

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA

ESTATUS DE LAS POBLACIONES DE SALAMANDRAS *Pseudoeurycea rex* y
Bolitoglossa rostrata (FAM. PLETHODONTIDAE) EN HUEHUETENANGO.



Angel Jacobo Conde Pereira
Biólogo

Guatemala, Febrero de 2011.

JUNTA DIRECTIVA

Oscar Cobar Pinto, Ph.D.	Decano
Lic. Pablo Ernesto Oliva Soto, M.A.	Secretario
Licda. Lilian Raquel Irving Antillón, M.A.	Vocal I
Licda. Liliana Vides de Urizar	Vocal II
Lic. Luis Antonio Gálvez Sanchinelli	Vocal III
Br. José Roy Morales Coronado	Vocal IV
Br. Cecilia Liska de León	Vocal V

AGRADECIMIENTOS

En el nombre de Dios, El Clemente, El Misericordioso.

Dedico esta tesis a mis padres: César Conde y Zoila Pereira, por el inmenso esfuerzo hecho para formarme a lo largo de mi vida.

A mis hermanos César, Eunice, Jennifer y María, por su apoyo en todos los aspectos.

Al pueblo guatemalteco que a través de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ha pagado mis estudios en esta *alma mater*, a quienes aún les debo mi conocimiento como herramienta de desarrollo.

A la Escuela de Biología de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, por mostrarme que nuestra carrera es excepcionalmente asombrosa y que la utilización de la investigación para la obtención del conocimiento es la herramienta básica para el desarrollo humano.

INDICE

1. Resumen.....	5-6
2. Introducción.....	7-8
3. Antecedentes	
3.1 Del declive actual de los anfibios.....	8-11
3.2 De la especificidad de hábitat de las especies	11
3.3 Del lugar de estudio	12-13
3.4 De investigaciones semejantes.....	13-14
3.5 De las salamandras (Orden Cauda).....	14-15
3.5.1 Familia Plethodontidae.....	15-16
3.5.2 De las especies a estudiar	16
4. Justificación.....	17-18
5. Objetivos.....	18
6. Hipótesis.....	19
7. Materiales y Métodos	
7.1 Materiales	
7.1.1 Equipo.....	19-20
7.1.2 Reactivos.....	20
7.2 Métodos	
7.2.1 Universo.....	21
7.2.2 Variables.....	21
7.2.3 Métodos de colecta y preservación de ejemplares.....	21-23
7.2.4 Elección de los sitios de muestreo.....	23-24
7.2.5 Análisis estadístico.....	24
8. Resultados.....	25-46
9. Discusión de resultados	
9.1 De los sitios.....	47-50
9.2 Discusión por sitios individuales.....	50-53
9.3 De los análisis estadísticos	
9.3.1 De los cambios en las abundancias de las poblaciones.....	53-55
9.3.2 Abundancias de las especies.....	56-58
9.4 Tasas de encuentro de salamandras.....	58-59
10. Conclusiones.....	60-62
11. Recomendaciones.....	63
12. Agradecimientos.....	64
13. Referencias.....	65-69
14. Anexos.....	70-82

1. RESUMEN

El presente informe de tesis compara los estatus poblacionales de las salamandras *Pseudoeurycea rex* y *Bolitoglossa rostrata* (Fam. Plethodontidae) en la región alta de la Sierra de los Cuchumatanes, Huehuetenango en dos épocas distintas. En esta región, investigadores del Museum of Vertebrate Zoology (MVZ) de la universidad de California en Berkeley, realizaron numerosos viajes en búsqueda de salamandras pletodóntidas durante la década de 1970, teniendo así datos históricos de la situación poblacional de estas salamandras. A partir de esto, se planteó el problema de dilucidar la situación actual poblacional de *P. rex* y *B. rostrata*, por lo que se realizaron numerosos viajes a los sitios históricos de colecta y en la búsqueda de nuevos sitios donde podrían estar presentes estas salamandras. Estos viajes se realizaron con los objetivos de verificar la presencia/ausencia actual de estas especies, estimar su abundancia y así, comparar los datos actuales con los registros de la década de 1970. Para esto, se obtuvo la base de datos del MVZ disponible en internet y se seleccionaron los sitios de estudio. Posterior a esto, se realizó la metodología de colecta, la cual tuvo esfuerzos similares a los realizados por los investigadores los 70's. Se realizaron búsquedas en un total de 14 sitios (10 sitios históricos y 4 sitios nuevos). Los resultados de esta investigación muestran un alarmante declive de las dos salamandras estudiadas en todos los sitios históricos muestreados, 7 de los cuales existe una ausencia total de salamandras y en los otros tres sitios, la abundancia de las especies actualmente es muy baja. La abundancia de estas dos salamandras mostró una disminución significativa entre las dos épocas de

colecta y esto es soportado también por las prueba estadística empleada (Mann-Whitney). Además, los cambios en las proporciones de disminución de las especies corroboran los resultados estadísticos ya que para *P. rex* es de un 73% y para *B. rostrata* es del 91%, indicando así que la especie de salamandra que más ha sufrido disminución de su población es esta última. También se encontraron 2 poblaciones grandes de cada especie en 4 sitios nuevos que se buscaron en la región alta de la Sierra de los Cuchumatanes, corroborando así la existencia de estas especies en bosques en buen estado de conservación.

Por lo tanto se pueden hacer varias conclusiones pertinentes al caso. En primer lugar, se puede concluir que existe un alarmante declive de las poblaciones de *P. rex* y *B. rostrata* en la región alta de la Sierra de los Cuchumatanes. En segundo lugar, este declive puede ser atribuido a un número de variables (deforestación de los sitios de muestreo, calentamiento global, enfermedades, entre otros) las cuales pueden estar actuando en conjunto, diezmando las poblaciones de salamandras de la región. En tercer lugar, las tasas de encuentro de salamandras por persona por día han disminuido considerablemente si se compara con los datos de la década de 1970. Y en cuarto lugar, existe aún presencia de estas salamandras en bosques en buen estado de conservación, pero estos están quedándose aislados y reduciéndose constantemente por lo que puede existir una disminución mucho más grave de las poblaciones de salamandras en los años subsecuentes.

2. INTRODUCCIÓN

Dentro de los años 1970 a 1979, investigadores del Museum of Vertebrate Zoology (MVZ, University of California at Berkeley), realizaron numerosos viajes de campo a Guatemala en la búsqueda de salamandras pletodóntidas. A través de los años, la base de datos y la información disponible de salamandras aumentó considerablemente. En esa época se reportaban altas densidades poblacionales de salamandras, considerando a la especie *Pseudoeurycea rex* como la más densa en las regiones altas occidentales de Guatemala y a *Bolitoglossa rostrata* como una especie también abundante y distribuida ampliamente en las regiones altas del país (Elias, 1984, p. 13; Wake & Lynch, 1976).

Sabemos bien que actualmente las condiciones de conservación de las áreas naturales han decrecido considerablemente debido a numerosos factores como cambio climático, cambio del uso del suelo, contaminación de fuentes de agua, contaminación atmosférica, sobreexplotación de recursos naturales y aumento de la demografía. Tales factores han contribuido al declive o desaparición de las poblaciones de anfibios a nivel mundial. A diferencia de otros vertebrados, los anfibios presentan la proporción más alta de especies en peligro de extinción y de declive de sus poblaciones actuales. Estos declives altos en las poblaciones de especies de anfibios requieren y demandan esfuerzos para la realización de estrategias efectivas para maximizar la conservación de los anfibios (IUCN, 2009, p. 1).

Como en muchos otros países, Guatemala ha experimentado y sufrido el impacto de la deforestación y cambio del uso del suelo y esto ha repercutido negativamente sobre las poblaciones de anfibios. Se desconoce el estatus actual de algunas especies de anfibios en algunas regiones en las cuales ya se habían realizado colectas y donde se tiene una sólida base de datos (Parra-Olea, 1999, p. 217).

Para esta investigación se propuso comparar el estatus poblacional de las salamandras *Pseudoeurycea rex* Dunn 1921 y *Bolitoglossa rostrata* Brocchi 1883 en dos tiempos distintos: durante la década de 1970 vs. datos actuales (2008-2010). En la región de Huehuetenango, ya que se cuentan con numerosos registros históricos en diversos puntos georreferenciados.

3. ANTECEDENTES

3.1 Del declive actual de los anfibios.

Los anfibios son un grupo único de vertebrados que contiene alrededor de 6,662 especies (spp.) descritas. De éstas, un 32% (1,856 spp) se encuentran amenazadas, presentando una mayor proporción de especies amenazadas a diferencia de otros vertebrados. Este grupo ha existido por más de 300 millones de años y en las últimas dos décadas ha existido un número alarmante de extinciones reportadas ya que 168 especies se han declarado como extintas. Al menos 2,469 especies (43%) de todos los anfibios están teniendo un declive en sus poblaciones. En Guatemala existe un total de 143 especies de anfibios, de los cuales 42 (29.5 %) son endémicas, 29 se encuentran críticamente amenazadas

(20.3 %) y 10 (7 %) se encuentran con datos deficientes (www.amphibiaweb.org). Estos declives de anfibios han ocurrido en todo el mundo, pero principalmente en las regiones de Australia, el Caribe y América Central. Quizá el factor principal del declive de estas especies sea la destrucción o modificación de su hábitat natural. Es muy alarmante que inclusive en aquellas áreas que se encuentran protegidas, exista una disminución en la abundancia de anfibios, lo que puede indicar que existen fenómenos negativos para los anfibios a nivel regional o mundial. Actualmente estos factores, tales como hongo quítrido (*Batrachochytrium dendrobatidis* –*Bd*-) y el cambio climático, están diezmando de una manera increíble la biodiversidad de anfibios a nivel mundial (www.amphibiaweb.org).

Por estas razones, y el aumento de especies en las Listas Rojas a nivel mundial, se están creando demandas de estrategias efectivas para maximizar la conservación de los anfibios. Idealmente, las estrategias de conservación integrales deben estar basadas en información del riesgo de extinción de las especies. Usualmente estas estrategias de conservación se deben basar en investigaciones poblacionales, ya que estas proporcionan información sobre el decrecimiento de la biodiversidad. Además, el declive de las poblaciones y extinciones poblacionales son indicadores más sensibles de la pérdida de biodiversidad. Actualmente, la mayoría de los análisis de diversidad biológica no hacen énfasis en los patrones de declive de especies (Young, 2004, p. 7).

Toda esta preocupación sobre el estado actual de conservación de los anfibios empezó a tomar forma a inicios de la década de 1980, con el reporte de

la extinción de algunas especies en Centroamérica (Pounds, & Crump, 1994, p. 72). En 1991, se creó la organización Declining Amphibian Population Task Force (DAPTF) la cual integra toda la información de todo el mundo acerca del declive de los anfibios, siendo así un primer intento de comprender la dinámica de los declives de anfibios a nivel mundial (Wake, 2007, p. 8201). A medida que pasaba el tiempo y los conocimientos sobre el estado de las poblaciones de anfibios aumentaban, se creyó que la causa única del declive eran la fragmentación del hábitat y el cambio del uso del suelo, pero en años posteriores, investigaciones demostraron que inclusive en áreas prístinas los anfibios estaban desapareciendo. Por este motivo, el cambio climático empezó a considerarse como uno de los factores que causa el declive de los anfibios, ya que no solamente provoca un calentamiento gradual del planeta, sino que también permite la disminución de lluvias en lugares específicos y por ende sequías que afectan a las poblaciones de anfibios. Además, la aparición de nuevas enfermedades infecciosas como la quitridiomicosis, causada por el hongo *Batrachochytrium dendrobatidis* (*Bd*) es una de las principales causas de los declives de los anfibios, pero no hay que olvidar que otras amenazas contribuyen fuertemente al declive y extinción de las especies (por ejemplo, uso de pesticidas, contaminación de las aguas, lluvias ácidas y comercio ilegal, (Wake, 2007, p. 8201; Young, 2004, p. 4).

Idealmente, estas estrategias de conservación deben de estar basadas en información específica que induzca o genere normativas para manipular el riesgo de extinción de las especies. El declive de las poblaciones es un indicador sensible, por lo que evaluar el proceso de declive de los anfibios puede aportar

datos valiosos sobre la dinámica de poblaciones a nivel actual (Becker, & Dias, 2008, p. 2299).

3.2 De la especificidad de hábitat de las especies

La manera como las especies responden frente a los disturbios del hábitat depende de la flexibilidad de los requisitos de la especie. La respuesta de los anfibios ante el disturbio antropogénico, generado en sus microhábitats se encuentra poco estudiada y aunque se desconocen la mayoría de las relaciones ecológicas entre estos organismos, es importante generar información básica de las comunidades para diseñar estrategias de manejo. Se sabe que las principales causas de extinción de los anfibios y reptiles provienen de la pérdida de hábitat, el cambio en los patrones climáticos, la introducción de especies y la contaminación ambiental (Urbina y Londoño, 2003, p. 106).

La alta especificidad de hábitat hace que muchas especies de áreas boscosas sean abundantes localmente en áreas con alta cobertura vegetal (dosel y sotobosque), alta profundidad de hojarasca, alta humedad y temperaturas estables. Cuando estas condiciones óptimas se ven modificadas por la fragmentación del bosque, y los disturbios se presentan con alta intensidad y larga duración sobre los microhábitats, pueden poner en peligro de extinción a los anfibios que poseen baja habilidad de dispersión y requisitos ambientales estables (Urbina y Londoño, 2003, p. 106).

3.3 Del lugar de estudio.

La región de la Sierra de los Cuchumatanes es una región muy característica en Guatemala, ya que no solamente presenta un alto índice de endemismo e importancia biogeográfica, sino que también es una de las áreas con menor cantidad de investigación científica en Guatemala y representa una de las carpetas de vacíos de información por parte del Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) (FUNDAECO, 2007).

El departamento de Huehuetenango se ubica en la subregión política de noroccidente. Colinda al norte y oeste con México, al este con el departamento del Quiché y al sur con los departamentos de Totonicapán y San Marcos. Cuenta con una extensión territorial de 7403 kilómetros cuadrados y una altitud que varía entre los 500 y más de 3800 metros sobre el nivel del mar (msnm). Su territorio es montañoso y se encuentra atravesado por la cordillera de los Andes, más conocida localmente con el nombre de Sierra de los Cuchumatanes, complejo de cimas formado por tierras sedimentarias que emergieron durante la orogénesis Laramídica (hace aproximadamente 80 millones de años –ma-). Su topografía está dominada por pequeños pliegues, más o menos paralelos entre sí, que dejan entre ellos una serie de barrancos, despeñaderos, suaves colinas, praderas, caudalosos ríos, lagunas, bosques y selvas (USAC, 2000, p. 5).

Debido a la variada topografía del departamento, como la climatología en relación con la elevación y sinuosidad del terreno, hacen que en la región se puedan encontrar representados distintos biomas o comunidades vegetales

distinguibles por su estructura y composición de especies. Entre ellos podemos mencionar: bosque de montaña, selva de montaña, chaparral espinoso y selva tropical lluviosa. La mayoría de estos (los primeros tres) poseen una influencia Neártica, mientras que la última posee una influencia Neotropical (USAC, 2000, p. 5).

3.4 De investigaciones semejantes.

Las composiciones de las comunidades de salamandras en la cordillera de los Cuchumatanes, en el oeste de Guatemala fueron estudiadas preliminarmente durante las décadas de 1940 por Stuart y, de una manera más amplia, durante la década de 1970 e inicios de 1980 por investigadores de la Universidad de California en Berkeley. Trece (13) especies de salamandras han sido reportadas para la Sierra de los Cuchumatanes. En estas regiones habitan menos especies de salamandras pero un número mayor de géneros, en comparación con las montañas del Pacífico. Estas diferencias de diversidad están correlacionadas con una edad geológica mayor y con una conexión entre regiones de alta elevación en comparación con las montañas del Pacífico (Elías, 1984, p. 1)

En 1999, Parra-Olea, G., García-París M. & Wake, D., publicaron un estudio acerca de la comparación del estatus poblacional en dos tiempos distintos (década de 1970 vs. década de 1990) de algunas especies de salamandras en México, evidenciando y confirmando la persistencia de numerosas especies cuyo estatus era desconocido. Observaron y concluyeron al final de su estudio que muchas especies de salamandras aún se encontraban en los sitios donde fueron

encontradas, pero en una densidad comparativamente muy baja que durante las primeras visitas en la década de 1970 e inicios de 1980.

En el 2009, Rovito, S. *et.al.* corroboraron que existe un declive de salamandras en numerosos puntos de Centro América, en especial en la región de San Marcos, Guatemala. Este lugar se considera como uno de los más diversos y con mayor abundancia de especies de salamandras en toda la región. También demostraron que las especies de salamandras especialistas han sido las más afectadas a comparación de las generalistas. Así también, este declive está ocurriendo en numerosos sitios en donde las modificaciones al hábitat son escasas o nulas, lo que sugiere que la explicación de esto no puede ser solamente por la destrucción local del hábitat, sino que por procesos regionales o bien una combinación de ambos. Los resultados de esta investigación muestran un colapso en las regiones altas de los bosques nubosos y que las abundancias y ensambles de salamandras en sitios de grandes alturas han sido modificadas.

3.5 De las salamandras (Orden Caudata).

La mayoría de salamandras son animales de cuatro extremidades con una cola larga. El tronco está segmentado superficialmente por medio de surcos costales, que facilitan el movimiento del agua por la superficie del cuerpo. Algunas tienen sus extremidades muy reducidas o completamente ausentes. El tamaño de las salamandras varía entre 30mm hasta casi 2 m de largo total. Muchas son terrestres pero regresan al agua en época de reproducción. Otras especies son

completamente terrestres o acuáticas. En la familia Plethodontidae se encuentran especies arborícolas y excavadoras (Pough, 2004, p. 524).

La piel de las salamandras comparte algunas características como la presencia de glándulas de veneno y moco. Un tipo de estas glándulas de moco es la fuente de feromonas involucradas en atracción precopulatoria. En aquellas salamandras con etapa larvaria, sus larvas son similares a los juveniles y adultos, con la diferencia que presentan branquias y otras características típicas de la vida acuática. Algunas salamandras nunca terminan la metamorfosis y se reproducen en estado larvario. Virtualmente, todas las salamandras retienen o presentan algunas características larvales o juveniles cuando son adultas. Existen sesenta géneros y aproximadamente 606 especies identificadas. Las salamandras extantes están presentes principalmente en Norteamérica y Eurasia templada. Sin embargo, la tribu Bolitoglossini de la familia Plethodontidae, ha tenido una radiación extensiva con más de 266 especies en Centro y Sudamérica (Pough, 2004, p. 524; www.amphibiaweb.org).

3.5.1 Familia Plethodontidae

Esta familia es la más diversa de todas las salamandras (27 géneros y 414 especies) y es la única que se encuentra distribuida en los Centroamérica. Todas las especies carecen de pulmones y su desarrollo es directo. Las formas del cuerpo varían grandemente, de relativamente robustas a alongadas. Muchas son arborícolas y presentan membranas interdigitales y colas prensiles. Las salamandras plethodontidas tropicales muestran un patrón geográfico típico para

muchos vertebrados tropicales: poseen muchas especies, pero su distribución se encuentra geográfica y altitudinalmente restringida. La mayoría de las especies son difíciles de coleccionar donde se encuentran distribuidas y su diferenciación genética es grande en escalas locales por lo que su diversificación ocurre en áreas geográficas restringidas e incluye diferenciación y zonación altitudinal y geográfica por lo que su distribución suele ser local y rara (Wake & Lynch, 1976; Wake, Papenfuss & Lynch, 1992, p. 305; García-Paris, 2000, p. 1640; www.amphibiaweb.org).

3.5.2 De las especies a estudiar.

Pseudoeurycea rex. Está presente en elevaciones de 2750 a más de 4000 metros sobre el nivel del mar (msnm). Viven bajo y entre troncos podridos, bajo rocas y musgo, por lo que se puede decir que es una especie terrestre. El patrón de coloración de esta especie va de café a negro, existiendo diferencias en la membrana interdigital (Elias, 1984, p. 14).

Bolitoglossa rostrata está presente desde la Meseta Central de Chiapas, a través de los Cuchumatanes hasta las montañas del Pacífico de Guatemala. Se encuentra debajo de troncos, hojarasca y debajo de rocas y al igual que *P. rex*, es una especie terrestre. Es activa en noches lluviosas y está presente entre 2700 a más de 3000 msnm. (Elias, 1984, p. 11).

4. JUSTIFICACIÓN

El estudio del estado de las poblaciones de organismos permite proponer la aplicación de medidas de conservación de una o varias especies en caso necesario (USAC, 2000, p. 8). Las poblaciones que se encuentran en reducción, requieren investigaciones para entender por qué el estatus de la misma se encuentra de esa manera. Para conocer bien el estatus poblacional de una especie, es importante analizar los datos o hacer comparaciones de una población en dos momentos distintos y con una buena separación temporal ya que esto permite observar cómo una población varía a lo largo del tiempo. En esta investigación se realizará solamente la evaluación del estatus de las poblaciones ya que para determinar por qué se encuentra el estatus como está se debe de planificar un monitoreo y un estudio completo que pueden tomar varios años de muestreo.

Se eligió trabajar con *Pseudoeurycea rex* y *Bolitoglossa rostrata* (Fam. Plethodontidae) ya que éstas fueron ampliamente colectadas en numerosos puntos de la región del altiplano de Guatemala durante la década de 1970 y según datos publicados, ha existido un gran declive de salamandras en las regiones de San Marcos y otros sitios de México (Rovito, S., *et.al.*, 2009, p. 3231). Estas especies están presentes únicamente en regiones altas de 2800 a 4200 msnm en el altiplano guatemalteco y algunas regiones de Chiapas (Papenfuss & Wake, 1992 p. 305; Elias, 1984, p. 11). Así también, existen publicaciones recientes que demuestran un declive dramático en las poblaciones de salamandras

neotropicales durante los últimos 35 años (Parra-Olea, 1999, p. 217; Rovito, S., *et.al.*, 2009, p. 3231).

Además, el conocimiento del estado de las poblaciones puede permitir la generación de mejores políticas de conservación que no solamente protegerán a esta especie, sino que también permitirá el fortalecimiento de la conservación general de una región.

5. OBJETIVOS

5.1 General

Comparar el estatus poblacional de *Pseudoeurycea rex* y *Bolitoglossa rostrata* en el departamento de Huehuetenango en la década de 1970 y actualmente.

5.2 Específicos.

- a. Verificar la presencia/ausencia actual de estas especies en los sitios muestreados durante la década de 1970.
- b. Estimar la abundancia de *Pseudoeurycea rex* y *Bolitoglossa rostrata* en cada sitio muestreado.
- c. Comparar los datos actuales de presencia/ausencia con los registros de la década de 1970.

6. HIPOTESIS

El estatus poblacional de *Pseudoeurycea rex* y *Bolitoglossa rostrata* ha variado durante los últimos 30 años debido a cambios en el uso del suelo y por factores globales.

7. MATERIALES Y METODOS

7.1 Materiales.

7.1.1 Equipo.

RUBRO	CANTIDAD	COSTO (Q)
GPS	1	3000
Cortador de Bromelias	1	1500
Machete	2	100
Bolsas Plásticas Ziploc	50	100
Cámara Fotográfica	1	5000
Jeringas	5	10
Platos Plásticos	5	50
Botes plásticos de 2000 ml	2	200
Botes plásticos de 50 ml	50	200
Hilo de cáñamo	30 mts	30
Pinzas	4	40
Papel libre de Acido	5	5
Marcadores Staedler	4	60
Lapiceros	2	2
Linterna de mano	2	500
Linterna de cabeza	2	300

Viáticos (hospedaje, alimentación, transporte)	6 viajes	6000
Papel Mayordomo	4 rollos	40
Tubos para tejidos	100	500
Gradillas	2	50
Baterías tipo "D"	24	96
Baterías tipo "AAA"	12	30
Bombillas de repuesto	2	20
Libreta de campo	1	20
Capa impermeable	1	125
Brújula	1	150
Rastrillo	2	100
Guías de campo	2	600
Kit de disección	1	200
Subtotal		19028

7.1.2 Reactivos.

Rubro	Cantidad	Costo
Formalina	1 litro	50
Alcohol Etílico al 70%	2 galones	150
Anestesia	500 ml	150
Hipoclorito de sodio	1 galón	30
Subtotal		380
TOTAL DE INVESTIGACIÓN		19408

7.2 Métodos.

7.2.1 Universo.

Población: salamandras *Pseudoeurycea rex* y *Bolitoglossa rostrata* de la región alta de la Sierra de los Cuchumatanes.

Muestra: salamandras *Pseudoeurycea rex* y *Bolitoglossa rostrata* colectadas en los sitios de muestreo.

7.2.2 Variables.

Dependiente

- Abundancia de salamandras en cada sitio.

Independiente

- Temporalidad de los datos.
- Sitios de muestreo.
- Condiciones de perturbación del hábitat de los sitios de muestreo.

7.2.3 Métodos de colecta y preservación de ejemplares

Las colectas de especímenes fueron diurnas de 10:00 a 15:00 horas, teniendo un total de 5 horas efectivas de búsqueda multiplicadas por el colector y una persona acompañante, para dar un total aproximado de 10 horas diarias de muestreo neto, semejante a lo que se realizó durante la década de 1970 para reducir el sesgo al momento de realizar las comparaciones. Para estimar el esfuerzo de colecta se recurrió a las libretas de campo de los investigadores anteriores depositados en el Museum of Vertebrate Zoology (MVZ) donde se

indicó en la mayoría de veces cuántos días colectaron en esos sitios. Según datos publicados en internet por el MVZ (<http://arctos.database.museum/SpecimenResults.cfm>) y seleccionando los sitios de muestreo, se ha estimado que el tiempo para colectar especímenes en los diferentes lugares tiene un promedio de 1 o 2 días y usualmente a no más de 1 km de la carretera principal por lo que para los sitios actuales se trató de seguir la misma metodología.

Así también, basándose en las anotaciones de campo de los investigadores de la década de 1970, se realizaron comparaciones de varios parámetros que se tomaron en cuenta –como por ejemplo: estado de la cobertura boscosa, descripción del lugar de colecta, entre otros-.

Se realizó una proyección por medio del Sistema de Información Geográfica (SIG) para evaluar la cobertura boscosa en ambas épocas de colecta y así determinar si el estatus poblacional está correlacionado con la cobertura boscosa.

Los individuos colectados se sacrificaron por sobredosis de anestesia, ya que esta técnica permite que queden flácidos y se pueden acomodar de la manera indicada para estudios posteriores (Manzanilla y Péfaur, 2000, p. 24). Se sumergieron los especímenes en una solución al 10% con el anestésico MS222, o bien en cloretone o algún anestésico similar (pentobarbital sódico, por ejemplo). Luego de que el ejemplar se encontraba muerto, se tomaron muestras de tejido hepático, y se preservaron dichas muestras en etanol al 95%. Para conservar al espécimen se utilizó un fijador o líquido conservante para que no se descomponga

y sirva para estudios posteriores. En este caso se les roció formalina (formol al 10%) para que se conservaran mejor y luego se introdujeron a los organismos en frascos con alcohol etílico al 70% (Manzanilla y Péfaur, 2000, p. 24). Todos los especímenes sacrificados y sus respectivos tejidos fueron depositados en las colecciones de referencia del Museo de Historia Natural de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

7.2.4 Elección de los sitios de muestreo.

Se revisaron un total de 14 sitios de colecta, incluyendo 10 donde ya se habían realizado muestreos durante la década de 1970 y 4 nuevos sitios en donde las condiciones eran las óptimas para encontrar estas especies. La elección de los sitios se basó en los siguientes criterios:

- a. Accesibilidad: la mayoría de los sitios seleccionados para esta tesis fueron seleccionados basándose en dos factores principales: permisos para muestrear por parte de los propietarios y accesibilidad para llegar al sitio desde la carretera.
- b. Área en km²: el área total de estudio de la tesis abarca la mayor cantidad posible de kilómetros cuadrados en el área, aproximadamente unos 208 km².
- c. Abundancia de especímenes encontrados en la década de 1970: en estas regiones se observa una gran abundancia de especímenes de una o ambas especies, con un promedio más de 20 especímenes colectados

por día, por lo que se seleccionaron lugares donde la abundancia de las especies era alta.

7.2.5 Análisis estadístico.

Para estimar la abundancia relativa se dividió el total de individuos de cada una de las especies dentro del total de individuos de todas las especies colectadas en el estudio. Esta abundancia se hizo por sitio individual y en conjunto. La abundancia relativa puede ser definida como el número de organismos relativo al número de organismos de otra población (por ejemplo: 1 salamandra por cada 2 lagartijas) (Krebs, 1999, p. 127; Moreno, 2001, p. 35; Gürtler, 2009, p. 2).

Se realizó la prueba de Mann-Whitney para detectar diferencias en los tratamientos y para determinar si un grupo de datos proviene de la misma distribución, es decir, que si sus medianas varían significativamente (Zar, J., 1999; Quinn & Keough, 2002, p. 104). Para realizar estos análisis, se utilizó el programa InStat Graphpad (GraphPad Software, Inc.).

Por último, se estimó la probabilidad de encuentro de salamandras por hora por persona dividiendo el número de salamandras entre el número de personas que buscaban y este resultado entre la cantidad de horas utilizadas en el sitio (Rovito, S., *et.al.*, 2009, p. 3235; Cortez-Fernández, 2006, p. 54).

8. RESULTADOS.

Se realizaron numerosas búsquedas de las especie de salamandras *Pseudoeurycea rex* y *Bolitoglossa rostrata* en un total de 14 sitios, 10 de los cuales ya se habían realizado colectas durante la década de 1970 y 4 nuevos sitios para confirmar la presencia de poblaciones grandes de estas especies en la cumbre de la Sierra de los Cuchumatanes. Cada sitio de muestreo posee un punto GPS central a partir del cual se empezó a realizar la búsqueda (en la época actual). A partir de los diarios de campo y/o catálogos de los investigadores de la década de 1970 se calculó el esfuerzo de colecta por cada sitio y total y así también las condiciones de hábitat/bosque en ese entonces. Una vez obtenidos los datos, se procedió realizar las pruebas estadísticas establecidas en la sección de métodos de esta tesis.

Tabla 1. Número de salamandras colectadas/observadas en las localidades de estudio.

PUNTO GPS		LOCALIDAD	No. DE VISITAS	<i>P. rex</i>	<i>B. rostrata</i>	ESFUERZO
15.55 N	-91.5 W	(1) RN-9 7.4 mi SW San Juan Ixcoy, km 303 (3372 msnm).	(1970's) 12 sept. 1972. Viaje	26	33	N/D
			(2010) 1	1	0	6 horas
15.62 N	-91.43 W	(2) RN-9, San Juan Ixcoy near km 139 (2109 msnm).	(1970's) 30 mar 1974.	21	51	N/D
			(2010) 1	0	0	6 horas
15.64 N	-91.45 W	(3) RN-9 52.7 km N by road from Huehue (2202 msnm)	(1970's) 1 de feb. 1974.	**	44	N/D
			(2010) 1	**	0	N/E
15.572137 N	-91.47953W	(4) Rio Quisil, Camino Huehue- Barillas, near km140 (3280 msnm).	(1970's) 2 sep. 1974 y 20 agosto 1975.	211	64	6 horas
			(2009-2010) 2 viajes	0	0	10 horas
15.56391 N	-91.45576W	(5) Camino debajo de Captzín (2594 msnm).	(1970's) 20 agosto de 1975. 1	192	122	12 horas
			(2009) 1	0	0	10 horas
15.49 N	-91.57 W	(6) Camino a Todos Santos (2800 msnm).	(1970's) 25 y 27 de junio de 1977	**	65	2 horas
			(2010) 1	**	0	6 horas
15.47871 N	-91.55888 W	(7) Paquix, ts, 4.2 km S, 6.2 km E by air (3155 msnm).	(1970's) 11 sep. 1972. 1	0	15	N/D
			(2010) 1	0	2	5 horas

15.48956 N	(8) paquix, ts, 3 km S, 5 Km by air					
-91.57007 W	(2831 msnm).	(1970's) 11 sep. 1972	3	42	1.5 horas	
		(2010) 1	2	0	6 horas	
15.566166 N	(9) Km 311 at stream below Captzín					
-91.477308W	(3084 msnm)	(1970's) 25 junio de 1977. 1	39	66	N/D	
		(2009) 2	0	0	10 horas	
15.71 N	(10) RN-9 entre Soloma y Santa					
-91.45 W	Eulalia (2589 msnm).	(1970's) 12 sep. 1972. 1 viaje	13	**	N/D	
		(2010) 1	0	**	6 horas	
15.553895N						
-91.60315 W	(11) Puerta del Cielo (3330 msnm).	(1970's)	***	***		
		(2009) 3	85	**	18 horas	
15.482976 N						
-91.533902W	(12) La Torre (3766 msnm).	(1970's) 0	***	***		
		(2009) 3	46	3	18 horas	
15.536806N						
-91.450547W	(13) Aldea Las Milpas (3066 msnm).	(1970's) 0	***	***	12 horas	
		(2009) 1	**	7		
15.533455N	(14) Laguna Magdalena (3159					
-91.415569W	msnm).	(1970's) 0	***	***	18 horas	
		(2009) 2	**	35		

N/E = no se realizaron esfuerzos de colecta.

N/D = No definido.

** = La especie no se encontró en la localidad.

*** = no se realizaron muestreos durante los 70's en el lugar

Descripción de los sitios de muestreo.

Sitio 1. 15.55 N -91.5 W, Ruta Nacional 9, 7.4 millas al sureste de San Juan Ixcoy. En este sitio, durante la década de 1970 (12 de septiembre de 1972) se realizó únicamente un viaje, en el cual no se especifica en las libretas de campo las horas de esfuerzo realizadas en el sitio. Como se puede observar en la tabla 1, la cantidad de salamandras encontradas fue de un total de 59 (26 *P. rex* y 33 *B. rostrata*). Para realizar una breve comparación de las condiciones del hábitat durante esa época y actualmente, se revisó el diario de campo de J.F. Lynch, en el cual se puede hacer referencia de que en este sitio existía un bosque puro de pino (*Pinus hartwegii*) en los cuales se podían encontrar muchos troncos podridos en donde buscar salamandras. Realizando una comparación con los datos actuales, tomados durante el año 2010, se puede comprobar una declive grande con respecto a la abundancia de salamandras en el lugar, ya que en este sitio se realizó un total de 6 horas de esfuerzo neto en búsqueda de estas dos especies, sin embargo se encontró únicamente 1 *Pseudoeurycea rex* en un pequeño parche de *Juniperus standleyi* el cual estaba rodeado de cultivos de papa, de suelo cubierto por gramíneas y los parches de bosque representaban únicamente una pequeña cantidad de árboles juntos que se podían contar fácilmente en el lugar ya que este se encontraba muy abierto y deforestado.

Sitio 2. 15.62 N -91.43 W. RN-9, San Juan Ixcoy, cerca del km 139. El día 30 de marzo de 1974 se realizó el único viaje a este sitio de colecta ubicado a 2.5 kilómetros adelante del pueblo de San Juan Ixcoy. En esa época no se reporta el

esfuerzo total realizado por los investigadores en el lugar, sin embargo, muestra que se colectaron un total de 72 especímenes (21 *P. rex* y 51 *B. rostrata*), siendo esta una alta cantidad de especímenes colectados con respecto a otros sitios muestreados durante esa época. El 07 de junio de 2010 se visitó este sitio para realizar muestreos con un total de 6 horas de esfuerzo, pero se encontró que todo el suelo se utilizaba en el sitio para dos actividades: vivienda y cultivo de maíz. No se tienen descripciones del lugar durante los 70's, pero ahora este sitio está en su mayoría deforestado, encontrándose pequeños parches de bosque de encino los cuales se encuentran rodeados por parcelas de maíz (ver fotografías en anexos). En este sitio no se encontraron salamandras de ninguna especie dentro o fuera del estudio

Sitio 3. 15.64 N -91.45 W. RN-9 a 52.7 km a partir de Huehuetenango por carretera. Este sitio fue visitado una vez el 01 de febrero de 1974. En este lugar se encontró en la década de 1970 únicamente a la especie *B. rostrata* (44 individuos). No se conocen las condiciones del bosque en esa época, aunque el 07 de junio de 2010 se visitó el lugar y se observó que en un radio aproximado de 500-700 metros no habían parches de bosques lo suficientemente grandes para ser visitados, por lo que se recurrió a viajar un par de kilómetros sobre la carretera hacia el municipio de Soloma, pero se encontraron pequeños parches de bosque joven con árboles no mayores a los 6-8 metros de alto, indicando así que el bosque original de la región no existía más.

Sitio 4. Río Quisil, camino Huehue-Barillas. En este sitio, investigadores durante los 70's realizaron 2 viajes (2 de septiembre de 1974 y 20 de agosto de 1975), acumulando un total de 6 horas netas de muestreo en el sitio, en el cual encontraron 211 *P. rex* y 64 *B. rostrata*. En el diario de campo de Paul Elias se puede leer una breve descripción del bosque en esa época, el cual lo describe como un bosque de pino con arbustos deciduos, gramíneas y musgo cubriendo todo el suelo, el cual está formado por piedra caliza. Actualmente este sitio posee un bosque mixto de pino encino con árboles de no más de 10 mts de altura. La cantidad de troncos caídos en el sitio es escasa y el suelo se encuentra cubierto principalmente por gramíneas que aprovechan las entradas de luz para crecer. La presencia de musgo se reduce a aquellos lugares en las bases de los árboles donde la luz solar no penetra completamente. En este sitio no se encontraron salamandras de ninguna especie fuera o dentro del estudio aunque se visitó dos veces con un total de 10 horas de muestreo.

Sitio 5. Camino debajo de Captzín. Esta localidad es una de las más abundantes que se han descrito en esta tesis ya que durante el día 20 de agosto de 1975, Paul Elias y otros investigadores utilizaron un total de 12 horas de esfuerzo con el resultado de encontrar 192 *P. rex* y 122 *B. rostrata* en el sitio. En el diario, P. Elias describe al sitio y sus cercanías como parches de bosque de encino con árboles de quizá 50 mts de alto cubiertos de musgo y abruptamente aparecen parches abiertos de pinos con el suelo cubierto por gramíneas. Actualmente, las condiciones de bosque en este sitio son semejantes a las del sitio 4, que además por su cercanía se podría pensar que se debe al mismo efecto de presión humana

sobre el bosque, el cual lo ha modificado a lo largo de estos 30 años de comparación. En este sitio se buscó durante un total de 10 horas (2 horas menos a comparación de 1975) y aunque fue muy semejante al esfuerzo realizado hace 35 años, no se encontró ningún espécimen, esto soporta también la hipótesis inicial de la tesis la cual argumenta que existe un cambio en el estatus poblacional de *P. rex* y *B. rostrata* en los dos tiempos estudiados.

Sitio 6. 15.49 -91.57. Camino a Todos Santos. En este sitio durante el 25 de junio se colectaron un total de 65 salamandra *B. rostrata*, realizando un esfuerzo de 2 horas en el sitio. En los diarios de campo de los investigadores de esa época mencionan que existía un bosque mixto de pino-encino húmedo con gran cantidad de troncos caídos y musgo. Se realizó un viaje en marzo de 2010 a este sitio para corroborar la presencia de *B. rostrata* en el sitio y, aunque se estuvo en el lugar un total de 6 horas de esfuerzo (el triple de lo realizado en 1977), no se logró realizar ninguna colecta aunque el parche de bosque de pino (*Pinus hartwegii*) era de aproximadamente 200 mts x 100 mts de perímetro, se encontraron pocos troncos caídos y la cantidad de musgo era escasa en el lugar, lo que puede provocar la ausencia de salamandras en el sitio por la ausencia de un refugio donde poder guarecerse. Además, en los alrededores del bosque, se observaron cultivos (de papa principalmente) y numerosos caminos los cuales han fragmentado la continuidad del bosque en el lugar, afectando esto también la existencia de salamandras en esta localidad.

Sitio 7. 15.47871 N -91.55888. Paquix, Todos santos, 4.2 km S, 6.2 km E por aire. Durante el 11 de septiembre de 1972 se encontraron un total de 15 *B. rostrata* en un bosque que según las notas de campo de esa época era un bosque de Ciprés (*Cupressus lusitanica*). Se realizó un viaje en marzo de 2010 a este sitio y se corroboró que actualmente este bosque está constituido por bosque de pino (*P. hartwegii*) y escasos cipreses que son remanentes del bosque que se observó 38 años atrás en la misma localidad, pero no se encontraron especímenes, por lo que se buscó un parche cercano para seguir con la búsqueda de salamandras y se encontraron 2 *B. rostrata* en las coordenadas 15.466349 N -91.579610 W a 2.5 km suroeste de la localidad original. Cabe mencionar que el sitio donde se encontró la especie se encontraba 500 mts más alto que la localidad original (3200 vs. 3700 msnm) de búsqueda y en un parche de bosque puro de *P. hartwegii* teniendo como vegetación arbustiva a *J. santdleyii*. Los especímenes se encontraron dentro de troncos podridos húmedos y la cantidad de troncos era escasa.

Sitio 8. 15.48956 -91.57007. Paquix, Todos Santos, 3 km S, by air. Durante el 11 de septiembre de 1972 se realizaron colectas en esta región y se encontraron un total de 3 *P. rex* y 42 *B. rostrata* en el sitio. El total de esfuerzo realizado fue de aproximadamente 1.5 horas en el lugar. En marzo de 2010 se realizó un viaje con un esfuerzo total de 6 horas con la obtención de 2 *P. rex* en el sitio. El bosque actualmente es mixto entre *P. hartwegii* y algunos árboles de pinabete (*Abies guatemalensis*) de gran tamaño. En sí el parche no era tan grande y estaba

rodeado por cultivos y casas, pero aún tenía algunos troncos caídos de *A. guatemalensis* presentes.

Sitio 9. Km 311 en un arroyo bajo Captzín. Investigadores del MVZ realizaron el 25 de junio de 1977 un recorrido en esta localidad con el resultado de 39 *P. rex* y 66 *B. rostrata* colectadas. Durante el año 2009 se realizaron 2 viajes de campo con un total de 10 horas muestreadas a este sitio para coleccionar estas especies con el resultado de no encontrar ningún espécimen objetivo. No se cuenta con la descripción del lugar ni el esfuerzo realizado durante la década de los 70's, pero actualmente existe un bosque joven de *P. hartwegii* de quizá 10-15 años en el área. Una razón por la cual este sitio (aparte del alto consumo de leña en la región) se encuentra tan deforestado y con bosques jóvenes es que la carretera pasa a un lado de él, lo que puede favorecer el fácil acceso para la extracción de madera y también se debe considerar que cuando una carretera se construye usualmente se afectan los bordes de la misma, deforestando varias decenas de metros a sus lados. Además, este sitio suele ser demasiado empinado y rocoso y se evidencia que varios sitios en la cercanía se tuvieron que escombrar gran cantidad de rocas que fueron tiradas hacia el fondo del precipicio que se encuentra allí.

Sitio 10. 15.71 -91.45. RN-9 entre Soloma y Santa Eulalia. Durante el día 12 de septiembre de 1972 se realizó un viaje de colecta con el resultado de 13 *P. rex* capturadas. Se realizó un viaje el día 08 de junio de 2010 a esta localidad pero no se encontraron salamandras. A pesar de que el bosque era mixto de pino-encino

y con árboles grandes más de 20 mts y poseía bastante humedad y musgo, no se logró coleccionar nada.

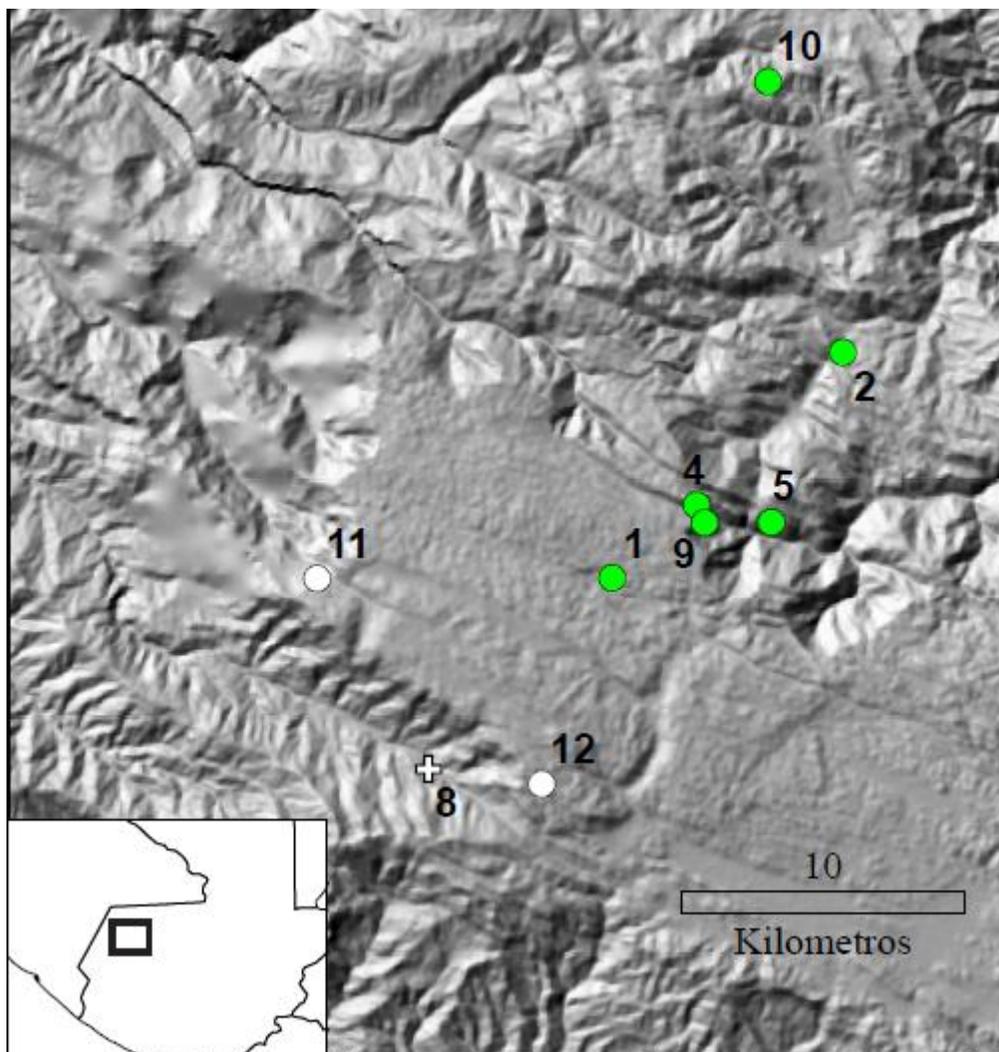
Sitio 11. Puerta del Cielo, Todos Santos. Debido a la necesidad de encontrar nuevos sitios, se procedió a buscar lugares que reunieran características idóneas para la presencia de salamandras en la parte alta de la Sierra de los Cuchumatanes. Este sitio es un bosque de aproximadamente 80 hectáreas de bosque puro de pinabete (*A. guatemalensis*) el cual se extiende desde los 3100 hasta los 3400 msnm y cuenta con las características idóneas para la búsqueda de salamandras (musgo cubriendo la totalidad del suelo, troncos podridos en gran cantidad y bastante humedad proveniente de la región de México). En este sitio se encontraron 85 *P. rex* en 15 horas totales de esfuerzo y demuestra que aún existen regiones en las cuales las condiciones son óptimas para el desarrollo de *Pseudoeurycea rex*.

Sitio 12. La Torre, Todos Santos. Este sitio es la región más alta de la Sierra de los Cuchumatanes con 3856 msnm. En este lugar se encontraron 46 *P. rex* y 3 *B. rostrata* en un tiempo total de 18 horas efectivas. Cabe mencionar que este es el primer lugar donde se encuentran ambas salamandras en simpatría. Esta observación fue realizada durante los 70s por los investigadores del MVZ, pero no se había observado aún en el 2009 y 2010

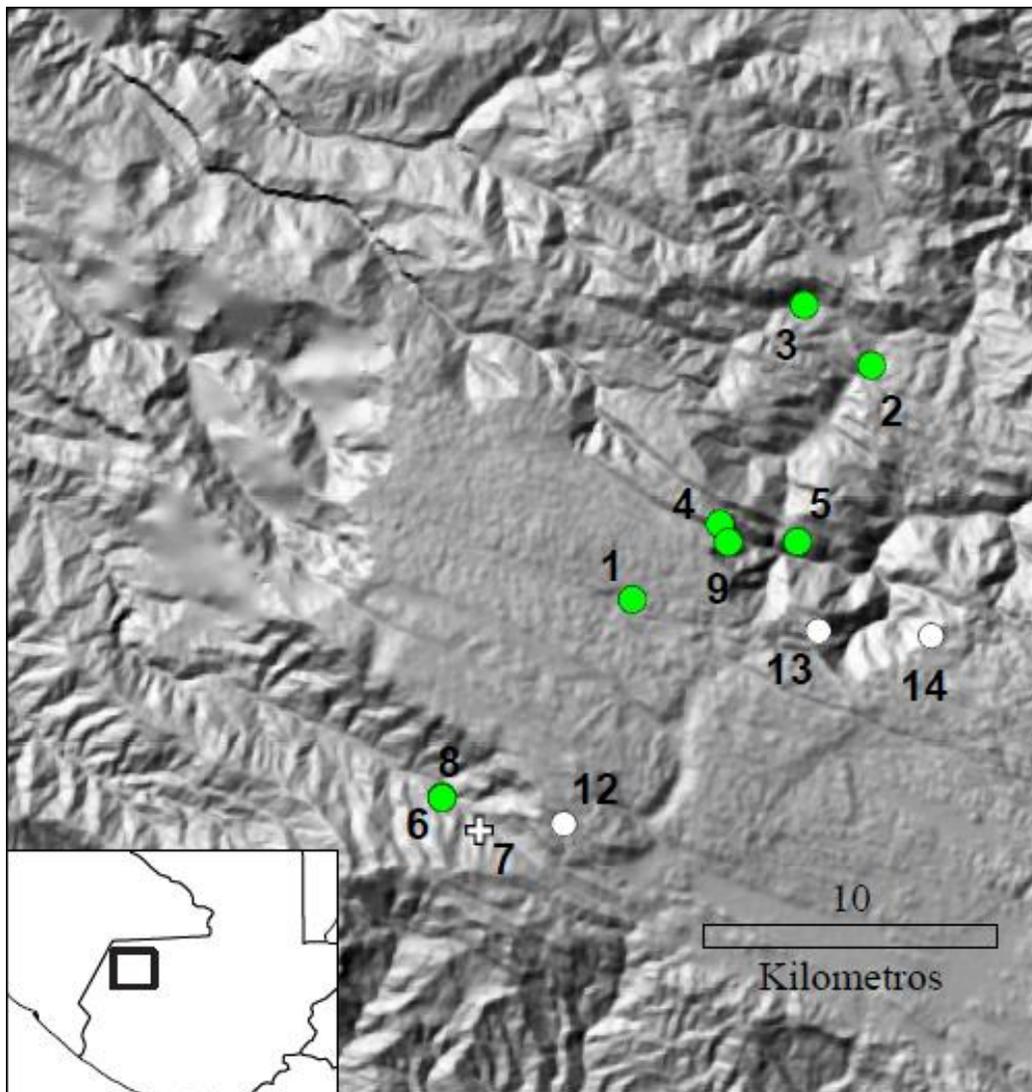
Sitio 13. Aldea las Milpas, San Juan Ixcoy. Esta aldea se encuentra a 3000 msnm. En ella se muestreó únicamente en el año 2009, no teniendo registros así de los años 70s. En esta región se encontraron 7 *B. rostrata* en un total de 6

horas de muestreo. Cabe mencionar también que el bosque de este lugar se encontraba comprendido por pino, ciprés, pinabete y encino. En los parches más densos se encontraba musgo cubriendo el suelo y escasos troncos podridos.

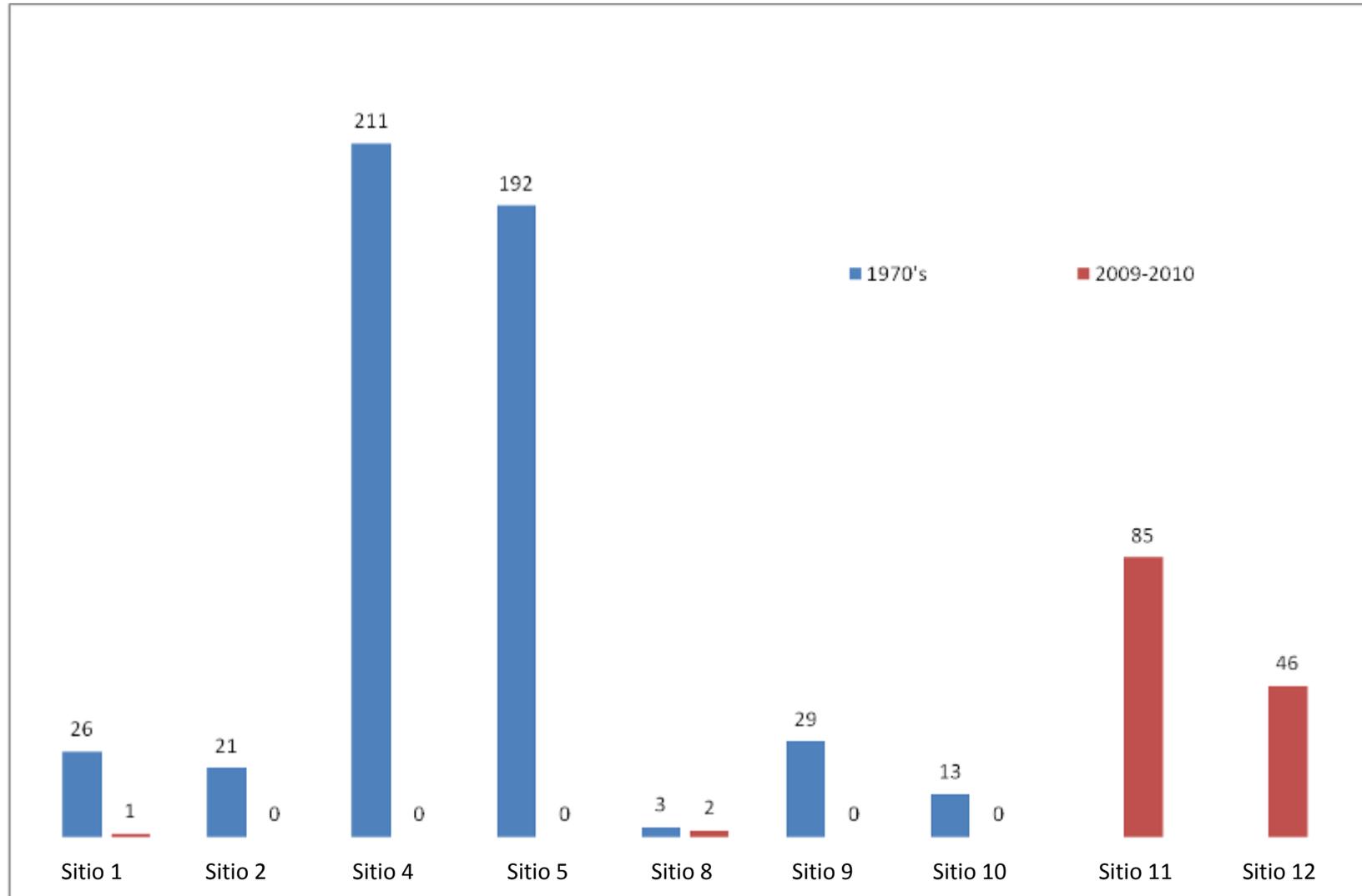
Sitio 14. Laguna Magdalena, Chiantla, Huehuetenango. En este sitio tampoco se realizaron colectas durante la década de los 70's. En este sitio se observaron y colectaron un total de 35 *B. rostrata* las cuales fueron encontradas principalmente dentro de troncos podridos. El bosque predominante de esta región es pino con algunos árboles de encino. La cantidad de troncos es escasa y así también la de musgo. Alrededor de la laguna existe un bosque muy joven de aproximadamente 5-10 años de edad por lo que se tuvo que buscar en las colinas circundantes a la laguna en un radio de 1km. En este sitio se realizó un total de 15 horas de muestreo.



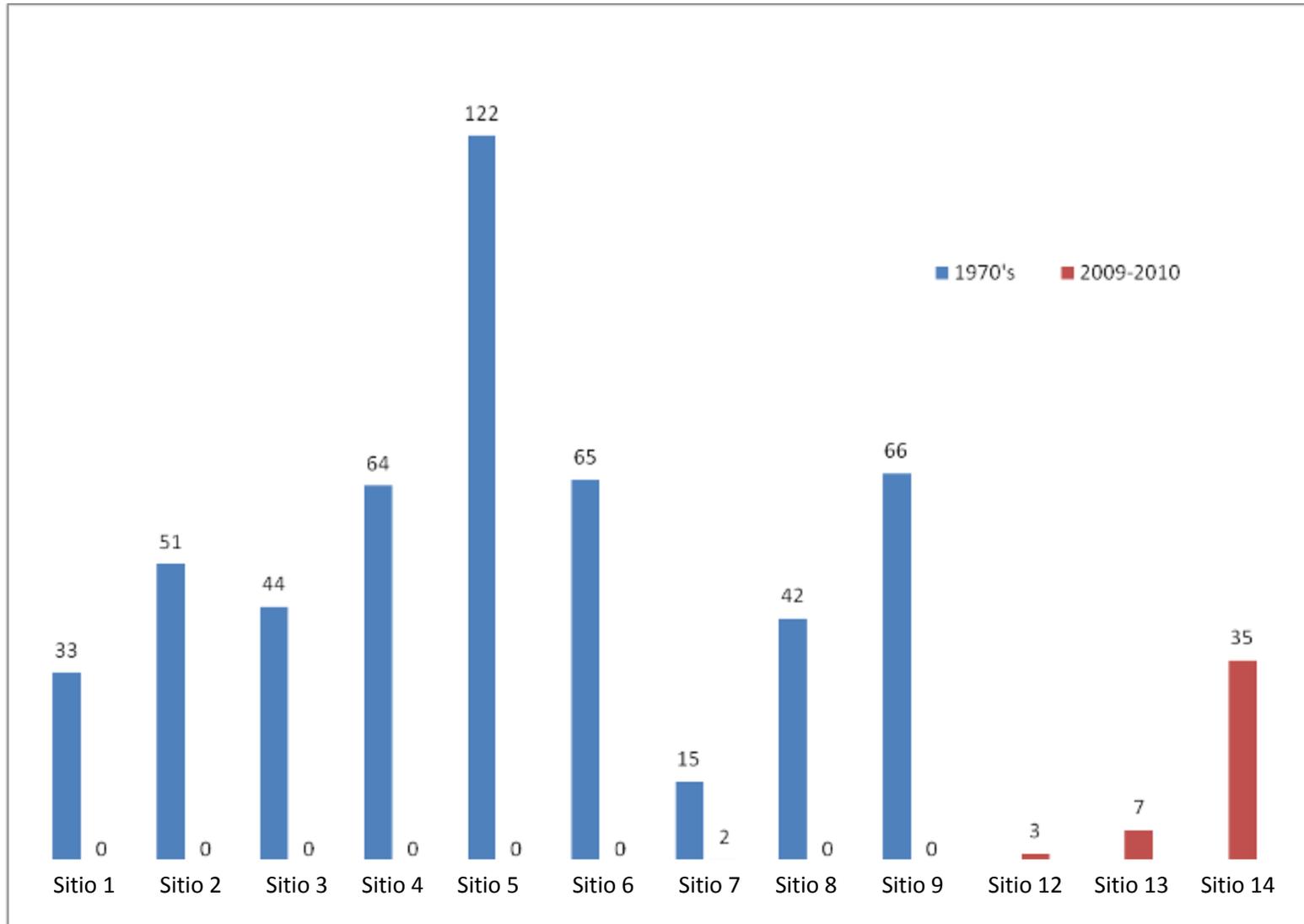
Mapa 1. Localidades/sitio de búsqueda de *Pseudoeurycea rex*. Simbología: **A.** Puntos blancos = especies encontradas en 2009-2010, ningún viaje durante los 70's. **B.** Cruz blanca= especies encontradas en ambos periodos de tiempo. **C.** punto verde = especies encontradas durante los 70's, pero no el 2009-2010.



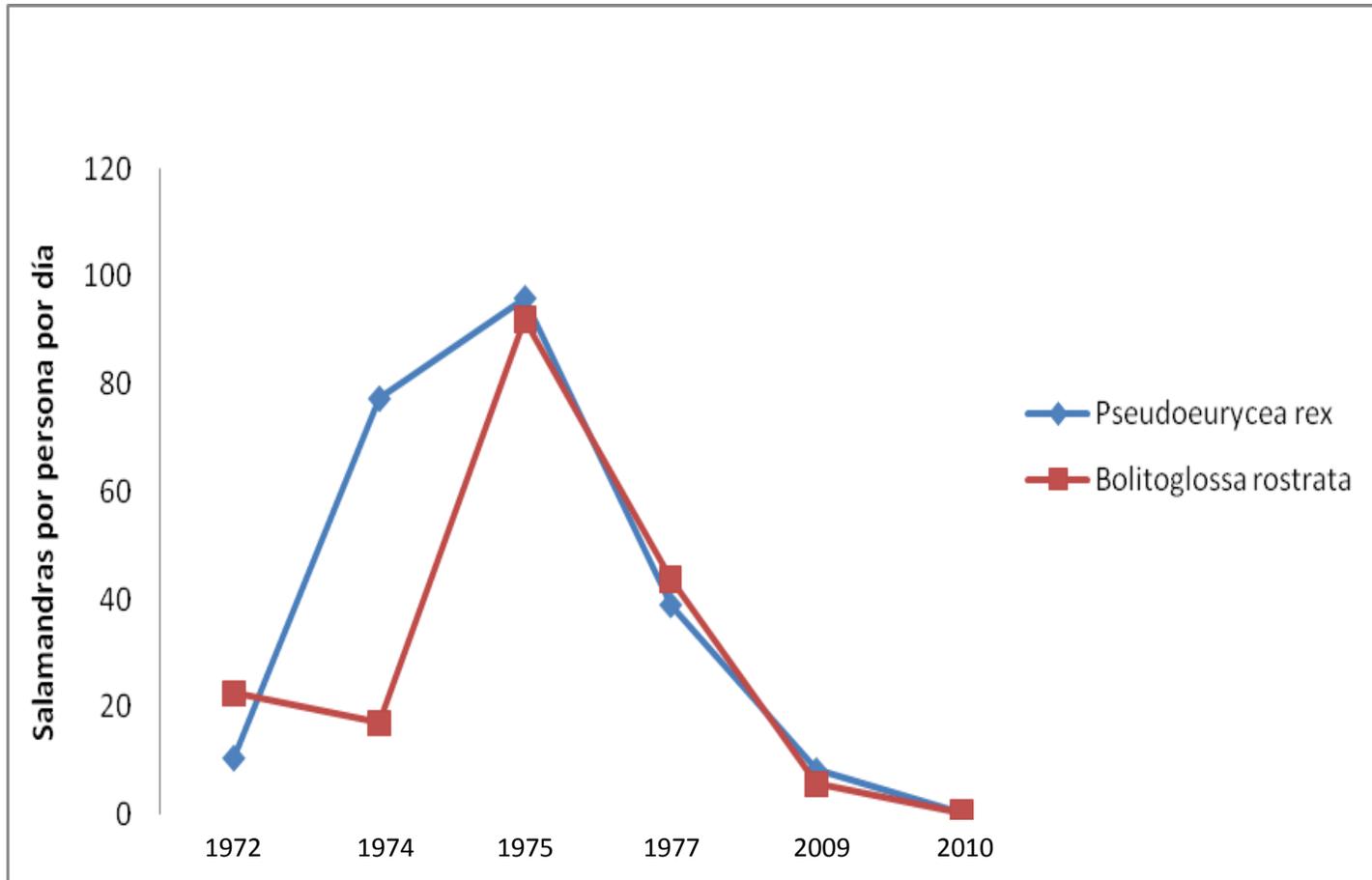
Mapa 2. Localidades/sitio de búsqueda de *Bolitoglossa rostrata*. Simbología: **A.** Puntos blancos = especies encontradas en 2009-2010, ningún viaje durante los 70's. **B.** Cruz blanca= especies encontradas en ambos periodos de tiempo. **C.** punto verde = especies encontradas durante los 70's, pero no el 2009-2010.



Gráfica 1. Comparación gráfica de colectas en todas las localidades de *P. rex*.



Gráfica 2. Comparación gráfica de las localidades de *Bolitoglossa rostrata*.



Gráfica 3. Tasa de encuentro de salamandras por persona por día en todos los años muestreados para esta tesis. Nótese la disminución que se tiene para los años 2009 y 2010 con respecto a los años anteriores.

Tabla 2. Datos comparativos de la cantidad de individuos de *Pseudoeurycea rex* en los dos tiempos analizados.

SITIO	1970's	2009-2010
1	26	1
2	21	0
4	211	0
5	192	0
8	3	2
9	29	0
10	13	0
11	*	85
12	*	46

Fuente = Datos Exepirmentales

* = no muestreado durante esa época.

Tabla 3. Estadísticos obtenidos a partir de los datos de *Pseudoeurycea rex* para la década de 1970 y 2009-2010.

	1970's	2000's
Media	70.715	14.889
Desviación estándar	89.924	30.313
Tamaño de la muestra	7	9
Kolmogorov-Smirnov	0.3929	0.4424
Valor de P de K-S	0.0016	<0.0001
¿Pasa la prueba de normalidad?	No	No
Prueba de Mann-Whitney (no-paramétrica)		0.0241

Fuente= Datos Experimentales

Como se puede ver en estos resultados, se procedió a estimar algunos índices para poder contrastar la hipótesis planteada en esta tesis ("Los estatus

poblacionales de *Pseudoeurycea rex* y *Bolitoglossa rostrata* han variado en los últimos 30 años debido a cambio en el uso del suelo y por factores globales”). Estos datos fueron obtenidos a partir del programa estadístico InStat Graphpad 3.10 versión Demo del año 2009. Este programa permitió obtener valores estadísticos tales como la media, tamaño de muestra. Asimismo, se realizó una prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov para analizar si los datos eran o no normales. Debido a que los datos no se distribuyen normalmente, se utilizó la prueba estadística de Mann-Whitney para analizar si las medias de estos grupos habían variado significativamente). El resultado de la “P” de Mann-Whitney fue de 0.0241, lo cual indica que las medianas varían significativamente, ya que el valor es menor al valor de significancia ($P < 0.05$) (InStat Graphpad, 2009).

Tabla 4. Datos comparativos de la cantidad de individuos de *Bolitoglossa rostrata* en los dos tiempos analizados.

SITIO	1970	2000
1	33	0
2	51	0
3	44	0
4	64	0
5	122	0
6	65	0
7	15	2
8	42	0
9	66	0
12	*	3
13	*	7
14	*	35

Fuente= Datos Experimentales
 *= no muestreado durante esa época.

Tabla 5. Estadísticos obtenidos a partir de los datos de *Bolitoglossa rostrata* para la década de 1970 y 2009-2010.

	1970's	2000's
Media	55.778	3.917
Desviación estándar	29.949	10.013
Tamaño de la muestra	9	12
Kolmogorov-Smirnov	0.2553	0.3698
Valor de P de K-S	0.0934	<0.0001
¿Pasa la prueba de normalidad?	Si	No
Prueba de Mann-Whitney (no-paramétrica)	0.0002	

Fuente= Datos Experimentales.

Estos datos fueron obtenidos a partir del programa estadístico InStat Graphpad 3.10 versión Demo del año 2009. Este programa permitió obtener valores estadísticos tales como la media, tamaño de muestra. Asimismo, se realizó una prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov para analizar si los datos eran o no normales. A partir de este resultado, se procedió a emplear la prueba no-paramétrica que mejor se ajustara a estos datos (prueba de Mann-Whitney). En este caso, el resultado de la “U” de Mann-Whitney fue de 0.0002, lo cual indica que las medias varían significativamente, ya que el valor es menor al valor de significancia ($P < 0.05$),

Tabla 6. Comparación de las proporciones/abundancias de *Pseudoeurycea rex* y *Bolitoglossa rostrata* en la década de 1970 en las localidades estudio.

Sitio	Individuos <i>P. rex</i>	Individuos <i>B. rostrata</i>	Total individuos por sitio	Prop. <i>P.</i> <i>rex</i>	Prop. <i>B. rostrata</i>
1	26	33	59	0.441	0.559
2	21	51	72	0.292	0.708
3	0	44	44	0	1.0
4	211	64	275	0.767	0.233
5	192	122	314	0.611	0.389
6	0	65	65	0	1.0
7	0	15	15	0	1.0
8	3	42	45	0.067	0.933
9	29	66	95	0.305	0.695
10	13	0	13	1.0	0
TOTAL	495	502	997	0.496	0.504

Fuente = Datos Experimentales.

Tabla 7. Comparación de las proporciones/abundancias de *Pseudoeurycea rex* y *Bolitoglossa rostrata* durante los años 2009-2010 en las localidades estudio.

Sitio	Individuos <i>P. rex</i>	Individuos <i>B. rostrata</i>	Total individuos por sitio	Prop. <i>P. rex</i>	Prop. <i>B. rostrata</i>
1	1	0	1	1	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0
7	0	2	2	0	1
8	2	0	2	1	0
9	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0
11	85	0	85	1	0
12	46	3	49	0.939	0.061
13	0	7	7	0	1
14	0	35	35	0	1
TOTAL	134	47	181	0.740	0.260

Fuente= Datos Experimentales

Para las tablas 6 y 7, se condensaron los datos de las dos especies de salamandras por todos los sitios muestreados y se realizaron las respectivas sumatorias por sitio y por especie. Una vez obtenidos estos datos, se procedió a obtener la proporción de individuos dividiendo el total de individuos por sitio dentro de la cantidad de individuos colectados de una especie en un sitio específico (*total ind del sitio / total ind. de la especie*). Esta operación fue realizada para las dos especies y para todos los sitios. Además, se obtuvo la proporción total de individuos de cada especie dividiendo el total de todas las salamandras entre el total de las salamandras de cada especie.

Tabla 8. Porcentajes de disminución de los individuos colectados y/u observados durante los años 2009-2010 versus los individuos colectados y/u observados durante la década de 1970 para *Pseudoeurycea rex*.

Sitio	Individuos 1970's	Individuos 2009-2010	% De disminución de la muestra
1	26	1	96.15
2	21	0	100
4	211	0	100
5	192	0	100
8	3	2	33.33
9	29	0	100
10	13	0	100
11	--	85	*
12	--	46	*
TOTAL	497	134	73.04

Fuente = Datos Experimentales.

*= No se considera debido a la falta de muestreos durante los 70's.

Tabla 9. Porcentajes de disminución de los individuos colectados y/u observados durante los años 2009-2010 versus los individuos colectados y/u observados durante la década de 1970 para *Bolitoglossa rostrata*.

Sitio	Individuos 1970's	Individuos 2009-2010	% De disminución de la muestra
1	33	0	100
2	51	0	100
3	44	0	100
4	64	0	100
5	122	0	100
6	65	0	100
7	15	2	86.67
8	42	0	100
9	66	0	100
12	--	3	*
13	--	7	*
14	--	35	*
TOTAL	502	47	90.64

Fuente = Datos Experimentales.

*= No se considera debido a la falta de muestreos durante los 70's.

Para las tablas 8 y 9, se obtuvo el porcentaje de disminución de los individuos colectados y/u observados dividiendo el total de individuos del año 2009-2010 entre el número de individuos colectados y/u observados. Obteniendo un número decimal que fue multiplicado por cien (100). Luego se hizo una resta de 100 – el producto obtenido del resultado anterior, quedando la fórmula de la siguiente manera:

$$\% \text{ de disminución} = 100 - [(\# \text{ ind. } 2009-2010 / \# \text{ ind. } 1970's) * 100.$$

9. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

9.1 De los sitios.

Podemos observar una evidente y alarmante ausencia y/o disminución de estas especies en todos los sitios muestreados en la década de 1970 en comparación con los datos actuales. Durante la época de 1970 se puede evidenciar que existía una alta abundancia de estas especies en la región alta de la Sierra de los Cuchumatanes a tal punto que eran consideradas como unas de las especies más abundantes de Guatemala (Elias, P., 1984, p.13), pero 3 décadas después es innegable que existe un declive de estas especies en la región. Cabe mencionar que en el 70% de los sitios donde ya se habían realizado colectas previas (7 de 10 sitios) no se encontró ninguna salamandra durante la búsqueda y en donde se encontraron actualmente salamandras de estas especies, la proporción al respecto de las colectadas durante la década de 1970 fue 33% a 96% menor con respecto a la cantidades encontradas en colectas antiguas.

Debido también a que en esta tesis se presentaba la necesidad de encontrar otras poblaciones de *P. rex* y *B. rostrata* en la parte alta de la Sierra de los Cuchumatanes, se buscaron sitios con condiciones ideales para la presencia de salamandras (cobertura boscosa continua, protección especial para el bosque, gran cantidad de troncos caídos, musgo cubriendo gran parte del suelo, alta humedad, etc.) por lo cual se visitaron cuatro sitios para evaluar la presencia de esta especie. En dichos sitios se lograron identificar dos poblaciones de *P. rex* y

dos poblaciones *B. rostrata*. Estos datos pueden indicar que en realidad, las especies aún está presente en el lugar, pero debido a que las condiciones tales como el cambio del uso de la tierra de bosque a otro tipo de uso, está afectando la distribución local de las especies y restringiéndola a sitios donde las condiciones aún son adecuadas para poder establecer un tamaño de población grande. Así entonces, estos sitios se están convirtiendo en refugios aislados para las salamandras lo que puede promover el aislamiento genético y la variabilidad genética de las especies podría estar disminuyendo favoreciendo procesos endogámicos que contribuyen a que los procesos estocásticos sean más severos (Young, et.al, 1996, Lucas, A., 2009).

Se observó asimismo, que a comparación de la década de 1970, en donde numerosos colectores describen una evidente simpatria entre ambas especies en algunas localidades de colecta (Diarios de campo de Lynch, J., Elias, P. & Brad Shaffer), actualmente existe poca simpatria entre ambas especies, ya que solamente en una localidad (La Torre) se encontraron ambas especies. Sin embargo, se encontró en mayor proporción a *P. rex* (46 de 49 salamandras) en esa localidad. Se observó también a *P. rex* asociada a los bosques mejor protegidos, más densos y con mayor humedad y a *B. rostrata* asociada a bosques abiertos y menos húmedos. Esto también da una idea actual de las preferencias de hábitat de las especies y la ausencia quizá de un traslape entre bosques muy húmedos y poco húmedos en donde las especies puedan ser encontradas en simpatria.

Algo importante de mencionar en esta tesis es que las poblaciones de *P. rex* y *B. rostrata* encontradas en el 2009 y 2010 se encuentran a altitudes de 3000 a más metros sobre el nivel del mar, lo cual puede indicar que la distribución altitudinal de las especies se está restringiendo a los picos más altos de la Sierra de los Cuchumatanes. Esta observación puede ser explicada quizá a un leve incremento de temperatura entre 1970 y actualmente o bien por la disminución de sus hábitats (por cambio del uso de la tierra) o una mezcla de eventos en conjunto o sucesivos que diezmaron las poblaciones de estas especies (p. ej. Quitridiomycosis, plagas, etc.). En el sitio 13 (Aldea Las Milpas, San Juan Ixcoy), esta observación se hizo muy evidente ya que los muestreos iniciaron a partir de los 2600 msnm, pero no fue sino hasta los 3000-3100 msnm que se encontraron las primeras salamandras de la localidad. Lo mismo ocurrió para los sitios 4 y 5 en los cuales se muestreó entre 2700 a 3100 msnm, donde no se encontraron salamandras. Así también, en el sitio 7, se encontró a la especie *B. rostrata* a 500 mts más alto de la localidad original de 1972 (3200 vs 3700 msnm). Este fenómeno puede ser importante ya que muestra una restricción de distribución altitudinal que están sufriendo las salamandras en esta región de Guatemala y permite el planteamiento de hipótesis para explicarlo, como el cambio climático, cambio del uso de la tierra, entre otros (Forero-Medina, G., Joppa, L., 2010, 1524 p.).

Si observamos en las gráficas 1 y 2, podemos ver claramente que en el caso de *Bolitoglossa rostrata*, de los 9 sitios estudiados pertenecientes a la década de

1970, en 8 de ellos existe una desaparición total y solamente en una localidad se encontraron 2 individuos. Esto puede implicar que probablemente *B. rostrata* sea la especie que ha variado su estatus poblacional más marcadamente a comparación de *P. rex*, la cual fue encontrada aún en 2 de los 5 sitios muestreados, aunque también en proporciones mucho menores a comparación de los datos de 1970 (este tema será analizado más extensamente en las siguientes secciones de la discusión de resultados).

9.2 Discusión por sitios individuales.

En el sitio 2, se podría argumentar que quizá el factor más importante que ha hecho desaparecer a las salamandras puede ser la deforestación para el cambio del uso de la tierra de forestal a agrícola (Wake, D. & Lynch, J., 1976) ya que se observaron cultivos de maíz en los alrededores del sitio.

En el sitio 3, también se puede inferir que el problema antropogénico es un factor que está determinando la presencia/ausencia de las salamandras en la región ya que no se encontró ningún espécimen en este sitio en la actualidad. Cabe mencionar que en este lugar se encontró una especie fuera del estudio (*Bolitoglossa lincolni*) a 5 metros a un lado de la carretera, por lo que la presencia de salamandras aún está comprobada en el lugar mas no de las especies estudio. Esto podría indicar también que las condiciones de este bosque no eran las requeridas para la presencia de *P. rex* o *B. rostrata* y que estas especies requieren otras calidades de hábitat.

Quizá en este sitio 4 lo que pudo haber provocado la disminución/desaparición de las poblaciones pudo ser la tala del bosque original, ya que no se observan plantaciones agrícolas cercanas, pero se sabe que alrededor del 95% de personas utilizan la leña como combustible, lo que ha podido provocar una gran presión hacia el bosque en este sitio (Guerra, J., 2009, p. 4). Además, la ausencia de troncos caídos puede indicar que las personas los están utilizando como leña, restándoles a las salamandras refugios seguros para sobrevivir y reproducirse en el sitio, lo que conlleva la reducción drástica de su población.

El encuentro de *B. rostrata* a una mayor altura en el sitio 7 puede indicar que quizá en las regiones más altas de la Sierra de los Cuchumatanes aún hay presencia de estas especies de salamandras. Esta implicación puede ser derivada a partir de la suposición de que durante los últimos 30 años ha existido un calentamiento constante y lento que junto a otros factores (cambio del uso de la tierra, por ejemplo) están provocando que la distribución altitudinal de las salamandras esté más restringida a lugares más altos en donde los cambios de temperatura no se han hecho tan sensibles como en regiones más bajas.

La presencia de pinabete (*Abies guatemalensis*) en el sitio 8 parece haber favorecido las poblaciones de salamandras en el lugar ya que esta especie de árbol se encuentra protegida desde la década de 1980 y es considerado ilegal cualquier extracción de madera de pinabete en Guatemala, lo que pudo brindar microhábitats dónde refugiarse. Además, es importante resaltar que no se había encontrado *P. rex* actualmente en ninguna de las otras localidades estudiadas.

Enfocándonos en el aspecto de la probable variación altitudinal de *P. rex* y *B. rostrata* en la Sierra de los Cuchumatanes, se sugiere en esta tesis que podría existir una variación en la distribución altitudinal de estas dos especies en la región estudiada de la Sierra de los Cuchumatanes debido a los siguientes argumentos y observaciones: en algunos sitios se realizaron caminatas con un rango altitudinal bastante amplio (por ejemplo los sitios 7 y 13) de aproximadamente 600 metros de variación altitudinal, en los cuales no se encontraron salamandras al inicio del recorrido, pero al llegar a las regiones más altas de los sitios (3100-3600 msnm) se lograron coleccionar numerosos especímenes de estas dos especies. En segundo lugar, si se hace una observación visual de las condiciones del bosque del lugar (ver mapas en anexos), se puede observar que incluso en aquellas regiones en las cuales existen parches lo suficientemente grandes como para tener presencia abundante de salamandras, pero que se encuentran a menores altitudes (por ejemplo los sitios 8 y 10), se encontraron muy pocos (en el caso del sitio 8) o ningún (para el caso del sitio 10) individuo. Esto sugiere que existe un factor, posiblemente el cambio climático/calentamiento global, que está afectando la distribución altitudinal de las salamandras. Asimismo, las condiciones de cobertura boscosa en los sitios aún está bien conservada, por lo que se puede descartar que únicamente la deforestación y el avance de la frontera agrícola estén promoviendo la desaparición de salamandras a bajas altitudes. Con respecto al avance de la frontera agrícola, se observó que a menores altitudes existía mayor cantidad de cultivos ya que debido a los intensos fríos de la región

alta de la Sierra de los Cuchumatanes, el cultivo extensivo es imposible, por lo que esto permite que los parches de bosque más grandes y/o mejor conservados se encuentran a mayores altitudes. Además, los sitios 11 al 14, son los sitios de mayor altitud muestreados en esta tesis y muestran un claro patrón de presencia de las especies en los sitios. En general, se puede argumentar que puede existir un cambio en los rangos de distribución altitudinal de estas dos en las dos fechas estudiadas (1970 y 2009-2010).

9.3 De los Análisis estadísticos.

9.3.1 De los cambios en las abundancias de las poblaciones.

En el caso de *Pseudoeurycea rex*, las implicaciones del estadístico de Mann-Whitney ($P= 0.0241$) (ver tabla 3), de que las abundancias difieren significativamente, muestran que los resultados no se deben a la aleatoriedad sino que existe un factor o un grupo de factores que están determinando la distribución de los resultados de esa manera. En esta tesis no se determina cuál o cuáles son los factores que están determinando los cambios en los estatus poblacionales de las salamandras estudiadas, pero deja la puerta abierta para que futuras investigaciones determinen los factores que lo causan. Con respecto a esto, sí se observó un deterioro actual en las condiciones de cobertura boscosa en donde anteriormente se habían colectado especímenes, ya que en algunos casos, los catálogos personales y/o los diarios de campo de los colectores de la década de 1970 describen en algunos casos los bosques donde estuvieron y esto confirma

descriptivamente este planteamiento. Además, pueden existir otros factores a nivel global tales como el cambio climático, los cuales pueden hacer que la distribución de las especies varíe (por cambios en temperatura, humedad, etc.) a lo largo del tiempo (Hansen, J., 1988, pag. 2). Existen otros factores, tales como enfermedades emergentes (como por ejemplo, la enfermedad infecciosa denominada “quitridiomicosis”, causada por el hongo *Batrachochytrium dendrobatidis*) los cuales pudieron causar una disminución en los tamaños poblaciones de las salamandras en estos sitios.

Asimismo, si observamos las medias de individuos obtenidas para esta especie en los dos tiempos estudiados (70.715 vs. 14.889) podemos observar una evidente disminución del promedio de individuos por localidad/sitio muestreado, lo cual sustenta sin mayores índices estadísticos un evidente cambio en el estatus poblacional de estas especies en la Sierra de los Cuchumatanes, o al menos en las localidades estudiadas.

Con respecto a *Bolitoglossa rostrata*, podemos observar en los datos de la tabla 5, solamente los datos de 1970's superaron la prueba de normalidad, pero los datos de 2009-2010 no lo hicieron. Para solucionar este problema se trató de convertir los datos de tal forma que fueran normales, pero ninguna aplicación de transformación numérica de los datos ($\log(Y)$, $\ln(Y)$, $\exp(Y)$, $\sin(Y)$, $\cos(Y)$, raíz cuadrada, elevado al cuadrado, etc.) se ajustó para que los datos fueran normales, por lo que se decidió utilizar estadística no paramétrica para la comparación entre estos grupos aunque un grupo si cumpliera con este requisito. El único

inconveniente de aplicar estadística no paramétrica es que no se puede asumir que los datos se ajustan a una distribución conocida (Krebbs, C., 1999, p. 148). En este caso, también se decidió utilizar la prueba no paramétrica de Mann-Whitney.

Bolitoglossa rostrata fue la especie que tuvo la diferencia más significativa entre sus tamaños poblacionales entre los dos periodos de tiempo ($P= 0.0002$), indicando también que los datos obtenidos no se deben al azar. Este dato se ve apoyado también si se comparan las medias de los individuos obtenidas de las dos épocas para la misma especie (55.778 vs. 3.917), lo cual demuestra que para esta especie, también existe una disminución drástica de sus poblaciones y sustenta la hipótesis de esta tesis.

Refiriéndose con mayor detalle a las medias poblacionales obtenidas, para *Pseudoeurycea rex*, la media actual de individuos (14.889) representa tan solo el 21% de la media de la década de 1970 (70.715), mientras que para *Bolitoglossa rostrata*, la media actual (3.917) equivale tan solo a un 7% de la media de la década de 1970 (55.778). Esto nos permite asumir que, analizando las medias, que el declive más pronunciado lo ha tenido *Bolitoglossa rostrata*. Además, esto está sustentado en el hecho de que para los 9 sitios de *B. rostrata* de 1970, solamente en uno de ellos se volvió a encontrar a la especie, mientras que para *P. rex*, 2 de los 5 sitios se obtuvo presencia de la especie.

9.3.2 Abundancias de las especies.

Con respecto a las abundancias proporcionales de las especies (ver tabla 6), podemos observar que durante la década de 1970, las proporciones de los individuos era relativamente estable y homogénea si se toma en cuenta el total de los individuos de cada especie estudiada. Así, en esta época, de un total de 997 individuos colectados y/u observados, 495 (49.6%) pertenecían a la especie *P. rex*, mientras que 502 (50.4%) a *B. rostrata*. Esto indica que la equidad de distribución de los individuos entre las dos especies era muy alta, existiendo la posibilidad de colectar un individuo de cada especie por cada dos colectas realizadas. Si bien la variación proporcional de las especies cambia de sitio en sitio, podemos generalizar que en el área de estudio la homogeneidad de estas especies era muy alta. Esta variación inter-sitios se puede deber a que en algunos de estos sitios, se encontraban las condiciones de hábitat preferentes para *P. rex* y en otros *B. rostrata*, y en otros sitios una mezcla de las condiciones preferentes para ambas especies.

Ahora bien, con respecto al mismo análisis, pero enfocándose en los datos de 2009-2010, podemos ver que las abundancias proporcionales de las especies del estudio han variado significativamente con respecto a las proporciones de la década de 1970 (ver tabla 7). En este caso, de un total de 181 individuos colectados y/u observados, 134 pertenecen a la especie *P. rex* (74%) y 47 a *B. rostrata* (26%), indicando así que la proporción de las especies se ha desplazado a favor de *P. rex*, indicando que existe una posibilidad que de 4 salamandras

capturadas, 3 pertenezcan a esta especie y 1 a *B. rostrata*. El motivo más probable para estos resultados es que quizá los sitios con mayor perturbación del bosque sean justamente los sitios de *B. rostrata* o también, que esta especie pueda ser más sensibles a efectos globales tales como el cambio climático y enfermedades emergentes o una mezcla de dichos factores.

Si ahora, nos enfocamos en los cambios intraespecíficos de las abundancias proporcionales en los dos tiempos estudiados, podemos observar también que existe un declive alarmante de los individuos colectados y/u observados durante los años 2009-2010 a comparación de la década de 1970. Para *Pseudoeurycea rex* en todos los sitios de muestreo se observó una disminución comprendida entre el 33% al 100% de individuos (ver tabla 8), lo cual confirma que el estatus poblacional de esta especie ha disminuido dramáticamente. Asimismo, la disminución total de esta especie es de un 73% desde la década de 1970 hasta la actualidad. La misma situación ocurre con *Bolitoglossa rostrata*, la cual muestra una disminución significativa en todos los sitios que va desde el 87% hasta el 100% (desaparición total) y una disminución general del 91% de la proporción de individuos colectados actualmente versus la proporción de individuos de la década de 1970. Se cree que la combinación de múltiples factores negativos han afectado el estatus poblacional de *P. rex*, ya que las condiciones de cobertura boscosa actuales en los sitios de colecta, son poco alentadores (ver mapas y fotografías en anexos) pues se evidencia una fuerte deforestación en los sitios. Este factor, integrado con otros anteriormente mencionados (cambio climático, enfermedades,

etc.), pueden ser la explicación más plausible del por qué estas poblaciones han disminuido significativamente a lo largo de estos últimos 30 años.

9.4 Tasas de encuentro de salamandras.

Para la estimación de la tasa de encuentro de salamandras por persona por día (ver gráfica 3), podemos observar que existe un declive general de estas tasas para estas dos especies de salamandras durante los años 2009 y 2010. Como se mencionó anteriormente en la parte de antecedentes, estas especies son especies terrestres y se podría esperar que respondan más marcadamente a procesos de cambio climático, específicamente a los cambios de humedad y precipitación pluvial ya que no pueden refugiarse en microhábitats diferentes (tales como bromelias) con mejor amortiguamiento de estos cambios. Por ese motivo, la disminución de la humedad y precipitación podría causar que los microhábitats donde estas especies habitan (troncos podridos caídos, musgo, debajo de rocas, entre algunos), se vuelvan gradualmente más secos, afectando directamente en el nivel de estrés de las especies pues éstas dependen de una proporción adecuada de agua debido a su piel permeable. Así, este factor del cambio climático podría estar afectando la disminución de la tasa de encuentro de salamandras por persona por día (Rovito, S., *et.al.*, 2009, p. 3234; Lawton, R., *et.al.*, p. 585). Asimismo, la deforestación podría estar contribuyendo a esta disminución de la tasa de encuentro ya que al existir bosques perturbados, parcialmente deforestados o completamente ausentes, las salamandras no podrán estar presentes en el lugar, debido a la falta de humedad, microhábitat específico para

su presencia y la ausencia de un amortiguador de variación de temperaturas (sombra causada por los árboles, troncos caídos donde refugiarse, etc) que puedan permitir la presencia de estas salamandras. Estos datos también vienen a concordar con numerosas publicaciones acerca de los cambios en los estatus poblacionales de salamandras en sitios históricos, en los cuales se hace referencia también de una disminución drástica de las poblaciones de salamandras en el lugar (Rovito, S., *et.al.*, 2009; y Parra-Olea, G., 1999).

10.CONCLUSIONES

1. Existe una evidente disminución de las poblaciones de *Pseudoeurycea rex* y *Bolitoglossa rostrata* en todos los sitios donde se realizaron colectas durante la década de 1970.
2. Existe una alarmante desaparición de estas dos especies en la mayoría de los sitios muestreados durante la década de 1970.
3. La simpatría entre ambas especies ha disminuido o desaparecido totalmente en los sitios de colecta debido quizá a que los bosques seleccionados para la tesis no cuentan con las condiciones intermedias para la presencia de ambas especies.
4. Existen diferencias estadísticas significativas entre las medias de las poblaciones de ambas especies, lo que indica que existe algún factor que está determinando la distribución de los resultados de esta manera y que no se debe a la aleatoriedad.
5. La especie *Bolitoglossa rostrata* es la especie que mayor disminución poblacional sufrió durante estos últimos 30 años.
6. Las abundancias relativas de *P. rex* y *B. rostrata* disminuyeron entre el 73% al 91% de la cantidad de individuos encontrados durante la década de 1970.

7. Existe una probable variación en cuanto a la distribución altitudinal de *P. rex* y *B. rostrata* en la región alta de la Sierra de los Cuchumatanes.
8. Esta variación de la distribución altitudinal se puede deber a efectos globales tales como el cambio climático, ya que en algunos sitios de baja altitud y con condiciones de bosque conservado, se encontraron pocas o ninguna salamandra y al hecho de que actualmente se encontraron la mayoría de salamandras a altitudes mayores a 3000 msnm.
9. La deforestación fue una variable que contribuyó a la desaparición y/o disminución de ambas especies en todos los sitios en donde se hayan realizado colectas durante la década de 1970.
10. Se cree que una mezcla de numerosas variables (calentamiento global, deforestación, enfermedades, entre otros) es la causa de la disminución alarmante de estas especies en la región alta de la Sierra de los Cuchumatanes.
11. La tasa de encuentro de salamandras por persona por día también disminuyó durante los años 2009-2010 a comparación de la década de 1970.
12. Existen poblaciones grandes de ambas especies en bosques protegidos de la parte alta de la Sierra de los Cuchumatanes.

13. *Pseudeurycea rex*, actualmente, se encontró en bosques en mejor estado de conservación, es decir, con bastante cobertura boscosa, gran cantidad de humedad y en donde la intervención humana no sea tan evidente.
14. *Bolitoglossa rostrata*, en cambio, estuvo presente en bosques en donde las condiciones de cobertura boscosa no eran tan buenas y la humedad del microhábitat donde habita era menor a comparación de *P. rex*.

11.RECOMENDACIONES.

1. Extender la cantidad de sitios de muestreo para ambas especies.
2. Realizar un análisis de la variación de la distribución altitudinal de ambas especies no solamente en la región de la Sierra de los Cuchumatanes, sino que también en las regiones de Guatemala en donde estén presentes estas especies.
3. Analizar cuáles son las variables que están explicando la disminución de las poblaciones de *P. rex* y *B. rostrata* en Guatemala.
4. Tomar datos de temperatura del microhábitat y humedad relativa en investigaciones semejantes. Esto con el fin de obtener una mayor cantidad de datos y variables para poder discutir más ampliamente los resultados.
5. Buscar sitios nuevos en donde se considere posible la existencia de poblaciones de estas salamandras.
6. Para los siguientes muestreos, tomar frotis cutáneos de los individuos colectados y/u observados para posteriores pruebas de enfermedades en la piel (como por ejemplo el hongo *Bd*). Esta recomendación se vincula con la recomendación 3 ya que existen pruebas de que las enfermedades pueden diezmar o hacer desaparecer a poblaciones enteras de organismos y puede ser una variable importante que explique las disminuciones de los estatus poblacionales.

12. AGRADECIMIENTOS.

Se agradece a la Escuela de Biología, a través del Museo de Historia Natural de la Universidad de San Carlos de Guatemala por el apoyo en los materiales de colecta de especímenes durante esta tesis; al Museo de Zoología de Vertebrados de la Universidad de California en Berkeley por brindar los datos de colecta de la década de los 70s de ambas especies; a la Fundación para el Ecodesarrollo y Conservación –FUNDAECO- Capítulo Huehuetenango por apoyar logística y económicamente en el desarrollo de las colectas de datos durante el 2009; a los doctores Theodore Papenfuss Sean Rovito por apoyar enérgicamente los esfuerzos para la realización de esta investigación con sus valiosas opiniones y revisiones previas a la tesis y al personal de ambiente de las organizaciones sociales de la región alta de la Sierra de los Cuchumatanes por brindar asistencia de campo en la mayoría de los sitios de estudio.

13. REFERENCIAS

1. Becker, C. & Dias, R. (2008). Extinction risk assessment at the population and species level: implications for amphibian conservation. *Biodiversity Conservation*. 40(17), 2297-2304 pp.
2. Clements, W., & Newman, M. (2002). Community ecotoxicology. Reino Unido: John Wiley and Sons.
3. Cortez-Fernández, C. (2006). Variación altitudinal y abundancia relativa de anuros del parque nacional y área natural de manejo integrado Cotapata. *Ecología en Bolivia*. 41(1), 46-64 pp.
4. Elias, P. (1984). Salamanders of the Northwestern Highlands of Guatemala. *Contributions in Science*, No. 348, 1-20 pp.
5. FORERO-MEDINA, G., JOPPA, L. (2010). Constraints to Species Elevational Range Shifts as Climate Changes. *Conservation Biology*, no. 10. Pp. 1523-1739.
6. Franco, L. (1989). Manual de ecología. México: Editorial Trillas.
7. Fundación para el Ecodesarrollo y Conservación. (2007). Plan Maestro “Reserva Forestal Municipal Todos Santos Cuchumatán”. Guatemala: autor.
8. García-Paris, M., Good, D., Parra-Olea, G. & Wake, D. (2000). Biodiversity of Costa Rican salamanders: implications of high levels of genetic

differentiation and phylogeographic structure for species formation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 97(4), 1640-1647.

9. Guerra, J. (2009). Informe final del estudio de sistematización de estufas ahorradoras de leña en ocho municipios del altiplano occidental de Guatemala. Fundación Sierra Madre. 31 pp.
10. Gürtler, R. (2009). Estimación de la abundancia: introducción al muestreo de poblaciones. Depto. De Ecología, Genética y Evolución, FCEyN-UBA.
11. <http://www.amphibiaweb.org>
12. <http://www.mvz.com>
13. International Union for Conservation of Nature. (2009). The IUCN Red List of Threatened Species 2009 update: amphibian facts. Suiza: autor.
14. Krebs, C. (1999). Ecological methodology (2nd ed.). United States of America: Benjamin Cummings.
15. Lawton, R., Nair U., Pielke R., Welch R. (2001). Climatic impact of tropical lowland deforestation on nearby montane cloud forests. *Science* 294:584–587.

16. Lucas, A. (2009). Flujo genético, demografía y variabilidad genética en una conífera mediterránea emblemática, el pino negral o rodano. Universidad de Valladolid: tesis doctoral. 104 pp.
17. Manual de Referencia de InStat Graphpad versión 3.10.
18. Manzanilla, J. y Péfaur, J. (2000). Consideraciones sobre métodos y técnicas de campo para el estudio de anfibios y reptiles. *Colombia: Revista Ecológica Latino Americana*. vol. 7, 17-30 pp.
19. Moreno, C. (2001). Métodos para medir la Biodiversidad. España: Manuales y Tesis SEA, Gorfi, S.A.
20. Parra-Olea, G., García-París, M. & Wake, D.B. (1999). Status of some mexican salamanders (Amphibia: Plethodontidae). Costa Rica: *Revista Biología Tropical*. 47(1-2), 217-223 pp.
21. Pough, F. (2004). *Herpetology* (3rd ed). United States of America: Pearson Prentice hall.
22. Pounds, A. & Crump, M. (1994). Amphibian declines and climate disturbances: the case of the Golden Toad and the Harlequin Frog. *United States of America: Conservation Biology*. 8(1) 72-85 pp.
23. Quinn, G. & Keough, M. (2002). *Experimental design and data analysis for biologists*. United States of America: Cambridge University Press.
24. Rovito, S., Parra-Olea, G., Vásquez-Almazán, C., Papenfuss, T. & Wake, D. (2009). Dramatic declines in Middle American salamanders are an

- important component of the Global Amphibian Crisis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. Vol. 106. 3231-3236 pp.
25. Smith L., & Smith, T. (2001). *Ecología*. España: Pearson Educación.
26. Snedecor G., & Cochran W. (1980). *Statistical methods* (7th ed). United States of America: The Iowa State U press
27. Universidad de San Carlos de Guatemala. (2000). *Biodiversidad de Huehuetenango: Inventarios de fauna en los alrededores del macizo montañoso de los Cuchumatanes*. Guatemala: Centro de Estudios Conservacionistas –CECON-.
28. Urbina, J. y Londoño, M. (2003). Distribución de la comunidad de herpetofauna asociada a cuatro áreas con diferente grado de perturbación en la isla Gorgona, pacífico colombiano. *Colombia: Revista Académica Colombiana de Ecología*. 27(102), 105-113.
29. Wake, D. (2007). Climate change implicated in amphibian and lizard declines. *United States of America: Proceedings of the Natural Association of Science*. 104(20), 8201-8202 pp.
30. Wake, D., & Lynch, J. (1976). The distribution, ecology, and evolutionary history of plethodontid salamanders in tropical America. *Natural History Museum of los Angeles County Science Bulletin* No 25.

31. Wake, D.B., Papenfuss, T.J., Lynch, J.F. (1992). Distribution of salamanders along elevational transect in Mexico and Guatemala. *Tulane Studies in Zoology and Botany. Supplementary Publication No. 1*, 303-319 pp.
32. Young, A., Boyle, T., Brown, A. (1996). The population genetic consequences of habitat fragmentation for plants. *Trends Ecol. Evol.* 11. 413-418.
33. Young, B. (2004). *Joyas que están desapareciendo: el estado de los anfibios en el nuevo mundo*. United States of America: Nature Serve.
34. Zar, J. (1999). *Biostatistical analysis*. United States of America: Prentice Hall.

ANEXOS

Fotografía 1. *Pseudoeurycea rex*.



Fotografía 2. *Pseudoeurycea rex*.



Fotografía 3. *Bolitoglossa rostrata*.



Fotografía 4. *Bolitoglossa rostrata*.



Fotografía 5. Sitio 2, San Juan Ixcoy.



Fotografía 6. Sitio 1, km. 303 hacia San Juan Ixcoy.



Fotografía 7. Sitio 9, km 311 hacia San Juan Ixcoy.



Fotografía 8. Sitio 12, La Torre, Todos Santos Cuchumatán.



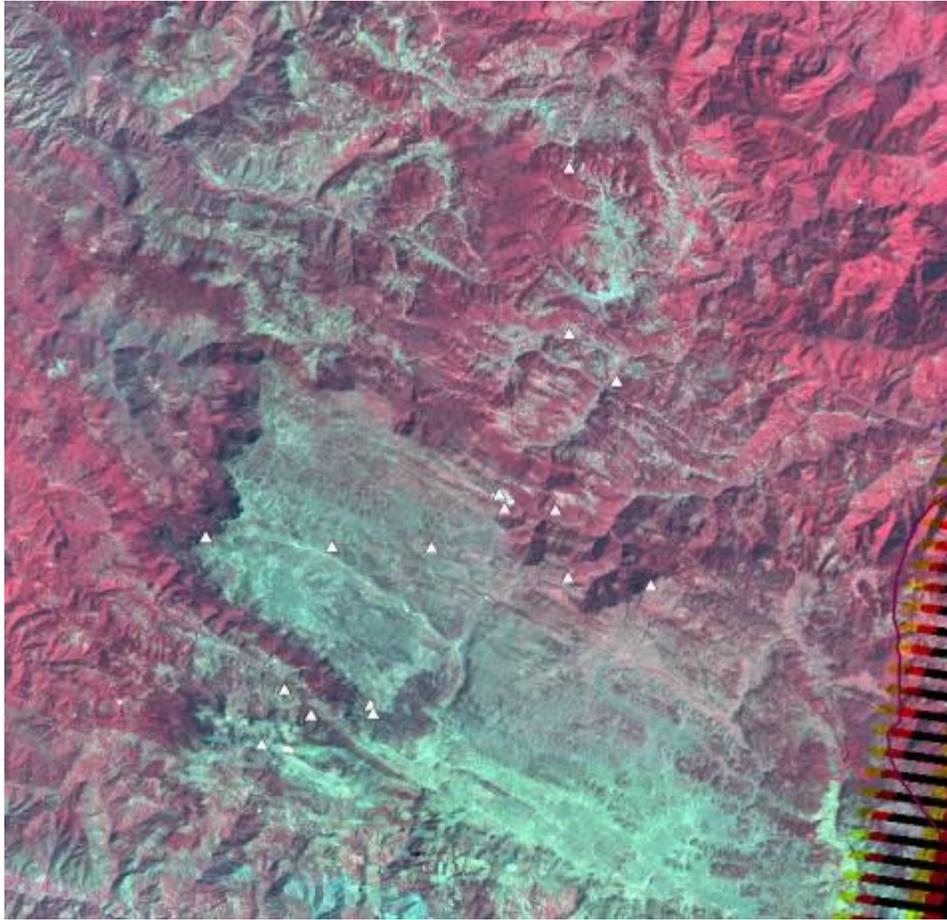
Fotografía 9. Sitio 11, Puerta del Cielo, Todos Santos Cuchumatán.



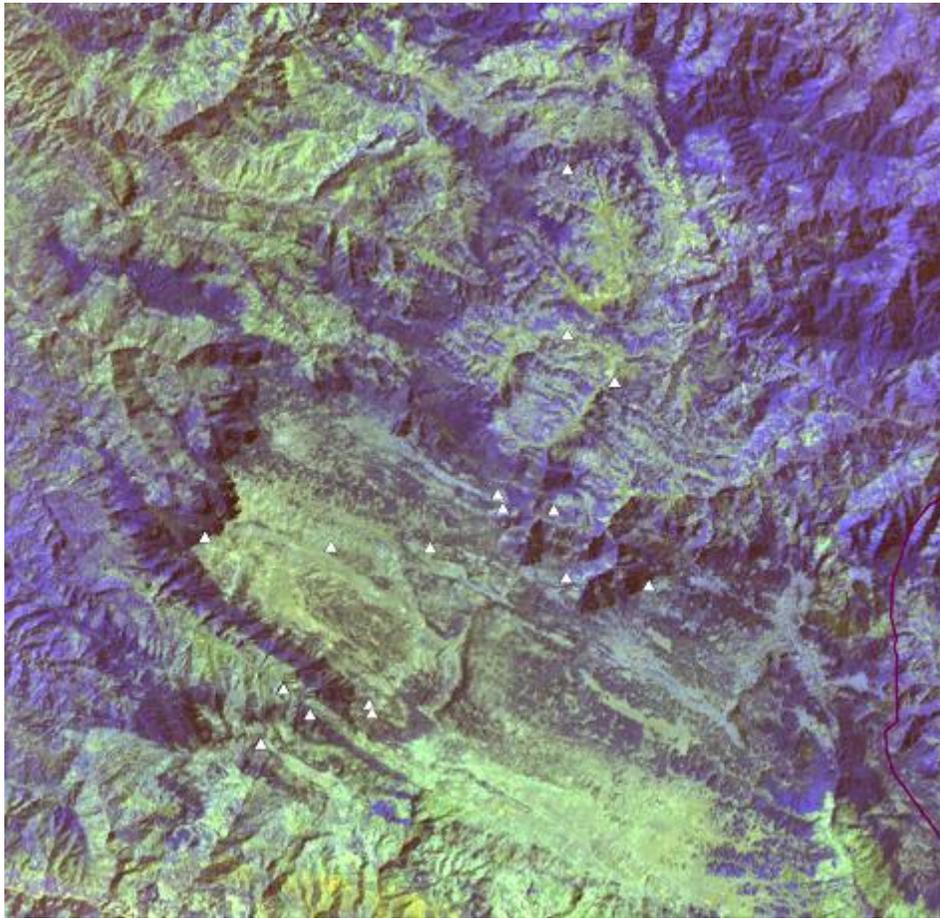
Fotografía 10. Sitio 13, aldea Las Milpas, San Juan Ixcoy.



Fotografía 11. Sitio 14, Laguna Magdalena, Chiantla.



Mapa 3. Imagen LandSat que muestra en triángulos blancos los lugares de colecta de *P. rex* y *B. rostrata* en esta tesis. La coloración rojiza muestra bosques frondosos del año 2006.



Mapa 4. Imagen LandSat que muestra en triángulos blancos los lugares de colecta de *P. rex* y *B. rostrata* en esta tesis. La coloración rojiza muestra bosques frondosos del año 1974.



Sitio 1. Km 303 hacia San Juan Ixcoy.



Sitio 2. RN-9, San Juan Ixcoy cerca del km 139.



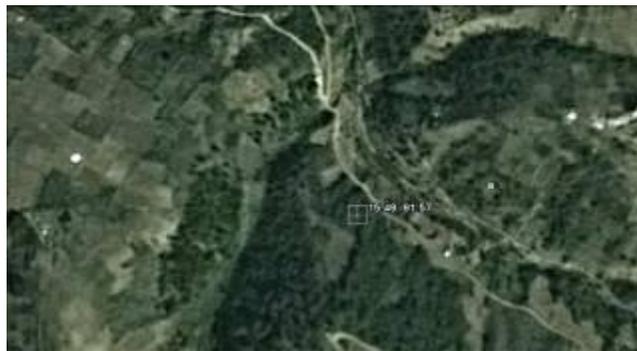
Sitio 3. 52.7 km al N por la RN-9



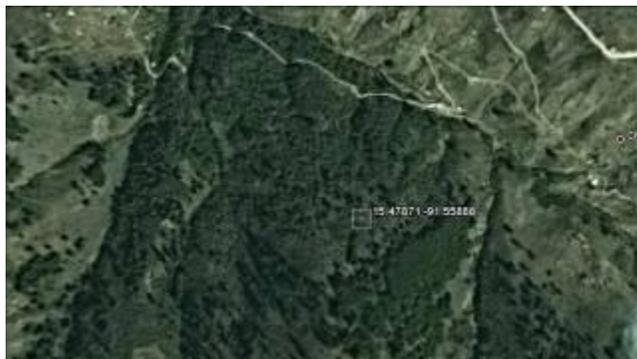
Sitio 4. Rio Quisil.



Sitio 5. Camino debajo de Captzín.



Sitio 6. Camino a Todos Santos Cuchumatán.



Sitio 7. Paquix, T.S., 4.2 km; 6.2 km E por aire



Sitio 8. Paquix, 3 km S, 5 km E de T.S.



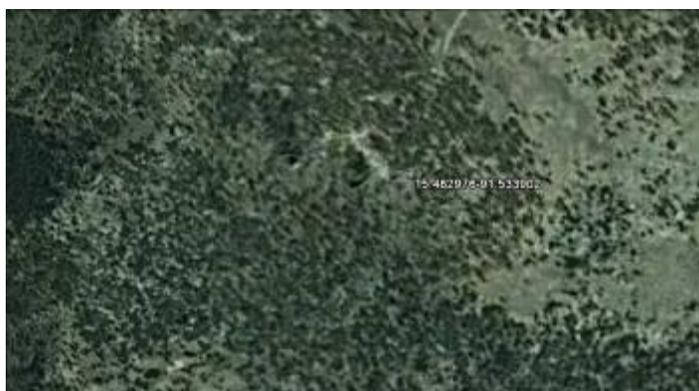
Sitio 9. Km 311 por la RN-9.



Sitio 10. RN-9 entre Soloma y Santa Eulalia.



Sitio 11. Puerta del Cielo, Todos Santos Cuchumatán.



Sitio 12. La Torre, Todos Santos Cuchumatán.



Sitio 13. Aldea Las Milpas, San Juan Ixcoy.



Sitio 14. Laguna Magdalena, Chiantla.