedusidae) y Smilisca fodiens (Anura: Hylidae). Revista de Biología Tropical Vol 65 (2): 777-798.
- Stuart, S.N., Hoffmann, M., Chanson, J.S., Cox, N.A., Berridge, R.J., Ramani, P., and Young, B.E. (eds.) (2008). Threatened Amphibians of the World. Lynx Edicions, Barcelona, Spain, IUCN, Gland, Switzerland; and Conservation International, Arlington, Virginia, USA.
- Suazo-Ortuño, I., Alvarado-Díaz, J., Mendoza, E., López-Toledo, L., Lara-Uribe, N., Márquez-Camargo, C., ... Rangel-Orozco, J. D. (2015). High resilience of herpetofaunal communities in a human-modified tropical dry forest landscape in western Mexico. Tropical Conservation Science, 8(2), 396-423.

- Suzuki M., Shibata Y., Ogushi Y., Okada., R. (2015). Molecular Machinery for Vasotocin-Dependent Transepithelial Water Movement in Amphibians: Aquaporins and Evolution. Biological Bulletin 229 (1): 109-119
- Tarter, M.E., Kronmal R.A. (1976) An introduction to the implementation and theory of nonparametric density esimation. The American Statistician, 30:105-112
- Titon B, Junior, Gomes FR (2015) Relation betweenWater Balance and Climatic Variables Associated with the Geographical Distribution of Anurans. PLoS ONE 10(10): e0140761. doi:10.1371/ journal.pone.0140761
- Tracy C.R., Christian K.A., Betts G., Tracy R.C. (2008). Body temperature and resistance to evaporative water loss in tropical Australian frogs. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology. Volumen 150 (2), 102-108
- Tracy C.R., Christian K.A., Tracy R. (2010). Not just small, wet, and cold: effects of body size and skin resistance on thermoregulation and arboreality of frogs. Ecology, 91(5), 2010, pp. 1477–1484
- Trueb, L. (1969). Pternohyla, P. dentata, P. fodiens. Catalogue of American Amphibians and Reptiles. 77:1-4.
- Uribe-Aranzábal, M.C. (2011) Hormones and the female reproductive system of amphibians. En: Norris D., López K. (Eds.) Hormones and reproduction of vertebrates: Amphibians. Academic Press, CALIFORNIA, usa. Volumen 2. Pp 55-81.
- Velleman, P.F. 1980. Definition and comparison of robust nonlinear data smoothing algorithms. J. Am. Statist. Assoc., 75(371): 609-615.
- Velleman, P.F. & D.C. Hoaglin. (1981). Applications, basics, and computing of exploratory data analysis. Duxbury Press, Boston, pp. 41-63.
- Viera de Andrade D., Shinya A. (1997) Evaporative water loss and oxygen uptake in two casque-headed tree frogs, Aparasphenodon brunoi and Corythomantis greeningi (Anura, Hylidae). Physiology. Volumen 118 (3): 685-689
- Warbug M.R. (1997) Capítulo: Physiological Adaptations En: Warbug M.R. (1997) Ecophysiology of Amphibians Inhabiting Xeric Environments. Editorial Springer. Heidelberg .
- Wells, K.D. (1977). The social behaviour of Anuran amphibians. Animal Behaviour. 25: 666-693.
- Villavicencio J. (2010) Manual: Metodología de series de tiempo. Instituto de Estadísticas de Puerto Rico
- Walpole R., Myers R., Myers S., Ye K. (2012) Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. 9na edición. Pearson. 816 pp
- Wells, K. D. (2010). The ecology and behaviour of amphibians. University of Chicago Press.
- Wiens J., Fetzner J., Parkinson C., Reeder T. (2005) Hylid frog phylogeny and sampling strategies for species clades. Systematic Biology 53 (5): 778-807
- Willumsen N., Virbog A., Hiillyard S. (2007) Vascular aspects of water uptake mechanism in the toad skin: Perfusion, diffusion, confusion. Comparative Biochemistry and Physiology, Part A 148 (2007) 55–63
- Woolbright, L. L. (1991). The impact of Hurricane Hugo on forest frogs in Puerto Rico. Biotropica, 462-467.
- Young, B. E., K. R. Lips, J. K. Reaser, R. Ibáñez, A.W. Salas, J. R. Cedeño, L. A. Coloma, S. Ron, E. La Marca, J. R. Meyer, A. Muñoz, F. Bolaños, G. Chaves y D. Romo. (2001) Population declines and priorities for amphibian conservation in Latin America. Conservation Biology 15:1213-1223
- Young B., Stuart S., Chanson J., Cox N., Boucher T. (2004). Joyas que estan desapareciendo: El estado de los anfibios en el Nuevo Mundo. NatureServe, Arlington, Virginia.