

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades



Historia natural y estado de conservación de la lagartija
arborícola *Abronia campbelli* Brodie y
Savage (Squamata: Anguidae) en Potrero Carrillo, Jalapa.

Trabajo de graduación presentado
por Mónica Emilia Torres Almazán
para optar al grado académico de Licenciada en Biología.

Guatemala

2012

Historia natural y estado de conservación de la lagartija
arborícola *Abronia campbelli* Brodie y
Savage (Squamata: Anguidae) en Potrero Carrillo, Jalapa.

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

Historia natural y estado de conservación de la lagartija
arborícola *Abronia campbelli* Brodie y
Savage (Squamata: Anguinae) en Potrero Carrillo, Jalapa.

Trabajo de graduación presentado
por Mónica Emilia Torres Almazán
para optar al grado académico de Licenciada en Biología.

Guatemala

2012

Vo. Bo. :


(f)



M.Sc. Daniel Ariano Sánchez

Tribunal Examinador:

(f)



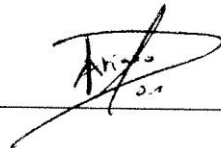
Lic. Margarita Palmieri

(f)



Lic. Andrés Avalos

(f)



M.Sc. Daniel Ariano Sánchez

Fecha de aprobación: Guatemala, 5 diciembre de 2012

TESIS QUE DEDICO A

A Dios

Por su amor y bendita misericordia en mi vida

A mi amada familia

Por todo su cariño y apoyo para culminar esta etapa de mi vida

A mi Guatemala

Que me ha dado el honor de nacer en este bello país

A mis asesores y revisores

Por hacer posible este trabajo de investigación

Al departamento de biología

Por instruirme en tan noble profesión

A la Universidad del Valle de Guatemala

Por ser mi casa de estudios y permitirme ser una mejor ciudadana

AGRADECIMIENTOS

- A Dios
Porque de Él viene la victoria, me ha dado vida y permitió que cumpliera una vez más otra meta
- A mis padres
Otoniel Torres y Rosa María de Torres, por su cariño, consejos y apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida. Los amo.
- A mis abuelitos
Abuelita Lilia y abuelito Nayo, los extraño y amo.
Abuelito Jorge y Abuelita Lupis, gracias por alumbrarme siempre con su sabiduría, los amo con todo mi corazón
- A mis hermanos
Adriana y Otoniel, por estar siempre a mi lado. Los amo.
- A mis profesores
Lic. Palmieri, gracias por su ayuda sincera e incondicional.
Lic. Andres Ávalos, gracias por inspirarnos a ayudar a nuestro país, por medio de la ciencia.
Drs. Dix, gracias por compartir su conocimiento en botánica y conservación.
- Donantes del proyecto
MBZ (Mohamed bin zayed fund), ZGAP (*Fund for global conservation of threatened amphibians and reptiles*) y Microsoft corp/ a cargo de Jason Wagner.
- Instituciones
Universidad del Valle de Guatemala, por facilitar el uso de instalaciones y equipo.
Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) por proveer los permisos necesarios para la investigación (Permiso No. 050/2009)

CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS.....	IV
LISTA DE CUADROS.....	V
RESUMEN	VII
I. INTRODUCCIÓN	1
A. Antecedentes	1
1. Diversidad biológica en Guatemala	1
2. Género <i>Abronia</i>	2
3. Distribución del género <i>Abronia</i>	2
4. El género <i>Abronia</i> en Guatemala.....	3
5. Historia natural del género <i>Abronia</i>	5
6. Estado de conservación del género <i>Abronia</i> en Guatemala.....	7
7. Estudios genéticos en el género <i>Abronia</i>	8
8. Biología de <i>Abronia campbelli</i>	10
9. Bosque de pino-encino montano hábitat de <i>A. campbelli</i> , bajo contexto de cambio climático.....	13
B. Justificación	16
C. Objetivos	17
1. Objetivo general.....	17
2. Objetivos específicos:	17
II. MÉTODOS	18
A. Descripción del sitio de estudio	18
B. Comportamiento reproductivo en cautiverio de <i>A. campbelli</i>	21
C. Caracterización del hábitat.....	22
D. Definición de ámbito de hogar y comportamiento en vida silvestre	22
E. Asimetría fluctuante.....	23

F.	Plan de conservación de <i>Abronia campbelli</i>	24
G.	Caracterización genética de <i>A. campbelli</i>	26
III.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
A.	Comportamiento reproductivo en cautiverio de <i>A. campbelli</i>	30
B.	Caracterización de Hábitat.....	34
C.	Definición de ámbito de hogar y comportamiento en vida silvestre	40
D.	Asimetría fluctuante	43
E.	Plan de conservación de <i>A. campbelli</i>	47
1.	Visión de la conservación de <i>A. campbelli</i>	47
2.	Elemento de conservación	47
3.	Análisis de viabilidad.....	47
4.	Análisis de oportunidades y amenazas	48
5.	Actores y situación.....	49
6.	Objetivos estratégicos y estrategias	50
7.	Análisis de capacidades	54
8.	Medidas de éxito o indicadores de avance del Plan de conservación de <i>Abronia campbelli</i>	55
F.	Caracterización genética de <i>Abronia campbelli</i>	58
IV.	CONCLUSIONES.....	65
V.	RECOMENDACIONES.....	67
VI.	BIBLIOGRAFÍA	68
VII.	APÉNDICE	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribución del género <i>Abronia</i>	3
Figura 2. Ejemplar de <i>Abronia campbelli</i>	11
Figura 3. Remanente de hábitat de <i>A. campbelli</i>	12
Figura 4 Distribución de <i>A. campbelli</i> . Sitio de estudio.	21
Figura 5. Metodología de planificación para la conservación de áreas	24
Figura 6. Diagrama de flujo para el proceso de obtención de secuencias.	28
Figura 7. Análisis de secuencias obtenidas.....	29
Figura 8. Mordida sobre escamas supra-auriculares.....	31
Figura 9. Agarre extremidades anteriores.	31
Figura 10. Enlace de colas.	32
Figura 11. Estimulación en base de la cola.....	32
Figura 12. Pérdida de cobertura forestal en el valle de Potrero Carrillo.....	37
Figura 13. Perfiles representativos de los transectos realizados durante el estudio.....	38
Figura 14. Sitios de colecta de <i>A. campbelli</i> en el valle de Potrero Carrillo, Jalapa	39
Figura 15. Análisis de la información de ámbito de hogar.	41
Figura 16. Análisis de situación del plan de conservación de <i>A. campbelli</i>	53
Figura 17. Síntesis del análisis de capacidades.....	55
Figura 18. PCR de los cebadores PL2 y PH2 con muestras de <i>A. campbelli</i>	58
Figura 19. Cladograma de las secuencias analizadas en el estudio.	63
Figura 20. Gel de integridad.	94
Figura 21. Visualización en SEQUENCE VIEWER 7.5® de polimorfismos.....	95

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Reproducción en cautiverio de <i>A. campbelli</i>	33
Cuadro 2. Listado de especies forestales.	34
Cuadro 3. Asociación de <i>A. campbelli</i> con distintas especies forestales.	35
Cuadro 4. Listado de epífitas.	36
Cuadro 5. Prueba de Wilcoxon asimetría fluctuante entre <i>A. campbelli</i> y <i>A. meledona</i> .	40
Cuadro 6. Prueba de Wilcoxon asimetría fluctuante entre <i>A. campbelli</i> y <i>A. meledona</i> .	43
Cuadro 7. Prueba de Wilcoxon asimetría fluctuante entre hembras de <i>A. campbelli</i> y <i>A. meledona</i>	43
Cuadro 8. Prueba de Wilcoxon asimetría fluctuante entre machos de <i>A. campbelli</i> y <i>A. meledona</i>	44
Cuadro 9. Prueba T para el ancho de cabeza entre hembras y machos para <i>A. campbelli</i> y <i>A. meledona</i>	45
Cuadro 10. Promedio ancho de cabeza/largo hocico cloaca de <i>A. campbelli</i> y <i>A. meledona</i>	45
Cuadro 11. Análisis de viabilidad. Los valores en negritas representan el estado actual del atributo y los valores en cursivas representan el estado deseado del mismo.	48
Cuadro 12. Análisis de amenazas	49
Cuadro 13. Análisis de capacidades.....	54
Cuadro 14. Monitoreo de viabilidad de <i>Abronia campbelli</i>	56
Cuadro 15. Monitoreo de avances de plan de conservación de <i>Abronia campbelli</i>	56
Cuadro 16. Cebadores dirigidos al gen 12S y citobromo b.	60
Cuadro 17. Resumen de la identificación de polimorfismos en SEQUENCE VIEWER 7.5 ®.	62

Cuadro 18. Búsqueda BLAST de las secuencias obtenidas a partir de los iniciadores PL2 y PH2.....	62
Cuadro 19. Datos de campo para la caracterización de hábitat de <i>A. campbelli</i>	75
Cuadro 20. Tabulación movimientos de individuos de <i>A. campbelli</i>	76
Cuadro 21. Medidas corporales de individuos de <i>A. campbelli</i> y <i>A. meledona</i>	91
Cuadro 22. Receta para la reacción de los iniciadores PL2 y PH2. 1.....	92
Cuadro 23. Programa de la reacción para los cebadores.	93
Cuadro 24. Concentración y pureza de las extracciones de ADN mitocondrial.....	93
Cuadro 25. . Calidad y longitud de las secuencias de <i>A. campbelli</i> y <i>A. meledona</i>	96

RESUMEN

Abronia campbelli es una especie de lagartija arborícola endémica a Guatemala, que se encuentra en peligro crítico de extinción, por lo que son urgentes medidas de conservación drásticas. Es por esto que este estudio se enfoca en la investigación aplicada para proveer e implementar herramientas de conservación a largo plazo.

Los individuos de *A. campbelli* se encuentran en época de apareamiento entre el mes de agosto al mes de noviembre, muestran un promedio de gestación 7.5 meses y el promedio de neonatos por camada es de 11.8. Respecto al hábitat *Abronia campbelli* se encuentra asociada a las especies forestales *Q. tristis* y *Q. peduncularis*. Actualmente sólo queda 0.24% (3.27 hectáreas) del área de distribución original de la especie y se estima una población de 347.41 individuos. La media de ámbito de hogar para un adulto promedio de *A. campbelli* es de 22.75 m². No se evidencia asimetría fluctuante en la población de *A. campbelli* y existe dimorfismo sexual en la población. Las investigaciones realizadas en este estudio permitieron el desarrollo de un Plan de Conservación basado en la realidad de la especie y con estrategias eficientes y precisas. La identificación de sustituciones simples en las bases nitrogenadas de las 18 secuencias que formaron parte de este estudio, sugiere siete haplotipos para esta sección del gen citocromo b para las especies analizadas del género *Abronia*. Dentro de estos haplotipos se describen dos para *A. campbelli* y tres para *A. meledona*.

I. INTRODUCCIÓN

Abronia campbelli es una especie que prácticamente se daba por extinta desde su descripción en 1993 debido a la extensa destrucción de su hábitat. Sin embargo, en el 2009 la especie fue redescubierta, aunque aún se encuentra altamente amenazada. Por esto es necesario crear un plan de conservación efectivo e integral capaz de salvar a esta especie de la extinción. Para esto se caracterizó la historia natural de la especie, sus patrones de uso espacial de hábitat (ámbito de hogar), su diversidad genética, así como se identificó y evaluó las amenazas y los actores involucrados en la conservación de *A.campbelli* para desarrollar estrategias adecuadas. También se realizó una caracterización genética de la población. Todo esto con el fin implementar acciones inmediatas de conservación pero también para desarrollar estrategias a largo plazo.

A. Antecedentes

1. Diversidad biológica en Guatemala. Guatemala ha sido identificada como uno de los puntos del planeta más ricos en diversidad biológica, y que a la vez se considera altamente amenazado. Esta diversidad se debe a su compleja topografía y a su posición privilegiada entre dos biotas: la neártica y la neotropical. Estas características lo sitúan en uno de los puntos prioritarios para la conservación de la biodiversidad, denominados “hot spots” (Campbell y Vannini 1989; Mittermeier *et al.* 1999). Así mismo, es el tercer país más grande de Centroamérica y con 387 especies es el tercero de la región centroamericana con la mayor riqueza de especies de anfibios y reptiles. En total, contiene 62 especies endémicas de anfibios y reptiles, las cuales representan el 16.1% de la diversidad nativa del país. En años recientes, los autores de varios estudios herpetológicos han reconocido el continuo deterioro de los hábitats naturales en Guatemala (Acevedo *et al.* 2010). Entre estas especies amenazadas se encuentran las lagartijas arborícolas pertenecientes al género *Abronia*. El hábitat principal de estas lagartijas son los bosques de pino-encino y boques nubosos al norte de Mesoamérica (Campbell y Brodie 1999).

2. Género *Abronia*. Las lagartijas del género *Abronia* pertenecen a la familia Anguidae. Las lagartijas del género *Abronia* se caracterizan por tener escamas cuadradas dispuestas en anillos y reforzadas por placas óseas dérmicas (osteodermos). Aunque que otros representantes de la familia Anguidae como los géneros *Mesaspis* y *Gerrhonotus*, son encontrados comúnmente, las especies que pertenecen al género *Abronia* solamente se conocen de unos pocos especímenes. Esto se debe a que las especies raras como lo son las pertenecientes al género *Abronia*, viven en hábitats como la copa de los árboles, en los cuales evaden nuestra vista la mayor parte del tiempo (Kohler 2003).

3. Distribución del género *Abronia* Las especies del género *Abronia* se encuentran distribuidas desde el sur de Tamaulipas y Guerrero, México, hasta el sur de Honduras (Campbell y Frost 1993). Muchas especies ocurren en el altiplano mexicano, y otra radiación del género ocurre en las montañas guatemaltecas (Figura No.1). El hábitat principal de las lagartijas del género *Abronia* son los bosques de pino-encino y los bosques nubosos. Una asociación estacional de pino-encino ocurre a lo largo del altiplano guatemalteco y las montañas centrales de Oaxaca y Chiapas, México. Los bosques nubosos habitados por *Abronia* son “islas” ecológicas entre las depresiones de la Sierra Madre Oriental, Sierra Madre del Sur Sierra Madre de Chiapas, la Meseta Central de Chiapas y numerosos picos montañosos en Guatemala. La mayoría de las especies, con algunas excepciones, son alopátricas, lo cual presenta la importancia biogeográfica del género. Así mismo las especies que habitan boques nubosos tienden a ocupar áreas pequeñas y altamente restringidas, mientras que las que se encuentran en boques de pino-encino se encuentran distribuidas más ampliamente. Por último, la mayoría de los bosques nubosos que se encuentran desde el norte México al este de Guatemala y norte del Salvador albergan por lo menos una especie de *Abronia*, proporcionando evidencia sobre un grupo que alguna vez tuvo una distribución más amplia sus poblaciones han sufrido especiación por el cambio en las condiciones climáticas, debido al aislamiento ocurrido en los bosques de tierras altas (Campbell y Frost 1993; Chippindale *et al* 1998).

Figura 1. Distribución del género *Abronia*



4. El género *Abronia* en Guatemala. Guatemala ha sido centro de diversificación para este grupo contando con diez especies, ocho de las cuales son endémicas para el país (Ariano y Meléndez 2009). Las endémicas nacionales son *A. anzuetoi*, *Abronia aurita*, *Abronia campbelli*, *Abronia fimbriata*, *Abronia frosti*, *Abronia gaiophantasma*, *Abronia meledona* y *Abronia vasconcelosii*. Las dos especies compartidas con el sur de México son *Abronia matudai* y *Abronia ochoterenai* (Acevedo 2006). Con algunas excepciones, la mayoría de las especies de *Abronia* se conocen de escasos ejemplares de la localidad tipo o provenientes de las vecindades inmediatas (Campbell y Frost 1993).

Se han realizado modelaciones de distribución del género que indican que la distribución potencial es de 671,148.16 hectáreas en Guatemala. Sin embargo al modelar la distribución actual del género tomando como base la extensión de remanentes boscosos

en el país, se mostró que *Abronia* se distribuye solamente en 282,828.39 hectáreas, lo que constituye solamente el 42.14% de su distribución potencial histórica (Ariano 2010).

El análisis muestra que el género se encuentra distribuido en los picos montañosos ubicados en las dos vertientes principales del país. En la vertiente pacífica sobresalen las áreas potenciales de distribución resultantes en los picos del Volcán Tacaná, Volcán Tajumulco, Volcán Zunil, Volcán Atitlán y la falda sur del Volcán de Agua, los macizos montañosos de Cerro Alux, Cerro Miramundo-Soledad Grande, Cerro Tablón de las Minas-Volcán Jumay y el área del Macizo de Montecristo-Trifinio. La mayoría de estas áreas son localidades de colecta conocidas de especies del género *Abronia*. Sin embargo, dos áreas en el mapa no muestran reportes del género. Estos sitios son unas montañas al este del departamento de Jalapa, el área de las montañas de Cuilco y el área de Palencia cercano a Ciudad Guatemala, donde podrían encontrarse nuevas especies del género (Ariano 2010).

Respecto a la vertiente atlántica sobresalen en el análisis de distribución potencial las montañas de Catelac-Yolcutac, el área de Visis Cabá y Cerro el Amay, la Sierra de Chamá y la Sierra de las Minas. Estas áreas poseen localidades conocidas de colecta de especies del género *Abronia* en el país. Sin embargo, resalta la parte suroeste de la Sierra de los Cuchumatanes, la cual es un sitio donde a la fecha no se han encontrado especies del género. Así mismo sobresale una montaña aislada en el sur de Baja Verapaz de la cual tampoco se tienen reportes del género (Ariano 2010).

Las áreas identificadas como vacíos de conservación del género *Abronia* en Guatemala corresponden a un total de 219,725.51 ha, lo cual representa que un 77.69% de la distribución actual del género en el país se encuentra fuera del actual Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas –SIGAP-. Estos vacíos de conservación están repartidos en distintos tipos de bosque: bosque de coníferas (51,001.53 ha), bosque latifoliados (22,872.15 ha), bosque mixto (104,444.88 ha) y pastizales naturales con árboles dispersos (41,406.95 ha) (Ariano 2010).

Las áreas resultantes priorizadas con este método fueron 45 fragmentos de bosque con un total de 51,007.50 ha. Con base a las distribuciones de las especies se obtiene que el portafolio de áreas generado conservaría el 100% de las distribuciones de las especies endémicas de *Abronia anzuetoi*, *A. campbelli*, *A. frosti*, *A. meledona* y *A. vasconcelosii* (Ariano 2010).

El hecho de que sólo un 22.31% de la distribución del género *Abronia* se encuentre dentro del SIGAP muestra la vulnerabilidad de este género en el país. Esto muestra la relevancia de impulsar acciones de conservación formal a nivel de territorio en el país con el fin de mejorar la representatividad del SIGAP en cuanto a la protección del hábitat de este género y del bosque nuboso en el país (Ariano 2010).

5. Historia natural del género *Abronia*. Los miembros del género *Abronia* son lagartijas diurnas que pasan la mayor parte de sus vidas entre las epífitas (Campbell y Frost 1993). Su cola prensil es especialmente útil, para su estilo de vida arborícola (Ariano y Meléndez 2009). Los patrones de comportamiento de *Abronia* han sido poco estudiados y la investigación de campo sobre estas especies es casi inexistente (Campbell y Frost 1993). Estas lagartijas son raramente encontradas y colectadas. A parte de cierta información anecdótica, poco se conoce sobre su comportamiento en estado silvestre y ecología. Se tiene información sobre un estudio respecto agresión intra-específica en cautiverio de *A. vasconcelosii*, en el cual se observó que los machos son más agresivos ante otros machos que hacia hembras, y respondían con mordidas dirigidas hacia la cola (Formanowicz *et al.* 1990). A diferencia de las hembras quienes eran menos agresivas ante las hembras que ante las machos, pero cuando se mostraban agresivas respondían con mordidas dirigidas a la cabeza o el cuerpo (Formanowicz *et al.* 1990). Sin embargo los patrones de comportamiento no se han estudiado en otras especies del género y puede que éstos varíen significativamente de una especie a otra (Campbell y Frost 1993).

Se tiene registro de especies de *Abronia* colectadas en epífitas sobre encinos (*A. gaiophasma*, *A. fimbriata*, *A. aurita*, *A. campbelli*, *A. frosti* y *A. mixteca*) y otras especies en epífitas sobre pinos (*A. taeniata* y *A. lythrochila*). Las especies de este género

no sólo utilizan de refugio las bromelias, sino también hacen uso de agujeros en los árboles. Así mismo se ha reportado que se esconden bajo capas gruesas de musgo que crecen sobre los árboles. Aunque las especies del género son principalmente arborícolas, existen reportes que muestran que ocasional o accidentalmente descienden al suelo. Se ha encontrado *A. graminea* debajo de troncos podridos y entre la corteza suelta, de igual manera se tiene registro de un juvenil de *Abronia fuscolabialis* encontrado debajo de una roca. Otras especies (*A. ornelasi*, *A. mixteca*, *A. lytrochila*, *A. fimbriata* y *A. gaiophantasma*) han sido encontradas bajo hojarasca. Respecto a pautas de comportamiento observadas en vida silvestre, cabe resaltar que *A. fimbriata* ha sido observada nadar, siendo capaz de sumergirse en el agua hasta 40 cm. Así mismo se ha reportado a dos machos de *A. taeniata* tendidos sobre un sendero en el bosque con las mandíbulas entrelazadas (Campbell y Frost 1993).

Muchas especies de *Abronia* como *A. fimbriata* se vuelven dóciles bajo cautiverio, pero algunas como *A. vasconcelosii*, parecen volverse más agresivas, probablemente debido al estrés producto del encierro. Estas lagartijas son insectívoras y en cautiverio se alimentan vorazmente de ortópteros. Se tiene poca información sobre los depredadores de *Abronia* pero se cree que serpientes y aves se alimentan de estas lagartijas (Ariano y Meléndez 2009).

Las especies de *Abronia* dan a luz crías vivas, el número de crías puede variar desde un solo neonato hasta una camada de doce. Durante el momento de apareo (descripción en base a una observación realizada en vida silvestre a una pareja de *A. lytrochila*, que se encontraba apareando en el suelo), el macho se coloca sobre la hembra, sostiene firmemente el dorso de la cabeza de la hembra con su boca y al mismo tiempo ambos animales entrelazan sus colas. La pareja fue observada durante 45 minutos durante los cuales continuaron tendidos sobre el suelo (Campbell y Frost 1993). La reproducción en cautiverio de *A. vasconcelosii* ha sido lograda en Guatemala, al dar a luz una hembra a seis crías. La copulación ocurrió a finales de julio y la hembra estuvo preñada durante ocho meses (Ariano y Meléndez 2009).

6. Estado de conservación del género *Abronia* en Guatemala. El estado de conservación de la mayoría de las especies del género *Abronia* es incierto, pero las distribuciones restringidas y hábitats alterados o destruidos por el desarrollo humano han puesto a la mayoría de las especies del género entre las lagartijas en mayor peligro de extinción en el mundo. Debido a que las especies que habitan bosques nubosos tienden a estar restringidas a un solo bosque o bosques adyacentes, se considera que la destrucción antropogénica de los bosques en varios volcanes del sur de Guatemala y contiguos al Salvador, ya pudo haber provocado la extinción de varias especies de *Abronia* no descritas (Campbell y Frost, 1993).

En Guatemala muchas especies de *Abronia* están amenazadas de extinción inmediata. Especies como *A. campbelli* (Brodie y Savage 1993) y *A. frosti* (Campbell *et al.* 1998) se creían extintas poco después de su descubrimiento (Campbell y Mendelson, 1998), aunque Ariano y Meléndez (2009) sostenían la sospecha de la existencia de algunos individuos en los últimos remanentes de bosque, en Huehuetenango y Jalapa, respectivamente. Esto fue comprobado con el reciente redescubrimiento de *A. campbelli* (Ariano y Torres 2010) y *A. frosti* (Ariano *et al.* 2011).

De las diez especies que existen en Guatemala, solamente las dos que no son endémicas se encuentran dentro de alguna categoría de amenaza de la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). Estas especies son *Abronia matudai* y *Abronia ochoteranai*, las cuales se encuentran en la categoría en peligro (EN) y con datos insuficientes (DD) respectivamente. Así mismo ninguna de las especies se encuentra en CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres). Sin embargo en la LEA (Lista de Especies Amenazadas) de CONAP se encuentran siete especies de las cuales seis son endémicas. En la categoría I se encuentra *A. anzuetoi*, *A. campbelli* y *A. frosti*. En la categoría II se encuentra *A. fimbriata* y *A. gaiophantasma*; y en la categoría III se encuentra *A. aurita*.

Las especies del género *Abronia* al ser especialmente carismáticas y encontrarse en peligro de extinción crítico, pueden ser acogidas como especies bandera para promover la

conservación de los bosques que habitan en el país (Campbell y Mendelson 1998). Las únicas afirmaciones que se puede hacer sobre *Abronia* con absoluta certeza son que prácticamente su historia natural es desconocida y que su hábitat requiere medidas urgentes de conservación (Ariano y Meléndez 2009).

7. Estudios genéticos en el género *Abronia*. La información genética del género *Abronia* es sumamente limitada, ya que pocas investigaciones han incluido a este género como objeto principal de estudio. La única investigación enfocada al género que ha sido publicada fue realizada por Chippindale *et al.* (1998). En este estudio se utilizaron marcadores mitocondriales dirigidos a la subunidad ribosomal 12S y citocromo b con el objetivo de determinar las relaciones filogenéticas en el género *Abronia* con énfasis en el subgénero *Auriculabronia*.

El ADN mitocondrial evoluciona mucho más rápido que el genoma nuclear consecuentemente los genes que codifican proteínas mitocondriales han sido utilizados para examinar las relaciones filogenéticas en categorías taxonómicas relativamente bajas como familias, géneros, especies o poblaciones. La variabilidad del ADN mitocondrial dificulta el diseño de cebadores universales para amplificar regiones específicas del mismo. Por esta razón, son pocos los genes mitocondriales que se utilizan en la mayoría de estudios filogenéticos. Entre los genes derivados de las regiones mitocondriales los más utilizados son 12S, 16S, citocromo b, CO1 y ND1 (Hwang y Kim 1999).

Las razones para la adopción de ADN mitocondrial como marcador son bien conocidas. El ADN mitocondrial tiene un número de propiedades biológicas específicas, que lo deberían de hacer un marcador adecuado de la diversidad biológica molecular. Experimentalmente, el ADN mitocondrial es relativamente fácil de amplificar, porque aparece en múltiples copias dentro de la célula. El contenido genético mitocondrial es altamente conservado en los animales, con muy pocas repeticiones, no hay intrones y las regiones intergénicas son muy cortas. El ADN mitocondrial es muy variable en las poblaciones naturales, debido a su elevada tasa de mutación, lo que puede generar información acerca de la historia de la población en cortos períodos de tiempo. Las

regiones variables (por ejemplo, la región de control) son típicamente flanqueadas por otras altamente conservadas (por ejemplo, ADN ribosomal), sobre las cuales los cebadores de PCR pueden diseñarse. A nivel de ecología molecular se puede asumir que, primeramente su herencia es clonal (materna), lo que significa que todo el genoma se comporta como un único locus, no recombinante, y todos los sitios comparten una genealogía común. Esto simplifica considerablemente la representación y el análisis de datos de variación dentro de las especies. En segundo lugar, se ha supuesto que el ADN mitocondrial evoluciona de una manera casi neutral. Al estar involucrado en funciones metabólicas básicas (respiración), los genes mitocondriales han sido considerados como menos propensos que otros genes a participar en procesos de adaptación. Por último, la tasa de evolución de ADN mitocondrial ha sido con frecuencia propuesta como un tipo de reloj molecular, debido a que en la ausencia de cualquier mutación de propagación a través de la selección positiva, solamente mutaciones neutras (y ligeramente deletéreos) se acumulan en el tiempo, de modo que los niveles de divergencia de ADN mitocondrial podrían indicar aproximadamente los tiempos de divergencia. Todas estas asunciones hacen que el ADN mitocondrial se erija como el testigo ideal de la historia de poblaciones y de especies. Claramente, el ADN mitocondrial es la solución más conveniente y más barata cuando una especie nueva tiene que ser explorada genéticamente en la naturaleza (Galtier *et al.* 2009)

Citocromo b es uno de los genes más ampliamente secuenciados en una amplia variedad de estudios genéticos. Por lo que la dinámica evolutiva del gen citocromo b y la bioquímica de la proteína producto ha sido mejor caracterizada, que la mayoría de otros sistemas moleculares (Glenn y Avise 1998). El gen Citocromo b es ampliamente utilizado en la identificación de especies, análisis de la evolución y estudios filogenéticos; incluso tiene el potencial de ser utilizado para obtener información a nivel de población aunque es menos frecuente (Li-chin *et al.* 2009, Hwang y Kim 1999). La aplicación de ciertas técnicas moleculares capaces de detectar de manera eficiente la variabilidad del gen Citocromo b han sido propuestas como valiosas herramientas de genética de poblaciones (Raja *et al.* 2011).

Una ventaja de ADN mitocondrial como marcador genético de población es que tiene una velocidad relativamente rápida de mutación, proporcionando haplotipos que pueden ser identificados fácilmente (Raja *et al.* 2011). Un haplotipo es una combinación de alelos en diferentes marcadores a lo largo del mismo cromosoma que se heredan como una unidad (Crawford y Nickerson 2005). Haplotipo es una contracción de la expresión “genotipo haploide”; se refiere a la constitución genética de un cromosoma individual. En el caso de organismos diploides, el haplotipo contendrá un miembro de la pareja de alelos para cada locus. Puede referirse a un conjunto de marcadores (p. ej., polimorfismos de un solo nucleótido – SNP) que estadísticamente están asociados a un único cromosoma. Sabido esto, se cree que la identificación de unos cuantos alelos de un bloque de haplotipo puede identificar de manera inequívoca el resto de loci polimórficos de la región. Dicha información es de gran utilidad para investigar la genética de los caracteres complejos. Para analizar la diversidad por medio de haplotipos se pueden utilizar el índice haplotípico estimado a partir del número de haplotipos presentes en las muestras y sus frecuencias respectivas, definiéndose como la probabilidad de que dos haplotipos de las muestra elegidos al azar sean diferentes, indicando el número de estados variantes de un gen dentro del genoma mitocondrial. También se puede utilizar el índice nucleotídico, el cual determina la heterocigosidad a nivel de nucleótidos a partir de las diferencias entre secuencias de haplotipo, estimando la probabilidad de que dos nucleótidos homólogos escogidos al azar sean diferentes (Trujillo 2009).

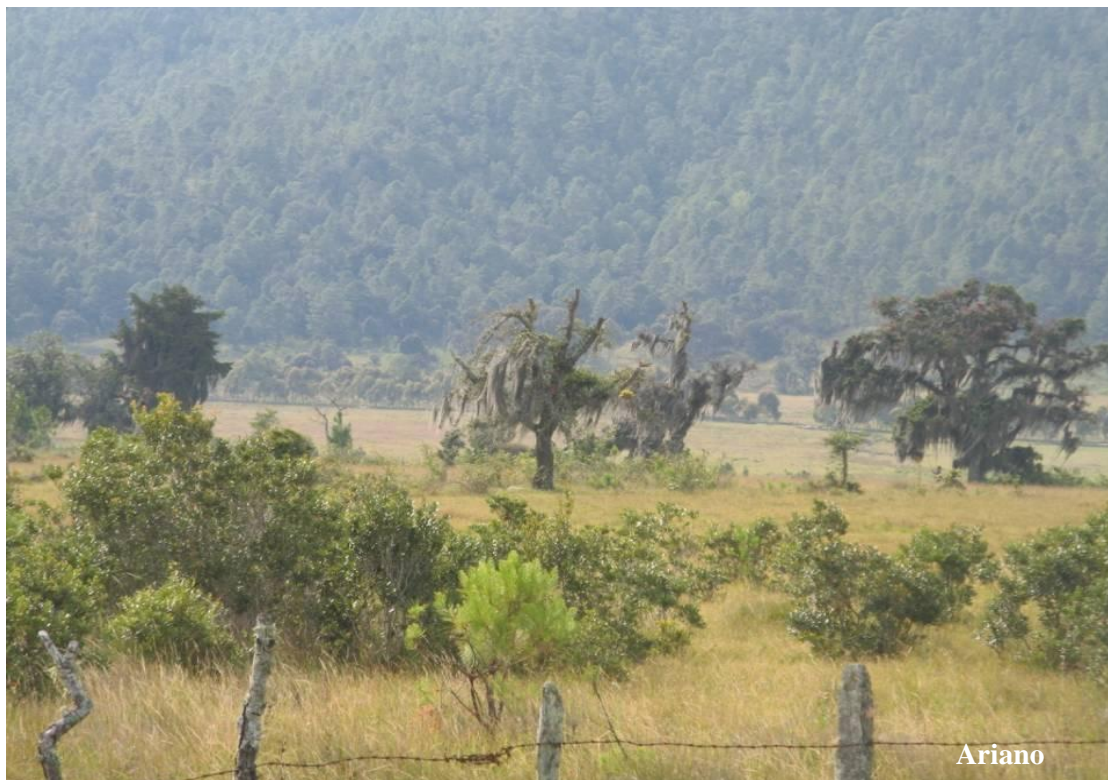
8. Biología de *Abronia campbelli*. La especie de lagartija *Abronia campbelli* (Figura No. 2) es miembro del subgénero *Auriculabronia* (Campbell y Frost 1993) y se caracteriza por tener escamas supraauriculares distintivas en forma de espinas en los subadultos y adultos, 14-16 filas de escamas ventrales, un anillo brillante alrededor del ojo, 32-35 filas de escamas ventrales transversales, coloración del dorso en adultos variable, usualmente gris, café o amarilla con un moteado negro que forma bandas transversales dorsales indistintas; la coloración dorsal en juveniles gris-café con 9-10 bandas negras en el cuerpo y la región alrededor del ojo de color café pálido a amarillo (Brodie y Savage 1993).

Figura 2. Ejemplar de *Abronia campbelli*



La especie *A. campbelli* (Brodie y Savage 1993) se creía extinta poco después de su descubrimiento (Campbell y Mendelson, 1998; Acevedo *et al.* 2010), aunque Ariano y Meléndez (2009) sostenían la sospecha de la existencia de algunos individuos en los últimos remanentes de bosque en Jalapa. En el año 2009 se logró capturar a 34 individuos de *A. campbelli*, incluyendo cuatro juveniles, dentro del área de Potrero Carrillo, departamento de Jalapa, Guatemala de los cuales se han asegurado seis pares de esta especie para un programa de reproducción en cautiverio en el herpetario de Zootropic en la Ciudad de Guatemala (Ariano y Torres 2010). Según el análisis geoespacial realizado por los autores se encontró que solamente quedan 406 encinos (*Quercus* spp.) en la localidad tipo (Ariano y Torres 2010). El área se encuentra severamente fragmentada y consiste principalmente de árboles aislados de encino viejo con un distancia media entre ellos de 55 ± 18 m. Tomando en cuenta que se encontró un promedio de 2.5 individuos por árbol y que la ocupación promedio de los árboles es de 48%, se estima que en el área todavía subsisten alrededor de 487 individuos adultos en un hábitat altamente fragmentado (Figura No. 2). La acción principal que está causando esta dramática deforestación es la tala para la cría de ganado lechero en la zona y para extracción de leña y carbón. Esto demuestra la necesidad urgente de restauración del hábitat por medio de una forma de incrementar la conectividad entre los últimos árboles de encino que permanecen en el sitio (Ariano y Torres 2010; Torres y Urbina 2011).

Figura 3. Remanente de hábitat de *A. campbelli*. Se puede observar sobre el valle los encinos aislados rodeados por plantaciones de pino que se distinguen al fondo del paisaje.



Una amenaza importante es que los individuos restantes de *A. campbelli* en la naturaleza ahora están bajo la presión de los traficantes ilegales que los comercian en países extranjeros para el comercio de mascotas y coleccionistas. También, los habitantes de la zona se refieren a *A. campbelli* como “escorpión” y creen que es altamente venenoso. En el pasado, si encontraban a una de estas lagartijas, las mataban. Teniendo en cuenta estas amenazas, se han tomado medidas para aumentar la conciencia pública sobre la importancia de la conservación de esta especie y para corregir los conceptos erróneos que existen acerca de esta especie entre los agricultores y pobladores locales. Recientemente, se han iniciado acciones con los dueños de las tierras para proteger y restaurar los remanentes de bosque en la localidad tipo (Ariano y Torres 2010; Torres y Urbina 2011).

Se puede utilizar un fuerte programa de reforestación para aumentar la conectividad entre los encinos y alguna especie nativa de árbol de rápido crecimiento como *Liquidambar styraciflua*, *Alnus* spp. o *Leucaena diversifolia*. Estas especies le proveen sombra al *Quercus*, el cual requiere de algún tipo de sombra para su desarrollo. Se sugiere que los árboles de crecimiento rápido plantados como parte del programa de reforestación sean cubiertos con *Tillandsia usneoides* el cual es el microhábitat de *A. campbelli*. Esto ayudará a incrementar la conectividad entre los árboles de encino que quedan y también promoverá la regeneración natural y el crecimiento de los encinos plantados. Otra medida de conservación que se sugiere es unir las copas de los árboles restantes en el área por medio de cuerdas que pueden ser cubiertas por medio de masa gruesas de *Tillandsia usneoides*, de tal manera que funcionen como corredores naturales entre los árboles para incrementar el flujo genético en la población. También, la translocación manual de hembras al azar entre los árboles puede ser útil para incrementar el flujo genético de la población (Ariano y Torres 2010).

9. Bosque de pino-encino montano hábitat de *A. campbelli*, bajo contexto de cambio climático. Dado que Centroamérica es una de las regiones más vulnerables a los embates del cambio climático, es previsible que el aumento de la temperatura atmosférica y del mar, la reducción e inestabilidad en el régimen de lluvias y la subida del nivel de las aguas del mar impacten la producción, la infraestructura, los medios de vida y la salud de la población. Los impactos del cambio climático ya son evidentes, y tendrán consecuencias drásticas en el corto y mediano plazos (2020, 2050 y 2080) en los ecosistemas y biodiversidad de Guatemala. Será evidente la pérdida de los servicios ecosistémicos asociados, principalmente la captación y regulación hidrológica; la productividad primaria neta; la biodiversidad de importancia económica, alimentaria y medicinal; la retroalimentación positiva del ciclo de carbono, es decir, que existirá la liberación del carbono almacenado en los ecosistemas; entre otros. Es destacable que Guatemala, de ser actualmente un país excedentario de agua (mayor precipitación que evapotranspiración potencial), pasará a ser un país con marcados déficit hídricos (en más del 65% de la extensión territorial), al incrementarse la evapotranspiración potencial

sobre la precipitación. En consecuencia, los efectos catastróficos serán no sólo sobre la biodiversidad, sino también en los sistemas productivos y en el abastecimiento hídrico para todos los usos de la sociedad (IARNA 2011).

Entre los principales retos a enfrentar se encuentran: la planificación regional (mesoescala) y la gestión de ecosistemas a escala de sitio, así como la adecuación continua de los actuales planes y objetivos de conservación del ambiente. Estos procesos deben ir acompañados de un apoyo más específico de las ciencias biológicas. Asimismo, es necesaria una mayor integración de las ciencias sociales y ecológicas (IARNA 2011).

Este proceso de adaptación demanda la utilización de modelos sociológicos y económicos, integrados a los conceptos propios de la ecología, a partir de la complejidad de los sistemas de usos de la tierra en Mesoamérica y de los efectos a largo plazo de eventos extremos de precipitación, tales como el huracán Mitch y la tormenta tropical Stan. Es importante prever que estos fenómenos se presentarán cada vez en ciclos más cortos. Entre los sectores que se verán seriamente afectados por el cambio climático, especialmente por el aumento de la temperatura media global, se encuentran la biodiversidad y la productividad de los ecosistemas (IARNA 2011).

En Mesoamérica, uno de los ecosistemas indicadores de los bosques húmedos y muy húmedos montanos es el bosque de pino-encino de montaña (arriba de 1,000 mSNM). Estudios realizados en México y Centroamérica han determinado la posibilidad de impactos negativos en las poblaciones naturales de especies de importancia económica, como *Pinus patula* y *P. tecunumanii* a causa del cambio climático. Algunas predicciones suponen un impacto significativo del calentamiento global sobre la distribución de las poblaciones naturales de ambas especies; sin embargo, es previsible que demuestren un buen desempeño en una amplia variedad de climas, incluidos aquellos que actualmente se muestran como no aptos para su existencia. Esto sugiere que las especies de pino que se encuentran en su hábitat natural estarán mejor adaptadas al cambio climático, si se comparan con poblaciones manejadas en plantaciones. En el corto plazo, parece ser más urgente contrarrestar la vulnerabilidad a la fragmentación de *P. tecunumanii*, debida a la

urbanización y a la agricultura, que al cambio climático. En conclusión, estas comunidades presentan una alta resiliencia a los cambios en el clima, cuya mayor amenaza son los factores de presión antropogénica sobre los ecosistemas naturales que las conforman (IARNA 2011).

Es claro que el calentamiento global reducirá de manera significativa el hábitat para especies endémicas o de distribución geográfica restringida, además de propiciar condiciones de forzamiento para que muchas especies colonicen nuevos terrenos para sobrevivir. Asimismo, se ha evidenciado el aumento en la tasa de enfermedades y, consecuente, la disminución de algunas poblaciones de especies en diversos ecosistemas naturales, pero se desconoce el umbral de tolerancia y de irreversibilidad de estos procesos en muchos ecosistemas (IARNA 2011).

Se plantea que, dentro de las alternativas de adaptación ante el inminente cambio climático, resaltan las que se vinculan a la migración asistida de especies y comunidades. Para ello, son indispensables los ejercicios de planificación exhaustiva y de conservación de especies a nivel regional, a ser realizados por diversos sectores. Si bien se considera una práctica impostergable, aún no ha sido abordada adecuadamente por la comunidad científica (IARNA 2011).

Debido a que los bosques de pino-encino montanos son la ecorregión a nivel nacional más resiliente ante cambio climático, los hace proyectos de conservación viables y de vital importancia para el país. Ya que representan una fuente factible a largo plazo, de bienes y servicios ambientales, incluso bajo contexto de cambio climático, vitales para los poblados que los rodean. Sin embargo, ante las presiones antropológicas que presenta esta ecorregión y el reto del cambio climático son de vital importancia las investigaciones científicas a nivel ecológicas de esta ecorregión, así como acciones de conservación activas y efectivas. Una gestión inteligente de estas áreas puede significar la diferencia entre la adaptación exitosa del país ante el cambio climático o perecer ante las inclemencias ambientales que durante años hemos exacerbado.

B. Justificación

Acevedo *et al.* (2010) proponen que *A. campbelli* está dentro de la categoría de alta vulnerabilidad según los indicadores de Vulnerabilidad Ambiental de las Especies (EVS por sus siglas en inglés). Así mismo, proponen que *A. campbelli* es una especie que se encuentra en la categoría de peligro crítico según la lista roja de la UICN. Sin embargo, no existen estudios suficientes para establecer que *A. campbelli* se encuentra dentro de esta categoría de la UICN. Debido a la escasez de información respecto a esta especie, es importante recaudar datos que sirvan de apoyo para que posteriormente *A. campbelli* ingrese a un mecanismo formal de conservación, como la lista roja de la UICN. Esta investigación busca ser un aporte que permita tomar medidas de conservación adecuadas. Actualmente, el CONAP coloca a *A. campbelli* dentro de la categoría 1 en la lista de especies de fauna amenazadas de Guatemala (CONAP 2009).

A. campbelli se encuentra en la ecorregión de pino-encino de Centroamérica la cual se encuentran altamente amenazados por los incendios forestales, las prácticas forestales insostenibles y la conversión del bosque en tierras agrícolas y ganaderas. Estos bosques, además de su alta biodiversidad, tienen un gran valor por los bienes y servicios que ofrecen tales como agua, madera, recreación, entre otros (Alianza para la Conservación de los Bosques de Pino-Encino de Mesoamerica 2008).

Esta ecorregión cuenta con producción de madera para la industria, sin embargo, otro producto de gran importancia en el sector forestal y energético es la leña. El encino se utiliza para venta o autoconsumo, así como para la producción de carbón vegetal. En el tema de servicios hídricos se tienen estudios importantes de factibilidad para establecer sistemas de pago por los servicios que brindan estos bosques. La belleza escénica de la ecorregión es otro servicio ambiental que podría ser aprovechado por iniciativas de ecoturismo. No hay una estrategia de valoración de la diversidad en sí dentro del bosque, aunque existan proyectos que tienen como finalidad conservar el bosque y lo que habita en él. Debido a su clima, fertilidad, precipitación y abundancia de recursos, esta ecorregión es una de las preferidas por parte del ser humano para sus asentamientos. Por

lo tanto, es de gran importancia conservar los procesos ecosistémicos de estos bosques ya que tienen un alto valor ecológico, forestal y económico (Alianza para la Conservación de los Bosques de Pino-Encino de Mesoamérica 2008).

El hecho que los bosques de pino-encino montanos son la ecorregión a nivel nacional más resiliente ante cambio climático, los hace proyectos de conservación viables y de vital importancia para el país. Ya que representan una fuente factible a largo plazo, de bienes y servicios ambientales, incluso bajo contexto de cambio climático, vitales para los poblados que los rodean. Sin embargo, ante las presiones antropológicas que presenta esta ecorregión y el reto del cambio climático, son de vital importancia las investigaciones científicas a nivel ecológico así como acciones de conservación efectivas. La gestión inteligente de esta ecorregión puede significar la diferencia entre la adaptación exitosa del país ante el cambio climático o perecer ante las inclemencias ambientales que durante años hemos exacerbado (IARNA 2011).

Esta investigación es de gran importancia debido a que provee estrategias de conservación inmediatas y a largo plazo. Pero a su vez, genera información a partir de la investigación en campo que podrá ser utilizada por entidades gubernamentales y no-gubernamentales para la conservación de la especie de la lagartija endémica altamente amenazada *A. campbelli*. Así mismo, *A. campbelli* puede ser acogida como especie bandera y promover esfuerzos de conservación en la ecorregión de pino-encino de Centroamérica la cual se encuentra altamente amenazada.

C. Objetivos

1. Objetivo general

Determinar la historia natural y el estado de conservación de la lagartija arborícola *Abronia campbelli* en Potrero Carrillo, Jalapa.

2. Objetivos específicos:

- Caracterizar el hábitat de *A. campbelli*.

- Caracterizar los patrones de comportamiento y el ámbito de hogar de *A. campbelli* en vida silvestre por medio del uso de radiotelemetría
- Caracterizar los patrones de comportamiento de *A. campbelli* en cautiverio por medio de observaciones *ad libitum*.
- Caracterizar genéticamente la población de *A. campbelli*.
- Evaluar los parámetros de asimetría fluctuante en la población de *A. campbelli*.
- Desarrollar un plan de conservación para *A. campbelli* y su hábitat.

II. MÉTODOS

A. Descripción del sitio de estudio.

En 1993 Brodie y Savage describen por primera vez *A. campbelli* como una nueva especie del subgénero *Auriculabronia*, que habita a elevaciones de más de 1800 msnm, al norte de Jalapa en el Cerro Tablón de las Minas, dentro de un área total de 4 km². El hábitat es descrito como un bosque xérico caracterizado por la presencia de encinos grandes y ampliamente espaciados. El sustrato es rocoso y el sotobosque comúnmente incluye *Opuntia* sp. y *Agave* sp. Las ramas de los encinos están cubiertas con una gruesa capa de crecimiento epifítico que puede llegar hasta 20 cm de espesor. Indicativo de las condiciones xéricas es la observación de que *A. campbelli* es la única especie de *Abronia* no simpátrica con una especie de salamandra. Desde 1993 se describe la enorme pérdida de hábitat en la región debido a la tala de encinos para la obtención de leña. Brodie y Savage predijeron la pronta extinción de *A. campbelli* debido al impacto de las actividades humanas dentro de tan limitado rango de distribución de la especie.

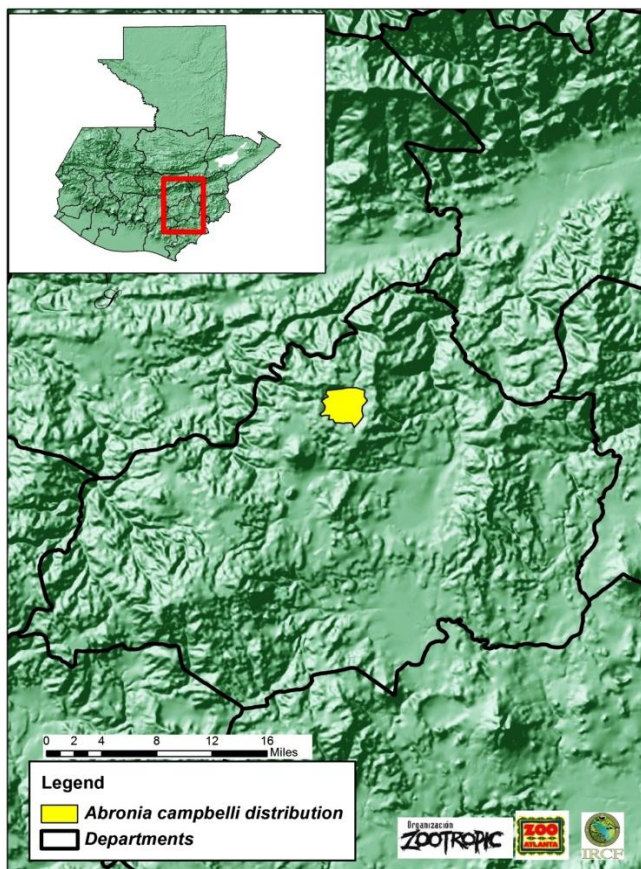
En el 2010 Ariano y Torres al redescubrir *A. campbelli* describen el hábitat como un bosque compuesto principalmente por dos especies de encino *Quercus peduncularis* y *Q. brachystachys*, los cuales se encuentran cubiertos densamente por la bromelia *Tillandsia usneoides* y otras epifitas. El bosque se encuentra en una zona de humedal rodeada por *Pinus oocarpa*. Acorde a los pobladores locales esta zona se encontraba cubierta en gran medida por un bosque viejo de encinos hasta alrededor de la década de 1970. Los datos ambientales provistos por una estación meteorológica presente desde los inicios de la década de 1990 muestra que la temperatura anual promedio es 16.91 ± 0.53 °C, temperatura anual máxima de 21.76 ± 2.36 °C, temperatura anual mínima de 8.41 ± 2.21 °C, precipitación pluvial anual promedio es de 1328 ± 282 mm y humedad anual relativa de $83 \pm 2.22\%$. Los datos meteorológicos mencionados anteriormente describen condiciones ambientales vistas en otras especies como *A. vasconcelosii*.

La zona de humedal en la cual el bosque de encino fue reportado en el pasado aún persiste y hace que el área sea muy húmeda. Esto contrasta con la descripción de Brodie y Savage (1993) que describen esta región como un bosque seco (Ariano y Torres, 2010).

Los especímenes colectados de *A. campbelli* fueron encontrados en encinos de *Q. peduncularis* con una altura promedio de 10.68 ± 1.68 m y un diámetro a la altura del pecho (DAP) 58.72 ± 9.43 cm. y que estaban cubiertos por masas densas de epifitas. Acorde al análisis del sistema de información geográfica (SIG), el área total de la distribución de especie es de 1,791 hectáreas en la cual solamente quedan 406 *Quercus*. El área se encuentra severamente fragmentada y consiste principalmente de encinos viejos aislados con una distancia promedio entre ellos de 55 ± 18 metros (Ariano y Torres, 2010; Ariano, 2010). Aunque *A. campbelli* no está extinta, sí se encuentra en peligro crítico de extinción sino se toman medidas de conservación drásticas (Ariano y Torres, 2010).

La investigación se llevó a cabo en varias fincas que se encuentran localizadas dentro de las 1,791 hectáreas de hábitat remanente de *A. campbelli* (figura No. 3). Las comunidades que se encuentran alrededor del área de estudio son: a Pastoría (1847 habitantes), San Antonio (452 habitantes), El Mojón (348 habitantes), San Lorenzo (403 habitantes), La Laguna (98 habitantes), La hierbabuena (1015), Potrero Carrillo (75 habitantes) y el Sesteadero (262 habitantes). Estas aldeas pertenecen al municipio de Jalapa, Jalapa. El departamento de Jalapa tiene una población total de 279, 242 de los cuales 171, 004 viven en condiciones de pobreza, representa el 61.2% de la población, de éstos 63,287 viven en pobreza extrema.

Figura 4 Distribución de *A. campbelli*. Sitio de estudio.



(Fuente: Ariano 2010)

B. Comportamiento reproductivo en cautiverio de *A. campbelli*.

Se monitoreó por medio de observaciones ad libitum el comportamiento en cautiverio de la especie, de acuerdo a las observaciones realizadas a los seis ejemplares en cautiverio que hay en el herpetario de la organización ZOOTROPIC y a otros seis ejemplares en cautiverio que se encuentran en el Parque Ecológico Forestal Cerro Alto. Se realizaron observaciones durante un año y los datos se registraron en una bitácora donde se describió a detalle el comportamiento observado.

C. Caracterización del hábitat.

Se realizaron búsquedas manuales para identificar árboles que albergan ejemplares de *A. campbelli*. Estos árboles fueron el centro de una parcela, la cual midió 25 metros al norte y 25 metros al sur del árbol; y un metro al este y un metro al oeste, haciendo un total de 100 m². Se midió la altura, radio de copa, DAP (diámetro a la altura del pecho) de todos los árboles dentro de la parcela. Todas las especies forestales fueron identificadas y se registró en qué metro del transecto se encuentran. Así mismo, se identificaron las especies de epífitas encontradas sobre los árboles en los que residen ejemplares de *A. campbelli*. La densidad de cobertura fue determinada de manera cualitativa, utilizando tres rangos alto, medio y bajo; cuando la densidad de epífitas sobre el árbol presente una cobertura entre 100-75%, 74- 50% y < 49% respectivamente. Las variables cualitativas fueron examinadas por medio de análisis de contingencia y las variables cuantitativas con regresión logística.

D. Definición de ámbito de hogar y comportamiento en vida silvestre.

El tamaño del ámbito de hogar puede ser indicador de los requerimientos de recursos en relación a su disponibilidad en el ambiente y de las características del comportamiento de un animal, por lo que en ecología se busca comprender los factores que predicen el tamaño del ámbito de hogar (Perry y Garland 2002). Estas ordenaciones espaciales son descritas en términos de dominio vital, ámbito de hogar o área de acción (home range), y se define como el área donde un individuo realiza sus actividades diarias (Burt 1943). Para definir el ámbito de hogar de *A. campbelli* y monitorear su comportamiento en vida silvestre, se realizó un estudio con radio-telemetría en los remanentes de hábitat natural que se encuentran dentro de la Finca Agua Blanca, Jalapa, Guatemala. Los individuos fueron capturados en su hábitat natural y se les colocó un radio en la parte dorsal, cerca de la base de la cola. Los radios pesaban 0.4 g y se colocaron por medio de un adhesivo instantáneo universal. Luego de colocar los radios, los ejemplares se llevaron al mismo lugar donde fueron encontrados inicialmente, para ser liberados. Se realizaron observaciones diarias de ambos individuos, tomando en cuenta su ubicación y actividad.

Se realizó la otra parte del monitoreo con dos individuos más, durante el mes de septiembre, para obtener datos en época seca y época lluviosa. Los radiotransmisores utilizados son modelo BD-2N de la compañía Holo Hill Systems Ltd. con un peso de 0.39-0.51 gramos y una vida media de 20 días; mientras que el receptor utilizado fue un ATS Fieldmaster FM-100 con una antena Yagi de 3 elementos. Los datos georreferenciados durante la radiotelemetría fueron analizados por medio de Home Range Extension, Versión 1.1c desarrollada para Arcview 3.3 (GeoSpatial International Inc.). El método para la estimación de ámbito de hogar fue el polígono convexo mínimo del 100%.

E. Asimetría fluctuante.

La asimetría fluctuante es descrita como ligeras desviaciones aleatorias entre el lado izquierdo y derecho de caracteres que normalmente presentan simetría bilateral, esta medida funciona como indicador de estabilidad durante el desarrollo en poblaciones que se encuentran bajo estrés debido a que la asimetría fluctuante generalmente incrementa con la disminución de variación genética y el aumento del estrés ambiental (Palmer y Strobeck 1986). Debido a esto, la asimetría fluctuante es considerada una herramienta para evaluar el estado de especies amenazadas (Leary y Allendorf 1989). Los individuos fueron colectados dentro de los remanentes de hábitat de la especie. Para realizar el análisis de asimetría fluctuante se tomaron las siguientes medidas de lado izquierdo y derecho, de 48 individuos (35 individuos de *A. campbelli* y 13 individuos de *A. meledona*):

- 1) Longitud del inicio de la escama frontal hacia la primera escama supra-auricular (AC).
- 2) Longitud de la comisura del hocico hacia la abertura nasal (HN)
- 3) Longitud de la sección superior de la extremidad anterior (SA)
- 4) Longitud de la sección inferior de la extremidad anterior (IA)
- 5) Longitud de la sección superior de la extremidad posterior (SP)
- 6) Longitud de la sección inferior de la extremidad posterior (IP)

Debido a que no se cuenta con una población de *A. campbelli* que se encuentre en un hábitat no perturbado, los datos se analizaron por medio de una prueba de Wilcoxon haciendo una comparación con *Abronia meledona* (ejemplares que actualmente se encuentran en las instalaciones del herpetario de Zootropic) especie que no se encuentra tan altamente amenazada y que cuenta con una distribución más amplia. El análisis estadístico se realizó por medio del paquete estadístico JMP versión 5.

F. Plan de conservación de *Abronia campbelli*.

El plan se creó por medio de la metodología de Planificación para la Conservación de Áreas (PCA), la cual fue desarrollada por The Nature Conservancy, para identificar prioridades de conservación en sitios específicos (Granizo 2006). Sin embargo, en este caso la planeación se realizó alrededor de un elemento de conservación natural. Para esto se llevó a cabo un análisis de viabilidad de la especie, análisis de las amenazas y actores, y por último, el desarrollo de estrategias y medidas de éxito. El proceso se llevó a cabo por medio de talleres y reuniones.

Figura 5. Metodología de planificación para la conservación de áreas



Un elemento de conservación es aquella entidad, característica o valor que se quiere conservar en un área: especies, ecosistemas u otros aspectos importantes de la biodiversidad. Lo que se persigue es que dicho elemento se mantenga en buen estado a

largo plazo. Cuando nuestro elemento de conservación se encuentra en la categoría de especie, ésta debe cumplir con uno de los dos requisitos, que sea una especie en peligro extinción o que sea una especie paraguas. Las especies paraguas son aquellas cuya conservación tiene un efecto directo sobre otras especies asociadas (Granizo, 2006).

Una especie es viable cuando sus características ecológicas dominantes (composición, estructura, función y procesos ecológicos) se encuentran dentro de sus rangos naturales de variación, y pueden recuperarse de la mayoría de los disturbios causados por la dinámica natural del ecosistema o por disturbios humanos. Una población viable es aquella que mantiene su vigor ecológico y su potencial para adaptaciones evolutivas. Al realizar un análisis de viabilidad se deben seguir los siguientes pasos:

- Seleccionar atributos ecológicos clave
- Identificar indicadores para cada atributo ecológico clave
- Determinar los rangos de variación aceptable para cada atributo ecológico clave
- Determinar el estado actual y el deseado de los atributos ecológicos clave (Granizo, 2006).

El análisis de amenazas se realiza acorde a las presiones y a las causas que las provocan. Una presión es el daño funcional o la degradación de los atributos clave de un elemento de conservación, lo cual disminuye su viabilidad. Las presiones son intrínsecas al objeto de conservación y no están necesariamente relacionadas con actividades humanas. Las presiones son mejor entendidas cuando se las analiza junto a las fuentes que las causan. Esta agregación de las presiones más las fuentes de presión es lo que llamamos amenaza a los elementos de conservación. La identificación de las presiones que afectan a los elementos de conservación es necesaria para el análisis de amenazas. Luego de la identificación se procede a asignar valores a la severidad y alcance de las mismas. Así mismo, las fuentes de presión deben ser identificadas y calificadas de acuerdo a otros dos parámetros, su contribución a una o más presiones y su irreversibilidad (Granizo, 2006).

El análisis de actores y situaciones nos permite identificar a los actores vinculados a las amenazas críticas y conocer mejor las fuerzas y motivaciones que impulsa su comportamiento. El resultado final debería de ser la comprensión de la situación que rodea cada fuente de presión, conocimiento de qué es esencial para la elaboración de estrategias. En el análisis de actores y situaciones es importante identificar a los actores clave que son personas capaces de brindar un panorama general de la situación (Granizo, 2006).

La fase de estrategias se divide en dos partes, las estrategias de conservación y las acciones estratégicas que se desarrollan para alcanzar cada una de las estrategias. Una estrategia de conservación es una acción que nos permite alcanzar un objetivo específico que: reduce o minimiza una amenaza, aumenta la viabilidad del elemento de conservación y/o mejora la capacidad de conservación. Las acciones estratégicas son aquellas que permiten el cumplimiento de la estrategia de conservación (Granizo, 2006).

En el análisis de capacidades, capacidad es la disponibilidad de elementos humanos, institucionales, financieros, legales, políticos y de participación requeridos para llevar adelante el trabajo de conservación, es decir, para implementar las actividades que nos permiten cumplir los objetivos estratégicos. Las medidas de éxito consisten en establecer sistemas de monitoreo que puedan ayudar a medir los avances sustanciales en la mitigación duradera de las amenazas críticas y en el mantenimiento o mejoramiento de la viabilidad del elemento de conservación (Granizo, 2006).

G. Caracterización genética de *A. campbelli*.

El ADN mitocondrial se obtuvo a partir de un hisopado bucal, el cual es una técnica no invasiva ampliamente utilizada en varias especies de animales incluyendo anfibios y reptiles (Beebee 2008). El hisopado bucal consistió en un raspado en las paredes de la boca por medio de un hisopo de algodón estéril el cual se colocó en 1ml de solución amortiguadora de transporte (NaCl 100mM, Tris HCL 10 mM, EDTA 10mM, proteínasa K 0.2mn/ml y SDS 0.5%) y se dejó incubando dos horas a 65 C°. La extracción de ADN

mitocondrial se realizó colocando 500 μ l del lisado en un tubo de 1.5 ml, se agregó 100 μ l de NaCl 3M y se centrifugó durante cinco minutos a 12 revoluciones por minuto. Seguidamente se recuperó el sobrenadante y se le agregó 600 μ l de isopropanol, se incubó 15 minutos a 20 C°; luego se centrifugó 10 minutos a 12 revoluciones por minuto y se lavó el pellet con 200 μ l etanol al 95%. Posteriormente se secó a 65 C° y se resuspendió en TE (Freeman 2003).

Las pruebas de amplificación utilizaron los cebadores diseñados por Lin *et al.* (2003) y Chippindale *et al.* (1998), ambos trabajos presentan un par de cebadores dirigidos al gen 12S y un par de cebadores dirigidos al gen citocromo b. En busca de la estandarización del proceso de amplificación de la reacción en cadena de polimerasa (PCR por sus siglas en inglés), se evaluó la modificación de las condiciones de la misma. Para esto se modificó la temperatura de hibridación, presencia/ausencia de dimetilsulfóxido, concentración de magnesio, ADN y cebadores. El resto de los componentes de la reacción (solución amortiguadora para PCR, mezcla de nucleótidos y polimerasa de ADN) no fueron modificados durante el experimento. Para cumplir con requerimientos de análisis y tiempo del proyecto se eligió trabajar solamente con un par de cebadores dirigidos al gen citocromo b diseñados por Lin *et al.* (2003).

Se utilizó un par de iniciadores degenerados dirigidos al gen citocromo b: PL2: 5' CCMTCAACMTYTCMDYWTKRTGAAA-3' y PH2: 5' GGCRAAKARRAARTAYCATTC-3'. Las condiciones del ensayo para la PCR fueron ajustadas en base al estudio de Lin *et al.* (2003). La PCR se llevó a cabo en un volumen total de 25 μ L, con una concentración final de solución amortiguadora para PCR a 1X, MgCl₂ a 1 mM, 0.1 mM de mezcla de nucleótidos, 1 U Taq, y 1 μ L de ADN. Los iniciadores fueron utilizados a una concentración de 0.8 μ M. El programa de amplificación consistió en 35 ciclos de 95 °C por 3 min., 48 °C por 1 min. y 72 °C por 45 s, y la extensión final de 72 °C por 5 minutos.

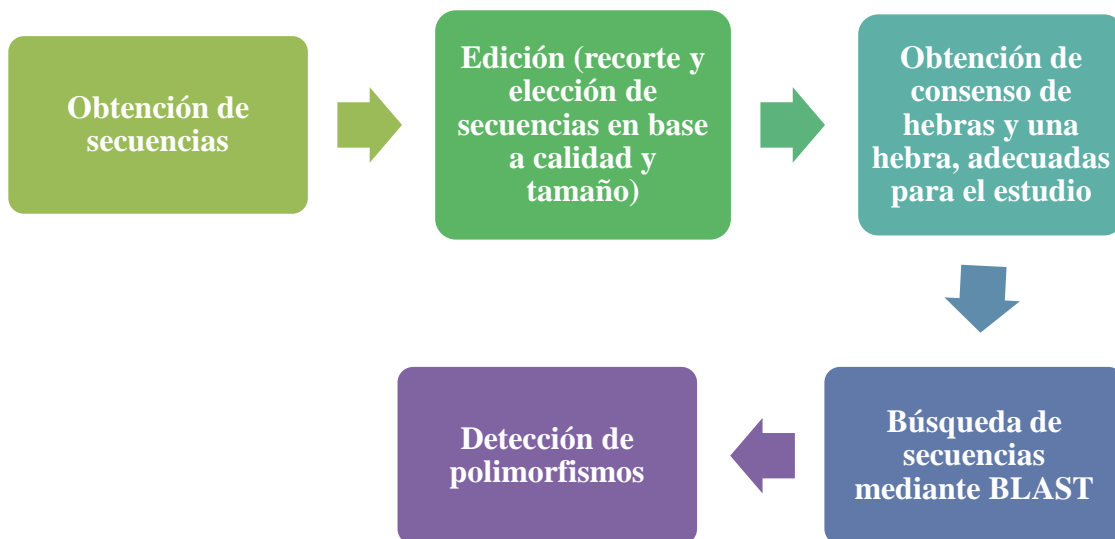
El producto de la PCR se visualizó en gel de agarosa al 2%. Las muestras que mostraron la banda deseada en el producto alrededor de 750bp, fueron purificadas. Las muestras se amplificaron por la PCR en triplicado y se utilizó el volumen total de las tres

para la purificación. Para la purificación de los productos de la PCR se utilizó el kit Wizard® PCR Preps DNA Purification System de Promega siguiendo las instrucciones del fabricante. Los productos purificados se visualizaron en un gel de agarosa al 1% en TAE 1X. Los productos purificados fueron mandados a secuenciar a MACROGEN® en Corea del Sur (Figura 6).

Se seleccionaron las secuencias que cumplieran con los criterios de calidad mayor al 50% y longitud mayor a 350 pares de bases, con ayuda del programa SEQUENCHER®. Estas secuencias fueron utilizadas para el análisis con la Herramienta de búsqueda de alineación básica local (BLAST por sus siglas en inglés). Seguidamente las secuencias elegidas fueron analizadas en el programa SEQUENCE VIEWER 7.5 ® para detectar las mutaciones específicas y poder describir los polimorfismos en el grupo de *A. campbelli* y *A. meledona* (Figura 7).

Figura 6. Diagrama de flujo para el proceso de obtención de secuencias.



Figura 7. Análisis de secuencias obtenidas.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Comportamiento reproductivo en cautiverio de *A. campbelli*.

La especie de lagartija *A. campbelli* presenta una serie de pautas de comportamiento que conforman el ritual de apareamiento. Durante este ritual de apareamiento el macho se aproxima a la hembra y se coloca parcialmente sobre ella, el macho se aferra a la cabeza de la hembra en una mordida firme. Algunas hembras adultas presentan leves cicatrices en la cabeza, producto de este comportamiento. Esta mordida se da sobre las escamas supra-auriculares ya sea del lado izquierdo o derecho de la cabeza (Figura No.5). Al mismo tiempo el macho sujeta a la hembra con sus extremidades anteriores en una especie de “abrazo” (Figura No. 6). El macho luego enrolla su cola bajo la cola de la hembra de tal manera que las cloacas quedan próximas entre sí, posición propicia para la cópula (Figura No.7). El macho realiza un movimiento utilizando una de sus extremidades posteriores, rascando de abajo hacia arriba la base de la cola de la hembra (Figura No.8).

El ritual de apareamiento puede durar varias horas, se tiene el registro de una pareja de adultos que mantuvo el ritual de apareamiento durante poco más de 24 hrs. La cópula se dio durante períodos cortos durante este intervalo de tiempo. La hembra en ocasiones intentaba librarse del macho, sin embargo, éste se volvía a aferrar a ella por medio de mordidas en la base de la cola. Esto se dio con el objetivo de inmovilizarla de nuevo y volver a iniciar el ritual de apareamiento descrito anteriormente.

El ritual de apareamiento se ha observado entre juveniles de aproximadamente dos años de edad, sin embargo, estos encuentros no han resultado en una fertilización exitosa, consecuentemente este comportamiento no ha dado lugar a una camada. Por lo que se podría inferir que la especie alcanza la madurez sexual luego de los dos años de edad.

Figura 8. Mordida sobre escamas supra-auriculares. Se puede observar al macho sujetando por la cabeza a la hembra.



Figura 9. Agarre extremidades anteriores. Se observa como el macho se afianza a la hembra utilizando sus patas anteriores.



Figura 10. Enlace de colas. Se observa como el macho engancha su cola por debajo de la cola de la hembra



Figura 11. Estimulación en base de la cola. Se puede observar como el macho “rasca” la base de la cola de la hembra de abajo hacia arriba.



La pauta de comportamiento en la que el macho muerde el cuello o cabeza de la hembra durante el ritual de apareamiento, se ha descrito en otras especies de anguidos (Ortega 1987, Campbell y Frost 1993, Ferreiro 2004,) y numerosas especies de reptiles (Ferguson 1970, Dame y Petren 2006, Panday *et al.* 2007). Esta pauta de comportamiento claramente sirve para sujetar a la hembra durante la cópula, sin embargo se presume que este comportamiento sirve para inducir una respuesta receptiva por parte de la hembra (Tryon y Murphy 1982). Según Barros 2011, morder a la hembra por el cuello o cabeza, y arañarla con las patas posteriores, parece tranquilizar a la hembra, lo cual puede garantizar el éxito del macho durante la copulación.

Acorde a las fechas del nacimiento de las camadas (Cuadro 1) los individuos de *A. campbelli* se encuentran en época de apareamiento entre el mes de agosto al mes de noviembre. El promedio de neonatos por camada es de 11.8, el promedio de largo de hocico cloaca de los neonatos es de 35.34 mm y el peso promedio de los neonatos es de 0.5 g.

Cuadro 1. Reproducción en cautiverio de *A. campbelli*.

No. Camada	Fecha de nacimiento	Número de individuos por camada	Tipo de reproducción en cautiverio
*1	06/03/2010	7	<i>ex situ</i>
*2	13/03/2010	13	<i>ex situ</i>
*3	22/03/2010	11	<i>ex situ</i>
*4	04/03/2010	11	<i>ex situ</i>
5	23/03/2011	12	<i>ex situ</i>
6	14/03/2012	12	<i>ex situ</i>
7	25/03/2012	9	<i>ex situ</i>
*8	06/06/2012	16	<i>in situ</i>
*9	13/06/2012	16	<i>in situ</i>

*= provenientes de hembras que fueron preñadas en estado silvestre.

Los datos recaudados de las hembras que quedaron preñadas en vida silvestre brindan información precisa sobre el ciclo de reproducción que experimenta la especie en su hábitat natural. El ritual de apareamiento en cautiverio se observó en los meses de agosto y septiembre. Las fechas de estas cópulas en cautiverio, concuerdan con las fechas de

apareamiento de vida silvestre acorde a los datos mencionados anteriormente. En base a estas observaciones se obtiene un promedio de tiempo de gestación de 7.5 meses. Las hembras con mayor número de crías (16) pertenecen al programa de reproducción *in situ*. La disponibilidad de alimento, la dieta con base a la comunidad silvestre de insectos de su hábitat y la reducción del estrés ambiental al estar en condiciones climatológicas naturales; podrían explicar el número elevado de neonatos. Sin embargo, para poder concluir al respecto es necesario obtener más información y desarrollar un estudio con diseño experimental específico. Debido al bajo número de individuos de *A. campbelli* en vida silvestre, el manejo adecuado de los programas de reproducción para la especie es indispensable, para lo cual sirve de insumo la información recopilada en esta sección.

B. Caracterización de hábitat.

Para la descripción detallada del hábitat se realizó un listado de las especies forestales que se encuentran en el área y las especies de plantas epífitas asociadas a los árboles que albergan *A. campbelli*.

Cuadro 2. Listado de especies forestales.

Nombre científico	Nombre común
<i>Alnus acutifolia</i>	Aliso
<i>Pinus maximinoi</i>	Pino de altura
<i>Pinus oocarpa</i>	Pino de ocote
<i>Quercus brachystachys</i>	Oreja de Danta
<i>Quercus peduncularis</i>	Roble amarillo
<i>Quercus pilicaulis</i>	Encino de hoja grande
<i>Quercus sapotifolia</i>	Encino de hoja pequeña
<i>Quercus tristis</i>	Encino de hoja pequeña

El área cuenta con varias especies forestales, las cuales albergan gran parte de la biodiversidad del área incluyendo *A. campbelli* (Cuadro 2). Esta lagartija arborícola muestra preferencia ($X^2 = 11.580$, $p < 0.05$) por ciertas especies forestales. *A. campbelli* se encuentra asociada a dos especies de encino (*Q. tristis* y *Q. peduncularis*) del área especialmente *Q. tristis*, especie que alberga el 57.14% de los individuos encontrados

durante la búsqueda manual (Cuadro 3). *Q. peduncularis* y *Q. tristis* presentan un promedio de altura de 11.80 y 11.42 metros respectivamente.

Cuadro 3. Asociación de *A. campbelli* con distintas especies forestales.

Espece	Porcentaje de individuos encontrados
<i>Quercus tristis</i>	57.14
<i>Quercus peduncularis</i>	32.00
<i>Alnus acutifolia</i>	7.14
<i>Cupressus sp.</i>	3.57
<i>Pinus sp.</i>	0.00

Acorde a las regresión logística realizada, el área de copa ($X^2 = 4.43$, $p < 0.05$) es la variable que predice la presencia de *A. campbelli* en el área. El área de copa promedio es de 12.40 y 11.95 metros respectivamente. La relación entre la probabilidad de encontrar *A. campbelli* y el diámetro de copa del árbol es positiva, es decir que al aumentar la variable aumenta la posibilidad. Esto puede deberse a que un árbol con mayor copa, puede albergar un mayor número de individuos de *A. campbelli*, ya que ofrece un mayor número de epífitas para refugiarse y una mayor disponibilidad de sitios de asoleo. La zona cuenta con una gran riqueza de vegetación, especialmente de plantas epífitas (Cuadro 4). *A. campbelli* muestra una fuerte asociación con la especie *Tillandsia usneoides* ($X^2 = 12.201$, $p < 0.05$). El 68.29% de *Q. tristis* y *Q. peduncularis* muestreados albergan *A. campbelli*. Todos los árboles con presencia de *A. campbelli* muestran entre el 80 y 90% de su superficie cubierta por *T. usneoides*. Estos resultados muestran que *T. usneoides* (pashte o barba de viejo), conforma el micro hábitat de la lagartija *A. campbelli* ya que dentro del pashte es capaz de mimetizarse con su entorno. Esto le sirve para cazar y para esconderse de depredadores, debido a que el patrón de coloración generalmente gris de la especie se mimetiza fácilmente entre el pashte el cual presenta una coloración similar. *Abronia campbelli* también depende de otras bromelias que se encuentran en el área, las cuales a su vez se encuentran asociadas con otro tipo de plantas como orquídeas. *Pitcairnia heterophylla* es una bromelia epífita que se caracteriza por tener espinas la cual se pudo observar que era utilizada como refugio por neonatos de *A. campbelli*. Otras especies del género *Tillandsia* también son

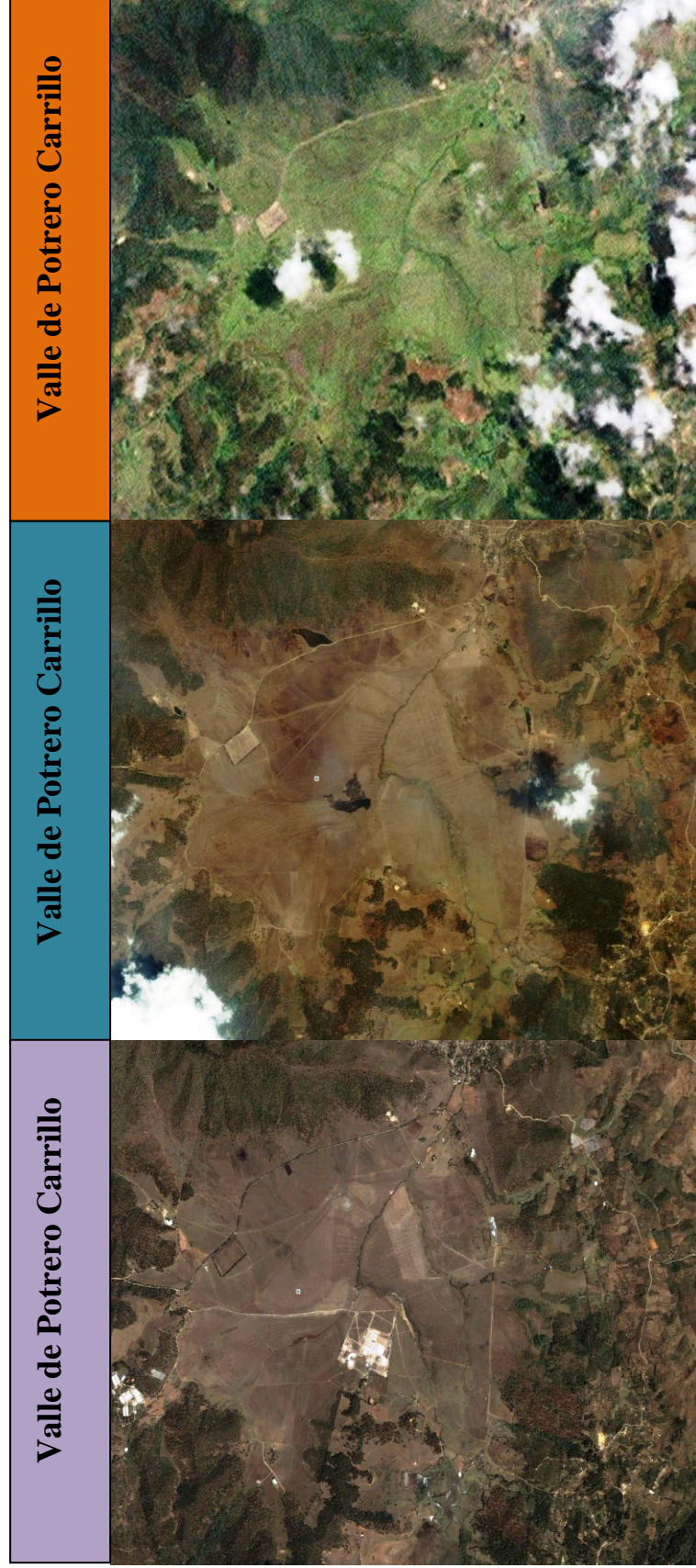
extremadamente importantes debido a que son fuente de refugio y comida para la diversidad biológica del área.

Cuadro 4. Listado de epífitas.

Bromelias	Orquídeas	Otras
<i>Tillandsia butzi</i>	<i>Coelia macrostachya</i>	<i>Catopsis paniculata</i>
<i>Tillandsia guatemalensis</i>	<i>Coelia guatemalensis</i>	<i>Catopsis hahnii</i>
<i>Tillandsia lampropoda</i>	<i>Encyclia selligera</i>	<i>Catopsis subulata</i>
<i>Tillandsia magnusiana</i>	<i>Epidendrum parkinsonianum</i>	<i>Pitcairnia heterophylla</i>
<i>Tillandsia matudae</i>	<i>Isochilus aurantiacus</i>	<i>Utricularia juncea</i>
<i>Tillandsia multicaulis</i>	<i>Jacquinilla cobanensis</i>	<i>Wereauhia werckleana</i>
<i>Tillandsia polystachia</i>	<i>Lemboglossum majale</i>	
<i>Tillandsia ponderosa</i>	<i>Maxillaria curtipes</i>	
<i>Tillandsia punctulata</i>	<i>Maxillaria densa</i>	
<i>Tillandsia rodrigueziana</i>	<i>Maxillaria praestans</i>	
<i>Tillandsia rotundata</i>	<i>Maxillaria variabilis</i>	
<i>Tillandsia schiedeana</i>	<i>Nageliella angustifolia</i>	
<i>Tillandsia seleriana</i>	<i>Odontoglossum pulchellum</i>	
<i>Tillandsia usneoides</i>	<i>Oncidium gramminifolium</i>	
<i>Tillandsia vicentina</i>	<i>Prosthechea chondybulbon</i>	
	<i>Prosthechea ochaea</i>	
	<i>Prosthechea panthera</i>	

De acuerdo al análisis SIG de la zona se ha determinado que actualmente queda 0.24% (3.27 hectáreas) del área de distribución histórica de *A. campbelli*. Esta información se obtuvo a partir del área de copa de los 393 árboles remanentes en el área. La Figura 12 muestra cómo se ha ido perdiendo la cobertura forestal a través de los años, en el valle de Potrero Carrillo, única área de distribución de *A. campbelli*. Según los resultados de muestreo manual se obtuvo una tasa de ocupación de encinos del 68.29%, con 1.3 individuos por árbol. Al combinar esta información (número de árboles*tasa de ocupación*número de individuos por árbol) se obtiene un estimado poblacional de 347.41 individuos. Debido a este bajo número poblacional es sumamente importante la labor realizada por los programas de reproducción existentes, ya que éstos brindan neonatos que son reintroducidos a su hábitat natural. Sin embargo, este tipo de estrategias de conservación toman sentido únicamente, al realizarse junto a enormes esfuerzos de restauración de hábitat, de manera que exista un ecosistema capaz de albergar a la población de *A. campbelli* que se está reintroduciendo al área.

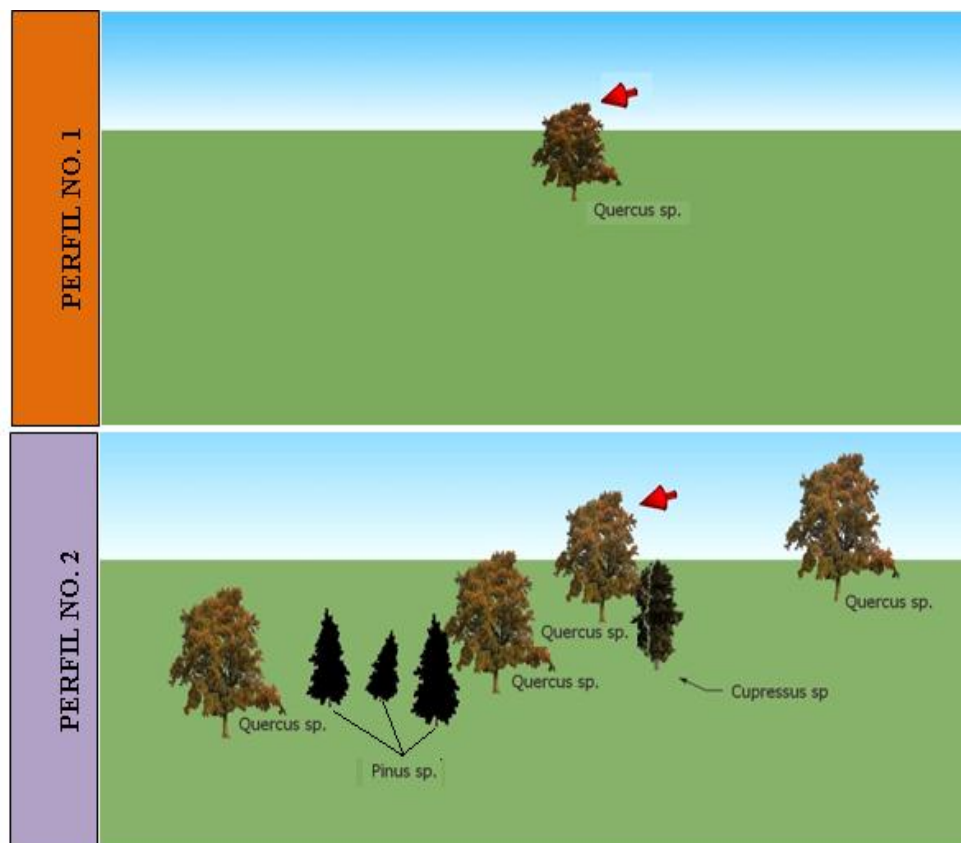
Figura 12. Pérdida de cobertura forestal en el valle de Potrero Carrillo, Jalapa 1970-2011. Fotografías históricas del valle de potrero carrillo, que muestran la cobertura forestal en los años: 1970, 2003 y 2011. El paisaje de las imágenes muestran el valle que es el área de distribución histórica de *A. campbelli* con un área de 1,791 hectáreas



(Fuente: Google Earth 2012)

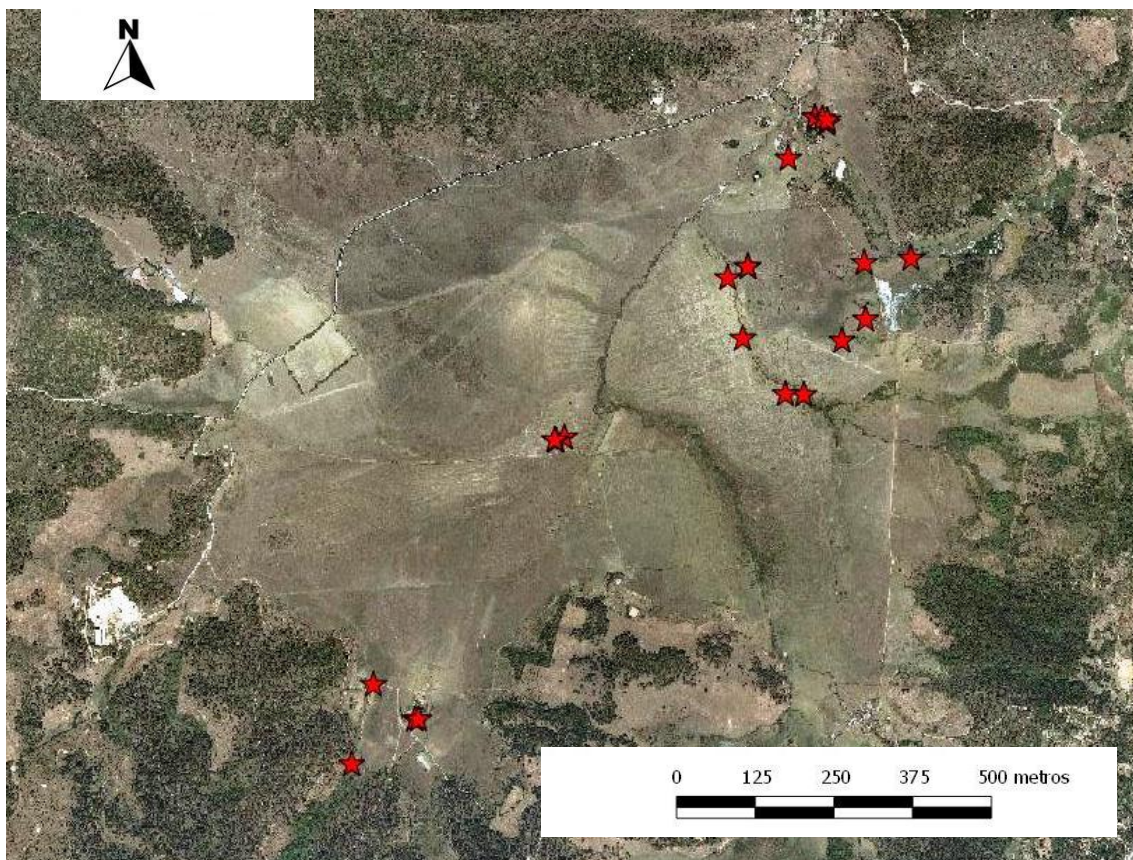
La Figura 13 muestra dos perfiles que representan la densidad de árboles y composición de especies evidenciada en las parcelas. El perfil No. 1 representa la realidad observada en el 81% de las parcelas realizadas. Lo cual no sólo refleja que el área se encuentra altamente deforestada sino que los árboles remanentes se encuentran altamente aislados entre sí. El perfil No. 2 refleja la densidad de árboles con la que cuentan los parches menos deforestados (12.5% de las parcelas). La alta fragmentación del hábitat también se evidencia en la Figura 14 que muestra la distribución de las poblaciones remanentes de *A. campbelli* en el valle. La enorme fragmentación del hábitat podría interferir con la estructura metapoblacional y flujo de genético de la especie.

Figura 13. Perfiles representativos de los transectos realizados durante el estudio. El Perfil No. 1 representa el 81% del hábitat total muestreado y el Perfil No. 2 representa el 12.5% del hábitat total muestreado. La flecha roja señala el árbol con presencia de *A. campbelli*. Ambas parcelas son de 50 metros por 2 metros, con un total de 100 m².



Se puede concluir que los factores que afectan la presencia de *A. campbelli* en el área es la especie de encino, el tamaño de copa del mismo y la presencia de *T. usneoides*. Para realizar una adecuada restauración del hábitat se deben de tomar en cuenta los tres requerimientos mencionados anteriormente. Así mismo es evidente la urgencia de un programa de reforestación que no sólo aumente el área de hábitat para la especie, sino que esté enfocado al aumento de la conectividad entre las metapoblaciones existentes.

Figura 14. Sitios de colecta de *A. campbelli* en el valle de Potrero Carrillo, Jalapa



C. Definición de ámbito de hogar y comportamiento en vida silvestre.

Siete diferentes individuos fueron analizados durante la temporada de lluvia y la seca (Cuadro 5). La media de ámbito de hogar determinada a través del polígono mínimo convexo 100% (Figura 15) para un adulto promedio de *A. campbelli* fue de 22.75 m².

Cuadro 5. Prueba de Wilcoxon asimetría fluctuante entre *A. campbelli* y *A. meledona*

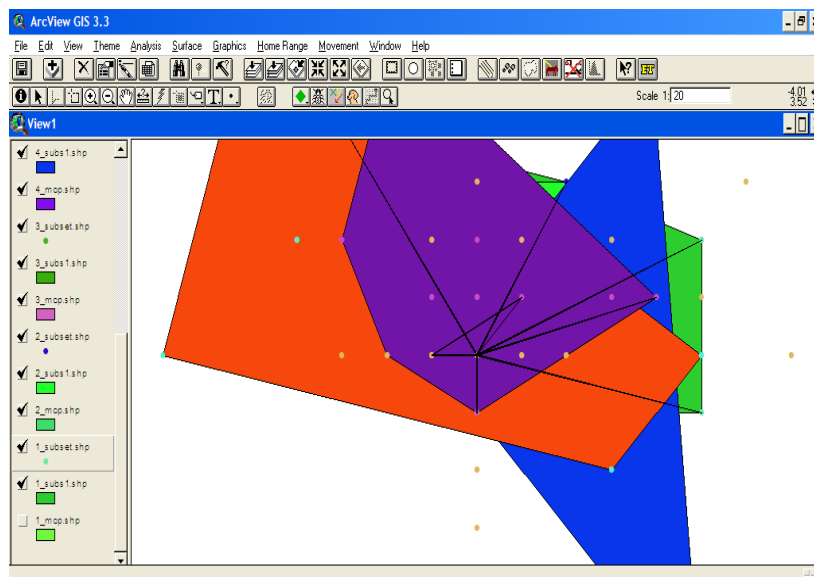
Individuos	Temporada	Sexo	Ámbito de hogar (m ²)
1	Seca	Macho	26.5
* 2	Seca	Hembra	4
3	Seca	Macho	13
4	Lluviosa	Hembra	29
*5	Lluviosa	posible macho	48
6	Lluviosa	Macho	22.5
*7	Lluviosa	Macho	64.5
Ámbito de Hogar Promedio			22.75

Para el estudio se descartó información obtenida de algunos individuos (* 2, 5 y 7). El individuo número 2 se descartó ya que perdió el radio a los pocos días de monitoreo, no fue posible volver a encontrar este individuo. El individuo 5 fue descartado ya que éste no era adulto, sino que juvenil, lo cual puede causar un comportamiento inusual y mayor movimiento de lo normal. El individuo número 7 fue el único que se colocó en un árbol distinto al que fue encontrado originalmente y mostró mayor actividad en comparación con los otros individuos. El caso del individuo número 7 surgió debido a que una de las fincas de la zona estaba cortando árboles, por lo que el individuo fue rescatado y trasladado al Parque Ecológico Forestal Cerro Alto. Se aprovechó la oportunidad para monitorear este ejemplar, para determinar si existía algún indicio de territorialidad en la especie, aparentemente sí hay, debido a que el individuo número 7 es

el que muestra mayor movimiento de todos los individuos muestreados. Sin embargo, se requieren más datos para poder concluir al respecto.

Se debe resaltar que los individuos utilizados en época seca no fueron encontrados de nuevo en la época lluviosa. Esto puede significar que son capaces de moverse más de lo determinado por este estudio. También existe la posibilidad que los individuos se desplacen entre los árboles nadando, ya que la especie puede nadar fácilmente y durante el invierno el área se encuentra inundada. Sin embargo, existen otras variables que también pueden explicar este hecho. Los individuos en realidad son extremadamente ágiles en esconderse en la vegetación del árbol que habitan o pudieron ser depredados, por lo cual se recomienda hacer este monitoreo anualmente para recopilar información que permita la elaboración de conclusiones más robustas.

Figura 15. Análisis de la información de ámbito de hogar.



Se pudo observar cómo los individuos de *Abronia campbelli* al encontrarse en árboles interconectados con otros árboles, tendían a desplazarse de un árbol a otro por medio de las copas que se tocaban. Sin embargo al encontrarse el individuo en un árbol aislado, es decir que no se conectaba por medio de sus ramas con otros árboles, el individuo permanecía en el mismo árbol. Este punto es importante debido a que el hábitat remanente se encuentra altamente fragmentado y consta principalmente de árboles aislados. Esto implica que los individuos que se encuentran en árboles cuyas copas no

están en contacto con los otros árboles, no pueden desplazarse como lo harían normalmente. Es por esto que se resalta la necesidad de un fuerte programa de reforestación y aumento de conectividad entre árboles.

Se observó que uno de los individuos monitoreados, contaba con una serie de escondites en el árbol en que se encontraba, los cuales constaban tanto de cuevas en la corteza del árbol, como de cuevas formadas por la tierra que se encuentra entre las raíces de las orquídeas. Esta información proveerá una mejor idea del hábitat óptimo para la especie. El individuo puede llegar a pasar hasta dos días dentro del refugio, el cuál le puede servir para estar fuera del alcance de depredadores o refugiarse de las inclemencias climáticas.

Al desplazarse los individuos de *A. campbelli*, normalmente lo hacían por medio de lo que será denominado “movimiento de hoja”, el cual consiste en balancearse lentamente de un lado a otro al mismo tiempo que se desplazan, de manera similar al movimiento de una hoja mecida por el viento. Se cree que esta pauta de comportamiento les sirve para pasar inadvertidos ante los depredadores. Esto lo hacen normalmente para desplazarse dentro del árbol que habitan, sin importar si se sienten amenazados o no. A diferencia de lo observado en los ejemplares mantenidos en cautiverio, donde este movimiento de hoja es realizado al sentirse amenazados y en algunas ocasiones al cazar su alimento.

Respecto a las diferencias entre la época lluviosa y época seca parece existir mayor actividad durante la época lluviosa, lo cual coincide con la época de apareamiento y mayor disponibilidad de alimento debido a que durante ésta existe una mayor abundancia de insecto. Debe tomarse en cuenta que son animales ectotérmicos (regulan su temperatura a partir de la temperatura ambiental), por lo que la regulación de la temperatura corporal se mantiene estable en base a la regulación conductual, durante la época de lluvia se les puede ver buscar activamente sitios en los cuales pueden captar radiación solar. Esto es muy importante debido a que en la región de Potrero Carrillo, la temperatura mínima absoluta puede llegar a ser hasta de -2 grados centígrados (INSIVUMEH 2012).

La especie de lagartija *Celestus bivittatus* ha sido encontrada a varios metros de altura, sobre los mismos encinos donde se colectó *A. campbelli*, lo cual es importante pues si ambas comparten los mismos hábitos arborícolas pueden estar compitiendo por los mismos recursos para sobrevivir.

D. Asimetría fluctuante.

La prueba de wilcoxon mostró que no existe una diferencia significativa (Cuadro 6) entre los datos de asimetría fluctuante de *A. campbelli* y *A. meledona*. Al comparar los datos de asimetría fluctuante solamente entre individuos del mismo sexo entre *A. campbelli* y *A. meledona* no existe diferencia significativa para las hembras y no existe diferencia significativa para los machos (Cuadro 7 y Cuadro 8).

Cuadro 6. Prueba de Wilcoxon asimetría fluctuante entre *A. campbelli* y *A. meledona*.

Asimetría fluctuante	Z	P
IA	-1.32261	0.186
SA	-0.02321	0.9815
SP	1.00972	0.3126
IP	-0.30169	0.7541
HN	-0.01161	0.9907
AC	-0.35969	0.7191

Cuadro 7. Prueba de Wilcoxon asimetría fluctuante entre hembras de *A. campbelli* y *A. meledona*

Asimetría fluctuante hembras	Z	P
IA	-0.51539	0.6063
SA	-0.60941	0.5423
SP	1.21882	0.2229
IP	-0.60941	0.5423
HN	0.42168	0.6733
AC	0.14063	0.8882

Cuadro 8. Prueba de Wilcoxon asimetría fluctuante entre machos de *A. campbelli* y *A. meledona*.

Asimetría fluctuante machos	Z	P
IA	-1.67574	0.0938
SA	0.29587	0.7673
SP	-0.09862	0.9214
IP	0.04931	0.9607
HN	-0.19755	0.8434
AC	-0.49312	0.6219

Sorprendentemente existen pocos estudios de asimetría fluctuante en lagartijas. Esto es inesperado, debido a que estos animales poseen muchas características pares que pueden ser medidas. Niveles poblacionales de asimetría fluctuante han sido propuestos como útil indicador de advertencia para biología de la conservación, a pesar de que varios estudios han encontrado una relación positiva entre asimetría fluctuante y estrés ambiental; otros estudios no. Del mismo modo, a nivel de selección individual, la idea de que los grandes valores de asimetría fluctuante deben reflejar una menor calidad en términos de aptitud biológica ha recibido apoyo mixto. El uso de la asimetría fluctuante como indicador de estrés o de adecuación ha sido un tema polémico en la biología de la conservación y la biología evolutiva. Debido a la naturaleza ambigua de los resultados. Es de particular importancia la necesidad de comprender cómo distintas formas de estrés afectan la asimetría fluctuante, y cómo esto a su vez se relaciona con la aptitud biológica del individuo (Vervust *et al.* 2008).

Se esperaba obtener una diferencia significativa entre los datos de asimetría fluctuante de *A. campbelli* y *A. meledona*; debido a que la población de *A. campbelli* se encuentra bajo fuertes perturbaciones y la población de *A. meledona* no. Estos resultados son positivos, ya que nos muestran que la especie aún no refleja a nivel morfológico las consecuencias del estrés bajo el cual se encuentra la población. Sin embargo, no hay que olvidar el error de medición por parte del investigador, lo cual puede influir los resultados del estudio. La metodología utilizada pierde robustez, al utilizar características métricas,

en lugar de características merísticas, cómo cantidad de escamas dorsales y ventrales, las cuales son menos sensibles a la introducción de error por parte del investigador. Realizar el estudio en base a rasgos merísticos, que presentan mayor reproducibilidad, brindaría información más confiable sobre la población de estudio (Vervust *et al.* 2008).

En caso de haber obtenido diferencia significativa entre las dos poblaciones estudiadas, en los datos de asimetría fluctuante para cualquier rasgo, se hubiera tenido que realizar una interpretación de datos cuidadosa. Durante cualquier estudio de asimetría fluctuante es indispensable la comprensión del significado funcional y las presiones selectivas que actúan sobre los rasgos en cuestión. Proceder a un estudio de asimetría fluctuante con menos del conocimiento profundo de estas relaciones, puede llevar a interpretaciones cuestionables (Bergstrom y Reimchen 2000).

Al analizar el ancho de cabeza entre hembras y machos de la misma especie la Prueba T mostró diferencia significativa para ambas especies (Cuadro 9). Esto implica que existe dimorfismo sexual en ambas especies. En este caso se dejó fuera del análisis el dato No. 13 (Apéndice) debido a que el dato tenía errores en la medición. Cabe resaltar que el dato analizado fue el ancho de cabeza dividido el largo hocico cloaca de cada individuo, para inhibir el efecto del tamaño entre los individuos. El promedio de este dato para hembras y machos de las dos especies se reporta en el Cuadro 10.

Cuadro 9. Prueba T para el ancho de cabeza entre hembras y machos para *A. campbelli* y *A. meledona*

Especie	T	Grados de libertad	P
<i>A. campbelli</i>	-3.232	21	0.004
<i>A. meledona</i>	-4.366	9	0.0018

Cuadro 10. Promedio ancho de cabeza/largo hocico cloaca de *A. campbelli* y *A. meledona*.

Especie	Machos	Hembras
<i>A. campbelli</i>	0.26374	0.238488
<i>A. meledona</i>	0.265897	0.230968

El dimorfismo sexual es una característica extendida en varias especies de lagartijas y se relaciona con la adecuación de los individuos. Según Gvozdík & Van Damme (2003), el dimorfismo sexual en el tamaño de la cabeza en los individuos adultos, surge de un crecimiento diferencial en la región postorbital de la cabeza (mayor en machos), lugar donde se lleva a cabo la inserción de los músculos abductores de la mandíbula encargados de proporcionar la fuerza de la mordida. En lacertilios, las mandíbulas son utilizadas en los combates entre machos y su tamaño proporciona ventaja en la captura de la hembra y éxito reproductor (Gvozdík y Van Damme 2003).

Tomando como base estudios anteriores en otras especies de lagartijas (Aguilar-Moreno *et al.* 2010, Vitt 1983, Lappin *et al.* 2006), la selección sexual podría favorecer una cabeza grande en los machos (mayor fuerza en las mandíbulas), si las diferencias en la habilidad para los enfrentamientos macho-macho se traducen en la capacidad para mantener un territorio y ganar los encuentros agonísticos intrasexuales, con lo cual tendrían mayor acceso a hembras. Existe evidencia de encuentros agonísticos entre machos en otras especies de *Abronias*, en *A. campbelli*, el comportamiento observado en cautiverio de la especie también respalda esta teoría. Durante estos encuentros los machos adoptan posturas defensivas y pueden llegar a morder distintas partes del cuerpo del otro macho (Formanowicz *et al.* 1990). Por lo que una cabeza grande se convierte entonces en una prioridad para el éxito en el apareamiento y finalmente en el éxito reproductor de los machos. Se cuenta con evidencia de dimorfismo sexual en otras especies de anguidos (Sos y Gabor 2009, Vial y Stewart 1989) en los cuales según los estudios realizados, el mismo se da en base a selección sexual, debido a la historia natural de estas especies.

Con el conocimiento del rito de apareamiento de *A. campbelli*, es claro que los machos con cabezas más grandes tiene mayor capacidad de dominar/someter a las hembras. Esto puede ser particularmente beneficioso ya que las hembras presentan un tamaño corporal bastante similar al de ellos. No se encontró diferencia significativa en el largo de hocico cloaca entre los machos y hembras de *A. campbelli* ($Z=-0.30788$, $P=0.75.82$); y *A. meledona* ($Z=1.73445$, $P=0.0828$). En este caso la ausencia de

dimorfismo sexual en el largo total del cuerpo puede ser resultado de la selección natural, en base al potencial reproductivo de la hembra (Vial y Stewart 1989).

Tomando en cuenta el comportamiento agonístico entre machos y el ritual de apareamiento podemos concluir que el dimorfismo sexual en *A. campbelli* se debe a la selección sexual en la especie. Esta es una señal positiva para la especie debido a que a pesar del estado de perturbación del hábitat, parece mantenerse el proceso de selección sexual en la población, o aún no se reflejan estas repercusiones en su morfometría; lo cual también puede ser reflejo del estado de salud de la población a pesar de las presiones bajo las que se encuentra.

E. Plan de conservación de *A. campbelli*

1. Visión de la conservación de *A. campbelli*. El bosque de la ecorregión de pino-encino en Potrero Carrillo, Jalapa, Guatemala; hábitat de *A. campbelli*, fuente de bienes y servicios ambientales, mantiene su resiliencia, al ser conservado, restaurado y manejado sosteniblemente, con la participación activa de la sociedad y mejorando la calidad de vida de sus habitantes, para generaciones presentes y futuras.

2. Elemento de conservación. En este caso la metodología PCA se modificó para realizar el plan alrededor de un único elemento de conservación natural el cual es la especie de lagartija en peligro de extinción *A. campbelli*.

3. Análisis de viabilidad. La viabilidad de *A. campbelli* fue determinada por medio de los siguientes atributos clave: dimorfismo sexual, hábitat remanente y tamaño poblacional. Estos factores permitirán evaluar el estado de conservación de la especie. La viabilidad se evaluó al 2012 y se indicó la calificación deseada al 2022, dado que el horizonte temporal del plan es a 10 años. El Cuadro 11 resume los principales resultados.

Cuadro 11. Análisis de viabilidad. Los valores en negritas representan el estado actual del atributo y los valores en cursivas representan el estado deseado del mismo.

Categoría	Atributo Clave	Indicador	Pobre	Regular	Bueno	Muy Bueno	Estado actual del indicador	Calificación actual	Calificación deseada
Condición	Dimorfismo sexual	Relación entre el ancho de cabeza y largo hocico cloaca en	0 - 0.240	0.241 - 0.250	0.251 - 0.259	<i>más de 0.260</i>	0.26	Muy Bueno	Muy Bueno
Contexto paisajístico	Hábitat remanente	Porcentaje de hábitat remanente	0 - 24	25 - 50	51 - 75	más de 75	0.24%	Pobre	Regular
Tamaño	Tamaño poblacional	Número de individuos	0 - 499	500 - 1000	1001 - 2500	más de 2500	347.41	Pobre	Regular

Las categorías de contexto paisajístico y tamaño se encuentran actualmente en estado “pobre” por lo que las estrategias deben de estar dirigidas a mejorar estos aspectos para incrementar la viabilidad a largo plazo de *A. campbelli*. En este caso el hecho que ambas categorías pasaran de estar del estado actual a regular, sería un gran logro, ya que los esfuerzos requeridos para cambiar esto son muy grandes. También se debe de mantener la condición de la especie en la categoría que se encuentra actualmente.

4. Análisis de oportunidades y amenazas. Las oportunidades identificadas para el plan de conservación fueron las siguientes:

- a) Las lagartijas del género *Abronia* pueden ser consideradas una especie bandera para la conservación de bosques del país.
- b) El bosque de pino-encino brinda una serie de bienes y servicios ambientales que son indispensables para el ser humano y por lo tanto la conservación de este ecosistema es de vital interés para la sociedad.
- c) Los bosques de pino-encino montanos son la ecorregión a nivel nacional más resiliente ante cambio climático, los hace proyectos de conservación viables y de vital importancia para el país.
- d) Presencia del Parque Ecológico Forestal Cerro Alto (PEFCA), promueve el turismo ecológico y científico en el área ya que está destinado exclusivamente a la protección de *A. campbelli* y su hábitat.
- e) Presencia de varias instituciones con interés en la conservación de *A. campbelli* como lo son, ZOOTROPIC, RESCATE y ASILJA.

f) El área tiene potencial para nuevos incentivos forestales de conservación debido a que ya se implementa el incentivo forestal PINFOR.

Se identificaron dos presiones principales: pérdida de hábitat y pérdida de viabilidad de la población (Cuadro 12). A continuación se describen las fuentes de presión y su magnitud respectivamente. La mayoría de fuentes de presión presentan una magnitud muy alta, lo cual refleja el gran reto que representa el desarrollar y ejecutar estrategias que inhiban estas amenazas.

Cuadro 12. Análisis de amenazas

Presión	Fuente	Magnitud (Severidad* Alcance)
Pérdida de Hábitat	Incendios	Medio
	Ganadería	Alto
	Cambio climático	Muy Alto
	Extracción ilegal de leña	Medio
Pérdida de viabilidad de la población	Tráfico ilegal de <i>A. campbelli</i>	Muy Alto
	Fragmentación de hábitat	Muy Alto
	Matanza por creencias erróneas sobre <i>A. campbelli</i>	Muy Alto
Estado de Amenaza global		Muy Alto

5. Actores y situación. Se identificaron tres grupos de actores principales: las aldeas cercanas a la zona de distribución de *A. campbelli*, la Asociación de Silvicultores de Jalapa ASILJA y el Parque Ecológico Forestal Cerro Alto PEFCA. Las aldeas son las siguientes: La Pastoría (1847 habitantes), San Antonio (452 habitantes), El Mojón (348 habitantes), San Lorenzo (403 habitantes), La Laguna (98 habitantes), La hierbabuena (1015), Potrero Carrillo (75 habitantes) y el Sesteadero (262 habitantes).

ASILJA se encuentra conformado por varios finqueros de la zona algunos de los miembros de interés son: finca la Lagunilla (administrador don Ángel), Empacadora Toledo (encargado de medio ambiente Luis Estrada), Finca de la entrada de los Marroquín (administrador don Adelaido), Finca La Ponderosa (administrador Danny

Hernández), Finca de los Sánchez (administrador Don Pablo), Finca La Carbonera (administrador Gustavo Camas), Invernaderos Holandeses (administrador Gerson Portillo), Valle de Pasiones (administrador Guilmer Orellana), Finca La Laguna (administrador Eduardo Campos) y dueños de otras fincas como Cristian Ramos y Gaby Ufer.

A nivel socio-cultural es un área que no cuenta con muchas oportunidades de empleo ni educación y por lo tanto existe un nivel alto de pobreza. Consecuentemente, se debe de pensar en formas de trabajar en armonía con la gente local de manera de lograr un desarrollo económico sostenible. Se debe de involucrar a las personas locales en el proceso de conservación de la especie.

Así mismo hay que tomar en cuenta la colaboración de instituciones que operan en el área como el Instituto Nacional de Bosques (Manejo forestal de varias fincas del área), Ministerio Ambiente y Recursos Naturales y Municipalidad de Jalapa. Por otro lado cabe resaltar la deficiencia de la División de Protección de la Naturaleza (DIPRONA) en el área quienes han fallado en controlar el tráfico ilegal de *Abronia campbelli*.

Actualmente esfuerzos de conservación se llevan a cabo en el área gracias a la asociación PEFCA-ZOOTROPIC. Por lo que el Parque Ecológico Forestal Cerro Alto es un gran aliado para implementar distintas estrategias de conservación en el área.

6. Objetivos estratégicos y estrategias

Objetivo 1: Para el año 2022 se ha restaurado el 25% (335 hectáreas de bosque de encino) del hábitat original (1790 hectáreas) de *Abronia campbelli* (actualmente existen 3.2 hectáreas de hábitat remanente).

a. Reforestación con *Q. tristis* y *Q. peduncularis* en áreas protegidas por medio de mecanismos formales o informales.

b. Creación de corredores entre los remanentes de bosque existentes. Por medio de una reforestación que combine el uso de especies nativas con especies exóticas de crecimiento rápido.

c. Enriquecer las áreas de reforestación ya sean parches de reforestación o corredores con las especies de epifitas características del hábitat de *Abronia campbelli*, principalmente *T. usneoides*.

d. Mantener y dar un manejo adecuado a las áreas de regeneración natural de encino.

e. Conservar el área de humedales que se ha mantenido hasta el momento.

f. Dar un manejo adecuado a las cuencas que abastecen a los humedales. Por ejemplo, evitar el uso desmesurado de estos cuerpos de agua por parte de empresas de la región.

g. Solicitar a las empresas de la zona, apoyo para la conservación de *A. campbelli*.

Objetivo 2: Para el año 2022 se han implementado mecanismos formales de conservación en el 25% del hábitat original de *Abronia campbelli*.

a. Tener incidencia política en instituciones clave a nivel nacional y regional para promover la conservación de la especie, especialmente con los propietarios privados y las empresas que se encuentran en el área.

b. Promover la declaratoria y establecimiento de áreas protegidas en áreas de distribución de la especie.

c. Promover la implementación de PINFOR y PINPEP de conservación en el área de distribución de la especie.

d. Fomentar y desarrollar el turismo sostenible y turismo científico vinculado al patrimonio natural para fortalecer la sostenibilidad de las áreas protegidas del área.

Objetivo 3: Para el año 2022 se ha eliminado el 100% la extracción ilícita y la eliminación física por temor o ignorancia de *Abronia campbelli*.

a. Ingresar *Abronia campbelli* como especie CITES para controlar a nivel internacional la extracción ilegal de la especie.

b. Promover que DIPRONA, CONAP y autoridades municipales y locales controlen la extracción ilícita de *Abronia campbelli* a través de inspecciones y patrullaje.

c. Concientizar a la comunidad herpetológica nacional e internacional que *Abronia campbelli* está en peligro de extinción.

d. Desarrollar y establecer un programa de educación formal en la conservación de *Abronia campbelli* y su hábitat dirigido a las comunidades del área.

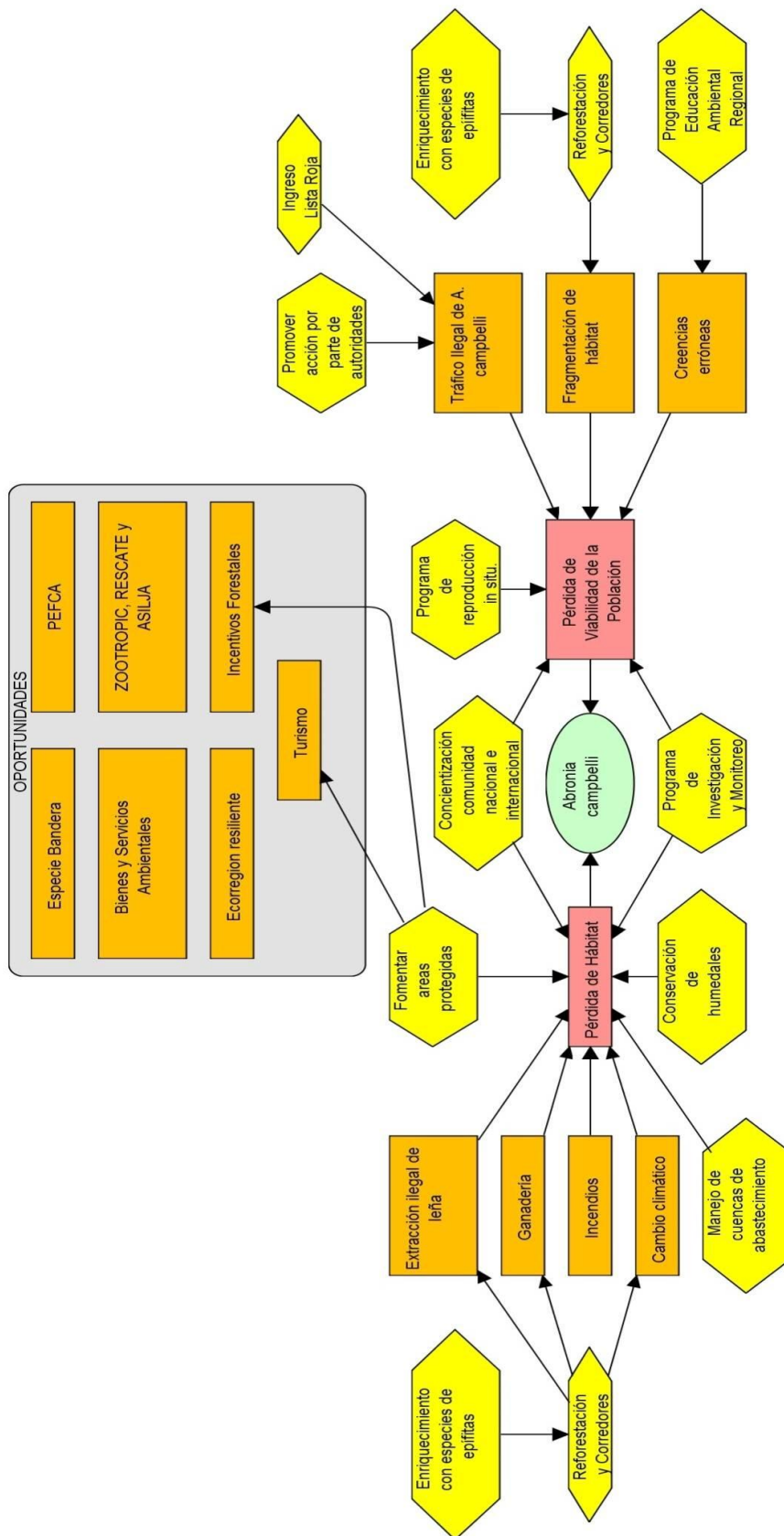
Objetivo 4: Para el año 2022 se ha establecido el programa de investigación y monitoreo de *Abronia campbelli* de su hábitat y sus amenazas.

a. Establecer un programa de reproducción *in situ* de *Abronia campbelli*.

b. Desarrollar un protocolo estandarizado de investigación y monitoreo del tamaño de la población, densidad, uso de hábitat, patrones de actividad, comportamiento reproductivo, dieta y otros aspectos relevantes de su ecología.

Como parte del desarrollo del plan de conservación se realizó un análisis de situación para tener una perspectiva clara del escenario a enfrentar para asegurar la conservación de *A. campbelli*. La Figura 16 muestra las fuentes de presión responsables de las dos amenazas principales para la sobrevivencia de *A. campbelli*, las cuales son pérdida de hábitat y la pérdida de viabilidad de la población. Las estrategias desarrolladas para asegurar la conservación de *A. campbelli* se deben enfocar en mitigar estas dos amenazas. Así mismo el cuadro refleja como estas presiones interactúan con las estrategias y oportunidades descritas en el análisis de situación. Este cuadro es de mucha utilidad para priorizar las actividades en que se deben concentrar los recursos destinados a la conservación de *A. campbelli*.

Figura 16. Análisis de situación del plan de conservación de *A. campbelli*. Recuadro verde = objeto de conservación, Recuadro rosa = Presiones. Recuadro naranja = fuentes de presión, Recuadro amarillo = estrategias, Recuadro gris = oportunidades.

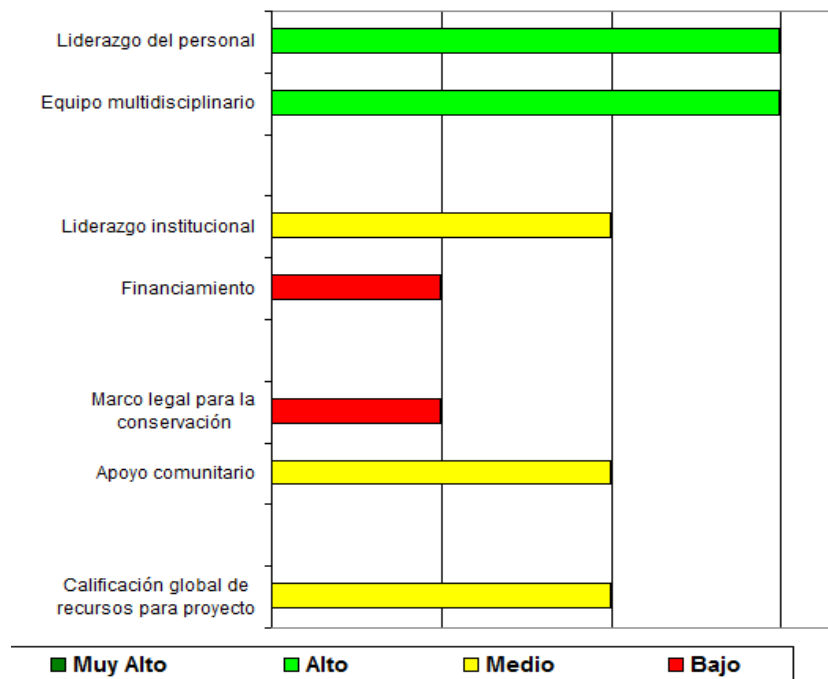


7. Análisis de capacidades. Este análisis nos permite identificar las fortalezas con las que ya se cuentan para poder llevar a cabo las estrategias necesarias para la conservación de *A. campbelli*. Así mismo permite reconocer las áreas en las cuales hay que mejorar para poder contar con todos los recursos (institucional, legal, económico, comunitario y académico) posibles para que el plan de conservación pueda tener un impacto mayor.

La Figura 17 resalta la necesidad de trabajar en una mayor disponibilidad de financiamiento que es un reto común en el trabajo de conservación, pero también sobresale la necesidad de mejorar el marco legal para la conservación. Debido a que una de las presiones para la viabilidad de la población de *A. campbelli* es el tráfico ilegal de la especie es urgente la inclusión de la especie en el acuerdo (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres), como herramienta principal para combatir el comercio ilegal de *A. campbelli*.

Cuadro 13. Análisis de capacidades.

Categorías y medidas	Puntuación
Gente	
Liderazgo del personal	Alto
Equipo multidisciplinario	Alto
Gente promedio	Alto
Recursos internos	
Liderazgo institucional	Medio
Financiamiento	Bajo
Recursos internos promedio	Bajo
Recursos externos	
Marco legal para la conservación	Bajo
Apoyo comunitario	Medio
Recursos externos promedio	Bajo
Calificación global de recursos para proyecto	Medio

Figura 17. Síntesis del análisis de capacidades.

Para poder llevar a cabo las estrategias mencionadas en la sección anterior, se tiene como fortaleza un equipo multidisciplinario (como resultado de la alianza entre grupos de conservación y los propietarios de fincas privadas en el área) con liderazgo capaz implementar las acciones necesarias para cumplir los objetivos del plan. Sin embargo, los esfuerzos de conservación deben ser dirigidos a todo el valle para aumentar la viabilidad de la especie.

8. Medidas de éxito o indicadores de avance del Plan de conservación de *Abronia campbelli*. Con el objetivo de examinar periódica y sistemáticamente la efectividad y progreso de las estrategias desarrolladas para el Plan de conservación de *A. campbelli* a continuación se definen dos planes de monitoreo generales. El monitoreo de viabilidad de *A. campbelli* (Cuadro 14) describe una serie de actividades que permiten conocer el estado de conservación en el cual se encuentra la población de la especie. Lo cual es imperativo para la toma de decisiones de conservación. En el caso de llegar a tener acceso a herramientas moleculares para la ejecución de estudios de genética poblacional, estos deben ser incluidos como parte del monitoreo de la especie.

Cuadro 14. Monitoreo de viabilidad de *Abronia campbelli*.

Atributo clave	Indicador	Medio de verificación	Frecuencia
Dimorfismo sexual	Relación entre el ancho de cabeza y largo de hocico cloaca en machos	Toma de medidas	Anual
Hábitat remanente	Porcentaje de área de hábitat remanente	SIG	Anual
Tamaño poblacional	Número de individuos	Búsqueda manual	Anual

El Cuadro 15 describe los indicadores que permitirán monitorear el avance de cada uno de los objetivos propuestos en el Plan de conservación de *A. campbelli*. Se detallan distintas actividades que recaudarán la información necesaria para poder verificar que tan cerca nos encontramos de alcanzar los objetivos propuestos para asegurar la viabilidad de *A. campbelli*.

Cuadro 15. Monitoreo de avances de plan de conservación de *Abronia campbelli*

Objetivo	Indicador	Medio de verificación	Frecuencia
Para el año 2022 se ha restaurado el 25% (335 hectáreas de bosque de encino) del hábitat original (1790 hectáreas) de <i>A. campbelli</i> (actualmente existen 3.2 hectáreas de hábitat remanente).	Porcentaje de área destinada a conservación.	SIG	Anual
	Cantidad de árboles encinos sembrados por hectárea.	Plántulas sembradas	Anual
	Porcentaje de área manejada para regeneración natural (5.33 Ha de área de línea base)	SIG	Anual
	Superficie de los cuerpos de agua (Ha). (4.38 Ha de área de línea base)	SIG	Anual
	Densidad relativa de anfibios en los cuerpos de agua	Transectos	Semestral
	Número de encinos en pie (cantidad base 393)	Observación directa.	Anual

Continuación Cuadro15.

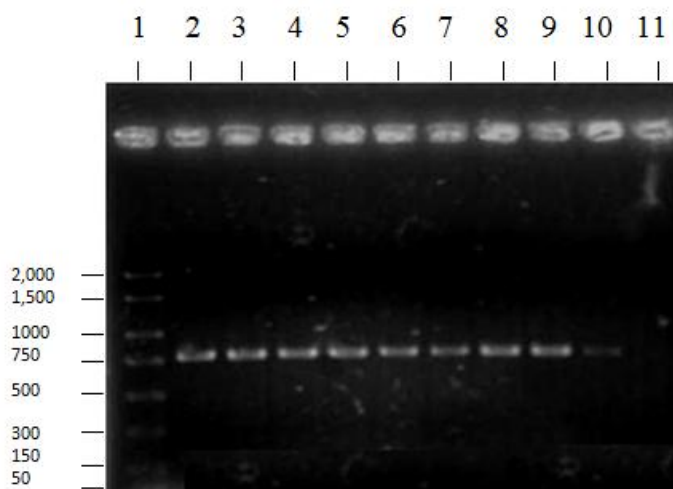
Objetivo	Indicador	Medio de verificación	Frecuencia
Para el año 2022 se han implementado mecanismos formales de conservación en el 25% del hábitat original de <i>A. campbelli</i>.	Números de hectáreas protegidas.	SIG	Anual
	Número de turistas que visitan el área.	Registro de visitantes del Parque Ecológico Forestal Cerro Alto	Anual
Para el año 2022 se ha eliminado el 100% la extracción ilícita y la eliminación física por temor o ignorancia de <i>A. campbelli</i>.	Número de casos conocidos de extracción ilícita de <i>Abronia</i> .	Comunicación con las autoridades pertinentes CONAP y DIPRONA	Anual
	Cantidad de población meta concientizada	Hojas de registro	Anual
Para el año 2022 se ha establecido el programa de investigación y monitoreo de <i>A. campbelli</i> de su hábitat y sus amenazas.	Número de parejas reproductoras de <i>A. campbelli</i> que copulen.	Observación directa	Anual
	Número de neonatos de <i>A. campbelli</i> liberados.	Observación directa	Anual
	Densidad de <i>A. campbelli</i> por árbol.	Búsqueda manual	Anual

El Plan de conservación de *Abronia campbelli* pretende ser una herramienta que sirva como guía para la implementación de las acciones de conservación para asegurar la viabilidad de la especie. Este plan muestra el panorama local, comunitario, institucional, legal y económico alrededor de la especie, resume la situación de conservación actual de la especie y dicta los principales lineamientos a seguir en el futuro.

E. Caracterización genética de *Abronia campbelli*.

El hisopado bucal como método de muestreo para obtener ADN mitocondrial resultó ser útil en *Abronia campbelli* y *Abronia meledona*. El que sea una técnica no invasiva es muy importante al trabajar con especies amenazadas. El método de extracción utilizado en el estudio es una herramienta adecuada para la extracción de ADN mitocondrial de *A. campbelli* y *A. meledona*; debido a que proporciona ADN de buena calidad, capaz de ser amplificado (Figura 18) y secuenciado (Apéndice C). Las extracciones de ADN presentaron una concentración promedio de $75.65 \text{ ng} \pm 24$ (Apéndice B). Además el método de extracción es relativamente de corta duración.

Figura 18. PCR de los cebadores PL2 y PH2 con muestras de *A. campbelli*. Electroforesis en gel de agarosa al 2% en TAE 1X. Los valores del lado izquierdo están en pares de bases. Carril 1: Escalera molecular, carriles 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10: muestras de *A. campbelli* 01, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09 y 10 respectivamente, carril 11: blanco



Las pruebas de amplificación fueron realizadas con el objetivo de obtener información de los genes 12S y citocromo b (Cuadro 16). Se realizaron pruebas utilizando los cebadores diseñados por los siguientes autores, Lin *et al.* (2003) y Chippindale *et al.* (1998). Ambos proponen un par de cebadores para el gen 12S y un par de cebadores para citocromo b. Con los dos pares de cebadores dirigidos al gen 12S, no

fue posible llegar a condiciones estándar debido a restricciones de tiempo, pese a las pruebas realizadas (véase metodología). Antes de ser elegidos para este estudio los cuatro cebadores fueron evaluados vía simulación computacional (PCR *in silico*), en la cual se comportaron de manera satisfactoria porque generó un fragmento del tamaño esperado. El desempeño vía simulación computacional de los cebadores no se logró replicar en el laboratorio.

El par de iniciadores desarrollados para una región del gen 12S por Lin *et al.* (2003) fueron diseñados para el género *Ophisaurus* por lo que no son específicos para el género *Abronia*, lo cual podría explicar las dificultades experimentadas con este marcador. Sin embargo, este no es el caso de los iniciadores para otra región del gen 12S descritos por Chippindale *et al.* (1998) los cuales se han utilizado anteriormente para especies de *Abronia* de Guatemala.

Para las regiones del gen de citocromo b fue posible llegar a condiciones estándar de amplificación con los dos pares de iniciadores, sin embargo se eligió trabajar sólo con los iniciadores PL2 y PH2 desarrollados por Lin *et al.* (2003) debido a que éstos abarcan una mayor región del gen con un producto esperado de 750 pares de bases versus un producto de 400 pares de bases utilizado por Chippindale *et al.* (1998).

La comparación de los resultados obtenidos con los iniciadores dirigidos al gen 12S con los resultados obtenidos con los iniciadores dirigidos al gen citocromo b, genera evidencia para cuestionar la especificidad de los marcadores dirigidos hacia el gen 12S. Debido a que las condiciones entre los ensayos para ambos genes fueron similares: se utilizaron los mismos individuos, extracciones de ADN, reactivos, equipo y métodos de estandarización. Debido al alto grado de conservación del gen 12S se esperaba una amplificación eficiente (Hwang y Kim 1999). Aunque no es posible identificar la causa específica para lo sucedido con los iniciadores dirigidos al gen 12S se presume que la razón debe estar asociada al gen (nivel de conservación o mutaciones recientes), la especificidad de los iniciadores y las condiciones de la amplificación.

Cuadro 16. Cebadores dirigidos al gen 12S y citobromo b.

Cebador	Secuencia	Autor	Gen	Éxito de amplificación	Uso en el análisis
1	5'- AAACTGGGATTAGATAC CCCACTAT-3'	Chippindale <i>et al.</i> (1998)	12S	-	-
	5'- TGTGTGGCGGGCAGTGG GAG-3'				
2	5'- TGACTIONGAARAACCAAYC GTTG-3'	Chippindale <i>et al.</i> (1998)	citocromo b	+	-
	5'- CCCCTCAGAATGATATTT GTCCTCA-3'				
3	5'- AGTCTGCTCAAAAAGATT AATGTTAA-3'	Lin <i>et al.</i> (2003)	12S	-	-
	5'- TCTTGGTCTGAAACCTCA GTTACCTA-3'				
4	5'- CCMTCMAACMTYTCMDY WTKRTGAAA-3'	Lin <i>et al.</i> (2003)	citocromo b	+	+
	5'- GGCRAAKARRAARTAYC ATTC-3'				

Se obtuvieron 33 secuencias de individuos de *A. campbelli* y *A. meledona* con una longitud entre 259-670 pares de bases. Tres de estas secuencias no pudieron ser utilizadas en el análisis debido a que fueron contaminadas durante el proceso de secuenciación, este problema es inherente al servicio proveído por MACROGEN®. El proceso de edición de las secuencias obtenidas de individuos de *A. campbelli* y *A. meledona* dio como resultado una selección de 11 muestras que cumplieron los requerimientos de calidad y longitud para ser parte del análisis (Apéndice C). De estas 11 muestras 8 son de individuos de *A. campbelli* y 3 son de individuos de *A. meledona*. Respecto al rendimiento de los cebadores de las 11 muestras solamente 2 cuentan con información doble hebra, debido a la información de baja calidad que brindó el cebador PH2.

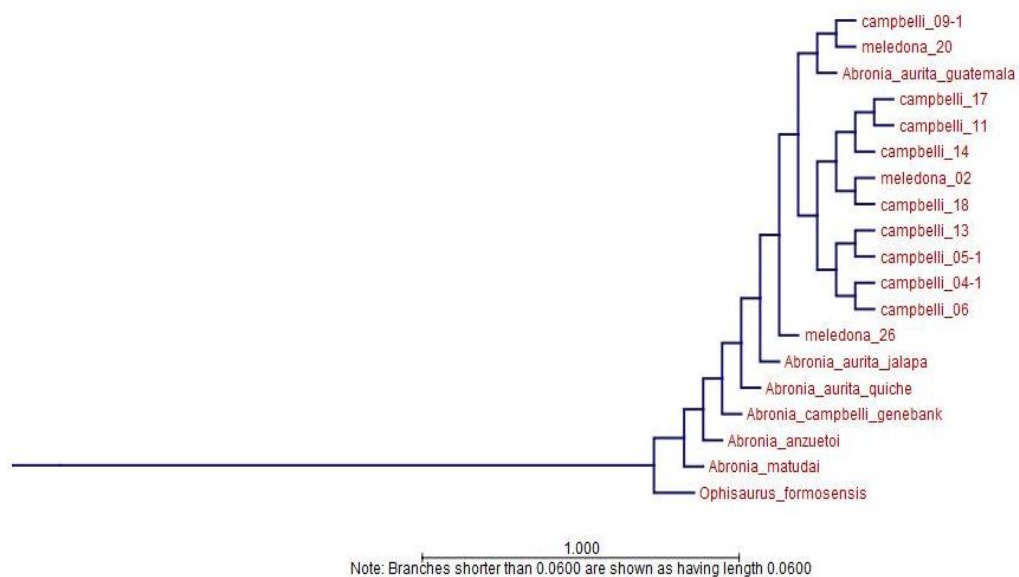
Al realizar la búsqueda BLAST de las 11 secuencias obtenidas, las especies que mostraron una similitud mayor o igual al 95% respecto a la muestras de *A. campbelli* y *A. meledona* son: *Abronia aurita* Jalapa, *Abronia aurita* Guatemala, *Abronia aurita* Quiche, *Abronia Campbelli*, *Abronia anzuetoi* y *Abronia matudai* (las 3 *Abronia aurita* escritas junto a su localidad, actualmente son consideradas especies distintas entre sí). Las secuencias de las 6 especies de *Abronia* mencionadas anteriormente fueron incluidas en el análisis, estas secuencias tienen una longitud entre 349-376 pares de bases. Este análisis incluyó 18 muestras 11 obtenidas a partir de las muestras colectadas durante este proyecto y 7 obtenidas de la base de datos de GenBank, las 6 resultantes del BLAST y una de *Ophisaurus formosensis* (711 pb) como referencia ya que para esta especie fueron diseñados los marcadores (Lin *et al.* 2003). La búsqueda BLAST permitió confirmar que el producto amplificado por los iniciadores PL2 y PH2 es una sección del gen citocromo b del género *Abronia*. En el Cuadro 17 se puede observar el resultado de la búsqueda de secuencias similares mediante BLAST.

El análisis en el programa SEQUENCE VIEWER 7.5 ® permitió identificar polimorfismos y su posición en las secuencias editadas finales de 236 pares de bases de longitud. De las 11 secuencias obtenidas a partir de las muestras tomadas durante este estudio solamente dos mostraron polimorfismo, estas dos muestras pertenecen a individuos de *A. meledona*, una muestra mostró una sustitución en la posición 212 y otra presentó dos en las posiciones 16 y 154. En *A. campbelli* la secuencia encontrada en GenBank presentó 3 sustituciones en las posiciones 80, 103 y 143 respecto al resto de las secuencias obtenidas para la especie. Respecto al resto de muestras obtenidas de GenBank todas mostraron polimorfismos distintos entre sí, excepto una muestra de *A. aurita* de Jalapa cuya secuencia es igual a la de individuos de *A. campbelli* y *A. meledona*. Cada sustitución de base nitrogenada en la secuencia de las muestras analizadas se encuentra descrita en el Cuadro 18.

La identificación de sustituciones simples en las bases nitrogenadas de las 18 secuencias que formaron parte de este estudio, sugiere siete haplotipos para esta sección del gen citocromo b para estas especies del género *Abronia*. Dentro de estos haplotipos se describen dos para *A. campbelli* y tres para *A. meledona*, uno de estos haplotipos es compartido entre ambas especies. Esto denota la necesidad de evaluar el uso de otros marcadores menos generales dirigidos a áreas con el potencial de proveer información relevante y específica para cada especie. Por lo que el análisis carece de la robustez para concluir al respecto, además hace falta realizar un muestreo mayor para cada una de las especies analizadas para contar con la información de más individuos para cada especie.

Con el objetivo de poder analizar de una manera gráfica los resultados obtenidos, se creó un cuadro de distancia genética con las 18 secuencias del estudio. Este cuadro no pretende describir filogenéticamente las especies utilizadas en este análisis, estrictamente es utilizado como herramienta de visualización. Congruentemente con los polimorfismos observados en la secuencia de *Ophisaurus formosensis*, este es el más distanciado del resto de muestras (Figura 19). Esto coincide también con que esta especie de lagartija es nativa de Asia, a pesar de pertenecer a la familia Anguillidae igual que el género *Abronia*.

Figura 19. Cladograma de las secuencias analizadas en el estudio.



También es posible observar que *A. matudai* se encuentra separada del resto de muestras, esto coincide con que también es la especie de *Abronia* que geográficamente está más alejada del resto de las especies de *Abronia* utilizadas en este estudio. Así mismo se puede observar que ninguna de las especies del estudio parece agruparse entre sí, lo cual era de esperarse ya que para la mayoría de especies solamente se cuenta con una muestra y para el resto de especies no se cuenta con un número de muestras representativo de la población. También se debe resaltar que este estudio se vio limitado por la disponibilidad de información de referencia proveniente de análisis moleculares para este grupo de lagartijas, ya que los disponibles constan de pocos pares de bases y raramente son específicos para el género *Abronia*. Los resultados muestran que es necesario considerar el uso de otros marcadores más idóneos para la identificación de estas especies así como la detección y descripción de su diversidad.

La falta de congruencia en la eficiencia de los iniciadores en especies de *Abronia*, las dificultades enfrentadas en general, la falta de investigación genética en este género y la necesidad de información sobre el estado de las poblaciones del género *Abronia*; resaltan la urgencia del desarrollo, evaluación e implementación de nuevas herramientas de análisis genético poblacional específico para el género *Abronia*.

IV CONCLUSIONES

1. *Abronia campbelli* se encuentra asociada a las especies forestales *Q. tristis* y *Q. peduncularis*, especialmente *Q. tristis*.
2. Los factores que afectan la presencia de *A. campbelli* en el área es la especie de encino, el tamaño de copa del mismo y la presencia de *T. usneoides*.
3. *Tillandsia usneoides* constituye el micro hábitat principal de *A. campbelli*,
4. Actualmente solo queda 0.24% (3.27 hectáreas) del área de distribución original de la especie.
5. Los árboles que cuentan con los requerimientos necesarios para *A. campbelli* muestran una tasa de ocupación 68.29%.
6. El estimado poblacional de *A. campbelli* es de 347.41 individuos para el área de estudio.
7. La media de ámbito de hogar determinada a través del polígono mínimo convexo 100% para un adulto promedio de *A. campbelli* es de 22.75 m
8. Los individuos de *A. campbelli* se encuentran en época de apareamiento entre el mes de agosto al mes de noviembre.
9. El tiempo promedio de gestación de *A. campbelli* es de 7.5 meses.
10. El promedio de neonatos por camada es de 11.8, el promedio de largo de hocico cloaca de los neonatos es de 35.34 mm y el peso promedio de los neonatos es de 0.5 g.
11. El método de extracción utilizado en el estudio es una herramienta adecuada para la extracción de ADN mitocondrial de *A. campbelli* y *Abronia meledona*.; debido

a que proporciona ADN de buena calidad, capaz de ser amplificado y secuenciado. Las extracciones de ADN presentaron una concentración promedio de $75.65 \text{ ng} \pm 24$

12. De las 11 secuencias obtenidas a partir de las muestras tomadas durante este estudio solamente dos mostraron polimorfismo, estas dos muestras pertenecen a individuos de *A. meledona*, una muestra mostró una sustitución en la posición 212 y otra presentó dos en las posiciones 16 y 154. Respecto al resto de muestras obtenidas de GenBank todas mostraron polimorfismos en varias posiciones excepto una muestra de *A. aurita* de Jalapa.

13. La identificación de sustituciones simples en las bases nitrogenadas de las 18 secuencias que formaron parte de este estudio, sugiere siete haplotipos para esta sección del gen citocromo b para las especies analizadas del género *Abronia*. Dentro de estos haplotipos se describen dos para *A. campbelli* y tres para *A. meledona*, uno de estos haplotipos es compartido entre ambas especies. Esto denota la necesidad de evaluar el uso de otros marcadores menos generales dirigidos a áreas con el potencial de proveer información relevante y específica para cada especie.

14. La falta de congruencia entre la eficiencia de los iniciadores entre distintas especies de *Abronia*, las dificultades enfrentadas en general, la falta de investigación genética en este género y la necesidad de información sobre el estado de las poblaciones del género *Abronia*; resaltan la urgencia del desarrollo, evaluación e implementación de nuevas herramientas de análisis genético poblacional específico para el género *Abronia*

15. No se evidencia asimetría fluctuante en la población de *A. campbelli*

16. Existe dimorfismo sexual en la población de *A. campbelli* como resultado del proceso de selección sexual en la población.

17. Las investigaciones realizadas en este estudio permitieron el desarrollo de un Plan de Conservación basado en la realidad de la especie.

V. RECOMENDACIONES

Realizar un estudio de radiotelemetría con otra especie de *Abronia* del país que cuente con mayor cantidad de hábitat, para que sirva de punto de comparación para *A. campbelli*. El estudio podría realizarse con *A. meledona* debido a que es la otra especie que habita en Jalapa y cuenta con un hábitat menos degradado que el de *A. campbelli*.

Realizar un monitoreo de *A. campbelli* con radiotelemetría, en caso de ser posible con radios-transmisores de mayor duración; idealmente que permitan monitorear a los animales durante una época seca completa y una época de lluvia completa, lo cual incluiría la época de nacimiento de las crías y la época de apareamiento. Esto con el objetivo de obtener mayor información sobre el comportamiento y uso de espacio de la especie.

Se recomienda realizar un estudio más de asimetría fluctuante, que sea realizado con base a características merísticas de la especie.

El programa de reproducción debe realizarse preferiblemente *in situ*, por lo que se recomienda trasladar los ejemplares de reproducción *ex situ* de ZOOTROPIC a PEFCA.

Realizar estudios genéticos poblacionales evaluando otros genes. Idealmente desarrollar microsatélites específicos para el género *Abronia*.

VI. BIBLIOGRAFÍA

Acevedo, M. 2006. **Anfibios y reptiles de Guatemala: Una breve síntesis con bibliografía.** En *Biodiversidad de Guatemala Vol. I.* de Cano, E. Universidad del Valle de Guatemala. págs. 487-524.

Acevedo, M., L. Wilson, E. Cano y C. Vasquez-Almazán. 2010. **Diversity and conservation status of the Guatemalan Herpetofauna.** En *Conservation of Mesoamerican Amphibian and Reptiles* de Wilson, Larry David, Josiah H. Townsend, and Jerry D. Johnson. USA: Eagle Mountain. págs. 406-434.

Aguilar-Moreno, M., Felipe Rodriguez-Moreno, Andrés Aragon-Martinez, José Muñoz-Manzano, Gisela Granados-Gonzalez y Oswaldo Hernández-Gallegos. 2010. **Dimorfismo sexual de *Aspidoscelis costata costata* (Squamata: Teiidae) en el sur del Estado de México, México.** Revista Chilena de Historia Natural 83(4): 585-592.

Alianza para la Conservación de los Bosques de Pino-Encino de Mesoamérica. 2008. **Plan de Conservación de los Bosques de pino-encino de Centroamérica y el ave migratoria *Dendroica chrysoparia*.** Editores: E.S. Pérez, E. Secaira, C. Macías, S. Morales e I. Amezcua. Fundación Defensores de la Naturaleza y The Nature Conservancy. Guatemala. 101 págs.

Ariano-Sánchez, D. 2010. **Identificación de vacíos de conservación y priorización de un portafolio de áreas protegidas potenciales en bosques de montaña de Guatemala utilizando a las lagartijas arborícolas del género *Abronia* (Sauria: Anguidae) como modelo.** Tesis de Maestría en Espacios Naturales Protegidos. Universidad Complutense de Madrid-Universidad Autónoma de Madrid-Universidad de Alcalá de Henares. 47 págs.

Ariano, D. y L. Melendez. 2009. **Arboreal alligator lizards in the genus *Abronia*: Emeralds from the cloud forests of Guatemala.** Iguana 16(1): 24-27.

Ariano-Sánchez, D. y M. Torres-Almazán. 2010. **Rediscovery of *Abronia campbelli* (Sauria: Anguidae) from a Pine.Oak forest from Southeastern Guatemala: Habitat characterization, natural History and conservation status.** Herpetological Review 41(3):290-292.

Ariano-Sánchez, D., M. Torres-Almazán y A. Urbina-Aguilar. 2011. **Rediscovery of *Abronia frosti* (Sauria : Anguidae) from a cloud forest in Cuchumatanes Highlands in Northwestern Guatemala : Habitat characterization and conservation status.** Herpetological Review 42(2):196-198.

Barros, L., M. Gogliath, R. Fernandez y E. Xavier. 2011. **Mating behavior and female accompaniment in the whiptail lizard *Cnemidophorus ocellifer* (Squamata, Teiidae) in the Caatinga region of northeastern Brazil.** Biota Neotropica 11(4): 363-368.

Beebee, T. 2008. **Buccal swabbing as a source of DNA from squamate reptiles.** Conservation Genetics 9: 1087-1088.

Bergstrom, C.A., T. E. Reimchen. 2000. **Functional implications of fluctuating asymmetry among endemic populations of *Gasterosteus aculeatus*.** Behavior 137: 1097-1112.

Brodie, E. y R. Savage. 1993. **A new species of *Abronia* (Squamata:Anguidae) from a dry oak forest in eastern Guatemala.** Herpetologica 49:420-427.

Burt, W.H. 1943. **Territoriality and home range concepts as applied to mammals.** Journal of Mammalogy 24:346-352.

Campbell, J. y E. Brodie. 1999. **A new species of *Abronia* (Squamata: Anguinae) from southeastern highlands of Guatemala.** Herpetologica 55:161-174.

Campbell, J. y D. Frost 1993. **Anguine lizards of the genus *Abronia*: revisionary notes, descriptions of four new species, a phylogenetic analysis, and key.** Bulletin of the American Museum of Natural History 216:1-121.

Campbell, J. y J. Mendelson III. 1998. **Documenting the amphibians and reptiles of Guatemala.** Mesoamericana 3:21-23.

Campbell, J. y J. Vannini. 1989. **The distribution of amphibians and reptiles in Guatemala and Belize.** The Western Foundation of Vertebrate Zoology 4:1-21.

Chippindale, P. T., L. Ammerman y J. Campbell. 1998. **Molecular approaches to phylogeny of *Abronia* (Anguinae: Gerrhonotinae), with emphasis on relationships in subgenus *Auriculabronia*.** Copeia 4:883-892.

CONAP (Consejo Nacional de Áreas Protegidas). 2009. **Lista de especies amenazadas de Guatemala –LEA– y listado de especies de flora y fauna silvestres CITES de Guatemala.** CONAP. 122 págs.

Crawford Dana C. y Deborah A. Nickerson. 2005. **Definition and Clinical importance of haplotypes.** Annual Review of Medicine 56:303-20.

Dame, E., y Kenneth Petren. 2006. **Behavioural mechanisms of invasion and displacement in pacific island geckos (*Hemidactylus*)**. *Animal Behaviour* 71:1165–1173.

Ferguson, Gary. 1970. **Mating behaviour of the side-blotched lizards of the genus *Uta* (Sauria: Iguanidae)**. *Animal Behaviour* 18(1):65-72.

Ferreiro, R. y P. Galán. 2004. **Reproductive ecology of the slow worm (*Anguis fragilis*) in the northwest Iberian Peninsula**. *Animal Biology* 54(4):353-371

Formanowicz, D. R., E. Brodie y J. Campbell. 1990. **Intraspecific aggression in *Abronnia vasconcelosii* (Sauria, Anguidae), a tropical, arboreal lizard**. *Biotropica* 22(4):391-396.

Freeman, B., N. Smith, C. Curtis, L. Hockett, J. Mill, y I. W. Craig. 2003. **DNA from buccal swabs recruited by mail: evaluation of storage effects on long-term stability and suitability for multiplex polymerase chain reaction genotyping**. *Behavior Genetics* 33(1):67-72.

Galtier N., B. Nabholz, S. Glémin y D. D Hurst. 2009. **Mitochondrial DNA as a marker of molecular diversity: a reappraisal**. *Molecular Ecology* 18:4541–4550.

Glenn, C., y John C. Avise. 1998. **A comparative summary of genetic distances in the vertebrates from the mitochondrial cytochrome b Gene**. *Molecular Biology and Evolution* 15(11):1481–1490.

Granizo, T., M.E. Molina, E. Secaira, B. Herrera, S. Benítez, O. Maldonado, M. Libby, P. Arroyo, S. Isola, y M. Castro. 2006. **Manual de planificación para la conservación de áreas, PCA**. Quito: TNC y USAID. 206 págs.

Gvozdík, L. y R. Van Damme. 2003. **Evolutionary maintenance of sexual dimorphism in head size in the lizard *Zootoca vivipara*: A test of two hypotheses.** Journal of Zoology 259:7-13.

Hwang, U y W. Kim. 1999. **General properties and phylogenetic utilities of nuclear ribosomal DNA and mitochondrial DNA commonly used in molecular systematics.** The Korean Journal of Parasitology 37:215-228.

IARNA(Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente). 2011. **Cambio climático y biodiversidad.** Guatemala: Universidad Rafael Landivar . 99 págs.

INE. 2010. **Demografía y pobreza 2010.** Guatemala. [web en línea] en: <http://www.ine.gob.gt/np/biblioteca/index.htm> [con acceso el: 15 de septiembre de 2012].

INSIVUMEH. 2012. **Estación Potrero Carrillo: promedios mensuales y anuales de temperature mínima absoluta en grados centígrados.** Guatemala. [web en línea] en:<http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/ESTACIONES/JALAPA/Potrero%20Carrillo/Tem.%20min.%20abs.%20POTRERO%20CARRILLO.htm> [con acceso el: 29 de octubre de 2012].

Lappin, K., P. Hamilton y B. Sullivan. 2006. **Bite-force performance and head shape in a sexually dimorphic crevice-dwelling lizard, the common chuckwalla [*Sauromalus ater* (= *obesus*)].** Biological Journal of the Linnean Society 88:215-222.

Leary, R. F. y F.W. Allendorf. 1989. **Fluctuating asymmetry as an indicator of stress: implications for conservation biology.** Trends in Ecology and Evolution 4:214-217.

Tsai L., J. Chun-I Lee, A. Chun-Yen Lin, Cheng-Hsien Su, Szu-Jung Chen y Hsing-Mei Hsieh. 2009. **Analysis of the cytochrome b gene in Taiwanese populations.** Forensic Science Journal 8(1):29-34

Mittermeier R. A., N. Myers, C. Mittermeier y P. Robles Gil. 1999. **Hot Spots: Earth's biologically richest and mostendangered terrestrial ecoregions.** Agrupación Sierra Madre, S.C. México. 431 págs.

Ortega, A., S. Alvarez, P. Galina y G. Arnaud. 1987. **Mating of the san lucan alligator lizard, *Gerrhonotus paucicarinatus*: an endemic baja California lizard.** Bulletin of the Chicago Herpetological Society 22(4):71-72.

Palmer, A. R. y C. Strobeck. 1986. **Fluctuating asymmetry: measurements, analysis, patterns.** Annual Review of Ecology and Systematics 17:391-421.

Pandav, B., Bhagyashri A. Shanbhag y S. Saidpur. 2007. **Ethogram of courtship and mating behaviour of garden lizard, *Calotes versicolor*.** Current Science 93(8):164-167.

Perry, G. y T. Garland Jr. 2002. **Lizard home ranges revisited: Effects of sex, body size, diet, habitat, and phylogeny.** Ecology 83:1870-1885.

Raja, B., N. Haouas, S. Bdira, S. Amor, F. Khayech, H. Babba y R. Azaiez. 2011. **Identification of mitochondrial cytochrome b haplotypes by single strand conformation polymorphism in *Phlebotomus chabaudi* Croset, Abonnenc and Rioux, 1970 (Diptera, psychodidae).** International Journal of Biodiversity and Conservation 3(2):57-61.

Sos, Tibor y Gabor Herczeg. 2009. **Sexual size dimorphism in eastern Slow-worm *Anguis fragilis colchica*, Reptilia: Anguidae.** Russian Journal of Herpetology 16(4):134-138.

Trujillo, N. 2009. **Caracterización genética de la tortuga de carey (*Eretmochelys imbricata*, Linneaus, 1766) en Colombia, basada en la región control de ADNmt.** Tesis grado en Biología. Univerdidad del Quindío. Colombia. 67 págs.

Tryon, B. y James B. Murphy. 1982. **Miscellaneous on the reproductive Biology of reptiles 5. Thirteen varieties of the genus *Lampropeltis*, species *mexicana*, *tirangulum* and *zonata*.** Transactions of the academy of sciences 85(2):96-119.

Vervust, B., S. Dongen, I. Grbac y R. Damme. 2008. **Fluctuating asymmetry, physiological performance, and stress in island populations of the Italian wall lizard (*Podarcis sicula*).** Journal of Herpetology 42(2):369-377.

Vial, L. James y James R. Stewart. 1989. **The manifestation and significance of sexual dimorphism in anguid lizards: a case study of *Barisia monticola*.** Canadian Journal of Herpetology 67(1):68-72.

Vitt, Laurie J. 1983. **Reproduction and sexual dimorphism in the tropical teiid lizard *Cnemidophorus ocellifer*.** Copeia 2:359-36

VII. APÉNDICE

A. Caracterización de hábitat de *A. campbelli*

Cuadro 19. Datos de campo para la caracterización de hábitat de *A. campbelli*.

Especie	Altura (m)	DAP (m)	Área de copa (m ²)	Cantidad de <i>A. campbelli</i>	Presencia de Pashte	Porcentaje epífitas
<i>Q. tristic</i>	9	0.49	48.52	2	1	0.8
<i>Q. tristic</i>	10.1	0.89	141.45	1	1	0.8
<i>A. acutifolia</i>	8	0.54	67.49	1	1	0.8
<i>Q. peduncularis</i>	13.3	0.85	169.02	3	1	0.8
<i>Q. peduncularis</i>	17.3	1.07	83.32	1	1	0.8
<i>Q. peduncularis</i>	8.5	0.92	20.91	1	1	0.8
<i>Q. peduncularis</i>	10.5	0.41	59.86	1	1	0.8
<i>Q. peduncularis</i>	12	0.61	95.73	1	1	0.85
<i>Q. peduncularis</i>	9	0.51	51.78	1	1	0.9
<i>Q. tristic</i>	17.3	1.05	171.34	4	1	0.7
<i>Q. tristic</i>	8	0.35	54.50	1	1	0.8
<i>Q. tristic</i>	19	0.71	232.35	1	1	0.9
<i>Q. tristic</i>	18	0.54	251.65	1	1	0.8
<i>Q. tristic</i>	11.6	1.19	141.03	1	1	0.85
<i>Q. tristic</i>	7.7	0.72	39.59	1	1	0.75
<i>Q. tristic</i>	16.3	1.16	153.50	2	1	0.85
<i>Cupressus sp.</i>	15	0.68	123.11	1	1	0.9
<i>A. acutifolia</i>	9	1.17	97.29	1	1	0.6
<i>Q. tristic</i>	9	0.46	70.88	1	1	0.7
<i>Q. tristic</i>	9	0.7	45.48	1	1	0.7
<i>Q. tristic</i>	13	1.11	156.15	1	1	0.9
<i>Q. tristic</i>	27.6	0.84	209.18	1	1	0.9
<i>Q. peduncularis</i>	19	0.77	162.63	1	1	0.9
<i>Q. tristic</i>	9	0.53	124.69	2	1	0.9
<i>Q. tristic</i>	20	0.78	169.95	1	1	0.9
<i>Q. tristic</i>	10	0.59	95.03	1	1	0.9
<i>Q. peduncularis</i>	12	0.26	63.62	2	1	0.7
<i>Q. peduncularis</i>	7	0.3	0.79	1	1	0.9

Continuación Cuadro 20

Individuo	Sexo	Fecha	XA	XB	YA	YB	Época
1	M	09/02/2011	0	0	0	0	seca
2	F	09/02/2011	0	0	2	0	seca
2	F	09/02/2011	0	0	0	0	seca
2	F	09/02/2011	0	0	0	0	seca
2	F	09/02/2011	0	0	0	0	seca
2	F	10/02/2011	0	0	-1	0	seca
2	F	10/02/2011	0	0	0	0	seca
2	F	10/02/2011	0	0	0	0	seca
2	F	10/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	10/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	10/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	10/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	10/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	10/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	10/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	10/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	11/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	11/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	11/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	11/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	11/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	11/02/2011	0	0	0	0	seca
3	M	11/02/2011	1	0	1	0	seca
3	M	11/02/2011	0	0	0	0	seca
3	M	11/02/2011	0	0	0	0	seca
3	M	11/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	12/02/2011	2	0	3	0	seca
1	M	12/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	12/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	12/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	12/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	12/02/2011	5	0	2	0	seca
1	M	12/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	12/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	12/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	12/02/2011	0	0	0	0	seca
3	M	12/02/2011	0	0	0	0	seca
3	M	12/02/2011	0	0	0	0	seca

Continuación Cuadro 20

Individuo	Sexo	Fecha	XA	XB	YA	YB	Época
3	M	12/02/2011	0	0	-1	0	seca
3	M	12/02/2011	-1	0	1	0	seca
3	M	12/02/2011	0	0	0	0	seca
3	M	12/02/2011	0	0	0	0	seca
3	M	12/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	13/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	13/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	13/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	13/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	13/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	13/02/2011	0	0	0	0	seca
3	M	13/02/2011	1	0	2	0	seca
3	M	13/02/2011	0	0	0	0	seca
3	M	13/02/2011	0	0	0	0	seca
3	M	13/02/2011	0	0	0	0	seca
3	M	14/02/2011	-3	0	1	0	seca
3	M	14/02/2011	0	0	0	0	seca
3	M	14/02/2011	0	0	2	0	seca
3	M	14/02/2011	1	0		0	seca
3	M	14/02/2011	0	0	0	0	seca
3	M	14/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	14/02/2011	-3	0	4	0	seca
1	M	14/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	14/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	14/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	15/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	15/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	15/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	15/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	15/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	15/02/2011	0	0	0	0	seca
3	M	15/02/2011	0	0	3	0	seca
3	M	15/02/2011	0	0	0	0	seca
3	M	15/02/2011	0	0	0	0	seca
3	M	15/02/2011	0	0	0	0	seca
3	M	16/02/2011	0	0	0	0	seca
3	M	16/02/2011	0	0	-1	0	seca

Continuación Cuadro 20

Individuo	Sexo	Fecha	XA	XB	YA	YB	Época
3	M	16/02/2011	3	0	1	0	seca
3	M	16/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	16/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	16/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	16/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	16/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	17/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	17/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	17/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	17/02/2011	0	0	-1	0	seca
1	M	17/02/2011	0	0	0	0	seca
1	M	17/02/2011	0	0	0	0	seca
3	M	17/02/2011	1	0	0	0	seca
3	M	17/02/2011	0	0	0	0	seca
3	M	17/02/2011	0	0	0	0	seca
3	M	17/02/2011	0	0	0	0	seca
3	M	18/02/2011	0	0	1	0	seca
3	M	18/02/2011	1	0	1	0	seca
3	M	18/02/2011	0	0	1	0	seca
3	M	18/02/2011	0	0	0	0	seca
3	M	18/02/2011	0	0	0	0	seca
3	M	18/02/2011	0	0	0	0	seca
3	M	18/02/2011	0	0	-1	0	seca
3	M	18/02/2011	0	0	0	0	seca
3	M	18/02/2011	0	0	0	0	seca
3	M	18/02/2011	0	0	0	0	seca
4	F	22/09/2011	3	0	4	0	lluvia
4	F	22/09/2011	2	0	0	0	lluvia
4	F	22/09/2011	0	0	0	0	lluvia
4	F	22/09/2011	0	0	-1	0	lluvia
4	F	22/09/2011	0	0	0	0	lluvia
4	F	22/09/2011	0	0	0	0	lluvia
4	F	22/09/2011	0	0	0	0	lluvia
4	F	22/09/2011	0	0	0	0	lluvia
4	F	22/09/2011	0	0	0	0	lluvia
4	F	22/09/2011	0	0	0	0	lluvia
4	F	22/09/2011	0	0	0	0	lluvia
5	M	22/09/2011	-5	0	6	0	lluvia

Continuación Cuadro 20

Individuo	Sexo	Fecha	XA	XB	YA	YB	Época
4	F	26/09/2011	0	0	0	0	lluvia
5	M	26/09/2011	-4	0	2	0	lluvia
5	M	26/09/2011	5	0	0	0	lluvia
5	M	26/09/2011	0	0	0	0	lluvia
5	M	26/09/2011	-7	0	0	0	lluvia
5	M	26/09/2011	0	0	0	0	lluvia
5	M	26/09/2011	0	0	0	0	lluvia
5	M	26/09/2011	0	0	0	0	lluvia
5	M	26/09/2011	0	0	0	0	lluvia
5	M	26/09/2011	0	0	0	0	lluvia
5	M	26/09/2011	0	0	0	0	lluvia
5	M	26/09/2011	0	0	0	0	lluvia
5	M	26/09/2011	0	0	0	0	lluvia
6	M	26/09/2011	0	0	0	0	lluvia
6	M	26/09/2011	0	0	0	0	lluvia
6	M	26/09/2011	0	0	0	0	lluvia
6	M	26/09/2011	0	0	0	0	lluvia
6	M	26/09/2011	0	0	0	0	lluvia
6	M	26/09/2011	0	0	0	0	lluvia
6	M	26/09/2011	0	0	0	0	lluvia
6	M	26/09/2011	0	0	0	0	lluvia
6	M	26/09/2011	-3	0	2	0	lluvia
6	M	26/09/2011	0	0	0	0	lluvia
6	M	26/09/2011	0	0	0	0	lluvia
7	M	26/09/2011	0	0	0	0	lluvia
7	M	26/09/2011	-3	0	0	0	lluvia
7	M	26/09/2011	0	0	0	0	lluvia
7	M	26/09/2011	7	0	0	0	lluvia
7	M	26/09/2011	0	0	0	0	lluvia
7	M	26/09/2011	0	0	0	0	lluvia
7	M	26/09/2011	0	0	0	0	lluvia
7	M	26/09/2011	1	0	2	0	lluvia
7	M	26/09/2011	0	0	0	0	lluvia
7	M	26/09/2011	0	0	0	0	lluvia
4	F	27/09/2011	-1	0	0	0	lluvia
4	F	27/09/2011	2	0	0	0	lluvia
4	F	27/09/2011	0	0	0	0	lluvia
4	F	27/09/2011	0	0	0	0	lluvia
4	F	27/09/2011	0	0	0	0	lluvia
4	F	27/09/2011	0	0	0	0	lluvia

Continuación Cuadro 20

Individuo	Sexo	Fecha	XA	XB	YA	YB	Época
4	F	30/09/2011	0	0	0	0	lluvia
4	F	30/09/2011	0	0	0	0	lluvia
4	F	30/09/2011	0	0	0	0	lluvia
4	F	30/09/2011	0	0	0	0	lluvia
4	F	30/09/2011	0	0	0	0	lluvia
5	M	30/09/2011	0	0	3	0	lluvia
5	M	30/09/2011	0	0	0	0	lluvia
5	M	30/09/2011	0	0	0	0	lluvia
5	M	30/09/2011	0	0	0	0	lluvia
5	M	30/09/2011	0	0	0	0	lluvia
5	M	30/09/2011	0	0	0	0	lluvia
5	M	30/09/2011	0	0	0	0	lluvia
5	M	30/09/2011	0	0	0	0	lluvia
5	M	30/09/2011	0	0	0	0	lluvia
5	M	30/09/2011	0	0	0	0	lluvia
5	M	30/09/2011	0	0	0	0	lluvia
5	M	30/09/2011	0	0	0	0	lluvia
5	M	30/09/2011	0	0	0	0	lluvia
5	M	30/09/2011	0	0	0	0	lluvia
6	M	30/09/2011	0	0	0	0	lluvia
6	M	30/09/2011	0	0	0	0	lluvia
6	M	30/09/2011	0	0	0	0	lluvia
6	M	30/09/2011	0	0	0	0	lluvia
6	M	30/09/2011	0	0	0	0	lluvia
6	M	30/09/2011	0	0	0	0	lluvia
6	M	30/09/2011	0	0	0	0	lluvia
6	M	30/09/2011	0	0	0	0	lluvia
6	M	30/09/2011	0	0	0	0	lluvia
6	M	30/09/2011	0	0	4	0	lluvia
6	M	30/09/2011	0	0	0	0	lluvia
7	M	30/09/2011	6	0	3	0	lluvia
7	M	30/09/2011	0	0	-2	0	lluvia
7	M	30/09/2011	0	0	0	0	lluvia
7	M	30/09/2011	0	0	0	0	lluvia
7	M	30/09/2011	0	0	0	0	lluvia
7	M	30/09/2011	0	0	0	0	lluvia
7	M	30/09/2011	0	0	0	0	lluvia
7	M	30/09/2011	0	0	0	0	lluvia
7	M	30/09/2011	0	0	0	0	lluvia
7	M	30/09/2011	0	0	-3	0	lluvia
7	M	30/09/2011	0	0	0	0	lluvia
7	M	03/10/2011	3	0	2	0	lluvia
7	M	03/10/2011	0	0	0	0	lluvia

Continuación Cuadro 20

Individuo	Sexo	Fecha	XA	XB	YA	YB	Época
7	M	03/10/2011	0	0	0	0	lluvia
7	M	03/10/2011	2	0	0	0	lluvia
7	M	03/10/2011	0	0	-2	0	lluvia
7	M	03/10/2011	0	0	3	0	lluvia
7	M	03/10/2011	0	0	0	0	lluvia
7	M	03/10/2011	0	0	0	0	lluvia
6	M	03/10/2011	4	0	1	0	lluvia
6	M	03/10/2011	0	0	0	0	lluvia
6	M	03/10/2011	0	0	0	0	lluvia
6	M	03/10/2011	0	0	0	0	lluvia
6	M	03/10/2011	0	0	0	0	lluvia
6	M	03/10/2011	-2	0	0	0	lluvia
6	M	03/10/2011	0	0	0	0	lluvia
6	M	03/10/2011	-1	0	0	0	lluvia
6	M	03/10/2011	0	0	0	0	lluvia
6	M	03/10/2011	0	0	0	0	lluvia
6	M	03/10/2011	0	0	0	0	lluvia
4	F	03/10/2011	2	0	0	0	lluvia
4	F	03/10/2011	0	0	-1	0	lluvia
4	F	03/10/2011	0	0	0	0	lluvia
4	F	03/10/2011	0	0	0	0	lluvia
4	F	03/10/2011	0	0	0	0	lluvia
4	F	03/10/2011	0	0	0	0	lluvia
4	F	03/10/2011	0	0	0	0	lluvia
4	F	03/10/2011	0	0	1	0	lluvia
4	F	03/10/2011	0	0	0	0	lluvia
4	F	03/10/2011	0	0	0	0	lluvia
7	M	04/10/2011	0	0	0	0	lluvia
7	M	04/10/2011	0	0	0	0	lluvia
7	M	04/10/2011	-1	0	2	0	lluvia
7	M	04/10/2011	0	0	0	0	lluvia
7	M	04/10/2011	0	0	0	0	lluvia
7	M	04/10/2011	0	0	0	0	lluvia
7	M	04/10/2011	2	0	0	0	lluvia
7	M	04/10/2011	0	0	0	0	lluvia
7	M	04/10/2011	0	0	0	0	lluvia
7	M	04/10/2011	0	0	0	0	lluvia
6	M	04/10/2011	-1	0	0	0	lluvia

Continuación Cuadro 20

Individuo	Sexo	Fecha	XA	XB	YA	YB	Época
6	M	04/10/2011	0	0	-1	0	lluvia
6	M	04/10/2011	0	0	1	0	lluvia
6	M	04/10/2011	0	0	0	0	lluvia
6	M	04/10/2011	0	0	0	0	lluvia
6	M	04/10/2011	0	0	0	0	lluvia
6	M	04/10/2011	0	0	2	0	lluvia
6	M	04/10/2011	0	0	0	0	lluvia
4	F	04/10/2011	0	0	1	0	lluvia
4	F	04/10/2011	0	0	0	0	lluvia
4	F	04/10/2011	0	0	0	0	lluvia
4	F	04/10/2011	0	0	0	0	lluvia
4	F	04/10/2011	0	0	0	0	lluvia
4	F	04/10/2011	4	0	4	0	lluvia
4	F	04/10/2011	0	0	0	0	lluvia
4	F	04/10/2011	3	0	4	0	lluvia
4	F	04/10/2011	0	0	0	0	lluvia
4	F	04/10/2011	0	0	0	0	lluvia

C. Asimetría fluctuante

Cuadro 21. Medidas corporales de individuos de *A. campbelli* y *A. meledona*

Especie	Sexo	Antebrazo Izquierdo	Antebrazo Derecho	Bicip Izquierdo	Bicip Derecho	Pantorrilla Izquierda	Pantorrilla Derecha	Muslo Izquierdo	Muslo Derecho	Distancia Nariz/boca Izquierdo	Distancia Nariz/boca Derecha	Distancia escama/espaldas Izquierda	Distancia escama/espaldas Derecha	Largo Total
<i>A. campbelli</i>	f	10.23	10.31	9.7	9.34	10.4	10.52	11.35	11.46	18.44	18.5	12.79	12.79	117.16
<i>A. campbelli</i>	f	11.34	11.46	11.12	11.5	10.5	10.82	12.95	13.05	20.01	20.09	15.61	15.86	110.01
<i>A. campbelli</i>	f	10.35	10.92	10.38	10.74	8.43	8.6	10.64	10.81	18.78	18.78	14.3	14.32	117.77
<i>A. campbelli</i>	m	10.77	10.95	11.12	11.5	10.5	10.82	12.95	13.05	20.01	20.09	15.61	15.86	110.01
<i>A. campbelli</i>	f	11.68	11.67	10.61	10.86	10.92	10.27	12.16	12.13	18.28	18.33	13.7	13.96	125.05
<i>A. campbelli</i>	f	11.66	11.94	10.86	10.22	10.5	10.88	12.86	12.92	20.2	20.67	15.37	15.42	112.19
<i>A. campbelli</i>	m	10.6	11.21	10.18	11.13	11.7	11.38	12.24	12.96	19.74	19.04	15.07	14.52	119.53
<i>A. campbelli</i>	f	9.44	10.08	9.97	9.51	10.33	10.38	11.2	11.3	16.67	16.23	12.96	13.22	113.99
<i>A. campbelli</i>	m	9.85	10.32	10.45	11.35	9.72	9.97	12.87	11.59	14.19	14.35	20.41	20.1	112
<i>A. campbelli</i>	m	11.66	11.92	10.66	10.17	11.81	11.47	13.37	13.17	20.58	20.3	14.94	14.99	115.7
<i>A. campbelli</i>	m	11.51	12.42	11.09	11.01	10.96	11.02	12.48	12.97	20.31	20.31	15.9	15.81	117.32
<i>A. campbelli</i>	f	10.06	9.5	9.64	10.79	10.23	9.13	11.71	12.74	16.84	17.35	14.08	13.45	122.59
<i>A. campbelli</i>	m	10.03	10.63	9.7	10.62	12.24	12.1	13.3	13.4	19.86	19.84	16.02	14.8	117.5
<i>A. campbelli</i>	m	11.75	11.76	10.67	10.61	12.27	11.99	13.23	13.58	20.37	21.33	15.86	15.32	123.98
<i>A. campbelli</i>	f	10.06	9.5	9.64	10.79	10.23	9.13	11.71	12.74	16.84	17.35	14.08	13.45	122.59
<i>A. campbelli</i>	m	8.35	7.99	9.69	9.19	7.79	8.89	10.6	9.33	15.61	16.5	12.46	12.38	100.13
<i>A. campbelli</i>	m	11.34	11.16	11.59	10.9	11.47	11.4	11.84	12.84	21.33	21.03	15.97	16.53	115.89
<i>A. campbelli</i>	m	10.89	10.98	10.55	9.84	10.34	10.66	11.02	11.11	20.83	20.68	14.27	15.15	115.95
<i>A. campbelli</i>	f	10.04	10.63	7.96	7.83	9.67	9.9	9.81	10.15	17.83	17.43	12.65	12.32	115.78
<i>A. campbelli</i>	f	10.62	10.21	9.37	9.57	10.48	11.15	10.39	11.81	19.4	19.1	14.25	13.65	122.45
<i>A. campbelli</i>	m	11.72	11.96	11.17	11.22	11.76	11.9	12.59	12.32	21.62	21.63	16.48	17.42	122.3
<i>A. campbelli</i>	m	11.97	12.44	10.54	11.41	11.85	11.9	12.37	12.46	21.9	22.32	16.81	17.1	126.5
<i>A. campbelli</i>	f	10.44	10.7	9.19	9.44	9.73	9.73	10.51	10.8	18.02	17.42	14.21	14.7	113.23
<i>A. campbelli</i>	f	11.92	11.96	9.86	9.43	10.45	10.48	12.24	12.34	20.46	20.07	15.6	15.8	114.75
<i>A. campbelli</i>	f	10.95	11.56	10.37	9.3	10	8.86	10.5	10.98	17.81	17.56	14.17	13.98	116.34
<i>A. meledona</i>	f	9.45	9.43	9.37	9.2	10.65	10.99	12.22	12.21	16.56	16.96	12.3	12.12	106.11
<i>A. meledona</i>	f	10.59	10.88	10.13	10.18	11.36	11.71	13.2	13.27	18.44	18.31	14.21	14.14	121.3
<i>A. meledona</i>	m	12.8	12.7	11.8	11.78	13.5	13.21	14.74	14.75	21.56	21.56	16.99	16.2	122.28
<i>A. meledona</i>	f	10.6	10.66	9.24	9.38	10.54	11.5	11.58	11.74	18.36	18.22	13.83	14.21	115.51
<i>A. meledona</i>	f	10.09	10.06	9.2	9.16	10.24	9.92	11.74	12.04	17.61	17.4	12.72	12.81	115.09
<i>A. meledona</i>	m	11.22	11.41	10.58	10.64	11.76	11.8	12.9	12.92	19.9	19.93	15.06	15.12	117.53
<i>A. meledona</i>	m	10.31	10.17	9.94	9.67	11.69	11.92	12.45	13.48	19.23	19.22	14.82	14.8	117.31
<i>A. meledona</i>	m	11.33	11.47	10.3	10.4	12.67	13.02	11.39	11.3	21.57	21.57	15.61	15.75	123.79
<i>A. meledona</i>	f	9.94	10.19	10.31	10.24	10.48	10.48	12.15	12.69	18.11	18.12	12.71	12.69	111.87
<i>A. meledona</i>	f	9.16	9.18	10.35	10.32	10.48	10.58	12.39	12.68	16.71	16.7	12.8	12.78	111.06
<i>A. meledona</i>	m	12.4	12.25	12.24	12.34	11.54	11.51	14.05	14.15	20.5	20.51	17.05	16.95	115.08

D. Protocolos

1. Protocolo para la solución amortiguadora de transporte:

- Crear una solución con las concentraciones descritas a continuación
- NaCl 100mM
- Tris HCL 10 mM
- EDTA 10mM
- Proteínasa K 0.2mn/ml
- SDS 0.5%

Dejar incubar la solución durante dos horas a 65 C° y repartir 1ml de la solución tampón en micro-tubos plásticos de 1.5 ml.

2. Protocolo para la extracción de ADN mitocondrial a partir de las solución amortiguadora de transporte

- Colocar 500 µl del lisado en un tubo de 1.5 ml
- Agregar 100 µl de NaCl 3M
- Centrifugar durante 5 minutos a 12 revoluciones por minuto
- Recuperar sobrenadante
- Agregar 600 µl de isopropanol
- Incubar 15 minutos a 20 C°;
- Centrifugar 10 minutos a 12 revoluciones por minuto
- Lavar el pellet con 200 µl etanol al 95%. P
- Secar a 65 C°
- Resuspender en TE

E. Resultados de optimización de la PCR

Cuadro 22. Receta para la reacción de los iniciadores PL2 y PH2. Para un volumen de reacción de 25 ml.

Componente	Concentración final en la reacción
Solución amortiguadora para PCR	1X
MgCl ₂	1 mM
Mezcla de nucleótidos	0.1 mM
Iniciador PL2	0.8 µM
Iniciador PH2	0.8 µM
Taq	1 U
ADN	50 ng

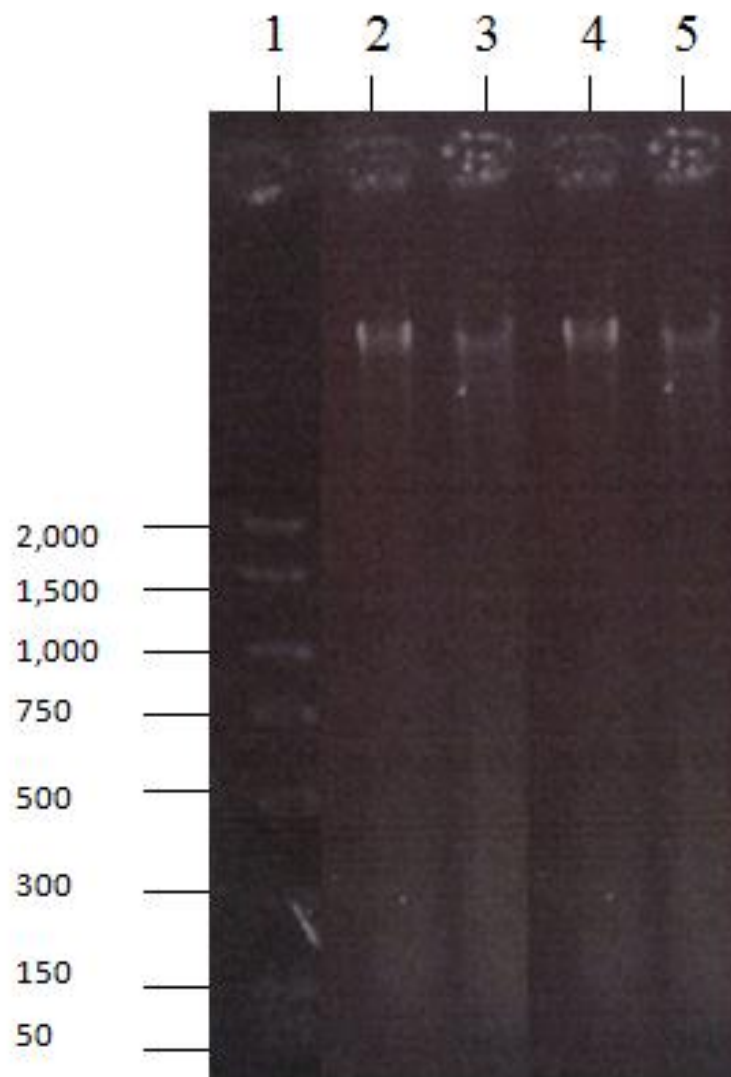
Cuadro 23. Programa de la reacción para los cebadores.

Paso	Temperatura	Tiempo
1	94°C	3:00 min
2	48°C	1:00 min
3	72°C	0:45 min
35 ciclos desde el paso 1 al paso 3		
4	72°C	5:00 min
5	4°C	Hold

Cuadro 24. Concentración y pureza de las extracciones de ADN mitocondrial.

Individuo	Especie	Concentración (ng/μl)	Pureza A ₂₆₀ /A ₂₈₀
MT01	<i>A. campbelli</i>	10	0.99
MT02	<i>A. meledona</i>	87	1.49
MT03	<i>A. campbelli</i>	61	n.d
MT04	<i>A. campbelli</i>	67	1.82
MT05	<i>A. campbelli</i>	53	1.3
MT06	<i>A. campbelli</i>	20	1.45
MT07	<i>A. campbelli</i>	74	0.87
MT08	<i>A. campbelli</i>	40	0.9
MT09	<i>A. campbelli</i>	111	2.66
MT10	<i>A. campbelli</i>	5	0.8
MT11	<i>A. campbelli</i>	65	n.d
MT12	<i>A. campbelli</i>	89	1.32
MT13	<i>A. campbelli</i>	191	1.49
MT14	<i>A. campbelli</i>	290	1.49
MT15	<i>A. campbelli</i>	45	1.76
MT16	<i>A. campbelli</i>	73	0.99
MT17	<i>A. campbelli</i>	35	n.d
MT18	<i>A. campbelli</i>	20	n.d
MT19	<i>A. meledona</i>	10	0.99
MT20	<i>A. meledona</i>	140	1.33
MT21	<i>A. meledona</i>	70	2.28
MT22	<i>A. meledona</i>	70	1.01
MT23	<i>A. meledona</i>	93	1.26
MT24	<i>A. campbelli</i>	252	0.99
MT25	<i>A. campbelli</i>	184	2.4
MT26	<i>A. meledona</i>	80	1.44
MT27	<i>A. meledona</i>	47.4	1.44
MT28	<i>A. meledona</i>	8	n.d
MT29	<i>A. meledona</i>	35	1.18
MT30	<i>A. campbelli</i>	45.2	1.45
MT31	<i>A. campbelli</i>	73	1.7
MT32	<i>A. meledona</i>	43	1.33
MT33	<i>A. meledona</i>	10	n.d

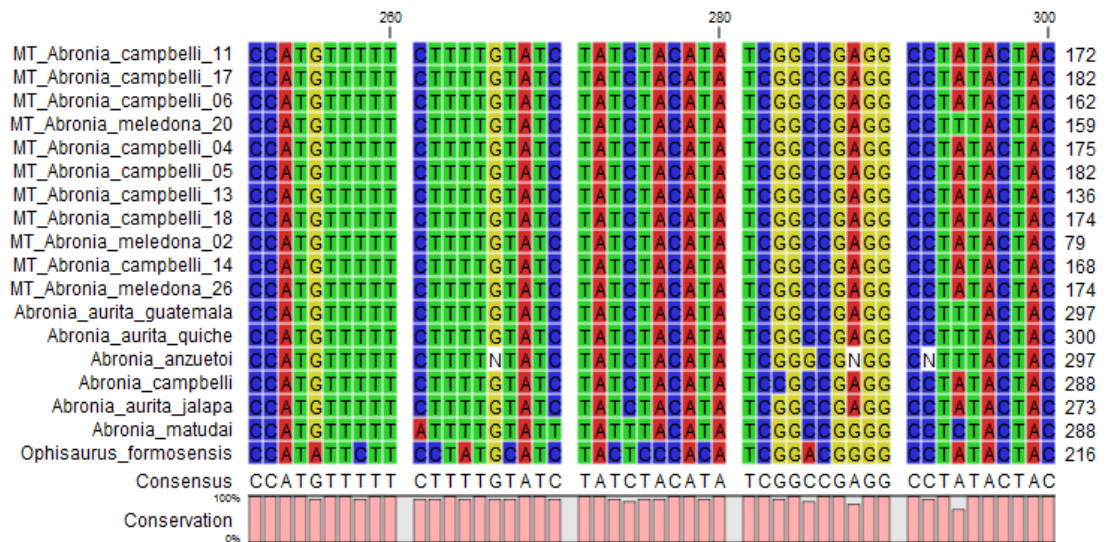
Figura 20. Gel de integridad. Electroforesis en gel de agarosa al 1% en TAE 1X. Los valores del lado izquierdo están en pares de bases. Carril 1: Escalera molecular, carriles 2, 3, 4, 5: muestras de *A. campbelli* 01, 03, 04 y 05 respectivamente.



F. Resultados Secuenciación

Figura 21. Visualización en SEQUENCE VIEWER 7.5® de polimorfismos.

Fragmento de 236 pares de bases del gen citocromo b en distintas especies de *Abronia*. Las muestras que inician con el código MT son resultado del muestreo realizado para este estudio, el resto fueron obtenidas por medio de la base de datos de Genbank.



Cuadro 25. . Calidad y longitud de las secuencias de *A. campbelli* y *A. meledona*.

Muestra	Especie	Calidad secuencia editada PH2	Calidad secuencia editada PL2	Long. PH2 (pb)	Long. PL2 (pb)	Secuencia utilizada para el análisis
MT01	<i>A. campbelli</i>	0	0	0	0	no
MT02	<i>A. meledona</i>	0	88.7	0	595	si
MT03	<i>A. campbelli</i>	51.4	99.7	440	674	no
MT04	<i>A. campbelli</i>	93.5	99.6	630	630	si
MT05	<i>A. campbelli</i>	75.5	99	607	607	si
MT06	<i>A. campbelli</i>	89.8	99.4	98	667	si
MT07	<i>A. campbelli</i>	0	0	101	0	no
MT08	<i>A. campbelli</i>	79.7	62.2	444	278	no
MT09	<i>A. campbelli</i>	42	89.6	383	623	no
MT10	<i>A. campbelli</i>	0	0	0	0	no
MT11	<i>A. campbelli</i>	0	99.3	0	673	si
MT12	<i>A. campbelli</i>	67.4	99	476	677	no
MT13	<i>A. campbelli</i>	0	86.1	0	612	si
MT14	<i>A. campbelli</i>	0	99.8	0	557	si
MT15	<i>A. campbelli</i>	0	0	0	0	no
MT16	<i>A. campbelli</i>	0	90.4	0	125	no
MT17	<i>A. campbelli</i>	90	97.1	30	694	si
MT18	<i>A. campbelli</i>	93.8	96.7	32	601	si
MT19	<i>A. meledona</i>	0	0	0	0	no
MT20	<i>A. meledona</i>	0	98.8	0	679	si
MT21	<i>A. meledona</i>	49.9	0	503	0	no
MT22	<i>A. meledona</i>	0	71.8	0	657	no
MT23	<i>A. meledona</i>	0	0	0	0	no
MT24	<i>A. campbelli</i>	0	89.9	0	347	no
MT25	<i>A. campbelli</i>	0	44.7	0	459	no
MT26	<i>A. meledona</i>	93.8	97.6	16	411	si
MT27	<i>A. meledona</i>	0	0	0	0	no
MT28	<i>A. meledona</i>	0	0	0	0	no
MT29	<i>A. meledona</i>	0	0	0	0	no
MT30	<i>A. campbelli</i>	0	0	0	0	no
MT31	<i>A. campbelli</i>	0	0	0	0	no
MT32	<i>A. meledona</i>	0	93.8	0	16	no
MT33	<i>A. meledona</i>	0	0	0	0	no