



Solutions for environment and development
Soluciones para el ambiente y desarrollo

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA

ESCUELA DE POSGRADO

**Impacto de los sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao*)
en la conservación de herpetofauna de hojarasca, en un paisaje
fragmentado del trópico húmedo de Panamá**

por

Rolando Andrés Gutiérrez Zúñiga

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado
como requisito para optar por el grado de

Magister Scientiae en Manejo y Conservación de
Bosques Tropicales y Biodiversidad

Turrialba, Costa Rica, 2011

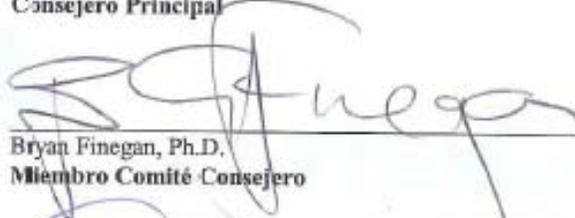
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

**MAGISTER SCIENTIAE EN MANEJO Y CONSERVACIÓN
DE BOSQUES TROPICALES Y BIODIVERSIDAD**

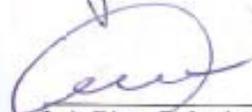
FIRMANTES:



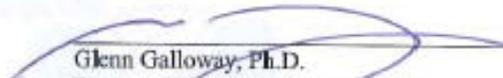
Fabrice De Clerck, Ph.D.
Consejero Principal



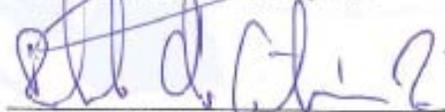
Bryan Finegan, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Luis Diego Delgado, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Glenn Galloway, Ph.D.
Decano de la Escuela de Posgrado



Rolando Andrés Gutiérrez Zúñiga
Candidato

DEDICATORIA

A mi madre Blanca Miriam Zúñiga y a mi hermano Luis Fernando Calderón, gracias por ayudarme y hacer posible esta experiencia.

AGRADECIMIENTOS

A la Escuela de Posgrado del CATIE y a su campus por haber permitido estos años de permanencia.

Al Dr. Fabrice De Clerck, por ser el profesor consejero y guiarme en el proceso de la formulación y entrega final de la investigación.

Al Dr. Bryan Finegan, por ser parte del comité consejero y ayudarme con las observaciones y correcciones en el documento de tesis.

Al MSc. Diego Delgado, por ser parte del comité y ayudarme con sus comentarios al documento de tesis.

Al Dr. Fernando Casanoves por su ayuda en la parte estadística de la investigación.

Al MSc. Sergio Vílchez por la asesoría estadística, interpretación de datos y observaciones en el documento de tesis.

Al Ingeniero Gustavo López por la ayuda en los análisis de datos.

Al Programador Víctor Hugo Brenes por el apoyo en la base de datos.

Al proyecto Competitividad y Ambiente en los Territorios Cacaoteros de Centroamérica (PCC), por el financiamiento de la investigación cuyo donante es la Embajada de Noruega, conformado por el Dr. Eduardo Somarriba, MSc. Marilyn Villalobos, MSc. Rolando Cerda, MSc. Olivier Deheuvels, Ruth Junkin, Shirley Orozco, Jazmín Salazar, Rebeca Madriz, Mario Cervantes.

A Ideawild por la donación de equipos de campo.

A la bióloga Viviana Moreno Quintero por su ayuda en campo.

Al Dr. Roberto Ibáñez y al MSc. Cesar Jaramillo por la ayuda en la identificación de los especímenes colectados.

A todo el personal de la Cooperativa de Servicios Múltiples de Cacao Bocatoreña, COCABO.

A Jorge Santos, Victoriano Palacios, Legorio Bonilla y a sus familias por la colaboración en campo y a todos los productores de cacao orgánico que permitieron realizar el muestreo en Valle de Risco, Palo Seco y Rio Oeste Arriba, Almirante, Bocas del Toro, Panamá.

Por último agradezco a los compañeros de la promoción 2007-2008 por lo compartido durante la estancia en CATIE.

BIOGRAFÍA

El autor nació en Santander de Quilichao (Cauca, Colombia) el 9 de septiembre de 1977. Se graduó en el 2004 del programa de Ecología en la Fundación Universitaria de Popayán. Trabajo como consultor para el Parque Nacional Natural Puracé y brindo apoyo a proyectos de la Fundación Zoológica de Cali, Conservación Internacional-Colombia y la Corporación Interinstitucional del Trópico Andino para el Medio Ambiente, CITMA. En el año 2007 ingresa al programa de maestría en Manejo y Conservación de Bosques Tropicales y Biodiversidad en el CATIE, donde obtiene el título de *Magister Scientiae* en el año 2011.

CONTENIDO

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
BIOGRAFÍA.....	V
CONTENIDO	VI
RESUMEN	X
ABSTRACT.....	XI
INDICE DE CUADROS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS.....	XVII
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos del estudio	3
1.1.1 Objetivo general	3
1.1.2 Objetivos específicos.....	3
1.2 Hipótesis del estudio.....	4
2 MARCO CONCEPTUAL	5
2.1 La herpetofauna como indicador del estado de conservación	5
2.1.1 Declinación de anfibios y reptiles	6
2.2 Herpetofauna y plantaciones de cacao.....	8
2.3 Biodiversidad y sistemas agroforestales de cacao	9
2.4 Bibliografía	14
3 CAPITULO I. RELACIÓN DE LA DIVERSIDAD DE ANFIBIOS CON LAS VARIABLES ESTRUCTURALES DE UN PAISAJE DOMINADO POR SISTEMAS AGROFORESTALES DE CACAO ORGÁNICO AL OESTE DE BOCAS DEL TORO, PANAMÁ	22
3.1 Introducción	25
3.2 Materiales y métodos	27
3.2.1 Área de estudio	27
3.2.2 Selección de los sitios de estudio.....	28
3.2.3 Muestreo de anfibios de hojarasca.....	28
3.2.4 Variables de hábitat.....	29
3.3 Análisis de datos	31

3.3.1	<i>Relación de las variables estructurales con la diversidad de especies</i>	33
3.4	RESULTADOS	33
3.4.1	33
3.4.2	<i>Tipologías de cacao y bosque natural</i>	33
3.4.3	<i>Abundancia y diversidad de anfibios en tipologías de cacao orgánico y bosque natural</i>	35
3.4.4	<i>Comparación entre las tipologías de cacao según las comunidades de anfibios y factores ambientales</i>	39
3.4.5	<i>Abundancia, riqueza y diversidad de anfibios entre tipologías de cacao orgánico y bosque natural</i>	40
3.4.6	<i>Comparación de la composición de comunidades de anfibios en tipologías de cacao orgánico y bosque natural</i>	41
3.4.7	<i>Efectos de las características estructurales de las tipologías de cacao y bosque y la conservación de anfibios</i>	42
3.4.8	<i>Análisis de regresión lineal de anfibios en tipologías de cacao orgánico y bosque natural (abundancia, riqueza y diversidad)</i>	43
3.4.9	<i>Relación de las variables estructurales con la composición de especies de anfibios</i>	44
3.5	Discusión	45
3.5.1	<i>Estructura de la comunidad de anfibios en el paisaje</i>	45
3.5.2	<i>Efecto de las características estructurales y variables ambientales en la abundancia, riqueza y diversidad de anfibios en el paisaje</i>	49
3.6	Bibliografía	54
4	CAPITULO II. RELACIÓN DE LA DIVERSIDAD DE REPTILES CON LAS VARIABLES ESTRUCTURALES EN UN PAISAJE FRAGMENTADO DEL TRÓPICO HÚMEDO DE PANAMÁ	61
4.1	Introducción	62
4.2	Materiales y métodos	64
4.3	Resultados	64

4.3.1	<i>Tipologías de cacao y bosques</i>	64
4.3.2	<i>Abundancia y diversidad de reptiles en tipologías de cacao orgánico y bosque natural</i>	64
4.3.3	<i>Comparación entre las tipologías de cacao y bosque, según las comunidades de reptiles y factores ambientales</i>	68
4.3.4	<i>Abundancia, riqueza y diversidad de reptiles entre tipologías de cacao orgánico y bosque natural</i>	69
4.3.5	<i>Comparación de la composición de comunidades de reptiles en tipologías de cacao orgánico y bosque</i>	70
4.3.6	<i>Efectos de las características estructurales en las tipologías de cacao y bosque y la conservación de reptiles</i>	71
4.3.7	<i>Análisis de regresión lineal de reptiles en las tipologías de cacao orgánico y bosque (abundancia, riqueza y diversidad)</i>	72
4.3.8	<i>Relación de las variables ambientales y estructurales con la composición de especies de reptiles</i>	74
4.4	Discusión	74
4.4.1	<i>Estructura de la comunidad de reptiles en el paisaje</i>	74
4.4.2	<i>Efecto de las características estructurales y variables ambientales en la abundancia, riqueza y diversidad de reptiles en el paisaje</i>	78
4.5	Bibliografía	80
5	CAPITULO III. VARIABLES ESTRUCTURALES QUE EXPLICAN LA DIVERSIDAD DE HERPETOFAUNA EN UN PAISAJE FRAGMENTADO DEL TRÓPICO HÚMEDO DE PANAMÁ	85
5.1	Materiales y métodos	86
5.1.1	<i>Especies indicadoras de herpetofauna</i>	87
5.2	Resultados	87
5.2.1	<i>Abundancia, riqueza y diversidad de herpetofauna entre tipologías de cacao orgánico y bosque natural</i>	89
5.2.2	<i>Comparación de la composición de comunidades de herpetofauna en tipologías de cacao orgánico y bosque natural</i>	90
5.2.3	<i>Efectos de las características estructurales de las tipologías de cacao y bosque, en la conservación de herpetofauna</i>	92
5.2.4	<i>Análisis de regresión lineal de herpetofauna en tipologías de cacao orgánico y bosque natural (abundancia, riqueza y diversidad)</i>	92
5.2.5	<i>Composición de herpetofauna, especies indicadoras</i>	93
5.3	Discusión	94

5.3.1	<i>Estructura de la comunidad de herpetofauna en el paisaje</i>	94
5.3.2	<i>Efecto de las características estructurales y variables ambientales en tipologías de cacao orgánico y bosque natural en la riqueza y abundancia de herpetofauna</i>	95
5.3.3	<i>Implicaciones para la conservación de herpetofauna en sistemas agroforestales de cacao</i>	97
5.4	Bibliografía	99

ANEXO101

RESUMEN

En un paisaje protegido del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá, dominado por sistemas agroforestales de cacao orgánico, se efectuó el muestreo de herpetofauna en 39 parcelas de 4 tipos de cobertura diferentes estructuralmente (cacao con árboles remanentes de bosque, cacao multiestrato diversificado, cacao con laurel y banano y bosque natural), con el fin de identificar las características estructurales y variables ambientales en cada tipo de cobertura que se relacionan con la abundancia, riqueza y diversidad de herpetofauna de hojarasca. Se registraron 58 especies de animales (34 especies de anfibios y 24 especies de reptiles), distribuidos en 11 familias de anfibios y 10 familias de reptiles. Los resultados plantean diferencias en abundancia, riqueza y diversidad de herpetofauna entre los diferentes tipos de cobertura. Los cacaotales con menor estructura vertical y mayor manejo eran las que poseen menor riqueza y diversidad de herpetofauna sin embargo, estos mismos cacaotales mostraron la mayor abundancia de anfibios, especialmente de *Oophaga pumilio*. Eso sugiere que algunas especies de anfibios se favorecen de la mayor cantidad de hojarasca presentes en ellas. El cacao con arboles remanentes de bosque mostro la mayor riqueza de anfibios de todo el muestreo y la estructura de esta tipologia parecía más al bosque que las demas. Esto no significa que el cacao sea sustituto del bosque, pero, provee hábitat para una gran proporción de la comunidad de herpetofauna, particularmente después de que ha cesado el manejo intensivo y las plantaciones inician su trayectoria de sucesión hacia algún tipo de bosque de tierra baja. Entender los regímenes de manejo típicos de la producción de cacao a través de las zonas neotropicales constituye un primer paso importante si queremos relacionar la producción de cultivos con la conservación de la biodiversidad.

Palabras claves: herpetofauna, cacaotales, conservación

ABSTRACT

We sampled herpetofauna diversity in 4 land uses (cocoa with remnant forest trees, cocoa diversified in multi layers, cocoa with laurel, bananas and natural forest) in the protected landscape of the Bosque Protector de Palo Seco, of Panamá. Our goal was to identify the structural characteristics and environmental variables of these land use types that contribute to the herpetofauna conservation. The area around the protected area is dominated by an organic cacao agroforestry systems. Through this study we found and identified 58 species (34 amphibian species and 24 reptile species), distributed in 11 amphibian and 10 reptile families. Our findings demonstrate clear differences in herpetofauna abundance, richness and diversity according to the land use type. The cacao plantations with the simpler vertical structure, however these same fields had the greatest abundances of amphibians in particular, especially *Oophaga pumilio*. This suggests that some species of amphibians favor the high quantity of leaf litter found in these parcels in particular. The cacao plantations that retained a high degree of forest remnant trees had the greatest amphibian richness and retain a vegetation structure reminiscent of forests. These results do not suggest that cacao plantations can serve as a substitute for forest however, but that they can provide habitat for a large proportion of the herpetofauna community, especially after the plantations have been abandoned, or when intensive management practices have ceased and natural regeneration/succession begins. Our results should not be interpreted as meaning that cocoa can substitute natural forest, but suggests that it can provide habitat to herpetofauna communities, particularly, after abandonment. To understand the regimen of traditional management of cocoa production throughout the neotropic zone constitutes an important first step to relate the crop cultivation and the conservation of the biodiversity.

Key words: herpetofauna, cacao plantation, conservation

INDICE DE CUADROS

<i>Cuadro 1. Especies de anfibios registrados en 39 parcelas de 4 tipos de cobertura en un paisaje agroforestal de cacao orgánico en el Bosque Protector de Palo Seco, Panamá.....</i>	<i>37</i>
<i>Cuadro 2. Abundancia de anfibios en cuatro coberturas del paisaje agroforestal de cacao orgánico en el Bosque Protector de Palo Seco, Panamá. * Bosque natural (BN), cacao con árboles remanentes de bosque (CARB), cacao con laurel y banano (CLB), cacao multiestrato diversificado (CMD).....</i>	<i>39</i>
<i>Cuadro 3. Correlación de la estructura vertical en las tipologías de cacao orgánico y bosque natural vs. riqueza, abundancia y diversidad de anfibios, en el paisaje agroforestal de cacao en el Bosque Protector de Palo Seco, Panamá.</i>	<i>43</i>
<i>Cuadro 4. Análisis de regresión lineal de anfibios en tipologías de cacao orgánico y bosque natural (abundancia, riqueza y diversidad), en el paisaje agroforestal del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá.</i>	<i>44</i>
<i>Cuadro 5. Dirección de la relación de las variables estructurales y ambientales con la composición de especies en los tratamientos. Alpha $0 < 0.05$.....</i>	<i>45</i>
<i>Cuadro 6. Especies de reptiles registrados en 39 parcelas de 4 tipos de cobertura en un paisaje agroforestal de cacao orgánico en el Bosque Protector de Palo Seco, Panamá.....</i>	<i>66</i>
<i>Cuadro 7. Abundancia de reptiles en cuatro coberturas del paisaje agroforestal de cacao orgánico en el Bosque Protector de Palo Seco, Panamá. * Bosque natural (BN), cacao con árboles remanentes de bosque (CARB), cacao con laurel y banano (CLB) y cacao multiestrato diversificado (MD).....</i>	<i>68</i>
<i>Cuadro 8. Correlación de la estructura vertical en las tipologías de cacao orgánico y bosque natural vs. riqueza, abundancia y diversidad de reptiles, en el paisaje agroforestal del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá.....</i>	<i>72</i>
<i>Cuadro 9. Análisis de regresión lineal de reptiles en las tipologías de cacao orgánico y bosque natural (abundancia, riqueza y diversidad), en el paisaje agroforestal del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá.....</i>	<i>73</i>

<i>Cuadro 10. Dirección de la relación de las variables estructurales y ambientales con la composición de especies de reptiles en los tratamientos. Alpha < 0.05</i>	<i>74</i>
<i>Cuadro 11. Abundancia de herpetofauna en cuatro coberturas del paisaje agroforestal de cacao orgánico en el Bosque Protector de Palo Seco, Panamá. * Bosque natural (BN), cacao con árboles remanentes de bosque (CARB), cacao con laurel y banano (CLB), cacao multiestrato diversificado (CMD).....</i>	<i>89</i>
<i>Cuadro 12. Correlación de la estructura vertical en las tipologías de cacao orgánico y bosque natural vs. riqueza, abundancia y diversidad de herpetofauna, en el paisaje agroforestal de cacao en el Bosque Protector de Palo Seco, Panamá.....</i>	<i>92</i>
<i>Cuadro 13. Análisis de regresión lineal de herpetofauna en tipologías de cacao orgánico y bosque natural (abundancia, riqueza y diversidad), en el paisaje agroforestal del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá.....</i>	<i>93</i>
<i>Cuadro 14. Resultados de la prueba de MONTE CARLO para el Valor de Indicador Observado, en cada especie de herpetofauna, mediante 4999 permutaciones, entre los 4 tipos de cobertura de suelo.....</i>	<i>94</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Gráfico Discriminante que muestra como las variables medidas en las distintas tipologías de cacao orgánico y bosque, agrupan tres tipos de usos de suelo. Uno compuesto por bosque natural (BN), otro por cacao con árboles remanentes de bosques (CARB) y el ultimo compuesto por cacao con laurel y banano (CLB) y cacao multiestrato diversificado (CMD). El análisis explica el 95% de la variación de las tipologías de cacao y bosque; el eje X explica el 91.88 % de la variación y el eje Y explica el 4.91% de la variación encontrada.34*
- Figura 2. Curva de acumulación de especies del paisaje agroforestal con cacao orgánico en el Bosque Protector de Palo Seco, Panamá. Las barras indican el número acumulado de especies de anfibios según el orden de muestreo en las parcelas.38*
- Figura 3. Curva rango-abundancia de anfibios en el paisaje agroforestal de cacao orgánico del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá. Bosque natural (BN), cacao con árboles remanentes de bosque (CAR), cacao con laurel y banano (CLB) y cacao multiestrato diversificado (MD).38*
- Figura 4. Curva de acumulación de especies anfibias en tipologías de cacao orgánico y bosque natural, en el paisaje agroforestal del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá.39*
- Figura 5. Interacción entre la abundancia de anfibios en tipologías de cacao orgánico y bosque natural y la altitud, en el paisaje agroforestal del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá. BN Bosque Natural; CARB Cacao con árboles remanentes de bosque; CLB Cacao con laurel y banano; CMD Cacao multiestrato diversificado.40*
- Figura 6. Abundancia de especies anfibias entre tipologías de cacao orgánico y bosque natural, en el paisaje agroforestal del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá. BN Bosque natural; CARB Cacao con árboles remanentes de bosque; CLB Cacao con laurel y banano; CMD Cacao multiestrato diversificado.41*
- Figura 7. Riqueza de especies anfibias entre tipologías de cacao orgánico y bosque natural, en el paisaje agroforestal del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá.*

	<i>BN Bosque natural; CARB Cacao con árboles remanentes de bosque; CLB Cacao con laurel y banano; CMD Cacao multiestrato diversificado.</i>	<i>41</i>
<i>Figura 8. Gráfico de ordenación (Coordenadas principales) para anfibios en tipologías de cacao orgánico y bosque natural, en el paisaje agroforestal del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá. Bosque natural (BN), cacao con árboles remanentes de bosque (CARB), cacao con laurel y banano (CLB) y cacao multiestrato diversificado (MD).</i>		<i>42</i>
<i>Figura 9. Curva de acumulación de especies del paisaje agroforestal con cacao orgánico en el Bosque Protector de Palo Seco, Panamá. Las barras indican el número acumulado de especies de reptiles, según el orden de muestreo en las parcelas.</i>		<i>67</i>
<i>Figura 10. Curva rango-abundancia de reptiles en el paisaje agroforestal de cacao orgánico del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá. Boque natural (BN), cacao con árboles remanentes de bosque (CARB), cacao con laurel y banano (CLB) y cacao multiestrato diversificado (MD).</i>		<i>67</i>
<i>Figura 11. Curva de acumulación de especies de reptiles en tipologías de cacao orgánico y bosque natural, en el paisaje agroforestal del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá.</i>		<i>68</i>
<i>Figura 12. Interacción entre la abundancia de reptiles en tipologías de cacao orgánico y bosque natural y la altitud, en el paisaje agroforestal del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá.</i>		<i>69</i>
<i>Figura 13. Abundancia de especies de reptiles entre tipologías de cacao orgánico y bosque natural en el paisaje agroforestal del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá. BN Bosque natural; CARB Cacao con árboles remanentes de bosque; CLB Cacao con laurel y banano; CMD Cacao multiestrato diversificado.</i>		<i>70</i>
<i>Figura 14. Riqueza de especies de reptiles entre tipologías de cacao orgánico y bosque natural en el paisaje agroforestal del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá. BN Bosque natural; CARB Cacao con árboles remanentes de bosque; CLB Cacao con laurel y banano; CMD Cacao multiestrato diversificado.</i>		<i>70</i>
<i>Figura 15. Gráfico de ordenación (Coordenadas principales) para reptiles en tipologías de cacao orgánico y bosque natural, en el paisaje agroforestal del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá. Bosque natural (BN), cacao con árboles</i>		

<i>remanentes de bosque (CARB), cacao con laurel y banano (CLB) y cacao multiestrato diversificado (CMD).</i>	<i>71</i>
<i>Figura 16. Curva de acumulación de especies del paisaje agroforestal con cacao orgánico en el Bosque Protector de Palo Seco, Panamá. Las barras indican el número acumulado de especies de herpetofauna según el orden de muestreo en las parcelas.</i>	<i>88</i>
<i>Figura 17. Curva rango-abundancia de herpetofauna en el paisaje agroforestal de cacao orgánico del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá. Boque natural (BN), cacao con árboles remanentes de bosque (CAR), cacao con laurel y banano (CLB) y cacao multiestrato diversificado (MD).....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 18. Riqueza de herpetofauna entre tipologías de cacao orgánico y bosque natural, en el paisaje agroforestal del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá. BN Bosque natural; CARB Cacao con áboles remanentes de bosque; CLB Cacao con laurel y banano; CMD Cacao multiestrato diversificado.</i>	<i>90</i>
<i>Figura 19. Abundancia de herpetofauna entre tipologías de cacao orgánico y bosque natural, en el paisaje agroforestal del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá. BN Bosque natural; CARB Cacao con áboles remanentes de bosque; CLB Cacao con laurel y banano; CMD Cacao multiestrato diversificado.</i>	<i>90</i>
<i>Figura 20. Gráfico de ordenación (Coordenadas principales) para herpetofauna en tipologías de cacao orgánico y bosque, en el paisaje agroforestal del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá. Bosque natural (BN), cacao con árboles remanentes de bosque (CARB), cacao con laurel y banano (CLB) y cacao multiestrato diversificado (MD).</i>	<i>91</i>

LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS

BPPS: Bosque Protector de Palo Seco

CATIE: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza

COCABO: Cooperativa de Servicios Múltiples de Cacao Bocatoreña

EBLS: Estación Biológica La Selva

NMS: Nonmetric Multidimensional Scaling

PCC: Proyecto Cacao Centroamérica

PILA: Parque Internacional La Amistad

SAFC: Sistema Agroforestal de Cacao

SMBC: Smithsonian Migratory Bird Center

STRI: Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales

UICN: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

UNEP: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad más de un tercio de las especies de anfibios están amenazadas a nivel global, y más de 120 especies han sufrido una extinción a nivel mundial desde 1980 (Whitfield et al., 2007). UICN, Conservación Internacional y NatureServe (2004) encuentran registradas en el mundo 5743 especies de anfibios, de estos, casi un tercio (1856 especies o 32.3%) (Stuart et al., 2004) están globalmente amenazados. En Panamá cerca del 30% de las especies de anfibios se encuentra catalogada bajo una categoría grave de amenaza, mientras otro tanto permanece bajo la categoría de datos insuficientes, situación que refleja el desconocimiento por ciertas especies y la necesidad de estudios específicos que permitan catalogarlas correctamente (IUCN, Conservation International y NatureServe, 2008).

Las extinciones de anfibios han sido reportadas debido a la pérdida y fragmentación del hábitat (Pearman, 1997; White et al., 1997; Young et al., 2004), cambio en los patrones climáticos (Pounds y Crump 1994; Donnelly y Crump, 1998; Whitfield et al. 2007), introducción de especies (Beebee, 1997; Davidson y Knapp, 2007), contaminación ambiental (Bach, 2000; Boone y Semlitsch, 2000; Davidson y Knapp, 2007) e infecciones patógenas (Laurance et al. 1996; Blaustein et al. 2005; Goldberg et al. 2007).

Los reptiles también son un grupo expuesto a la declinación de especies (Heinen, 1992; Glor et al. 2001; Whitfield et al. 2007). En este sentido el gremio de lagartijas de hojarasca representa el grupo de vertebrados más similar ecológicamente a los anfibios de hojarasca (Whitfield et al. 2007), tanto ranas terrestres y lagartos terrestres utilizan similares hábitats, microhábitats, y presas (Whitfield y Donnelly, 2006). La alta especificidad de hábitat acerca ecológicamente a anfibios y reptiles, por lo cual hace que muchas especies de áreas boscosas sean abundantes localmente en áreas con mayor cobertura vegetal (dosel y sotobosque), profundidad de hojarasca, elevada humedad y temperaturas estables (Demaynadier y Hunter, 1998).

Este es el caso del sistema agroforestal de cacao orgánico (*Theobroma cacao*), el cual se asemeja estructuralmente al bosque pero tiene una menor diversidad de vegetación (Suatunce, et al. 2003). Numerosos estudios han sugerido que los sistemas agroforestales multiestrato con cacao pueden contribuir a la conservación de la biodiversidad proveyendo hábitats alternativos y recursos para la vida silvestre (Estrada et al. 1997; Parrish et al. 1999;

Rice y Greenberg, 2000; Gaudrin y Harvey, 2003; Faria et al. 2006; Van Bael et al. 2007). Sin embargo, pocos estudios han comparado la biodiversidad entre los sistemas agroforestales de cacao con la de bosques y otros usos de la tierra, haciendo difícil acceder a su potencial de conservación (Harvey y González-Villalobos, 2007). Hay varias nuevas amenazas a la conservación de la biodiversidad en los paisajes de producción de cacao, que incluye pérdida de la cubierta forestal restante, la simplificación de doseles de cacao con sombra y la conversión de los sistemas agroforestales de cacao a otros usos agrícolas de la tierra con un menor valor para la biodiversidad (Schroth y Harvey, 2007).

En este sentido el valor de conservación para la fauna de anfibios y reptiles en los sistemas agroforestales de cacao orgánico en el oeste de Panamá no ha sido documentado. Aproximadamente el 40% de la superficie terrestre de la Provincia de Bocas del Toro es protegida sobre el papel, tan solo la mayoría de la protección se limita a las tierras altas en el Parque Internacional La Amistad, Reserva de la Biosfera (Van Bael et al. 2007). En el caso del Bosque Protector de Palo Seco (BPPS) existe una fuerte ocupación del área tanto por grupos indígenas como por ganaderos criollos provenientes de otras provincias, con un aumento del deterioro del área protegida por la acción de la actividad agropecuaria y el establecimiento de nuevas comunidades que ocasionan mayor impacto sobre los recursos (PM-BPPS, 2003). En este sentido cabe mencionar los efectos de la construcción de una represa en el río Changuinola, la cual se encuentra dentro del BPPS, causando desplazamiento de indígenas y colonos a otras áreas, migración de fauna y cambios en la cobertura del suelo por el desplazamiento de las prácticas agrícolas y de extracción a diferentes zonas.

Cuando las condiciones óptimas para el mantenimiento de la biodiversidad 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 y reptiles que poseen baja habilidad de adaptación y dispersión (Blaustein y Wake, 1995; Rueda, 1999). Aunque se conoce que la eliminación física de los hábitats naturales constituye la principal amenaza para la conservación de la vida silvestre y en especial para los anfibios, se debe trabajar para tratar de establecer en áreas de cultivos y de usos pecuarios, áreas de interconexión que permitan un desplazamiento e interacción de la fauna a través de corredores biológicos (Rueda-Almonacid et al. 2004).

Por otra parte, la abundancia, riqueza y diversidad de la mayor parte de las especies de anfibios se correlacionan con ciertas características del hábitat como la humedad, proporción de epífitas, capa de hojarasca, así como otros aspectos de microhábitats y microclima (García et al. 2005), características las cuales son necesarias evaluar dentro de los sistemas agroforestales de cacao orgánico, y así determinar el potencial que tienen dichos sistemas en la conservación de la herpetofauna.

1.1 Objetivos del estudio

1.1.1 Objetivo general

Evaluar el potencial de conservación de los sistemas agroforestales con cacao orgánico como hábitat para la herpetofauna de hojarasca en el Bosque Protector de Palo Seco, Bocas del Toro, Panamá.

1.1.2 Objetivos específicos

Caracterizar y comparar la composición, abundancia, riqueza y diversidad de herpetofauna de hojarasca en tipologías de cacao orgánico con diferente estructura vertical y bosque natural.

Relacionar la composición, abundancia, riqueza y diversidad de herpetofauna de hojarasca con la estructura vertical y variables ambientales en sistemas agroforestales de cacao orgánico.

Determinar las variables de hábitat que tienen mayor importancia en la abundancia, riqueza y diversidad de herpetofauna de hojarasca presentes en las diferentes tipologías de cacao orgánico y bosque natural.

Aportar insumos al entendimiento de la relación entre el tipo de manejo de los sistemas agroforestales con cacao orgánico y la conservación de la herpetofauna de hojarasca, a fin de sugerir prácticas favorables que puedan repercutir en el diseño de políticas más eficaces para la conservación de la biodiversidad en los paisajes con cultivos de cacao.

1.2 Hipótesis del estudio

Hay una diferencia significativa entre la abundancia, riqueza y diversidad de herpetofauna de hojarasca de bosques circundantes y sistemas multiestrato de cacao orgánico.

La composición de la herpetofauna de hojarasca entre bosques naturales y sistemas agroforestales con cacao orgánico no es significativa.

La diversidad de herpetofauna de hojarasca es más alta en sistemas agroforestales multiestrato de cacao orgánico con mayor heterogeneidad en la estructura vertical.

La diversidad de herpetofauna de hojarasca depende de la heterogeneidad estructural del sistema agroforestal con cacao orgánico.

2 MARCO CONCEPTUAL

2.1 La herpetofauna como indicador del estado de conservación

Los anfibios y reptiles terrestres son excelentes indicadores de la cantidad de microhábitats en los ecosistemas (Jones, 1986, en Dickerson, 2001), a la vez que son importantes en la cadena alimentaria y constituyen una proporción de vertebrados en determinados ecosistemas (Bury y Raphael, 1983). Por otra parte la información de la diversidad y abundancia de anfibios y reptiles ayuda a determinar la salud relativa de ecosistemas. Por ejemplo, la diversidad y abundancia de ranas, sapos y salamandras, fluctúan directamente con cambios en la composición y cantidad de microhábitats (Dickerson, 2001). Especies, como las salamandras y ranas que pasan toda su vida en plantas epifitas de las selvas, o como los cecílicos que habitan en troncos caídos en los bosques tropicales, pueden tener una distribución geográfica muy reducida o mostrar gran especialización hacia algún hábitat, por lo cual pueden ser útiles como indicadores de perturbaciones locales (Sánchez, 2001).

Los anfibios son buenos bioindicadores de la salud ambiental debido a propiedades comunes en todos ellos como lo son, la dependencia al agua y humedad, ciclos de vida complejos, sensibilidad fisiológica a condiciones ambientales por medio de una piel extremadamente permeable (Wake, 1991) y poca capacidad de dispersión y movilidad (Smith y Green, 2006), todas, condiciones que implican que los anfibios serían uno de los primeros grupos en ser afectados por alteraciones ambientales (Wake, 1991). Ellos habitan, tanto hábitats terrestres y acuáticos, lo que significa que están expuestos a los contaminantes acuáticos y terrestres. En la fase de huevos son extremadamente susceptibles a los contaminantes químicos, y la exposición en altas concentraciones puede dar lugar a anomalías de desarrollo. Las tasas de crecimiento de las ranas y sapos pueden ser significativamente afectados por el corto plazo, incluso la exposición a condiciones de acidez, como puede ser el resultado de la lluvia ácida (Dickerson, 2001). Adicionalmente está el hecho de que ocurren en distintas partes de su entorno, de manera que su condición y abundancia podría reflejar los efectos combinados o sinérgicos de interacciones en un ecosistema (Blaustein y Wake, 1995). Sin embargo, diferentes anfibios parecen ser más sensitivos a ciertas alteraciones ambientales que otros, y existe una variación entre especies y tóxicos (Pechmann y Wilbur, 1994), por

ejemplo, varias especies del género *Eleutherodactylus* que habitan en altitudes bajas en bosques primarios tropicales parecen ser especialmente susceptibles a cambios ambientales como la deforestación y el efecto de borde principalmente. Otras especies arborícolas que habitan el dosel en estos sitios (Hylidae), sufren un efecto directo con este tipo de cambios provocados por la destrucción de sus hábitats (Pearman, 1997).

De ser bioindicadores efectivos, manifestaciones de estrés ambiental se podrían suscitar de diversas formas: fluctuaciones y cambios en las tendencias de las poblaciones, anomalías genéticas, de comportamiento, morfológicas y fisiológicas, entre las más notorias, lo que conllevaría a mayores tasas de mortalidad (Angulo, 2002).

2.1.1 Declinación de anfibios y reptiles

En la actualidad más de un tercio de las especies de anfibios están amenazadas a nivel global, y más de 120 especies han sufrido una extinción a nivel mundial desde 1980 (Whitfield et al. 2007). UICN, Conservación Internacional y NatureServe, (2004) encuentran registradas en el mundo 5743 especies de anfibios, de estos, casi un tercio (1856 especies o 32.3%) (Stuart et al. 2004) están globalmente amenazados. En Panamá cerca del 30% de las especies de anfibios se encuentra catalogada bajo una categoría grave de amenaza, mientras otro tanto permanece bajo la categoría de datos insuficientes, situación que refleja el desconocimiento por ciertas especies y la necesidad de estudios específicos que permitan catalogarlas correctamente (IUCN, Conservation International, and NatureServe).

Las extinciones de anfibios han sido reportadas por muchos investigadores (Lips, 1998; Young et al. 2001; Angulo, 2002; UICN, 2004; Young et al. 2004; La Marca et al. 2005; Lips et al. 2005a y 2005b) debido a la pérdida y fragmentación del hábitat; este factor explicado por Kattan (2000), como producto de la deforestación la cual generalmente no es aleatoria, sino que se concentra en zonas con ciertas características topográficas (zonas planas aptas para la agricultura), dicha extinción es fundamentalmente el resultado de dos fenómenos que ocurren a dos escalas espaciales diferentes. Primero, al reducirse la cobertura boscosa, se reduce no solo la diversidad de hábitats a nivel regional, si no el área total de hábitat disponible; dicha reducción afecta directamente aquellas especies que necesitan un hábitat continuo de gran tamaño para mantener poblaciones viables.

Bennett (1999) hace alusión a la reducción de hábitat como la disminución en el tamaño de los segmentos de hábitat que subsisten de la subdivisión o clareo. Por otra parte la fragmentación deja a las poblaciones aisladas en los parches remanentes lo cual hace que estas poblaciones tiendan a ser pequeñas, incrementando su riesgo de extinción, ya sea por factores demográficos (bajo número de individuos) o por factores estocásticos (ocurrencia de perturbaciones naturales) (Kattan, 2002).

Un número amplio de investigaciones documenta la pérdida de especies por fragmentación de hábitat para anfibios (Pearman, 1997; White et al. 1997; Weyrauch y Grubb Jr., 2004; Stoddard y Hayes, 2005; Schmidt et al. 2005; Cushman, 2006; Olson et al. 2007). Otro factor que favorece la extinción de anfibios lo constituye el cambio en los patrones climáticos (Pounds y Crump, 1994; Donnelly y Crump, 1998; Pounds et al. 2006; Whitfield et al. 2007), la introducción de especies (Beebee, 1997; Davidson y Knapp, 2007), la contaminación ambiental (Boone y Semlitsch, 2000; Davidson et al. 2002; Metts et al. 2005) y infecciones patógenas (Blaustein et al. 1994; Laurance et al. 1996; Hanselmann et al. 2004; Goldberg et al. 2007).

Los reptiles también son un grupo expuesto a la declinación de especies (Heinen, 1992; Rueda, 1999; Glor et al. 2001; Whitfield et al. 2007). En este sentido y comparando la fauna de anfibios como lo hace el estudio de Whitfield et al. (2007) en la estación La Selva, Costa Rica, el gremio de la fauna de lagartijas en hojarasca representa el grupo de vertebrados más similar ecológicamente a los anfibios de hojarasca, tanto ranas terrestres y lagartos terrestres utilizan similares hábitats, microhábitats, y presas (Whitfield y Donnelly, 2006).

La alta especificidad de hábitat acerca ecológicamente a anfibios y reptiles, por lo cual hace que muchas especies de áreas boscosas sean abundantes localmente en áreas con mayor cobertura vegetal (dosel y sotobosque), profundidad de hojarasca, elevada humedad y temperaturas estables (Demaynadier y Hunter, 1998). 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 y reptiles que poseen baja habilidad de adaptación y dispersión (Blaustein y Wake, 1995; Rueda, 1999).

Aunque se conoce que la eliminación física de los hábitats naturales constituye la principal amenaza para la conservación de la vida silvestre y en especial para los anfibios, se

debe trabajar para tratar de establecer en áreas de cultivos y de usos pecuarios, áreas de interconexión que permitan un desplazamiento e interacción de la fauna a través de corredores biológicos (Rueda-Almonacid et al. 2004). Por otra parte, la riqueza y abundancia de la mayor parte de las especies de anfibios se correlacionan con ciertas características del hábitat como la humedad, proporción de epífitas, capa de hojarasca, así como otros aspectos de microhábitats y microclima (García et al. 2005), características que son necesarias evaluar dentro de los sistemas agroforestales de cacao orgánico para determinar el potencial que tienen dichos sistemas agroforestales en la conservación de la herpetofauna.

2.2 Herpetofauna y plantaciones de cacao

Estudios de autores como Lieberman (1986), Heinen (1992), Glor et al. (2001), Faria et al. (2007), Whitfield et al. (2007), documentan el papel de los sistemas agroforestales con cacao, en el mantenimiento y conservación de la herpetofauna. Según Heinen (1992) en la Estación Biológica La Selva, Costa Rica, compara la herpetofauna de plantaciones de cacao de dos diferentes edades de abandono (cinco y veinticinco años, respectivamente) y bosque primario, reportando que la abundancia y biomasa de la herpetofauna fue mayor en los cacaotales y la riqueza y diversidad más alta en el bosque. Afirma además que los sitios recientemente más perturbados tienen mayor profundidad de hojarasca y esta puede influir en la disponibilidad de presas, y el alto porcentaje de cobertura del dosel, los cuales pueden llevar a extremos en la temperatura y la disponibilidad de humedad, en comparación con el bosque primario no perturbado. Sin embargo, aún existen vacíos sobre cuales factores están influenciando la herpetofauna característica de este tipo de ambiente y de las variables que estarían influyendo en la composición de especies (Heinen, 1992).

Faria et al. (2007) al sur de Bahía, en Brasil, una región donde el cacao es famoso por su diversidad en sistemas tradicionales agroforestales de cacao (cabrukas), compararon el conjunto de los cinco grupos biológicos (helechos, ranas, lagartos, aves y murciélagos) en cabrukas y bosque primario en dos paisajes, uno dominado por cabrukas y uno dominado por bosques. Si bien se encuentran especies que viven en sistemas tradicionales agroforestales de cacao, muchas especies se encuentran en los bosques, confirmando el hecho de que los sistemas tradicionales agroforestales de cacao, no son sustitutos de los bosques naturales.

Además, los paisajes de cabrucas con menor cubierta forestal son pobres biológicamente en comparación con paisajes de cabrucas con una mayor cubierta forestal.

Por último el trabajo de Whitfield et al. (2007), identifica un descenso sistemático en toda las poblaciones de anfibios terrestres en la Estación Biológica La Selva, Costa Rica; utilizando datos recogidos de 35 años para demostrar que la densidad de población de todas las especies de anfibios terrestres disminuyó un 75% desde 1970, demostrando tendencias idénticas para todas las especies comunes de reptiles. Sugiriendo que dichas tendencias no son consistentes con la reciente aparición de chytridiomycosis¹ ni la hipótesis epidémica ligada con el clima, dos de las principales causas de la enigmática reducción de los anfibios. En lugar de ello, sugieren que los declives se deben al clima impulsado por las reducciones en la cantidad de hojarasca, un microhábitat crítico en el ensamble de anfibios y reptiles. Dichos resultados plantean nuevas preocupaciones acerca de la persistencia mundial de las poblaciones de anfibios mediante la identificación de una amplia disminución de las especies y hábitats que aún no se reconocen como susceptibles a tales riesgos (Whitfield et al. 2007).

2.3 Biodiversidad y sistemas agroforestales de cacao

Los ecosistemas agrícolas, o agroecosistemas, son ecosistemas en los que las plantas y animales de presencia natural y espontánea han sido reemplazados por plantas de cultivo o ganado deliberadamente seleccionados por los seres humanos. El grado de perturbación del sistema natural varía grandemente entre diferentes tipos de agricultura (UNEP, 1996). En el caso de los agroecosistemas de sombra tales como el cacao (*Theobroma cacao*) el cual por tradición cultural, necesidad económica y biología del cultivo, se planta bajo árboles que forman un dosel de sombra, convirtiendo áreas agrícolas típicamente abiertas y deterioradas en un hábitat cerrado comparable al bosque, lo cual le permite ser tomado como una herramienta de conservación de la biodiversidad tropical dentro de zonas rápidamente deforestadas, al

¹ La chytridiomycosis es una enfermedad infecciosa fatal que afecta a los anfibios; esta es causada por un hongo de la división Chytridiomycota, *Batrachochytrium dendrobatidis* (Bd), específicamente.

mismo tiempo que proveen una cosecha lucrativa para las comunidades agrícolas (Perfecto et al. 1996).

Según Bichier (2006), varios estudios han demostrado que los sistemas agroforestales son una forma de conservar la biodiversidad, atrae a especies beneficiosas a la agricultura, tales como polinizadores, mejora a las granjas, por ejemplo, por medio de la reducción de la erosión, como también la presencia de un dosel de sombra el cual generalmente proporciona algún beneficio económico adicional, a la vez que mejora la habilidad de estos hábitats agrícolas para albergar un grupo diverso de flora y fauna. Este dosel de sombra y su manejo proveen los ingredientes clave que convierten al cacao de un simple cultivo a una herramienta de conservación en América Latina (Parrish et al. 1999).

Los sistemas agroforestales con cacao que mantienen una diversidad florística y una sombra de copa compleja estructuralmente, tienen el potencial de albergar niveles significativos de biodiversidad (Schroth y Harvey, 2007) además de proporcionar un beneficio económico al agricultor (Parrish et al. 1999). Aun así, pocos estudios han documentado las especies de plantas y animales que ocurren dentro de estos sistemas o entre los paisajes dominados por la producción de cacao (Schroth y Harvey, 2007). Autores como Parrish et al. (1999), CATIE², y Schroth y Harvey (2007), al igual que otros, sustentan el papel de las plantaciones de cacao y su rol en el mantenimiento de la diversidad afirmando, que en general tanto la diversidad de plantas y animales dentro de los sistemas agroforestales con cacao es mayor que las de otros usos agrícolas de la tierra, pero más baja que en el hábitat original de los bosques.

Guiracocha et al. (2001) y Suatunce et al. (2003), documentan la diversidad de plantas en sistemas agroforestales de cacao comparado con bosques naturales; dichos investigadores mencionan como resultado que los SAF tuvieron menor diversidad, menor densidad de árboles y menos especies primarias que el bosque. Sin embargo, tuvieron una estructura múltiestratificada similar a los bosques circundantes. Por otra parte, Sonwa et al. (2007)

² Proyecto Biodiversity conservation and sustainable production in small, indigenous organic cocoa farms in the Talamanca-Caribbean biological corridor, Costa Rica 2001-2004.

exploraron la diversidad de árboles de cacao en tres subregiones del sur de Camerún. Encuentran una riqueza global de 206 especies de árboles, que es superior a los valores documentados en la producción de cacao de otras regiones de África y América Latina (por ejemplo, Johns 1999; Suatunce et al. 2003). Sin embargo, la diversidad de árboles dentro de los sistemas agroforestales con cacao disminuye con el aumento de la intensidad de uso de la tierra en la región donde la densidad de población es más alta y la mayoría de los mercados son accesibles, las especies forestales nativas de cacao dentro de los sistemas agroforestales se está sustituyendo cada vez más por los árboles frutales exóticos.

En este sentido Laird et al. (2007), contrasta la importancia de la diversidad de árboles dentro de las fincas de cacao para los indígenas vs. hogares migrantes de Camerún. Aunque tanto los indígenas y agricultores migrantes conservan y plantan especies útiles dentro de sus fincas de cacao, los hogares indígenas conservan y plantan una más alta densidad y diversidad de árboles que no son cacao y un rango más amplia de especies de sus fincas. Estos resultados sugieren que los hogares indígenas dependen en un grado mayor de la biodiversidad y, por extensión, esa diversidad biológica está relacionada con la diversidad cultural.

Varias investigaciones documentan la diversidad de aves en los sistemas agroforestales de cacao; autores como el Smithsonian Migratory Bird Center (SMBC) (Parrish et al. 1999), Robbins et al. (1992, En Parrish et al. 1999), Estrada et al. (1994), Harvey y González-Villalobos (2007) y Van Bael et al. (2007), informan acerca de la diversidad ornitológica presente en los sistemas agroforestales con cacao comparado con los bosques, afirmando que la composición de aves en el cacao fue más semejante a la del bosque natural que aquella en otros tipos de sistemas de manejo de la tierra, llegando a incluso afirmar que la diversidad de aves de plantaciones de cacao con sombra es comparable a la de los bosques. Según Parrish et al. (1999), los resultados preliminares demostraron que los hábitats de cacao pueden contener una alta riqueza de especies superando aquella de los bosques, debido a que los agroecosistemas de cacao de sombra pueden poseer características estructurales tanto del bosque como de hábitats en estado temprano de sucesión, permitiendo que muchas más especies de aves encuentren refugio adecuado en el cacao. Por último sugieren que aunque el cacao manejado contiene una mayor riqueza de especies que el cacao abandonado, este último es mucho más representativo de las comunidades de aves. Esto no significa que el cacao sea sustituto del bosque, pero provee hábitat para una gran proporción de las comunidades de

aves forestales, particularmente después de que ha cesado el manejo intensivo y las plantaciones inician su trayectoria de sucesión hacia algún tipo de bosque de tierra baja.

De igual manera Van Bael et al. (2007) al comparar la diversidad de aves en cacao con sombra a la de los fragmentos de bosques naturales en Bocas del Toro, Panamá, para determinar el papel de la agroforestería con cacao y los bosques locales como hábitats de las aves migratorias, demostraron que la diversidad de aves en los cultivos de cacao aumentó conforme había mayor riqueza de especies de árboles de sombra y la disminución de la intensidad de manejo. Estas conclusiones destacan la importancia de los fragmentos de bosques y sistemas diversificados agroforestales de cacao con sombra para mantener intacto comunidades diversas de aves en los paisajes agrícolas.

Autores como Room (1975 en Parrish et al. 1999), Majer (1994), Suatunce (2002), Bos et al. (2007), Delabie et al. (2007), Pérez de la Cruz et al. (2007) entre otros, evalúan la diversidad de insectos (hormigas, escarabajos y arañas), presentes en los sistemas agroforestales de cacao, afirmando que la riqueza de dichas especies y abundancia es mayor en bosques comparada con cacaotales, obteniendo el bosque los promedios más altos en riqueza de especies y número de individuos. A su vez la presencia y diversidad de insectos que son depredados por las arañas y hormigas en el agroecosistema de cacao pueden ser promisorias para el control biológico de plagas, proporcionando servicios a los ecosistemas de importancia económica para los agricultores de cacao y a los consumidores al reducir la aplicación de pesticidas. Sin embargo, esta rica diversidad de insectos en la actualidad está amenazada por el manejo intensificado y la creciente fragmentación de los hábitats forestales.

En cuanto a la diversidad de mamíferos³, investigadores como Medellín et al. (2000), Gaudrin y Harvey (2003), Faria et al. (2006), Harvey y González-Villalobos (2007) y Vaughan et al. (2007), mencionan la importancia de los sistemas agroforestales con cacao de albergar mamíferos en el paisaje regional, constituyendo hábitat potencial para un vasto abanico de la biota regional. Faria et al. (2006) muestra que los sistemas agroforestales de cacao mantienen alta riqueza en los ensamblajes de especies de aves y murciélagos nativos pero, no son sustitutos de bosques intactos, debido a la presencia y a la representatividad de algunas especies de bosques que aparentemente dependen de la existencia de bosques cercanos. De igual forma Harvey y González-Villalobos (2007), abordan cuestiones similares en Talamanca (Costa Rica), concluyendo que si bien los sistemas agroforestales con cacao complejos, son el hábitat de más especies que las plantaciones en monocultivo, la conservación de los bosques naturales remanentes es de importancia crítica para la conservación de todas las especies locales en paisajes con producción de cacao.

Varias son las amenazas a la conservación de la biodiversidad en los paisajes de producción de cacao, que incluye pérdida de la cubierta forestal restante, la simplificación de cacao sombra doseles y la conversión de los sistemas agroforestales de cacao a otros usos de la tierra agrícola con un menor valor para la diversidad biológica. Para contrarrestar esta amenaza y conservar la diversidad biológica en el largo plazo, el manejo de la tierra debería centrarse en la conservación de los hábitats de bosques nativos dentro de los paisajes con cultivos de cacao, manteniendo o restableciendo florística y estructuralmente diversos complejos de sistemas agroforestales de cacao con sombra, y otros tipos de explotación de la cubierta forestal para mejorar la conectividad del paisaje y la disponibilidad del hábitat (Schroth y Harvey, 2007). Finalmente, es necesario reunir más información sobre los factores que determinan la calidad del hábitat para diferentes grupos de especies, tanto a escala de parcela como paisaje agroforestal, de manera que se puedan desarrollar directrices adecuadas para su manejo (Schroth y Harvey, 2007).

³ Murciélagos, osos perezosos-*Bradypus variegatus* y *Choloepus hoffmanni*- y mamíferos de caza.

2.4 Bibliografía

- Angulo, A. 2002. Anfibios y paradojas: perspectivas sobre la diversidad y las poblaciones de anfibios. *Ecología Aplicada* Vol. 1 No. 1. 87-91 p
- Bach, O. 2000. Diversidad, abundancia y distribución de anfibios en fincas bananeras según tipo de manejo agrícola. *Ambientico* 20(6): 52-64
- Beebee, T. J. C. 1997. Changes in dewpond numbers and amphibian diversity over 20 years on chalk downland in Sussex, England. *Biological Conservation* 81:215-219
- Bennett, A. F. 1999. Enlazando el paisaje: el papel de los corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre. Programa de conservación de bosques UICN. Conservando los ecosistemas boscosos Serie No. 1. Gland, Suiza y Cambridge, RU. 254 p
- Bichier, P. 2006. La Agroforestería y el Mantenimiento de la Biodiversidad. Disponible en <http://www.actionbioscience.org/esp/biodiversity/bichier.html>
- Blaustein, A. R. 1994. Chicken little or Nero's fiddle? A perspective on declining amphibian populations. *Herpetologica*. 50(1):85-97
- Blaustein, A. R.; Romansic, J. M.; Scheessele, E. A.; Han, B. A.; Pessier, A. P.; Longcore, J. E. 2005. Interspecific variation in susceptibility of frog tadpoles to the pathogenic fungus *Batrachochytrium dendrobatidis*. *Conservation Biology* Vol. 19. No. 5. 1460-1468 p
- Blaustein, A. R.; Wake, D. B. 1995. The puzzle of declining amphibian populations. *Scientific American* 272:56-61
- Boone, M. D.; Semlitsch, R. D. 2000. Interactions of an insecticide with larval density and predation in experimental amphibian communities. *Conservation Biology* Vol. 15 No. 1. 228-238 p
- Bos, M. M.; Stefan-Dewenter, I.; Tschardt, T. 2007. The contribution of cacao agroforests to the conservation of lower canopy ant and beetle diversity in Indonesia. *Biodiversity and Conservation* Vol. 16 No. 8. 2429-2444 p
- Bury, R. B.; Raphael, M. G. 1983. Inventory methods for amphibians and reptiles. *Proceedings of the International Conference on Renewable Resources. Inventories for monitoring changes and trends*. Oregon State Univ. Corvallis, USA.
- Cushman, S. A. 2006. Effects of hábitat loss and fragmentation on amphibians: a review and prospectus. *Biological Conservation* 128:231-240

- Davidson, C.; Knapp, R. A. 2007. Multiple stressor and amphibian declines: dual impact of pesticides and fish on yellow-legged frogs. *Ecological Applications* 17(2):587-597
- Davidson, C.; Shaffer, H. B.; Jennings, M. R. 2002. Spatial test of the pesticide drift, habitat destruction, UV-B, and climate-change hypothesis for California amphibian declines. *Conservation Biology* Vol. 16 No. 6. 1588-1601
- Delabie, J. H. C.; Jahyny, B.; Cardoso Do-Nascimento, I.; Mariano, C. S. F.; Lacau, S.; Campiolo, S.; Philpott, S. M.; Leponce, M. 2007. Contribution of cocoa plantations to the Conservation of native ants (Insecta: Hymenoptera: Formicidae) with a special emphasis on the Atlantic Forest fauna of southern Bahia, Brazil. *Biodiversity and Conservation* Vol. 16 No. 8. 2359-2384 p
- Demaynadier, P. G.; Hunter Jr, M. L. 1998. Effects of silvicultural edges on the distribution and abundance of amphibians in Maine. *Conservation Biology* Vol. 12 No. 2. 340-352
- Dickerson, D. D. 2001. Riparian habitat management for reptiles and amphibians on Corps of Engineers projects," EMRRP Technical Notes Collection (ERDC TNEMRRP-SI-22), U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS. 13 p
Disponibile en www.wes.army.mil/el/emrrp
- Donnelly, M.; Crump, M. L. 1998. Potential effects of climate change on two neotropical amphibian assemblages. *Climatic change* 39:541-561
- Estrada, A.; Coates-Estrada, R.; Merritt, D. 1994. Non flying mammals and landscape changes in the tropical rain forest region of Los Tuxtlas, Mexico. *Ecography* 17:229-241
- Estrada, A.; Coates-Estrada, R.; Merritt, D. 1997. Anthropogenic landscape changes and avian diversity at Los Tuxtlas, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 6:19-43
- Faria, D.; Barradas-Paciencia, M. L.; Dixo, M.; Ricardo-Laps, R.; Baumgarten, J. 2007. Ferns, frogs, lizard, birds and bats in forest fragment and shade cacao plantations in two contrasting landscapes in the Atlantic forest, Brazil. *Biodiversity and Conservation* Vol.16 No. 8. 2335-2357 p
- Faria, D.; Ricardo-Laps, R.; Baumgarten, J.; Cetra, M. 2006. Bat and Bird assemblages from forest and shade cacao plantations in two contrasting landscapes in the Atlantic forest of southern Bahia, Brazil. *Biodiversity and Conservation* 15:587-612

- García, J. C.; Castro, F.; Cárdenas, H. 2005. Relación entre la distribución de anuros y variables del hábitat en el sector La Romelia del Parque Nacional Natural Munchique, Cauca, Colombia. *Caldasia*. 27(2):299-310. 2005
- García-Giraldo, J. A. 2005. Incidencia de la cobertura arbórea de un paisaje silvopastoril de Rio Frio, Costa Rica, sobre los ensamblajes de anuros, una perspectiva de hábitat y de paisaje. Tesis Mg. Sc. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. 89 p
- Gaudrin, C.; Harvey, C. A. 2003. Caza y diversidad faunística en paisajes fragmentados del territorio indígena Bribe de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* Vol. 10 No. 37-38. 46-51 p
- Glor, R.E.; Flecker, A. S.; Benard, M. F.; Power, A. G. 2001. Lizard diversity and agricultural disturbance in a Caribbean forest landscape. *Biodiversity and Conservation* 10:711-723
- Goldberg, T. L.; Readell, A. M.; Lee, M. H. 2007. Chytrid fungus in frogs from an Equatorial African montane forest in Western Uganda. *Journal of Wildlife Diseases*, 43(3):521-524
- Guiracocha, G.; Harvey, C. A.; Somarriba, E.; Krauss, U.; Carrillo, E. 2001. Conservación de la biodiversidad en sistemas agroforestales con cacao y banano en Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* Vol. 8 No. 30. 7-11 p
- Hanselmann, R.; Rodriguez, A.; Lampo, M.; Fajardo-Ramos, L.; Aguirre, A. A.; Kilpatrick, A. M.; Rodriguez, J. P.; Daszak, P. 2004. Presence of an emerging pathogen of amphibians in introduced bullfrogs *Rana catesbeiana* in Venezuela. *Biological Conservation* 120:115-119
- Harvey, C. A.; Gonzalez-Villalobos, J. A. 2007. Agroforestry systems conserve species-rich but modified assemblages of tropical birds and bats. *Biodiversity and Conservation* Vol. 16 No. 8. 2257-2292 p
- Heinen, J.T. 1992. Comparisons of the leaf litter herpetofauna in abandoned cacao plantations and primary rain forest in Costa Rica: Some implications for faunal restoration. *Biotropica*, 24(3):431-439.
- IUCN, Conservation International, and NatureServe. 2008. An Analysis of Amphibians on the 2008 IUCN Red List <www.iucnredlist.org/amphibians>. Downloaded on 6 October 2008.

- Johns, N. D. 1999. Conservation in Brazil's chocolate forest: the unlikely persistence of the traditional cocoa agroecosystem. *Environmental Management* 23:31–47
- Kattan, G. 2000. Fragmentación y mecanismos de extinción de especies. En Guariguata, M. R.; Kattan, G. H. Edit. 2002. *Ecología y conservación de bisques neotropicales*. Ediciones LUR. Cartago, Costa Rica. 561-590 p
- La Marca, E.; Lips, K. R.; Lötters, S.; Puschendorf, R.; Ibañez, R.; Rueda-Almonacid, J. V.; Schulte, R.; Marty, C.; Castro, F.; Manzanilla-Puppo, J.; Garcia-Perez, J. E.; Bolaños, F.; Chaves, G.; Pounds, J. A.; Toral, E.; Young, B. E. 2005. Catastrophic population declines and extinctions in Neotropical harlequin frogs (Bufonidae: *Atelopus*). *Biotropica* 37(2):190-201
- Laird, S. A.; Leke-Awung, G.; Lysingle, R. J. 2007. Cocoa farms in the Mount Cameroon region: biological and cultural diversity in local livelihoods. *Biodiversity and Conservation* Vol. 16 No. 8. 2401-2427 p
- Laurance, W. F.; McDonald, K. R.; Speare, R. 1996. Epidemic disease and catastrophic decline of Australian rain forest frogs. *Conservation Biology*. Vol. 10 No. 2. 406-413
- Lieberman, S. S. 1986. Ecology of the litter herpetofauna of a neotropical rain forest: La Selva, Costa Rica. *Acta Zool. Mex.* (ns). 15.
- Lips, K. R. 1998. Decline of a tropical montane amphibian fauna. *Conservation Biology*. 12(1): 106-117
- Lips, K. R.; Burrowes, P. A.; Mendelson III, J. R. 2005b. Amphibian declines in Latin America: widespread population declines, extinctions, and impacts. *Biotropica* 37(2):163-165
- Lips, K. R.; Burrowes, P. A.; Mendelson III, J. R.; Parra-Olea, G. 2005a. Amphibian population declines in Latin America: a synthesis. *Biotropica* 37(2):222-226
- Majer, J. D. 1994. Arboreal ant community patterns in Brazilian cocoa farms. *Biotropica* 26:73-83
- Medellin, R. A.; Equihua, M.; Amin, M. A. 2000. Bat diversity and abundance as indicators of disturbance in neotropical rainforests. *Conservation Biology*. Volume 14, No. 6. 1666-1675 p
- Metts, B. S.; Hopkins, W. A.; Nestor, J. P. 2005. Interaction of an insecticide with larval density in pond-breeding salamanders (*Ambystoma*). *Freshwater Biology* 50:685-696

- Olson, D. H.; Anderson, P. D.; Frissell, C. A.; Welsh-Jr, H. H.; Bradford, D. F. 2007. Biodiversity management approaches for stream-riparian areas: perspectives for Pacific Northwest headwater forest, microclimates, and amphibians. *Forest Ecology and Management* 246:81-107
- Parrish, J. D.; Reitsma, R.; Greenberg, R.; Skerl, K.; McLarney, W.; Mack, R.; Lynch, J. 1999. El cacao como cultivo y herramienta de conservación en América Latina: frente a las necesidades del agricultor y de la biodiversidad forestal. Documentos de trabajo América Verde. No 3b. The Nature Conservancy, Arlington, Virginia. 44 p
- Pearman, P. B. 1997. Correlates of amphibian diversity in an altered landscape of Amazonian Ecuador. *Conservation Biology*, 11 (5): 1211-1225.
- Pérez de la Cruz, M.; Sánchez-Soto, Saúl.; Ortiz-García, C. F.; Zapata-Mata, R.; de la Cruz-Pérez, A. 2007. Diversidad de insectos capturados por arañas tejedoras (Arachnida: Araneae) en el agroecosistema cacao en Tabasco, México. *Neotropical Entomology* Vol. 36 No. 1 Londrina Jan./Feb. 2007
- Perfecto, I.; Rice, R. A. Greenberg, R.; Vander Voort, M. 1996. Shade coffee: A disappearing refuge for biodiversity. *BioScience*. 46:598-608
- Plan de Manejo del Bosque Protector de Palo Seco. 2003. Autoridad Nacional del Ambiente, ANAM. Ciudad de Panamá, Panamá. 56 p
- Pounds, J. A.; Bustamante, M. R.; Coloma, L. A.; Consuegra, J. A.; Fogden, M. P. L.; Foster, P. N.; La Marca, E.; Másters, K. L.; Merino-Viteri, A.; Puschendorf, R.; Ron, S.; Sanchez-Azofeifa, G. A.; Still, C. J.; Young, B. E. 2006. Widespread amphibian extinction from epidemic disease driven by global warming. *Nature* Vol. 439:12. 161- 167 p
- Pounds, J. A.; Crump, M. L. 1994. Amphibian declines and climate disturbance: the case of the golden toad and the harlequin frog. *Conservation Biology* Vol. 8 No. 1. 72-85 p
- Rice, R.; Greenberg, R. 2000. Cacao cultivation and the conservation of biological diversity. *Ambio* Vol. 29 No. 3. 167-173 p
- Rueda, J. V. 1999. Anfibios y reptiles amenazados de extinción en Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 23:475-497

- Rueda, J. V. 2004. Documento propuesta de trabajo de anfibios “En busca de las ranas arlequines de Colombia”. Conservación International-Colombia.
- Rueda, J. V.; Lynch, J. D.; Amezcuita, A. Edit. 2004. Libro Rojo de los Anfibios de Colombia. Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia. Bogotá, Colombia: CI Colombia, ICN-Universidad Nacional de Colombia y Ministerio del Medio Ambiente.
- Sánchez, O. 2001. Conservación y manejo de anfibios y reptiles: métodos y técnicas. México. 32 p. Disponible en <http://209.85.165.104/search?q=cache:oc5ZGiVD5GkJ:www.ine.gob.mx/dgoece/diplo>
- Schmidt, B. R.; Feldmann, R.; Schaub, M. 2005. Demographic processes underlying population growth and decline in *Salamandra salamandra*. *Conservation Biology* Vol. 19 No. 4. 1149-1156 p
- Schroth, G.; Harvey, C. A. 2007. Biodiversity conservation in cocoa production landscapes: an overview. *Biodiversity and Conservation* Vol. 16 No. 8. 2237-2244
- Smith, M. A.; Green, D. M. 2006. Sex, isolation and fidelity: unbiased long-distance dispersal in a terrestrial amphibian. *Ecography*. 29:649-658
- Smithsonian Migratory Bird Center-SMBC (2007). Disponible en <http://nationalzoo.si.edu/ConservationAndScience/MigratoryBirds/Research/Cacao/>
- Sonwa, D. J.; Nkongmeneck, B. A.; Weise, S. F.; Tchatat, M.; Adesina, A. A.; Janssens, M. J. 2007. Diversity of plants in cocoa agroforests in the humid forest zone of Southern Cameroon. *Biodiversity and Conservation* Vol. 16 No. 8. 2385-2400 p
- Stoddard, M.; Hayes, J. P. 2005. The influence of forest management on headwater stream amphibians at multiple spatial scales. *Ecological applications* 15(3)811-823
- Stuart, S. N.; Chanson, J. S.; Cox, N. A.; Young, B. E.; Rodrigues, A. S. L.; Fischman, D. L.; Waller, R. W. 2004. Status and trends of amphibian declines and extinctions worldwide. *Science* 306:1783-1786 p
- Suatunce, P. 2002. Diversidad de escarabajos estercoleros en bosques y en cacaotales de diferente estructura y composición florística, Talamanca, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 135 p

- Suatunce, P.; Somarriba, E.; Harvey, C.; Finegan, B. 2003. Composición florística y estructura de bosques y cacaotales en los territorios indígenas de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* Vol. 10 No. 37-38. 31-35 p
- UICN. Center for Applied Biodiversity Science.; Conservation international.; NatureServe. 2004. Anfibios en dramático declive; hasta 122 extintos desde 1980. Documento UICN 3 p
- UNEP/CBD/COP/3/14. 1996. Convenio sobre la diversidad biológica. Buenos Aires, Argentina. 35 p
- Van Bael, S. A.; Bichier, P.; Ochoa, I.; Greenberg, R. 2007. Bird diversity in cacao farms and forest fragments of western Panamá. *Biodiversity and Conservation* Vol. 16. No. 8. 2245-2256
- Vaughan, C.; Ramirez, O.; Herrera, G.; Guries, R. 2007. Spatial ecology and Conservation of two sloth species in a cacao lanscape in Limon, Costa Rica. *Biodiversity and Conservation* Vol. 16 No. 8. 2293-2310 p
- Wake, D. B. 1991. Declining amphibian populations. *Science* 253:860
- Weyrauch, S. L.; Grubb Jr. 2004. Patch and landscape characteristics associated with the distribution of woodlan amphibians in an agricultural fragmented landscape: and information-theoretic approach. *Biological Conservation* 115:443-450
- White, D.; Minotti, P. G.; Barczak, M. J.; Sifneos, J. C.; Freemark, K. E.; Santelmann, M. V.; Steinitz, C. F.; Kiester, A. R.; Preston, E. M. 1997. Assessing risks to biodiversity from future landscape change. *Conservation Biology* Vol. 11 No. 2. 349-360 p
- Whitfield, S. M.; Bell, K. E.; Philippi, T.; Sasa.; Bolaños, F.; Chaves, G.; Savage, J. M.; Donnelly, M. A. 2007. Amphibian and reptile declines over 35 years at La Selva, Costa Rica. *PNAS* Vol. 104 No. 20. 8352-8356 p
- Whitfield, S. M.; Donnelly, M. A. 2006. Ontogenetic and seasonal variation in the diets of a Costa Rican leaf-litter herpetofauna. *Journal of Tropical Ecol* 22:409–417
- Young, B. E.; Lips, K. R.; Reaser, J. K.; Ibáñez, R.; Salas, A. W.; Cedeño, J. R.; Coloma, L. A.; Ron, S.; La Marca, E.; Meyer, J. R.; Muñoz, A.; Bolaños, F.; Chávez, G.; Romo, D. 2001. Population declines and priorities for amphibian conservation in Latin America. *Conservation Biology*. Vol. 15 No 5. 1213-1223 p

Young, B. E.; Stuart, S. N.; Chanson, J. S.; Cox, N. A.; Boucher, T. M. 2004. Disappearing jewels: the status of new world amphibians. NatureServe, Arlington, Virginia. 60 p.

3 CAPITULO I. RELACIÓN DE LA DIVERSIDAD DE ANFIBIOS CON LAS VARIABLES ESTRUCTURALES DE UN PAISAJE DOMINADO POR SISTEMAS AGROFORESTALES DE CACAO ORGÁNICO AL OESTE DE BOCAS DEL TORO, PANAMÁ

Resumen

Más de la tercera parte de las especies anfibias está amenazado globalmente, y un número mayor de 120 especies de anfibios posiblemente se encuentran extintos desde 1980. Se investigó como se explica la relación y variación de la abundancia, riqueza y diversidad de anfibios de hojarasca con las variables de estructura vertical de la vegetación de 39 parcelas en diferentes tipologías de sistemas agroforestales con cacao orgánico y bosque en Valle de Risco, Palo Seco y Rio Oeste Arriba, Bosque Protector de Palo Seco, Panamá durante los meses de mayo a julio de 2008. Se registraron un total de 2791 individuos pertenecientes a 34 especies de anfibios distribuidos en 11 familias. La abundancia y riqueza de anfibios estuvo diferenciada en las tres tipologías de cacao orgánico y bosque ($p < 0.05$). Existió correlación negativa entre la riqueza de anfibios y la cobertura de la vegetación de 0 a 2 m de altura ($r = -0.38$; $p = 0.022$), por otra parte la riqueza de anfibios estuvo relacionada positivamente con la cobertura de la vegetación de 2 a 9 m de altura ($r = 0.26$; $p = 0.0121$) y el porcentaje de luz en el dosel, este último con relación negativa ($r = -0.37$; $p = 0.0274$). También hubo correlación de la abundancia con la cantidad de hojarasca en la parcela ($r = 0.40$; $p = 0.0133$), en el caso de la diversidad de anfibios se correlaciono negativamente con la cantidad de hojarasca en la parcela ($r = -0.42$; $p = 0.0105$). Usando el análisis de regresión múltiple de Stepwise, la riqueza de anfibios fue explicada por la cantidad de luz en el dosel con pendiente negativa, la abundancia de anfibios estuvo explicada por la cantidad de hojarasca en la parcela con pendiente positiva y finalmente la diversidad con la cantidad de hojarasca en la parcela con pendiente negativa. Se observó que las tipologías de cacao orgánico con menor estructura vertical y mayor manejo poseen los valores más bajos de riqueza y diversidad de anfibios, sin embargo son las que poseen la mayor abundancia de individuos; por otro lado, la tipología de cacao orgánico con mayor riqueza de anfibios, fue la más estructuralmente parecida al bosque, superándolo incluso en el número de especies, pero con valores más bajos de abundancia. Los sistemas agroforestales de cacao orgánico en el área protegida, están cumpliendo un rol de

conservación de la biodiversidad de anfibios, manteniendo la cobertura vegetal, proveyendo hábitats y alimento para diferentes especies de anfibios y sirviendo de zona amortiguadora y de conexión entre los ecosistemas intactos y manejados del paisaje.

Palabras claves: diversidad, tipos de cobertura, sistemas agroforestales de cacao, conservación.

Abstract

More than one third of the amphibian species is threatened globally, and more than 120 amphibian species could possibly be extinct since 1980. The explanation of the relation and variation of abundance, richness and diversity of amphibians in leaf litter, with variables of vegetation vertical structure and environmental variables in 39 plots in different typology of agroforestry systems with organic cocoa and forest in the Valley de Riscó, Palo Seco and Rio Oeste Arriba districts, Palo Seco Protector Forest, in Panamá from May to July, 2008 were investigated. A total of 2791 individuals belonging to 34 amphibian species distributed in 11 families was registered. The abundance and richness of the amphibian was differentiated into three typologies of organic cocoa and forest ($p < 0.05$). There was a negative correlation between the amphibian richness and vegetative cover from 0 to 2 m high ($r = -0.38$; $p = 0.022$). On the other hand, amphibian richness was positively related to the vegetation cover of 2 to 9 m high ($r = 0.26$, $p = 0.0121$) and the percentage of light in the canopy, the latter with negative relationship ($r = -0.37$, $p = 0.0274$). There was also a correlation of abundance with the amount of litter in the plots ($r = 0.40$, $p = 0.0133$). In the case of amphibian diversity, it was negatively correlated with the amount of litter in the plots ($r = -0.42$, $p = 0.0105$). Using multiple regression analysis Stepwise, the richness of amphibians was explained by the amount of light in the canopy with negative slope, the abundance of amphibians was explained by the amount of litter in the plots with positive slope, and finally the diversity with amount of litter in the plots with negative slope. It was observed that the types of organic cocoa with less management and greater vertical structure have the lowest values of richness and diversity of amphibians; however, these are the ones with the greatest abundance of individuals. On the contrary, the type of organic cocoa with more richness of amphibians was the most structurally similar to the forest, exceeding even the number of species, but with lower abundance values. The organic cacao agroforestry systems in the protected area are playing a key role in the conservation of amphibian biodiversity, maintaining the vegetation cover, providing habitat and food for different species of amphibians and serving as a buffer zone and connection between intact and disturbed ecosystems.

Keywords: diversity, types of vegetation cover, cocoa agroforestry systems, conservation.

3.1 Introducción

Uno de los actuales retos para la conservación es enfrentar simultáneamente las necesidades económicas que estimulan la expansión agrícola y la protección de la integridad de los ecosistemas y viabilidad de las especies, ya que la mayoría de las prácticas agrícolas tienden a reducir la biodiversidad mediante el reemplazo o deterioro del hábitat natural (Perfecto et al. 1996). En este sentido, los “agroecosistemas”⁴ de cacao pueden ser una opción de uso de la tierra que permita conectar y proteger, en lugar de aislar las áreas que protegen los bosques tropicales (Parrish et al. 1999).

Los agroecosistemas, tales como los sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*), son una herramienta de conservación de la biodiversidad tropical dentro de zonas rápidamente deforestadas y con otros usos de la tierra, debido a que convierten áreas agrícolas típicamente abiertas y deterioradas en un sistema cerrado comparable al bosque (Perfecto et al. 1996); debido a su alta diversidad vegetal proveen de hábitats, nichos y alimentos para otras especies de plantas y animales; sirviendo de zonas amortiguadoras para las áreas protegidas; y de conexión entre los ecosistemas intactos y manejados del paisaje (Suatunce, et al. 2003).

Las plantas de cacao pueden ser cultivadas junto con otros árboles, hierbas gigantes (banano) y otras formas de plantas, en variados arreglos espaciales y temporales, con diferentes densidades y con copas de árboles a diferentes alturas, para proporcionar sombra a las plantas de cacao y generar algunos bienes y servicios para los hogares campesinos y la sociedad (Somarriba et al. 2007).

Numerosos estudios han sugerido que los sistemas agroforestales multiestrato con cacao pueden contribuir a la conservación de la biodiversidad proveyendo hábitats alternativos y recursos para la vida silvestre (Estrada et al. 1993; Parrish et al. 1999; Medellín et al. 2000; Rice y Greenberg, 2000; Gaudrin y Harvey, 2003; Faria et al. 2006; Delabie et al. 2007; Faria et al. 2007; Harvey y González-Villalobos, 2007; Van Bael et al. 2007; Vaughan et al. 2007).

⁴ Los ecosistemas agrícolas, o agroecosistemas, son ecosistemas en los que las plantas y animales de presencia natural y espontánea han sido reemplazados por plantas de cultivo o ganado deliberadamente seleccionados por los seres humanos (UNEP, 1996).

Sin embargo, pocos estudios han comparado la biodiversidad entre los sistemas agroforestales con la de bosques y otros usos de la tierra, haciendo difícil acceder a su potencial de conservación (Harvey y González-Villalobos, 2007).

Según Schroth y Harvey (2007), hay varias nuevas amenazas a la conservación de la biodiversidad en los paisajes de producción de cacao, que incluye pérdida de la cubierta forestal restante, la simplificación de doseles de cacao con sombra y la conversión de los sistemas agroforestales con cacao a otros usos de la tierra agrícola con un menor valor para la biodiversidad. Para contrarrestar esta amenaza y conservar la diversidad biológica a largo plazo, el manejo de la tierra debería centrarse en la conservación de los hábitats de bosques nativos dentro de los paisajes con cultivos de cacao, manteniendo o restableciendo florística y estructuralmente diversos complejos de sistemas agroforestales con sombra, y otros tipos de explotación de la cubierta forestal para mejorar la conectividad del paisaje y la disponibilidad del hábitat.

Por otra parte Parrish et al. (1999) afirman que entender los regímenes de manejo típicos de la producción de cacao a través de las zonas neotropicales constituye un primer paso importante si queremos relacionar la producción de cultivos con la conservación de la biodiversidad. De esta manera es necesario reunir más información sobre los factores que determinan la calidad del hábitat para diferentes grupos de especies taxonómicas, de manera que se puedan desarrollar directrices adecuadas para su manejo (Schroth y Harvey, 2007).

Esta investigación tuvo como fin evaluar el hábitat potencial que tienen las diferentes tipologías de sistemas agroforestales con cacao orgánico para la presencia y mantenimiento de anfibios de hojarasca y aportar insumos al entendimiento del balance entre la productividad y la conservación de dichos sistemas, a fin de sugerir prácticas favorables que puedan repercutir en el diseño de políticas más eficaces para la conservación de la biodiversidad en los paisajes con sistemas agroforestales de cacao.

3.2 Materiales y métodos

3.2.1 Área de estudio⁵

Según el Plan de Manejo del Bosque Protector de Palo Seco (BPPS), el área protegida⁶, está ubicado en la periferia del Parque Internacional La Amistad (PILA), al noroeste de la provincia de Bocas del Toro y el noreste de la comarca Ngäbe-Buglé, en Panamá; tiene un área de 167,409 ha. La zona de estudio está ubicada en los corregimientos Valle de Risco (Filo Risco), Palo Seco y Rio Oeste Arriba, municipio de Almirante, provincia de Bocas del Toro, dentro del BPPS. El área de estudio presenta características de vida de bosque húmedo tropical (Holdridge, 1978). El relieve del área presenta regiones de cerros bajos, colinas, montañas medias, montañas altas, picos de cimas de montañas altas y valles intermontanos. Los promedios anuales de temperatura oscilan entre los 25° y 27° C. La humedad relativa es siempre alta, de 84.5% como promedio anual, y el mes más húmedo es junio. Los totales de precipitación son elevados, alcanzando 2,513mm de promedio anual. El área regional posee suelos cuya capacidad agrológica va desde los suelos arables tipo II, III a suelos no arables tipo: IV, V, VI, VII y VIII, que se distribuyen en forma dispersa por toda la región, con predominio de los suelos no arables, localizados hacia la parte norte del área regional (Plan de Manejo del Bosque Protector de Palo Seco, 2003).

El uso que se le da a la tierra en las comunidades del BPPS, se ha dividido en agrícola, pecuario y forestal. En la actividad agrícola, la mayor superficie se dedica a la siembra de arroz, yuca y maíz, otros cultivos que se encuentran son: coco, pixbae⁷, naranja, culantro, ají, tomate, cacao, plátano, aguacate, guandú, tomate y café. La actividad pecuaria, se da en menor escala que la agrícola, consiste en el establecimiento de pastizales para la cría de reses y de animales menores (cerdos, gallinas y patos). En el trabajo de campo se observaron algunas hectáreas dedicadas a plantaciones forestales, las cuales incluyen especies introducidas con el objetivo de su posterior explotación (Plan de Manejo del Bosque Protector de Palo Seco, 2003).

⁵ Tomado y adaptado de Plan de Manejo del Bosque Protector de Palo Seco (2003).

⁶ El BPPS fue creado por Decreto Ejecutivo N° 25 del 28 de septiembre de 1983.

⁷ Fruto de pejiballe

3.2.2 Selección de los sitios de estudio

En el área de estudio se mantienen plantaciones de cacao orgánico, desde principios de los años 80's (*com. per.* Eduardo Somarriba), optando por este sistema dado el bajo costo que representa realizar labores de manejo y mantenimiento de los cacaotales (comunicación personal con indígenas de la zona).

El primer paso para la elección de las diferentes tipologías de cacaotales orgánicos fue definir las fincas con sistemas agroforestales de cacao en el corregimiento de Valle de Risco y Palo Seco dentro del BPPS y Rio Oeste Arriba ubicada en la zona amortiguadora del área protegida. De las 6 tipologías⁸ de sistemas agroforestales con cacao orgánico identificadas por Somarriba y Harvey (2003) y Suatunce et al. (2003), se escogieron los niveles más contrastantes de clasificación, según la cantidad de cobertura, estratificación vertical y composición florística, las cuales representaron la mayor varianza, resultando en solo 3 tipos de cacaotales (cacao con laurel y banano, cacao multiestrato diversificado y cacao con árboles remanentes de bosque) y como tratamiento testigo el bosque secundario, para un total de 4 tratamientos, distribuidas en 20 parcelas ubicadas por debajo de los 180 msnm hasta los 10 msnm y fueron definidas como zona baja y 19 parcelas ubicadas por encima de los 190 msnm hasta los 419 msnm definidas como zona alta. Es necesario aclarar que la selección de los cuatro (4) tratamientos, coincide con el análisis discriminante canónico de las características estructurales en las tipologías de cacao y bosque, diferenciando, las tres tipologías de cacao (cacao con laurel y banano, cacao multiestrato diversificado y cacao con árboles remanentes) y bosque natural secundario.

3.2.3 Muestreo de anfibios de hojarasca

El muestreo de anfibios de hojarasca se realizó de mayo a julio de 2008. Se utilizó el método de cuadrantes propuesto por Heyer et al. (1994), en cada una de las 39 parcelas de muestreo establecidas en los tratamientos (9 parcelas correspondían a cacao con laurel y banano, 10 parcelas a cacao multiestrato diversificado, 9 parcelas a cacao con árboles

⁸ Sistemas agroforestales de cacao orgánico con diferentes estratificaciones verticales y distinta composición y estructura florística en cacaotales de las Reservas Indígenas de Talamanca, Costa Rica.

remanentes de bosque y 11 a bosque natural). Cada parcela se estableció en un área de 70 m de largo por 20 m de ancho ubicada en el centro de cada parcela. Una vez delimitada el área se procedió a ubicar 10 cuadrantes de 5 m x 5 m, separados a 10 m de distancia una de la otra. Tres personas muestrearon un día (recorrido diurno y nocturno por parcela) en época seca por parcela (29 horas/muestreo/persona en total para recorrido diurno época seca y 29 horas/muestreo/persona en total para recorrido nocturno época seca), y otro con igual intensidad horaria en época lluviosa. El esfuerzo de muestreo por parcela fue de 3 horas/persona, totalizando por tipo de cobertura 33 horas/persona para bosque, 27 horas/persona en cacao con laurel y banano, 30 horas/persona en cacao multiestrato diversificado y 27 horas/persona en cacao con árboles remanentes de bosque.

En cada cuadrante, se capturaron, registraron e identificaron todos los individuos de anfibios observados en el suelo, removiendo la hojarasca y en la vegetación hasta una altura de un metro y medio del suelo. La identificación en campo de los individuos se realizó a través de las claves taxonómicas de Savage (2002), y los animales no identificados se colectaron y fijaron según el protocolo propuesto por Simmons (1987), para posteriormente ser identificados en el laboratorio de herpetología del Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales (STRI) en Ciudad de Panamá.

3.2.4 Variables de hábitat

Para la evaluación de la estructura vertical en tipologías de cacao orgánico y bosque natural se tuvo en cuenta la metodología de Thioly (1992), la cual permite evaluar el grado de heterogeneidad de la estructura vertical del bosque por medio del cálculo de un índice que tiene en cuenta la cobertura de la vegetación en varios estratos, desde el sotobosque hasta el dosel. Estas parcelas son realizadas una por cada cuadrante en el área donde se muestrea los anfibios. El procedimiento se efectúa en todas las repeticiones por las diferentes tipologías de SAF con cacao orgánico y bosque natural. Según la metodología de Thioly (1992), en el centro de cada una de las parcelas de 10 m x 10 m, se estima el porcentaje de cobertura de la vegetación de cada uno de 5 estratos: a) 0-2 m, b) 2-9 m, c) 10-20 m, d) 20-30 m, y e) >30 m, usando una escala simple con valores de 0, 1, 2 ó 3, si el porcentaje de cobertura es de 0 equivale a observar en la parcela de 10 m x 10 m de 1 a 33 % de cobertura, 1 equivale a

observar en la parcela un porcentaje de cobertura del 34 a 66 %, y 3 equivale a observar un porcentaje de cobertura del 67 a 100 %.

Respecto al análisis de datos, según la metodología de Thioly (1992), en cada cobertura muestreada, se deberá calcular para cada uno de los 5 estratos un promedio de cobertura del follaje, utilizando los valores registrados en los puntos de muestreo. Promedios bajos de cobertura para un determinado estrato indican una menor cobertura de la vegetación que valores promedios mayores.

La toma de datos del porcentaje de cobertura de vegetación en varios estratos se llevó a cabo en el centro de los 10 cuadrantes de 5 m x 5 m por parcela establecidos para todos los tipos de cobertura, donde se muestrearon los anfibios y posteriormente se calculó el valor promedio de todos los cuadrantes por parcela de 70 m x 20 m establecidos según la metodología propuesta por el Proyecto Cacao Centroamérica para la zona de Talamanca en Costa Rica y Bocas del Toro en Panamá. Se procedió a medir la cantidad de luz que penetra en el dosel de las tipologías de cacao y bosque con el densímetro Spherical Crown Densimeter® en la misma zona donde se registró el porcentaje de cobertura de la vegetación (10 cuadrantes y se tomó solo la media de estos por parcela) para efectos de medir la luz en la canopia y su incidencia sobre los anfibios observados por parcela. Una vez obtenidos estos datos se marcaron 10 cuadrículas de 50 cm x 50 cm con un cuadrado construido en estacas de madera y cuerda de plástico, dispuestas en toda la parcela de 70 m x 20 m, buscando sitios con las mayores diferencias en el sustrato.

En cada cuadrícula se midieron las variables a manera de porcentaje, calculando por observación directa la totalidad que cubría el sustrato del cuadrado de 50 cm x 50 cm; por ejemplo, en el sustrato de un cuadrado cubierto completamente con hojarasca totalizaba el 100% de cobertura de hojarasca, aunque también podía existir un 30% de cobertura de leña, o en una cuadrícula de 50% de cobertura de roca podía existir 70% de leña, 40% de hojarasca y 5% de cobertura descubierta, de esta manera y por observación directa se efectuaba el cálculo de las variables de porcentaje del sustrato en la cuadrícula descubierta, porcentaje del sustrato en la cuadrícula con hojarasca, porcentaje del sustrato en la cuadrícula con vegetación arbustiva o herbáceas, porcentaje de leña (porcentaje del sustrato en la cuadrícula con troncos o ramas de árboles y arbustos) y porcentaje del sustrato en la cuadrícula con rocas presentes. Una vez obtenido estos datos, se registró de los 10 cuadrículas de 50 cm x 50 cm por parcela

los kilogramos de materia húmeda de hojarasca, esto equivale a tomar la hojarasca total de las 10 cuadrículas por parcela y medir su peso húmedo en una pesa electrónica en campo y tomar solo una muestra de 50 gramos por parcela para luego sacar el peso seco en el laboratorio de CATIE; es decir, si el total por parcela daba 1500 gramos de hojarasca húmeda pesada en campo, se sacaba solo 50 gramos de hojarasca húmeda para sacar su peso seco en CATIE, una vez obtenido los resultados del peso seco se extrapolo ese valor a la muestra de los 1500 gramos y luego al área total de los 10 cuadrantes de 5 m² medidas por parcela.

La distancia a cuerpos de agua fue medida con una cinta métrica desde el centro de la parcela de 70 m x 20 m, hasta el cuerpo de agua más cercano, dado que en el área muestreada hubo siempre presencia de quebradas, riachuelos y ríos de carácter permanente. En cada parcela las variables ambientales, temperatura del aire y humedad relativa fueron registradas con un termo higrómetro Digital Max/Min Thermohygrometer®, obteniendo dos registros una vez comenzaba el muestreo de anfibios e inmediatamente finalizado y anotando solo la media de estos por parcela. La temperatura del suelo se efectuó con un termómetro de 13 cm digital, dispuesto en el sustrato del centro de la parcela obteniendo dos datos por visita y registrando solo la media. La variable de precipitación se tomó con un pluviómetro el cual fue instalado lo más cercano posible al área de muestreo solamente en las dos épocas de muestreo (época seca y lluviosa), dado el comportamiento fisiológico de las especies de anfibios, los cuales con pequeñas y pronunciadas lluvias podrían ser observadas y oídas más fácilmente en la parcela muestreada. Por último, variables de altitud y coordenadas geográficas fueron obtenidas con un sistema de posicionamiento global (GPS) Garmin® GPS 60 Series GPS Receivers, ubicándose en el centro de cada parcela y tomando el dato respectivo.

3.3 Análisis de datos

Para cada una de las 39 parcelas, se registró el número de especies e individuos e índice de diversidad de Shannon y Simpson, además se generaron curvas de acumulación de especies, para cada una de las tipologías, esto constituye una forma gráfica de expresar visualmente la riqueza de especies y define la intensidad de muestreo (Magurran, 1988; Sánchez, 2001). El estimador de especies acumuladas fue MaoTao (EstimateS, 2007). Se generaron curvas de rango abundancia para cada una de las tipologías.

Para observar el agrupamiento de las tipologías de cacao y bosque según las variables estructurales se utilizó el análisis discriminante canónico y se elaboró un gráfico Biplot (InfoStat, 2008). Las variables utilizadas corresponden a cobertura de la vegetación de 0 a 2 m de altura, cobertura de la vegetación de 2 a 9 m de altura, cobertura de la vegetación de 10 a 20 m de altura, cobertura de la vegetación de 20 a 30 m de altura, cobertura de la vegetación mayor a 30 m de altura, cantidad de luz en la canopia y cantidad de hojarasca en el sustrato.

Se comparó, las tipologías a través del análisis de varianza, donde las variables respuesta fue abundancia, riqueza e índices de diversidad (Programa Infostat, 2008). El análisis de varianza fue un diseño en parcelas divididas con dos factores en la parcela principal, donde los factores correspondían a las tipologías de cacao orgánico y bosque y la ubicación de las parcelas de acuerdo a su altitud (zona alta, zona baja), y un factor en la subparcela (época lluviosa y época seca).

El modelo para este arreglo factorial es el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + T_i + Z_j + T_i Z_j + \text{rep } k (T_i Z_j) + E_l + T_i E_l + Z_j E_l + T_i Z_j E_l + \epsilon_{ijkl}$$

dónde:

Y_{ijk} es una observación para la variable de interés

μ = media general

T_i es el efecto de la i -ésima tipología

Z_j es el efecto de la j -ésima zona

$T_i Z_j$ es la interacción tipología x zona

$\text{rep } k (T_i Z_j)$ es el termino de error para la parcela principal (Error "A")

E_l es el efecto de la l -ésima época

$T_i E_l$ es la interacción de la tipología x época

$Z_j E_l$ es la interacción de la zona x época

$T_i Z_j E_l$ es la interacción de la tipología x zona x época

ϵ_{ijkl} es el término de error aleatorio independiente y supuestamente distribuido normal con media cero y varianza conocida (Error "B")

Para determinar el grado de asociación de las tipologías de cacao con respecto a la composición de especies se realizó un análisis de ordenación (Coordenadas principales). La distancia utilizada fue Bray Curtis (McCune y Mefford 1999).

3.3.1 Relación de las variables estructurales con la diversidad de especies

Para conocer el grado de asociación de las variables estructurales, con los distintos atributos de la comunidad de anfibios, se realizó análisis de correlación de Pearson. Una vez identificadas las variables estructurales que estuvieran relacionadas con la diversidad de anfibios, se realizó modelos de regresión múltiples paso a paso, y así, determinar cuáles variables estructurales influyen en la riqueza, abundancia e índices de diversidad de especies.

Además, con los valores de la coordenada principal uno (1) del análisis de ordenación de especies y las variables de estructura, se realizó, regresiones lineales múltiples para determinar que variables estructurales (regresoras) están determinando que las tipologías de cacao se parezcan o no, entre si, según las especies de anfibios que compartan.

3.4 RESULTADOS

3.4.1

3.4.2 Tipologías de cacao y bosque natural

El análisis discriminante canónico de las características estructurales en los cuatro tratamientos, muestra que hay tres grupos diferenciados, el primer grupo de cacao con laurel y banano (CLB) y cacao multiestrato diversificado (CMD), discriminado en el eje canónico 1 y en otro grupo, cacao con árboles remanentes de bosque (CARB) y bosque natural (BN), en el eje canónico 2, separa a cacao con árboles remanentes de bosque del bosque natural. Las variables que discriminaron estos grupos en el eje canónico 1 son cobertura de vegetación de 0-2 m de altura, cobertura de vegetación de 10-20 m y cobertura de vegetación >30 m; en el eje canónico 2, cobertura de vegetación de 10-20 m y temperatura del suelo en época seca (Figura 1).

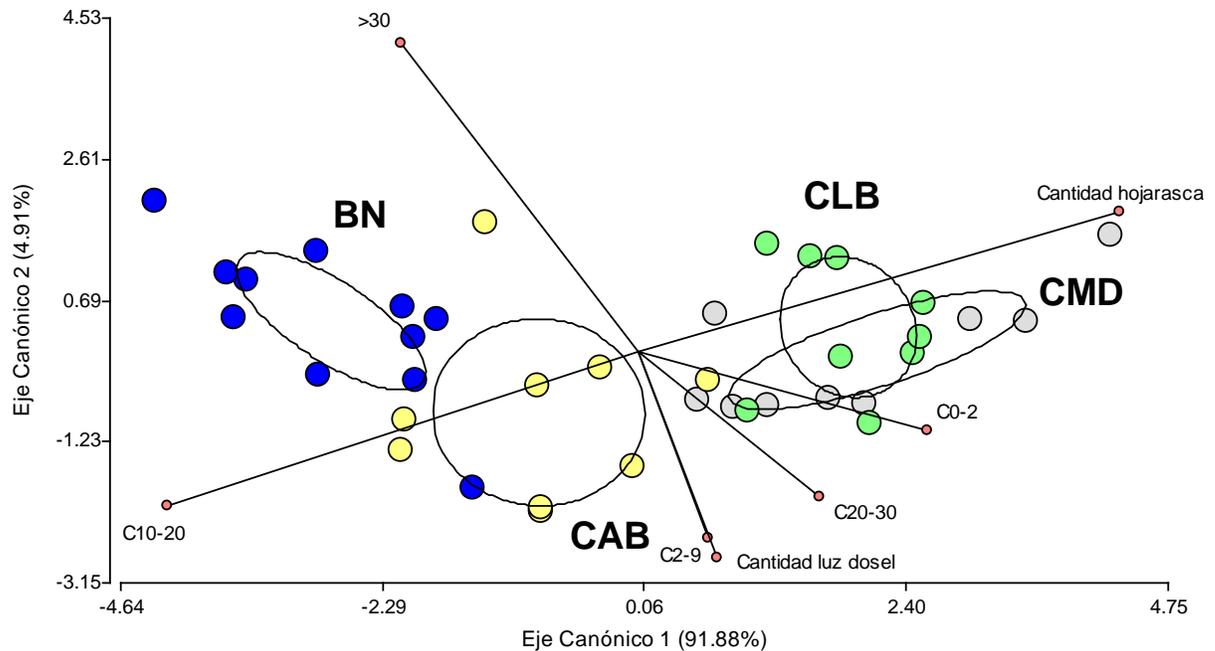


Figura 1. Gráfico Discriminante que muestra como las variables medidas en las distintas tipologías de cacao orgánico y bosque, agrupan tres tipos de usos de suelo. Uno compuesto por bosque natural (BN), otro por cacao con árboles remanentes de bosques (CARB) y el ultimo compuesto por cacao con laurel y banano (CLB) y cacao multiestrato diversificado (CMD). El análisis explica el 95% de la variación de las tipologías de cacao y bosque; el eje X explica el 91.88 % de la variación y el eje Y explica el 4.91% de la variación encontrada.

La tipología cacao con laurel y banano (CLB) registró, árboles de laurel en su mayoría y banano, y solo un estrato diferenciado, cobertura de dosel abierto y elevada cantidad de luz que penetra en el sotobosque, constituyendo además, las plantaciones de cacao con mayor manejo (chapias y podas al año). La tipología cacao multiestrato diversificado (CMD) conformado por dos estratos bien desarrollados, cobertura de dosel moderadamente cerrado, menor cantidad de luz que penetra al sotobosque, dos o más árboles de sombra (laurel, cedro, nance, ceibo, y algunos frutales como pejibaye, banano, naranja, limón, entre otros), y un régimen menor de manejo. La tipología de cacao con árboles remanentes de bosque (CARB) contenía tres o más estratos diferenciados, cobertura de dosel de moderadamente cerrado a cerrado parcialmente, baja o nula cantidad de luz que penetra el sotobosque, en la mayoría de los casos las plantas del estrato alto son remanentes del bosque natural o provienen de la regeneración natural (árboles de ceibo (*Pseudobombax sp.*), guácimo (*Guazuma sp.*), roble (*Quercus sp.*), almendro (*Dipteryx sp.*), guabo (*Balizia sp.*), laurel (*Cordia sp.*) y en algunos casos, frutales presentes), una parte de las parcelas pertenecían a cacaotales rústicos y no tuvieron manejo durante años o era realizado muy pocas veces.

3.4.3 Abundancia y diversidad de anfibios en tipologías de cacao orgánico y bosque natural

Se registraron un total de 2791 individuos pertenecientes a 34 especies de anfibios, distribuidos en 11 familias (Cuadro 1), con un esfuerzo de muestreo de 117 horas/persona en 9750 m². La familia más abundante de anfibios fue Dendrobatidae (2397 individuos) y la familia que ocupó la mayor riqueza fue Craugastoridae (8 especies), seguida de la familia Dendrobatidae (6 especies), en cuanto a las demás familias de anfibios Aromobatidae, Bufonidae, Caeciliidae, Centrolenidae, Eleutherodactylidae, Hylidae, Leptodactylidae, Ranidae, Strabomantidae, sumaron una riqueza de 20 especies (Cuadro 1). La curva de acumulación de especies (Figura 2) da como resultado un total de 34 especies de anfibios para el área de muestreo. En las diferentes coberturas pocas especies son abundantes, registrando, la mayoría abundancias bajas. La mayor dominancia en las tipologías de cacao y bosque, lo registró una especie de la comunidad de anfibios del cacao multiestrato diversificado (CMD), seguido de bosque natural (BN) y cacao con laurel y banano (CLB), finalmente, el que presentó la menor dominancia de especies fue el cacao con árboles remanentes de bosque (CARB) (Figura 3).

Hubo diferencias en el esfuerzo de muestreo/persona, en los tipos de coberturas, registrando, el bosque natural (BN) 33 horas/muestreo/persona, el cacao con árboles remanentes de bosque (CARB) 27 horas/muestreo/persona, el cacao con laurel y banano (CLB) 27 horas/muestreo/persona y el cacao con árboles remanentes de bosque (CARB) 30 horas/muestreo/persona. La mayor abundancia total de individuos para el grupo de anfibios fue en parcelas de cacao multiestrato diversificado (38% del total global) y bosque natural (31% del total global), las parcelas de cacao con laurel y banano (19% del total global), tuvieron el menor número de individuos, junto con las parcelas de cacao con árboles remanentes de bosque (11% del total global) (Cuadro 1). La mayor riqueza de especies fue observada en cacao con árboles remanentes de bosque con 23 especies, seguido de bosque natural con 21 especies, el cacao multiestrato diversificado y las parcela de cacao con laurel y banano sumaron 16 y 13 especies respectivamente (Cuadro 1). *Oophaga pumilio* fue la especie que más abundancia presentó en las tipologías de cacao orgánico y bosque natural ocupando el 78%, *Dendrobates auratus* 6%, *Allobates talamancae* 5%, *Craugastor sp.* 3% y *Cochranella granulosa* 1% (Cuadro 2).

Los anfibios con un solo individuo por especie (singletons) en bosque natural, totalizaron 8 especies, seguido de cacao con árboles remanentes de bosque con 3 especies, cacao con laurel y banano 5 especies y cacao multiestrato diversificado 3 especies con un solo individuo (Cuadro 1). El mayor porcentaje de especies únicas fue igual tanto para bosque natural (46%) como cacao con árboles remanentes de bosque (46%), seguido de cacao multiestrato diversificado (8%) (Cuadro 1).

El cacao con árboles remanentes de bosque (CARB), tiene mayor probabilidad de acumular especies que el cacao multiestrato diversificado (CMD) y el cacao con laurel y banano (CLB), además, el bosque natural (BN), presenta, mayor posibilidad de acumular especies que el cacao con laurel y banano (CLB) (Figura 4).

Cuadro 1. Especies de anfibios registrados en 39 parcelas de 4 tipos de cobertura en un paisaje agroforestal de cacao orgánico en el Bosque Protector de Palo Seco, Panamá.

Familia/Especie	Tipos de cobertura				Total•
	BN*	CARB*	CLB*	CMD*	
	n=11 ¹	n=9 ¹	n=9 ¹	n=10 ¹	n=39 ¹
	(2750 m ²) ⁺	(2250 m ²) ⁺	(2250 m ²) ⁺	(2500 m ²) ⁺	(9750 m ²) ⁺
Aromobatidae					
<i>Allobates</i> sp.	1*	0	0	3	4
<i>Allobates talamancae</i>	29	6	31	68	134
Bufonidae					
<i>Cranopsis conifera</i>	0	1	0	0	1
<i>Rhaebo haematiticus</i>	0	13	0	2	15
<i>Chaunus marinus</i>	0	4	1	2	7
Caeciliidae					
<i>Caecilia volcani</i>	1	0	0	1	2
Centrolenidae					
<i>Centrolene ilex</i>	1	0	0	0	1
<i>Cochranella granulosa</i>	5	34	0	0	39
<i>Hyalinobatrachium valerioi</i>	7	0	3	0	10
Craugastoridae					
<i>Craugastor bransfordii</i>	7	7	6	7	27
<i>Craugastor crassidigitus</i>	5	0	0	0	5
<i>Craugastor fitzingeri</i>	0	1	1	0	2
<i>Craugastor gollmeri</i>	1	0	0	0	1
<i>Craugastor megacephalus</i>	5	0	0	0	5
<i>Craugastor noblei</i>	0	3	0	0	3
<i>Craugastor</i> sp.	37	12	27	9	85
<i>Craugastor talamancae</i>	0	1	1	0	2
Dendrobatidae					
<i>Colostethus pratti</i>	15	4	2	0	21
<i>Colostethus</i> sp.	6	5	8	4	23
<i>Dendrobates auratus</i>	41	24	38	51	154
<i>Oophaga pumilio</i>	694	166	418	908	2186
<i>Phyllobates lugubris</i>	0	7	0	0	7
<i>Silverstoneia flotator</i>	2	4	0	0	6
Eleutherodactylidae					
<i>Diasporus quidditus</i>	0	2	0	0	2
<i>Diasporus</i> sp1.	2	0	0	2	4
Hylidae					
<i>Agalychnis callidryas</i>	3	3	1	2	9
<i>Dendropsophus ebraccatus</i>	0	3	0	0	3
<i>Scinax elaeochrous</i>	0	0	0	2	2
Leptodactylidae					
<i>Leptodactylus pentadactylus</i>	0	4	1	1	6
Ranidae					
<i>Lithobates vaillanti</i>	0	2	0	2	4
<i>Lithobates warszewitschii</i>	0	9	0	0	9
Strabomantidae					
<i>Pristimantis altae</i>	1	0	0	0	1
<i>Pristimantis cerasinus</i>	1	0	0	0	1
<i>Pristimantis gaigeae</i>	6	3	0	1	10
Riqueza Total	21	23	13	16	34
Abundancia Total	870	318	538	1065	2791
Esfuerzo de muestreo•	33	27	27	30	117

Tipos de cobertura: Bosque natural (BN), cacao con árboles remanentes de bosque (CARB), cacao, laurel y banano (CLB), cacao multiestrato diversificado (MD).¹ Número de parcelas por tipo de cobertura. + Metros cuadrados muestreados por tipo de cobertura. • Abundancia de individuos. • esfuerzo de muestro/persona. * Abundancia de especie por cobertura.

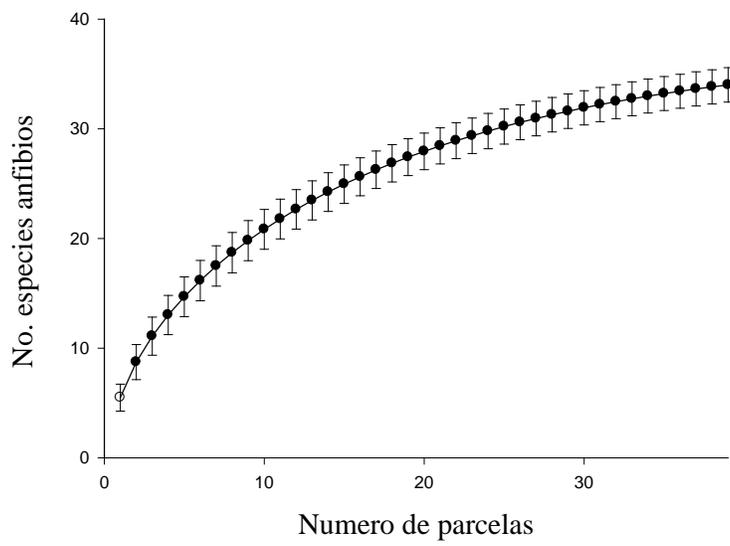


Figura 2. Curva de acumulación de especies del paisaje agroforestal con cacao orgánico en el Bosque Protector de Palo Seco, Panamá. Las barras indican el número acumulado de especies de anfibios según el orden de muestreo en las parcelas.

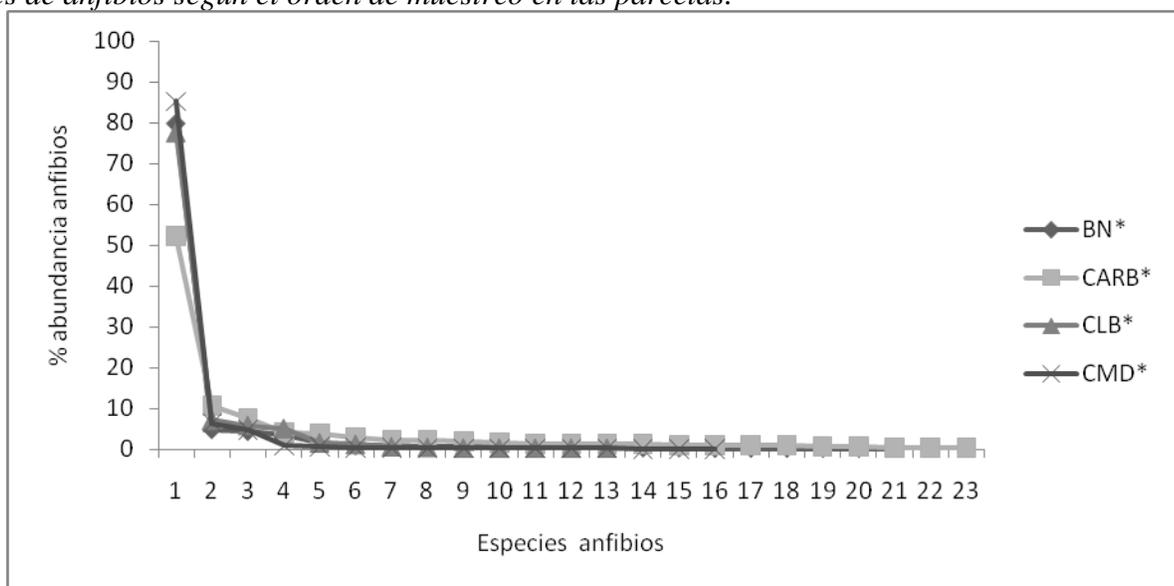


Figura 3. Curva rango-abundancia de anfibios en el paisaje agroforestal de cacao orgánico del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá. Boque natural (BN), cacao con árboles remanentes de bosque (CAR), cacao con laurel y banano (CLB) y cacao multiestrato diversificado (MD).

Cuadro 2. Abundancia de anfibios en cuatro coberturas del paisaje agroforestal de cacao orgánico en el Bosque Protector de Palo Seco, Panamá. * Bosque natural (BN), cacao con árboles remanentes de bosque (CARB), cacao con laurel y banano (CLB), cacao multiestrato diversificado (CMD).

BN *		CARB *		CLB *		MD *	
Sp	Ind	Sp	Ind	Sp	Ind	Sp	Ind
<i>Oophaga pumilio</i>	694	<i>Oophaga pumilio</i>	166	<i>Oophaga pumilio</i>	418	<i>Oophaga pumilio</i>	908
<i>Dendrobates auratus</i>	41	<i>Cochranella granulosa</i>	34	<i>Dendrobates auratus</i>	38	<i>Allobates talamancae</i>	68
<i>Craugastor</i> sp.	37	<i>Dendrobates auratus</i>	24	<i>Allobates talamancae</i>	31	<i>Dendrobates auratus</i>	51
<i>Allobates talamancae</i>	29	<i>Rhaebo haematiticus</i>	13	<i>Craugastor</i> sp.	27	<i>Craugastor</i> sp.	9
<i>Colostethus pratti</i>	15	<i>Craugastor</i> sp.	12	<i>Colostethus</i> sp.	8	<i>Craugastor bransfordii</i>	7

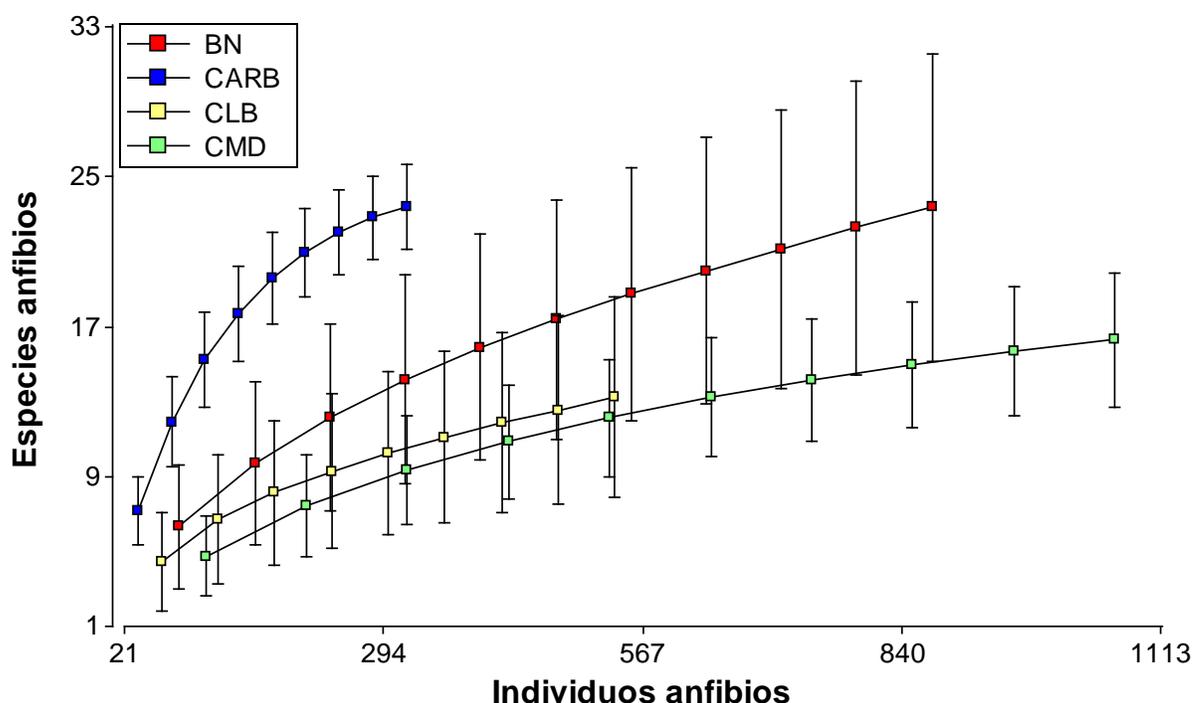


Figura 4. Curva de acumulación de especies anfibias en tipologías de cacao orgánico y bosque natural, en el paisaje agroforestal del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá.

3.4.4 Comparación entre las tipologías de cacao según las comunidades de anfibios y factores ambientales

Aunque se muestra interacción significativa en la abundancia de anfibios, no es evidente en la comparación de medias. Por lo tanto, solamente se observa que el bosque natural (BN) y el cacao con laurel y banano (CLB), registraron, mayor número de anfibios en

la zona alta que en la zona baja, las otras dos tipologías no mostraron estas diferencias (Figura 5).

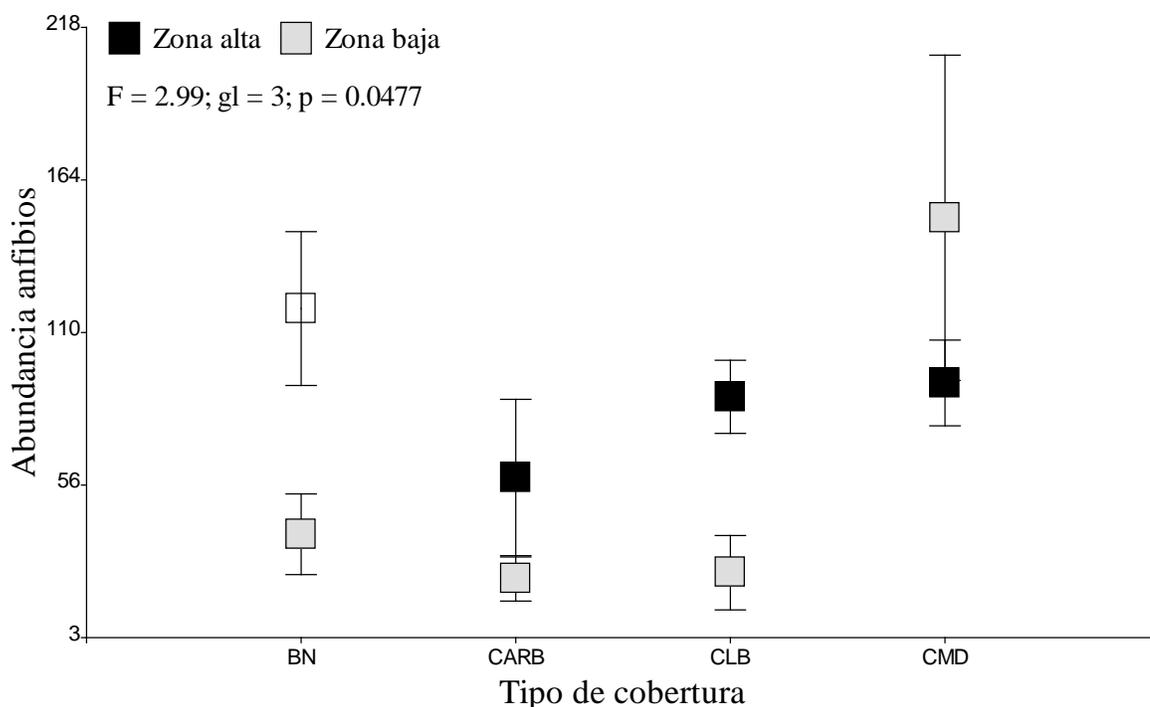
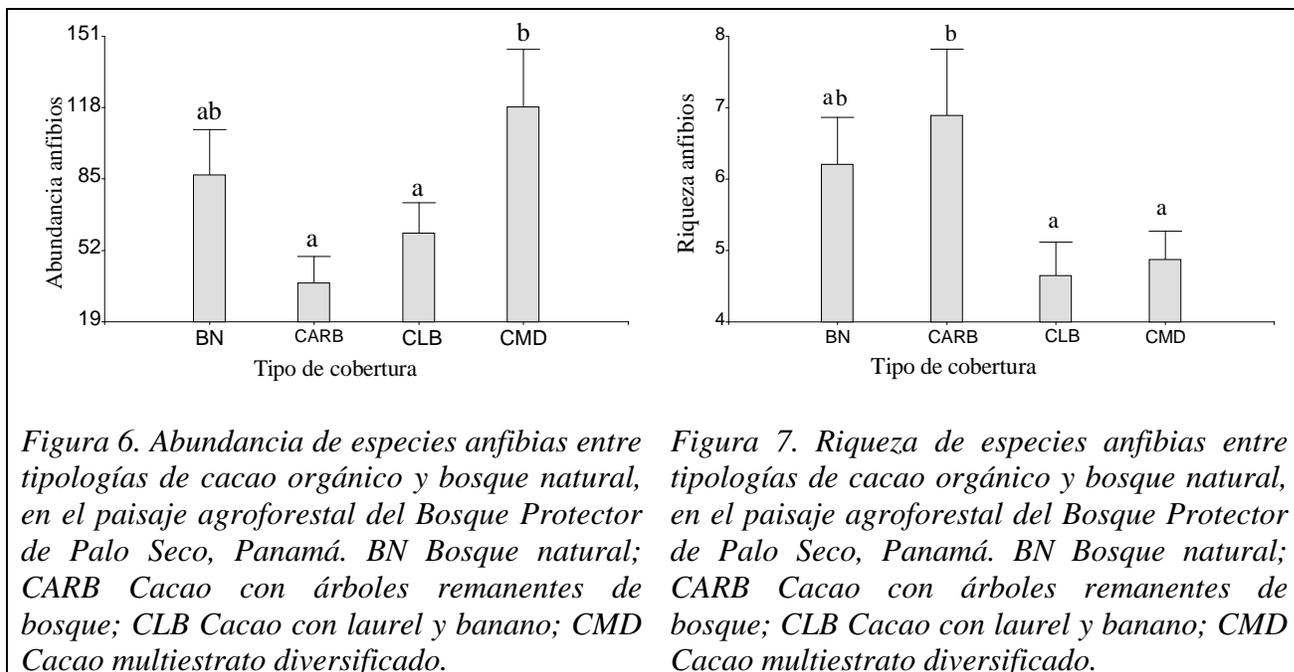


Figura 5. Interacción entre la abundancia de anfibios en tipologías de cacao orgánico y bosque natural y la altitud, en el paisaje agroforestal del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá. BN Bosque Natural; CARB Cacao con árboles remanentes de bosque; CLB Cacao con laurel y banano; CMD Cacao multiestrato diversificado.

La riqueza de especies en la zona alta fue mayor en todas las tipologías que las de zona baja ($F = 3.11$; $gl = 3$; $p = 0.0424$). Al contrario, no hubo interacciones entre la diversidad de anfibios y la altitud, por otra parte, esta se mantuvo y fue mayor en las tipologías de la zona alta comparado con las de la zona baja ($F = 4.46$; $gl = 1$; $p = 0.0438$).

3.4.5 Abundancia, riqueza y diversidad de anfibios entre tipologías de cacao orgánico y bosque natural

Existió diferencia significativa en la abundancia de anfibios entre tipologías ($F = 3.00$; $gl = 3$; $p = 0.0448$) (Figura 6), y en la riqueza de especies de anfibios ($F = 2.88$; $gl = 3$; $p = 0.0511$) (Figura 7). Sin embargo, no hubo diferencia significativa para los índices de diversidad ($F = 1.81$; $gl = 3$; $p = 0.1687$).



3.4.6 Comparación de la composición de comunidades de anfibios en tipologías de cacao orgánico y bosque natural

Los tipos de uso de suelo que comparten especies son, cacao con laurel y banano (CLB) y cacao multiestrato diversificado (CMD), siendo el bosque natural (BN) y el cacao con árboles remanente de bosque (CARB), los tipos de uso del suelo que comparten menos especies y que forman un solo grupo, asumiendo además, que tienen hábitats propios de ellos.

El uso de suelo bosque natural (BN) registró, seis (6) especies propias (*Centrolene ilex*, *Craugastor crassidigitus*, *Craugastor gollmeri*, *Craugastor megacephalus*, *Pristimantis altae* y *Pristimantis cerasinus*), el cacao con árboles remanentes de bosque (CARB) presentó, seis (6) especies propias de este uso de suelo (*Cranopsis conífera*, *Craugastor noblei*, *Phyllobates lugubris*, *Diasporus quidditus*, *Dendropsophus ebraccatus* y *Lithobates warszewitschii*), el cacao multiestrato diversificado (CMD), solo registró, una (1) especie propia de este uso de suelo (*Scinax elaeochrous*), finalmente el cacao con laurel y banano no presentó especies propias (Cuadro 1).

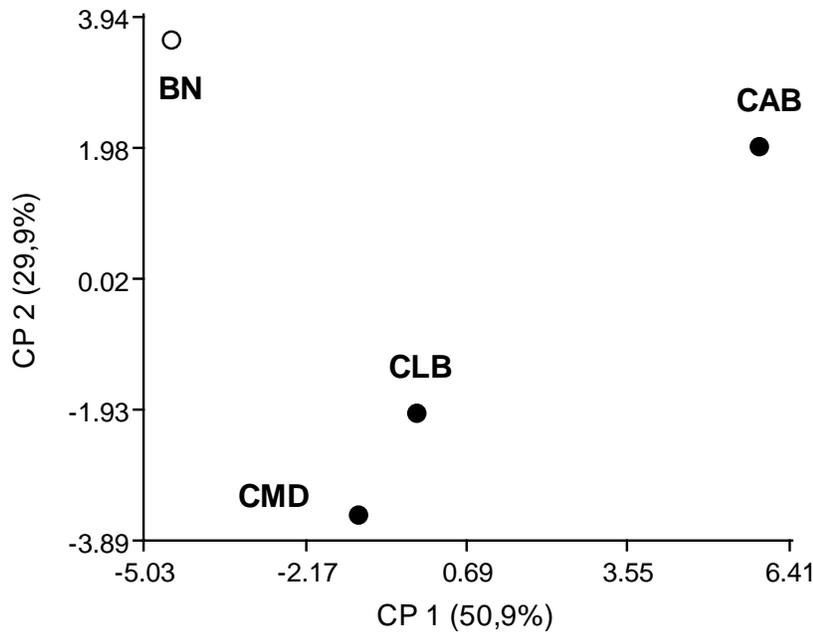


Figura 8. Gráfico de ordenación (Coordenadas principales) para anfibios en tipologías de cacao orgánico y bosque natural, en el paisaje agroforestal del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá. Bosque natural (BN), cacao con árboles remanentes de bosque (CARB), cacao con laurel y banano (CLB) y cacao multiestrato diversificado (MD).

3.4.7 Efectos de las características estructurales de las tipologías de cacao y bosque y la conservación de anfibios

Comparando la densidad de la vegetación en varios estratos de las parcelas, se encuentra, que hay correlación negativa entre el porcentaje de cobertura de la vegetación de 0 a 2 m de altura, con la riqueza de anfibios ($r = -0.38$; $p = 0.022$), en el caso de la cobertura de vegetación de 2 a 9 m, sucede lo contrario, la correlación es positiva ($r = 0.26$; $p = 0.0121$), la cantidad de luz en el dosel presenta una correlación negativa con la riqueza de anfibios ($r = -0.36$; $p = 0.0274$) y la cantidad de hojarasca en las parcelas registró relación negativa con la diversidad ($r = -0.14$; $p = 0.0105$) y relación positiva con la abundancia de anfibios ($r = 0.40$; $p = 0.0133$). Las variables de porcentaje de cobertura de 10 a 20 m, 20 a 30 m y >30 m, tuvieron una relación no significativa (Cuadro 3).

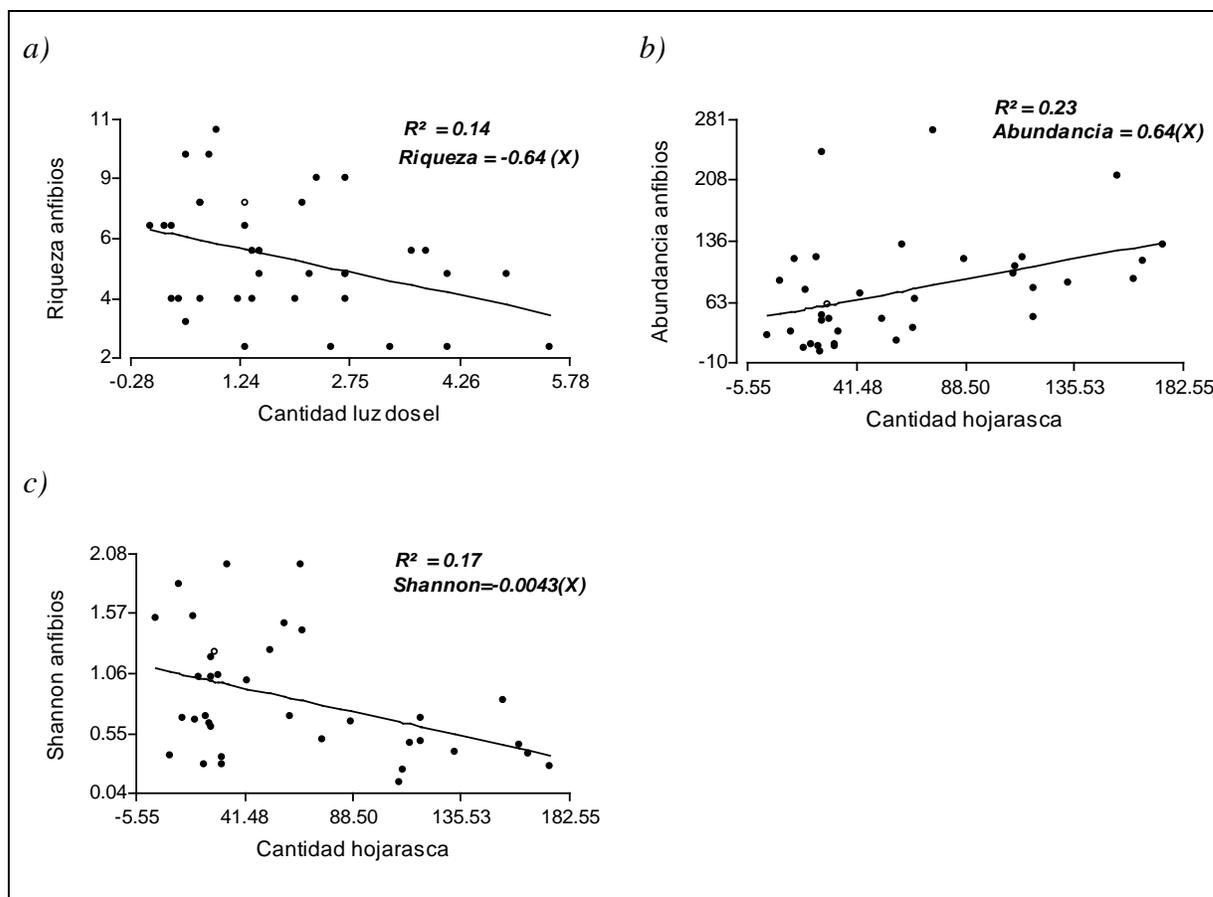
Cuadro 3. Correlación de la estructura vertical en las tipologías de cacao orgánico y bosque natural vs. riqueza, abundancia y diversidad de anfibios, en el paisaje agroforestal de cacao en el Bosque Protector de Palo Seco, Panamá.

Variables	Riqueza		Abundancia		Diversidad	
	R	P	R	P	R	P
Cobertura 0-2 m	-0.38	0.022	-0.08	0.6324	-0.18	0.2802
Cobertura 2-9 m	0.26	0.0121	-0.09	0.6222	0.13	0.4403
Cobertura 10-20 m	0.26	0.1307	0.05	0.7637	-0.16	0.3642
Cobertura 20-30 m	0.25	0.1465	0.09	0.5979	-0.10	0.5409
Cobertura >30 m	0.15	0.3837	0.09	0.5925	-0.02	0.902
Cantidad luz dosel	-0.37	0.0274	-0.09	0.5887	-0.10	0.5501
Cantidad hojarasca parcela	-0.16	0.3439	0.40	0.0133	-0.42	0.0105

3.4.8 Análisis de regresión lineal de anfibios en tipologías de cacao orgánico y bosque natural (abundancia, riqueza y diversidad)

La riqueza de anfibios encontrada en las parcelas de cacao orgánico y bosque, presentó diferencia significativa ($p = 0.0274$) con la variable estructural cantidad de luz en el dosel con pendiente negativa y con un r^2 que explica el 14% de la variación registrada (Cuadro 4a). La abundancia de anfibios estuvo relacionada con la variable cantidad de hojarasca en el sustrato ($p = 0.0044$) con un r^2 que explica el 23% de la variación observada (Cuadro 4b). En cuanto a la diversidad de especies de anfibios, estuvo relacionada con la cantidad de hojarasca en las parcelas ($p = 0.0105$), con pendiente negativa y con un r^2 que explica el 17% de la variación registrada (Cuadro 4c).

Cuadro 4. Análisis de regresión lineal de anfibios en tipologías de cacao orgánico y bosque natural (abundancia, riqueza y diversidad), en el paisaje agroforestal del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá.



3.4.9 Relación de las variables estructurales con la composición de especies de anfibios

Hay relación significativa entre las variables estructurales de los tipos de cobertura, con la composición de especies de anfibios (porcentaje de cobertura de vegetación de 20 a 30 m de altura, porcentaje de cobertura de vegetación mayor a 30 m de altura y altitud). La altitud y el porcentaje de cobertura de vegetación mayor a 30 m de altura presentan una relación negativa con la composición de especies de anfibios, indicando que entre mayor sea la altitud y el porcentaje de cobertura mayor a 30 m de altura, menor serán las especies compartidas entre de tipologías, o habrá en cada tipología un mayor número de especies únicas. La variabilidad explicada en este modelo es del 30 % (Cuadro 5).

Cuadro 5. Dirección de la relación de las variables estructurales y ambientales con la composición de especies en los tratamientos. Alpha $0 < 0.05$

	Regresoras	Relación	T	P
Composición				
Cobertura 20-30 m		+	2.38	0.0230
> 30 m		-	-2.92	0.0062

3.5 Discusión

3.5.1 Estructura de la comunidad de anfibios en el paisaje

En los tipos de cobertura muestreados, del Bosque Protector de Palo Seco, se encontraron 34 especies de anfibios, y un total de 2791 individuos en un área de 9750 m², con una densidad estimada de 28.6 animales, teniendo en cuenta estos valores y haciendo claridad en las diferencias existentes, en cuanto a esfuerzo de muestreo (horas/persona), intensidad de muestreo (días/año), número de parcelas muestreadas, tipos de cobertura y edad de abandono de los cacaotales, así como también tamaño de los cuadrantes, entre otros, encontramos diferencias en la riqueza y abundancia, comparado con lo registrado para la Estación Biológica La Selva, con un total de 24 especies de anfibios y 1446 individuos (Lieberman, 1986), en un área de 5760 m², con una densidad estimada de 24.8 animales por cada 100 m²; similar es el caso de lo registrado para un paisaje agroforestal de cacao orgánico en la zona de Talamanca, Costa Rica en donde la metodología se asemejaba a la del presente estudio, identificando 20 especies de anfibios y un total de 437 individuos (Soto, 2009), en un área de 11000 m² con una densidad estimada de 3.97 individuos por cada 100 m². La EBLS tiene gran cantidad de bosque continuo y otras coberturas en proceso de restauración ecológica, como cacao y pastizales (Donnelly, 1994); en el caso de Talamanca, en el paisaje predominan monocultivos de banano, arroz, maíz, cacao y ganadería (Soto, 2009). Posiblemente, factores como la continuidad del sistema agroforestal de cacao en el paisaje, y el menor grado de fragmentación y mayor tamaño de parches de bosques del BPPS, favorecen la presencia, y por ende el número de especies, y la abundancia encontrada, frente, al grado de fragmentación de las coberturas muestreadas en la EBLS, los cuales, en su mayoría, están ocupados por sistemas

silvopastoriles y otros usos del suelo (García-Giraldo, 2005); similar es el caso para los sistemas agroforestales de cacao (SAFC) en Talamanca, aunque con diferentes usos de suelo.

Según los anfibios encontrados en los cuatro tipos de cobertura estudiados en el BPPS, el 45% de las especies de bosque reportadas para el paisaje agroforestal de cacao orgánico de Talamanca (Soto, 2009) están presentes en el BPPS y solo el 28% de lo registrado para la EBLS; en el caso de los tipos de uso de suelo con menor cobertura vegetal (diferentes tipologías de sistemas agroforestales de cacao orgánico), registra el 61% de las especies encontradas en Talamanca y el 50% de las reportadas en la EBLS (Lieberman, 1986). Por otra parte, según los datos obtenidos del muestreo en el BPPS la riqueza de anfibios estuvo representada por el 62% de las especies y 31% de individuos en bosques, mientras que el SAFC en su conjunto (tipologías de cacao orgánico) albergó el 82% de las especies y 69% de individuos. Una explicación posible a estos resultados, es debido a que la profundidad de la hojarasca que queda en SAFC esta positivamente asociada con la densidad de los anfibios de hojarasca entre microhábitats (Whitfield y Pierce, 2005), tipos de bosque (Lieberman, 1986; Heinen, 1992), y entre estaciones (Lieberman, 1986). Al parecer, la mayor cantidad de hojarasca en SAFC, que en bosques, es explicada por la dinámica de esta, ya que los árboles de cacao tienen varios acontecimientos de caída de hojas al año y por ende la acumulación de hojarasca, es cada vez mayor en plantaciones de cacao, que en la de bosques de viejo crecimiento (Lieberman, 1986).

De las tres tipologías de cacao orgánico y bosque, la tipología cacao con árboles remanentes de bosque, similar en su estructura al bosque, presentó, la mayor riqueza de anfibios y la menor abundancia comparado con el conjunto de tipologías de cacao, seguido del bosque en su riqueza, pero con mayores valores de abundancia. El sitio de cacao con laurel y banano, obtuvo, mayor abundancia al cacao con árboles remanentes de bosque, y el cacao multiestrato diversificado, registró, mayor riqueza de especies anfibias, comparado al cacao con laurel y banano. Basados en todas las muestras, algunas especies fueron abundantes, mientras la mayoría de especies fueron raras. El resultado es consistente con otros estudios (Scott, 1976; Fauth et al. 1989; Lieberman, 1986 y Heinen, 1992), y pueden ilustrar la importancia potencial de los bosques como refugio para algunas especies raras y áreas perturbadas (Heinen, 1992).

En este sentido, los resultados obtenidos tanto en cacao con árboles remanentes de bosque, como en bosque, coinciden en que a mayor complejidad estructural, mayor será la diversidad de anfibios, similar a lo reportado para anuros, aves, murciélagos y mamíferos no voladores en paisajes agrícolas dominados por sistemas agroforestales de cacao (Faria et al. 2006; Harvey y González, 2007; Vaughan et al. 2007 y Van Bael et al. 2007). Según Parrish et al. (1999), hábitats de cacao pueden contener una alta riqueza de especies superando aquella de los bosques, debido a que los agroecosistemas de cacao de sombra, pueden, poseer características estructurales tanto del bosque, como, de hábitats en estado temprano de sucesión, permitiendo que muchas más especies, como del grupo de aves, encuentren refugio adecuado en el cacao. De igual manera Van Bael et al. (2007) demostraron que la diversidad de este grupo en los cultivos de cacao aumentó, conforme había mayor riqueza de especies de árboles de sombra y la disminución en la intensidad de manejo.

Por otra parte, las tipologías de cacao con menor complejidad estructural, registraron, menor riqueza de especies, pero, valores más altos de abundancia que la tipología de cacao con árboles remanentes de bosque y el bosque, en este sentido, el cacao multiestrato diversificado y el cacao con laurel y banano, tienen menor diversidad de árboles, densidad de árboles, tamaño de fustales, especies primarias y aumento en la intensidad de manejo (chapias y poda de cacao y árboles maderables por año), por ende, disminuye su complejidad estructural, porcentaje de cobertura de la vegetación a diferentes alturas y el porcentaje de sombra de la canopia, similar a lo encontrado en SAFC de Talamanca (Guiracocha et al. 2001 y Suatunce et al. 2003). Evidencia de esto, lo constituye, la baja presencia de la familia Centrolene y Craugastoridae en tipologías de cacao orgánico, con algún tipo de manejo en la zona de estudio; especies como *Centrolene ilex* y *Cochranella granulosa* son tolerantes a disturbios en el hábitat, pero requieren la presencia de vegetación a lo largo de los arroyos para depositar sus huevos (Savage, 2002). En el caso de la especie *Craugastor crassidigitus* es característico, verlo perchado en la vegetación baja alrededor de 0.5 m sobre el nivel del suelo (Lieberman, 1986), al parecer la mayoría de las actividades son llevadas a cabo por encima de la superficie terrestre en la capa de sotobosque (Savage, 2002).

Caso contrario, ocurrió, con especies de anfibios que tuvieron mayor abundancia en cacao manejado, que en bosque natural, como lo fue la familia Dendrobatidae y Aromobatidae, con las especies *Oophaga pumilio*, *Dendrobates auratus* y *Allobates*

talamancae, registrando, el cacao multiestrato diversificado y el cacao con laurel y banano, los mayores valores de abundancia de estas especies, para la totalidad del muestreo, comparado con lo encontrado en bosque natural y cacao con árboles remanentes de bosque. Al parecer, la mayor cantidad de hojarasca presente en estas tipologías de cacao orgánico, influyen, en la presencia de *Allobates talamancae*, dado que está utiliza como sitio de apareamiento y deposición de sus huevos la hojarasca húmeda, donde se produce el desarrollo directo de los huevos (Savage, 2002), además de alimentarse de hormigas, artrópodos pequeños y coleópteros presentes en el manto de hojarasca, siendo generalista en su dieta (Toft, 1981). En el caso de *Oophaga pumilio* y *Dendrobates auratus* ambas especies conocidas por tener colores brillantes y alcaloides en la piel que son tóxicos y los protegen de los predadores (Albuquerque et al. 1971), su dieta generalmente consiste de hormigas y ácaros (Toft, 1981 y Lieberman, 1986), lo que los hace especialistas en sus hábitos alimenticios; al parecer la preferencia a presas (ácaros) de menor tamaño encontrado en cacao, comparado con el mayor tamaño de hormigas en bosque (Lieberman, 1986) y la preferencia a áreas abiertas (Toft, 1981), hacen que su abundancia sea mayor que la encontrada en bosques. Lo mismo ocurre, con otras dos especies de ranas que buscan hormigas como presas pequeñas, *Diasporus diastema* y *Rhaebo haematiticus*, con una reducción en la predación de hormigas acompañado de un incremento en la predación de ácaros en cacao (Lieberman, 1986).

Estudios realizados, en otros usos de suelo, como sistemas ganaderos y plantaciones de banano manejadas orgánicamente (Bach, 2000), destacan la menor densidad y riqueza de especies de anfibios, comparado, a lo encontrado en el paisaje agroforestal de cacao orgánico en el BPPS, el cual presentó valores mayores de abundancia y riqueza de anfibios que en otros tipos de agrosistemas, aun en tipologías de cacao orgánico con baja complejidad estructural en la vegetación, mantenía valores de abundancia y riqueza de anfibios, por encima de lo encontrado en plantaciones de banano manejadas orgánicamente. Otro ejemplo, fue el de un sistema ganadero estudiado en la zona de Rio Frío, Costa Rica, el cual reporta 18 especies de anuros (García-Giraldo, 2006), frente a 28 especies anfibias registradas en sistemas agroforestales de cacao orgánico del BPPS, siendo necesario aclarar que la intensidad de muestreo del estudio realizado en Rio Frío, fue de 9 meses, frente a 2 meses del BPPS, como también, fue diferente el esfuerzo de muestreo de 2 personas y un periodo de tiempo de 6 horas/parcela/persona en Rio Frío, frente a 3 personas y 3 horas/parcela/persona en el BPPS, también existió, diferencias en el método de muestreo de Rio Frío con transectos lineales de

100 m x 2 m de ancho y 250 m a 400 m de largo por 2 m de ancho, frente al método de cuadrantes de 5 m x 5 m en el BPPS.

3.5.2 Efecto de las características estructurales y variables ambientales en la abundancia, riqueza y diversidad de anfibios en el paisaje

En el paisaje agroforestal de cacao orgánico las tipologías de cacao con mayor manejo, presentan similares características estructurales y ambientales, baja riqueza y elevada abundancia y dominancia en la comunidad anfibia de ellas. Contrario a esto, la tipología con menor manejo y en avanzado estado de conservación como el caso de algunos cacaotales sin manejo y bosques, registraron las especies raras, al parecer este patrón obedece a lo encontrado en otros estudios (Scott, 1976; Fauth et al. 1989; Lieberman, 1986; Heinen, 1992). Ejemplo de esto lo constituye las familias Craugastoridae, Eleutherodactylidae y Strabomantidae, que por su poca capacidad de adaptarse a hábitats modificados (Savage, 2002), estrategia reproductiva (desarrollo directo) (Duellman, 1988), alimentación (hormigas y artrópodos) (Lieberman, 1986; Toft, 1981), tamaño pequeño corporal y baja densidad o rareza en muchos casos, prefieren hábitats poco intervenidos, escasa vegetación herbácea y baja luz en el sotobosque; todas estas condiciones presentes en bosques conservados y cacaotales sin manejo, pero no en tipologías de cacao donde el manejo es permanente. Otra familia susceptible a hábitats modificados y solo presente en bosque o en algunos casos en cacao con árboles remanentes de bosque es la Centrolenidae, su fuerte dependencia al bosque dado que se reproduce sobre vegetación arbustiva y sus huevos caen al agua de las quebradas en hábitats inalterados o con muy poca intervención, constituyen un ejemplo más de lo importante de mantener las áreas de bosque sirviendo de refugio para algunas especies raras y como área fuente para colonos en zonas perturbadas (Heinen, 1992).

La asociación positiva de la hojarasca en el sustrato y la cantidad de hojarasca en las parcelas es consistente con otras investigaciones que mencionan que la profundidad de la hojarasca incide en la presencia y abundancia de anfibios. Por ejemplo, Fauth *et al.* (1989) encontraron que la densidad de la herpetofauna incremento con la profundidad de la hojarasca, a su vez Giaretta et al. (1997), menciona que la profundidad de la hojarasca influencia la composición y abundancia de anuros, esto al parecer es el mismo patrón observado en todo el grupo de anfibios. Por ejemplo Crawford y Semlitsch (2008), mencionan un patrón similar

para explicar la abundancia de salamandras en donde la variable profundidad de la hojarasca brinda un fuerte soporte para explicar la presencia de ellas.

La hojarasca más profunda puede proveer una amplia gama de microhabitats permitiendo que más individuos y más especies puedan coexistir en el microhabitat con hojarasca (Fauth, 1989), brindando refugio de predadores, especialmente para las especies no tóxicas, como el caso de las ranas diurnas del género *Craugastoridae*, las cuales se sumergen debajo de la hojarasca cuando hay disturbio (Lieberman, 1986). La hojarasca más profunda puede soportar poblaciones de artrópodos más numerosas y diversos como presa (Lieberman y Dock, 1982), incidiendo en la disponibilidad de humedad siendo un factor importante en la abundancia de hormigas (Levings, 1983) y facilitando la coexistencia a ambos grupos, con más abundancia y diversidad de herpetofauna (Fauth, 1989). Al parecer la mayor profundidad de hojarasca reportada en sitios de cacao es debido al hecho que el cacao es de hojas caducas y las nuevas hojas crecerán de dos a cuatro veces por año (Heinen, 1992), permitiendo que se mantenga durante todo el año una superficie más amplia y con mayor profundidad de hojarasca en el suelo que lo encontrado en bosques.

Diferencias entre la época seca, y época lluviosa, no fueron significativas en cuanto a la abundancia y riqueza de especies anfibias, posiblemente, debido a que durante el periodo de muestreo, más del 80% de los días se registraron lluvias, lo cual evidencia la no marcada estacionalidad en el área, durante el tiempo de muestreo; este hecho puede explicar el porqué de la alta abundancia de anfibios encontrada en las dos épocas, dado que el aumento de las precipitaciones durante el año afecta la actividad anual de algunas especies de anfibios (Cree, 1989; Duellman, 1995; Donnelly y Guyer, 1994). Posiblemente, la época de muestreo por ser transicional, entre época seca y lluvia sigue un patrón estacional, alcanzando valores mayores, hacia el final de la época seca, en coincidencia, con valores máximos de las poblaciones de artrópodos y de la profundidad de la hojarasca (Lieberman, 1986).

La humedad y las lluvias son importantes factores ambientales que afectan la actividad nocturna de las ranas (Cree, 1989), como el caso de la especie *Cochranella granulosa* y el de las especies diurnas *Oophaga pumilio*, *Dendrobates auratus* y *Allobates talamancae* (obs. personal), además de tener un efecto significativo en las otras especies, incidiendo en la diversidad de anfibios encontrados. Una relación positiva entre la actividad nocturna y la humedad relativa y precipitaciones se ha informado para *Eleutherodactylus coqui* (Stewart,

1985), y entre la actividad y la humedad relativa para la fase terrestre del urodelo *Salamandra salamandra* (Degani y Warburg, 1978). Este resultado es en consonancia con las necesidades fisiológicas del grupo, ya que los anfibios normalmente requieren de agua para su reproducción (es decir, sus huevos deben establecerse en el agua para sobrevivir), y una vez adultos, en el ambiente requieren humedad y temperaturas más frías ya que son sensibles a la desecación en entornos secos (Qian et al. 2007).

En este sentido, la correlación entre la riqueza de especies de anfibios y la distancia de las parcelas a cuerpos de agua tiene una relación negativa, coincidiendo con los resultados de Gómez-Martínez, (2007), en donde la riqueza de anfibios disminuye conforme aumenta la distancia a cuerpos de agua. Sin embargo esto no parece suceder cuando se trata de explicar la riqueza de reptiles que habitan áreas abiertas como pasturas, ya que existe una correlación positiva entre la distancia a los arroyos y el número de especies (Urbina-Cardona et al. 2006). Al parecer la afinidad a determinados tipos de hábitat influye en la presencia de especies y por ende en los requerimientos de estas.

La correlación negativa de la variable cantidad de luz en la canopia con la riqueza de anfibios en las parcelas puede ser debido al menor porcentaje de luz que entra al sotobosque en parcelas de bosque natural comparado con el registrado en las tipologías de cacao orgánico; probablemente bajas cantidades de luz pueden impedir que algunas especies no se sometan al estrés del calor (Heinen, 1992), además de evitar que la penetración de luz solar en el dosel no permita el desarrollo de un denso sotobosque y por ende muchas familias de anfibios como Centrolenidae, Craugastoridae y Strabomantidae que prefieren hábitats inalterados, estén donde exista regeneración de la vegetación por disturbio.

Estudios realizados en la amazonia ecuatoriana indican que especies de la familia Craugastoridae prefieren zonas con áreas basales y densidad del sotobosque mayores como las encontradas en el bosque, en contraste con esto la riqueza de especies de los Hylidos fue mayor en sitios con valores bajos de área basal (Pearman, 1997), el mismo patrón fue registrado en los cacaotales y bosque natural muestreado en el BPPS, disminuyendo la riqueza de la familia Craugastoridae en tipologías de cacao con manejo y aumento de la presencia de las especies de la familia Hylidae en tipologías con algún tipo de manejo, posiblemente es debido a la tolerancia de estas especies a hábitats con disturbio (Savage, 2002). El mismo caso fue registrado en un estudio de especies de salamandras evaluando los factores abióticos que

incidían sobre la presencia de estos en microhabitats, encontrando que el porcentaje de la luz en el dosel era menor en sitios donde las salamandras estaban (Crawford y Semlitsch, 2008).

Efectos de la estratificación que presentó la cobertura de vegetación a alturas de 2 a 9 m en la riqueza de anfibios, posiblemente sea debido a lo que reporta Bastazini et al. (2007), en un estudio en Brasil, indicando que el estrato vegetal de 6 a 10 m en bosque mantiene una alta humedad en el suelo, apuntando a la comunidad de plantas como el factor más importante que incide en la comunidad de anuros. Tews et al. (2004), afirmó que en varios hábitats la comunidad de plantas determina la estructura física del ambiente y por esto tiene una influencia en las distribuciones e interacciones de las especies animales. En este sentido Duellman y Trueb (1994), afirman que la heterogeneidad espacial lleva a un número más alto de microhabitats, incrementando el número de especies anuras, pudiendo ocupar diferentes partes del mosaico.

Comparaciones de los resultados de la investigación con otros estudios de anfibios de hojarasca en bosques primarios y cacaotales abandonados en la EBLIS y cacao abandonado, con manejo y bosques de Talamanca, Costa Rica, arrojan algunos resultados interesantes; Lieberman (1986), capturo un total de 23 especies anfibias en 5760 m², Heinen (1992) 19 especies en 1875 m² y Soto (2009) 20 especies en 11000 m²; el resultado de Heinen (1992) presenta la mayor diversidad por unidad de área comparado a los resultados de esta investigación (34 especies en 9750 m²), contrario a esto la menor diversidad por unidad de área la constituye el estudio de Soto (2009) en Talamanca. Lieberman (1986) reporto una densidad estimada de 24.8 animales por cada 100 m² en la EBLIS, comparado al de Heinen (1992) 19.6 individuos, Soto (2009) 3.97 individuos y este estudio 28.6 animales. Hay varias razones posibles para estas diferencias: dos de los tres estudios usaron diferentes tamaños de cuadrantes y regímenes de muestreo y diferente número de réplicas por tipo de uso de suelo, tanto en la EBLIS como en Talamanca. Lieberman (1986) por ejemplo, utilizó datos muestreados todo el año, pero el tamaño de diagramas era mayor (8 x 8 m) que en otros estudios, y sus altas densidades fueron en parte atribuidos a sus muestreos de noche, al igual que realizó Soto (2009) y este estudio. Si los muestreos realizados solamente tienen en cuenta bosques, los resultados son: 15.81 animales por cada 100 m² (Lieberman 1986), 11.52 animales (Heinen, 1992), 6.75 individuos (Soto, 2009) y 31.63 individuos por cada 100 m² (este estudio); el número más alto encontrado en la investigación es probablemente debido a lo

conservado de los bosques que se muestrearon dentro del área protegida. En cuanto a la riqueza en bosques Lieberman (1986) encontró 23 especies en 3648 m², Heinen (1992) 14 especies en 625 m², Soto (2009) 11 especies en 2000 m² y este estudio, 21 especies en 2750 m² mayor que la reportada por Lieberman (1986) en la EBLIS y que Soto (2009) en Talamanca. En el caso de la densidad en plantaciones de cacao, Soto (2009) registra 3.35 individuos por cada 100 m², frente a 27.44 individuos (este estudio); en cuanto a la riqueza de especies Soto (2009) reporta 18 especies de anfibios en 9000 m² y este estudio 28 especies en 7000 m², lo valores mayores de densidad por m² y riqueza del presente estudio podrían explicar lo conservado del paisaje en el BPPS con respecto al de Talamanca. Soto (2009) utilizó el mismo tamaño y número de cuadrantes de esta investigación y similares tipologías de cacao orgánico en Talamanca, pero muestreo mayor número de parcelas en cacao y menor número en bosque (36 parcelas en cacao y 8 en bosque) con muestreos en abril y julio de 2008, coincidiendo con la época de julio realizada por esta investigación pero no con el mes de junio; los datos sugieren mayor densidad de anfibios en bosques y cacaotales del BPPS, al igual que una mayor riqueza de anfibios. Si bien estos dos estudios fueron diseñados para similares propósitos, sería deseable para comprender las tendencias de abundancia y distribución de esta fauna, un régimen de monitoreo a largo plazo el cual incluya la estandarización del muestreo por parcela, época del año, número de parcelas por tipología de cacao y bosque, hora del día, y probablemente otras variables importantes, por ejemplo número de personas que muestrean cada cuadrante, para efectos de poder comparar los resultados y a largo plazo monitorear los efectos del manejo en cacaotales sobre la comunidad anfibia y el papel de estos en la restauración de áreas y conservación de la biodiversidad de anfibios.

Los resultados de este estudio sugieren diferencias en las características de los anfibios de hojarasca en las tipologías de cacao y bosque, existiendo mayor dominancia en los cacaotales con manejo, mayor abundancia en la tipología con manejo cacao multiestrato diversificado, y especies raras en los sitios de bosque y cacao con árboles remanentes de bosque. Lieberman (1986) encontró resultados similares en dos tipos de bosque en un esfuerzo de muestreo a largo plazo, al igual que Heinen (1992) en tres tipos de bosque. Posiblemente la abundancia de especies anfibias está siendo explicada en gran parte por la cantidad de hojarasca en esta tipología (mencionado arriba); contrario a esto, la riqueza de anfibios disminuye a medida que aumenta los troncos en el sustrato, aumenta la cobertura de 0-2 m y distancia al agua (discutido arriba); probablemente el haber encontrado en mayor porcentaje

las especies anfibias sobre la hojarasca dada la preferencia de estas (Savage, 2002) y en cuadrantes con menor cantidad de troncos en el sustrato (*obs. personal*) explica la relación; por otra parte el aumento de la cobertura de 0-2 m y la disminución de la riqueza de especies anfibias coincide efectivamente con la estructura presente en cacaotales con manejo, los cuales tienen mayor porcentaje de vegetación herbácea a esta altura dada la mayor cantidad de luz que entra al sotobosque y presencia de árboles de cacao y frutales.

Los resultados de mayor abundancia y riqueza baja en zonas intervenidas como las encontradas en el BPPS demuestran el mismo patrón que el de otras investigaciones en anfibios (ver Inger, 1980; Mayo, 1980; Lieberman, 1986, Heinen, 1992; Whitfield y Pierce, 2005), posiblemente la mayor presencia de *Oophaga pumilio*, *Dendrobates auratus* y *Allobates talamancae* en los cacaotales con manejo expliquen la elevada abundancia de especies dado que son tolerantes a hábitats intervenidos.

3.6 Bibliografía

- Albuquerque, E. W.; Daly, W. y Witkop, B. 1971. Batrachotoxin: chemistry and pharmacology. *Science*. 172: 995-1002 p
- Anderson, J. E. y McNaughton, S. J. 1973. Effects of low soil temperature on transpiration, photosynthesis, leaf relative water content, and growth among elevationally diverse plant populations. *Ecology*. Vol. 54. No. 6. 1220-1233 p
- Bach, O. 2000. Diversidad, abundancia y distribución de anfibios en fincas bananeras según tipo de manejo agrícola. *Ambientico* 20(6): 52-64
- Bastazini, C. V.; Munduruca, F. V.; B-Rocha, P. L. y Napoli, M. F. 2007. Which environmental variables better explain changes in anuran community composition? A case study in the restinga of mata de São João, Bahia, Brazil. *Herpetologica*. 63 (4) 459-471 p
- Brooks, R. T. y Kyker-Snowman, T. D. 2008. Forest floor temperature and relative humidity following timber harvesting in southern New England, USA. *Forest Ecology and Management*. 254. 65-73 p
- Brown, W. C. y Alcala, A. C. 1961. Populations of amphibians and reptiles in the submontane and montane forests of Cuernos de Negros, Philippine Islands. *Ecology*. 42: 628-636 p

- Buckley; L. B. y Jetz, W. 2007. Environmental and historical constraints on global patterns of amphibian richness. *Proc. R. Soc. B* 274: 1167-1173 p
- Chiang, H. C. y Baker, D. G. 1968. Utilization of soil temperature data for ecological work. *Ecology*. Vol. 49. No. 6. 1155-1160 p
- Colwell, R. K. 1969. Ecological specialization and species diversity of tropical and temperature arthropods. Ph.D. Dissertation, The University of Michigan. 79 p
- Cowles, R. B. y Bursleson, G. L. 1945. The sterilizing effect of high temperature on the male germ-plasm of the yucca night lizard, *Xantusia vigilis*. *Amer. Nat.*, 79: 417-435 p
- Crawford, J. A.; Semlitsch, R. D. 2008. Abiotic factors influencing abundance and microhabitat use of stream salamanders in southern Appalachian forests. *Forest Ecology and Management*. 255 (2008) 1841-1847 p
- Cree, A. 1989. Relationship between environmental conditions and nocturnal activity of the terrestrial frog, *Leiopelma archeyi*. *Journal Of Herpetology*. 23(1):61-68.
- Crump, M. L. 2003. Natural history of Darwin's Frog, *Rhinoderma darwinii*. *Herpetological Natural History*. 9(1):21-30 p
- Crump, M. L.; Scott Jr, N. J. 1994. Relevamientos por encuentros visuales. En Heyer, W. R.; Donnelly, A.; McDiarmid, R.; Hayek, L. A.; Foster, M. Eds. *Measuring and Monitoring Biological Diversity: Standard Methods for Amphibians*. Smithsonian Institution Press. Washington. 364 p
- Cunningham, J. D. y Mullally, D. P. 1956. Thermal factors in the ecology of the pacific tree frog. *Herpetologica*. Vol. 12. No. 1. 68-79 p
- Currie, D. J. 2001. Projected effects of climate change on patterns of vertebrate and tree species richness in the conterminous United States. *Ecosystems*. 4:216-225 p
- Degani, G. y Warburg, M. R. 1978. Population structure and seasonal activity of adult *Salamandra salamandra* (L.). *Journal of Herpetology*. 12:437-444 p
- Delabie, J. H. C.; Jahyny, B.; Cardoso Do-Nascimento, I.; Mariano, C. S. F.; Lacau, S.; Campiolo, S.; Philpott, S. M.; Leponce, M. 2007. Contribution of cocoa plantations to the conservation of native ants (Insecta: Hymenoptera: Formicidae) with a special emphasis on the Atlantic Forest fauna of southern Bahia, Brazil. *Biodiversity and Conservation* Vol. 16 No. 8. 2359-2384 p

- Di Rienzo, J. A.; Casanoves, F.; González, L. A.; Tablada, E. M.; Díaz, M. P.; Robledo, C. A.; Balzarini, M. G. 2008. Estadística para las ciencias agropecuarias. 7ª Edición. Cordoba, Argentina, Edit. Brujas. 372 p
- Donnelly, M. y Guyer, C. 1994. Patterns of reproduction and habitat use in an assemblage of neotropical hylid frogs. *Oecologia*. 98:291-302 p
- Donnelly, M.A., 1994. Amphibian diversity and natural history. La Selva ecology and natural history of a neotropical rain forest. En Mc.Dade, L.A et al (eds). University of Chicago Press. USA. pp 199-209.
- Duellman, W. E. 1988. Patterns os species diversity in a anuran amphibians in the American Tropics. *Annals of Missouri Botanical Garden*, Vol. 75. No. 1 79-104 p
- Duellman, W. E. 1995. Temporal fluctuations in abundances of anuran amphibians in a seasonal Amazonian rainforest. *Journal of Herpetology*. 29(1):13-21 p
- Duellman, W. E.; Trueb, L. 1994. *Biology of amphibians*. The John Hopkins University Press. 613 pp.
- Estrada, A.; Coates-Estrada, R.; Merritt, D. 1993. Bat species richness and abundance in tropical rain forest garments and in agricultural habitats at Las Tuxtlas, Mexico. *Ecography* 16:309-318
- Faria, D.; Barradas-Paciencia, M. L.; Dixo, M.; Ricardo-Laps, R.; Baumgarten, J. 2007. Ferns, frogs, lizard, birds and bats in forest fragment and shade cacao plantations in two contrasting landscapes in the Atlantic forest, Brazil. *Biodiversity and Conservation* Vol.16 No. 8. 2335-2357 p
- Faria, D.; Ricardo-Laps, R.; Baumgarten, J.; Cetra, M. 2006. Bat and Bird assemblages from forest and shade cacao plantations in two contrasting landscapes in the Atlantic forest of southern Bahia, Brazil. *Biodiversity and Conservation* 15:587-612
- Fauth, J. E.; Crother, B. I. y Slowinski, J. B. 1989. Elevations patterns of richness, evenness, and abundance of the Costa Rican leaf litter herpetofauna. *Biotropica*. 21 (2): 178-185 p
- Fischer, J.; Lindenmayer, D. B.; Barry, S. y Flowers, E. 2005. Lizard distribution in the Tumut fragmentation “natural experiment” in south-eastern Australia. *Biological Conservation*. 123. 301–315 p

- García-Giraldo, J. A. 2005. Incidencia de la cobertura arbórea de un paisaje silvopastoril de Rio Frio, Costa Rica, sobre los ensamblajes de anuros, una perspectiva de hábitat y de paisaje. Tesis Mg. Sc. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. 89 p
- Gaudrin, C.; Harvey, C. A. 2003. Caza y diversidad faunística en paisajes fragmentados del territorio indígena Bribe de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* Vol. 10 No. 37-38. 46-51 p
- Giaretta, A. A.; Sawaya, R. J.; Machado, G.; Araujo, M. S.; Facure, K. G.; Medeiros, H. F. y Nunes, R. 1997. Diversity and abundance of litter frogs at altitudinal sites at Serra do Japi, Southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia* 14:341–346 p
- Guiracocha, G.; Harvey, C. A.; Somarriba, E.; Krauss, U.; Carrillo, E. 2001. Conservación de la biodiversidad en sistemas agroforestales con cacao y banano en Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* Vol. 8 No. 30. 7-11 p
- H-Acevedo, D. y Currie, D. J. 2003. Does climate determine broad-scale patterns of species richness? A test of the causal link by natural experiment. *Global Ecology Biogeography*. 12: 461-473 p
- Harper, K. A.; Macdonald, S. E.; Burton, P. J.; Chen, J.; Brosnoff, K. D.; Saunders, S. C.; Euskirchen, E. S.; Roberts, D.; Jaiteh, M. S.; Essen, P. A.; 2005. Edge influence on forest structure and composition in fragmented landscapes. *Conservation Biology*. 19. 768–782 p
- Harvey, C. A.; Gonzalez-Villalobos, J. A. 2007. Agroforestry systems conserve species-rich but modified assemblages of tropical birds and bats. *Biodiversity and Conservation* Vol. 16 No. 8. 2257-2292 p
- Heinen, J.T. 1992. Comparisons of the leaf litter herpetofauna in abandoned cacao plantations and primary rain forest in Costa Rica: Some implications for faunal restoration. *Biotropica*, 24(3):431-439.
- Heyer, W. R.; Donnelly, A.; McDiarmid, R.; Hayek, L. A.; Foster, M. Eds. 1994. *Measuring and Monitoring Biological Diversity: Standard Methods for Amphibians*. Smithsonian Institution Press. Washington. 364 p
- Holdridge, L. R. 1978. *Ecología basada en zonas de vida*. Serie Libros y materiales educativos IICA. San José, Costa Rica. No 34.
- InfoStat. 2008. *InfoStat Versión 2008*. Grupo Infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

- Lieberman, S. S. 1986. Ecology of the litter herpetofauna of a neotropical rain forest: La Selva, Costa Rica. *Acta Zool. Mex.* (ns). 15.
- Lieberman, S. y Dock, C. 1982. The leaf litter arthropod fauna of lowland tropical evergreen forest site (La Selva, Costa Rica). *Revista de Biología Tropical*. 30: 27-34 p
- Magurran, A. E. 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press, New Jersey, 179 p
- Medellín, R. A.; Equihua, M.; Amin, M. A. 2000. Bat diversity and abundance as indicators of disturbance in neotropical rainforests. *Conservation Biology*. Volume 14, No. 6. 1666-1675 p
- Mohamed-Ahmed, M. M. y Odulaja, A. 1997. Diel activity patterns and host preferences of *Glossina fuscipes fuscipes* (Diptera: Glossinidae) along the shores of Lake Victoria, Kenya. *Bulletin of Entomological Research*. 87. 179-186 p
- Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, Zaragoza, España. Vol. 1. 84 p
- Mueller-Dombois, D.; Ellenberg, H. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. Wiley. New York, USA. 574 p
- Murcia, C. 1995. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology and Evolution*. 10. 58–62.
- Newman, D. G. 1977. Some evidence of the predation of Hamilton's frog (*Leiopelma hamiltoni* (McCulloch)) by tuatara (*Sphenodon punctatus* (Grey)) on Stephens Island. *Proc. New Zealand. Ecol. Soc.* 24:43-47 p
- Newmarck, W. 2005. Diel variation in the difference in air temperature between the forest edge and interior in the Usambara Mountains, Tanzania. *African Journal of Ecology*. 43. 177-180 p
- Parrish, J. D.; Reitsma, R.; Greenberg, R.; Skerl, K.; McLarney, W.; Mack, R.; Lynch, J. 1999. El cacao como cultivo y herramienta de conservación en América Latina: frente a las necesidades del agricultor y de la biodiversidad forestal. Documentos de trabajo América Verde. No 3b. The Nature Conservancy, Arlington, Virginia. 44 p
- Pearman, P. B. 1997. Correlates of amphibian diversity in an altered landscape of Amazonian Ecuador. *Conservation Biology*. Vol. 11. No. 5. 1211-1225 p

- Perfecto, I.; Rice, R. A. Greenberg, R.; Vander Voort, M. 1996. Shade coffee: A disappearing refuge for biodiversity. *BioScience*. 46:598-608
- Qian, H.; Wang, X.; Wang, S.; Li, Y. 2007. Environmental determinants of amphibian and reptile species richness in China. *Ecography*. 30: 471-482 p
- Savage, J. M. 2002. *Amphibians and Reptiles of Costa Rica: a herpetofauna between two continents, between two continents, between two seas*. The University of Chicago Press. Chicago, EU. 934 pp.
- Schroth, G.; Harvey, C. A. 2007. Biodiversity conservation in cocoa production landscapes: an overview. *Biodiversity and Conservation* Vol. 16 No. 8. 2237-2244
- Scott, N. T. 1976. The abundance and diversity of the herpetofaunas of tropical forest litter. *Biotropica*. 8: 41-58 p
- Simmons, J. E. 1987. Herpetological collecting and collections Management, Society For the Study of Amphibians and Reptiles, En: *Miscellaneous Publications, Herpetological Circular* No. 16. 1-70 p
- Somarriba, E.; Harvey, C. A. 2003. ¿Cómo integrar producción sostenible y conservación de biodiversidad en cacaotales orgánicos indígenas? *Agroforestería en las Américas*. Vol. 10. No 37-28
- Somarriba, E.; Harvey, C.; González, J.; Bentes-Gama, M.; Suatunce P.; Verte, P. 2007. The conservation of plant diversity in neotropical cocoa plantations. *Biodiversity and Conservation* Vol. 16:?
- Soto, G. 2009. Contribución al conocimiento del paisaje de cacaotales como hábitat para el mantenimiento de la diversidad de herpetofauna en Talamanca, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 71 p
- Stewart, M. M. 1985. Arboreal habitat use and parachuting by a subtropical forest frog. *Journal Herpetology*. 19:391-401 p
- Suatunce, P.; Somarriba, E.; Harvey, C.; Finegan, B. 2003. Composición florística y estructura de bosques y cacaotales en los territorios indígenas de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* Vol. 10 No. 37-38. 31-35 p
- Tews, J.; Brose, U.; Grimm, V.; Tielborger, K.; Wichmann, M. C.; Schwager, M. y Jeltsch, F. 2004. Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/ diversity: the importance of keystone structures. *Journal of Biogeography* 31:79–92 p

- Thiollay, J. M. 1992. Influence of selective logging on bird species diversity in a Guianan rain forest. *Conservation Biology*. Vol. 6. No 1. 47-67 p
- Toft, C. A. 1981. Feeding ecology of Panamánian litter anurans: patterns in diet and foraging mode. *Journal of Herpetology*. Vol. 15. No. 2 139-144 p
- Van Bael, S. A.; Bichier, P.; Ochoa, I.; Greenberg, R. 2007. Bird diversity in cacao farms and forest fragments of western Panamá. *Biodiversity and Conservation* Vol. 16. No. 8. 2245-2256
- Vaughan, C.; Ramirez, O.; Herrera, G.; Guries, R. 2007. Spatial ecology and Conservation of two sloth species in a cacao landscape in Limon, Costa Rica. *Biodiversity and Conservation* Vol. 16 No. 8. 2293-2310 p
- Whitfield, S. M.; Pierce, M. S. 2005. Tree buttress microhabitat use by a neotropical leaf-litter herpetofauna. *Journal of Herpetology*. Vol. 39. No 2. 192-198 p
- Whittaker, R. J. et al. 2007. Geographical gradients of species richness: a test of the water-energy conjecture of Hawkins et. al. (2003). Using European data for five taxa. *Global Ecology Biogeography*. 16: 76-89 p.

4 CAPITULO II. RELACIÓN DE LA DIVERSIDAD DE REPTILES CON LAS VARIABLES ESTRUCTURALES EN UN PAISAJE FRAGMENTADO DEL TRÓPICO HÚMEDO DE PANAMÁ

Resumen

En los tipos de cobertura muestreados del Bosque Protector de Palo Seco, se registraron un total de 374 individuos pertenecientes a 24 especies de reptiles, distribuidos en 10 familias. La mayor abundancia de reptiles estuvo representada por pocas especies (familia Polychrotidae), predominando abundancias bajas en la mayoría de especies. El bosque presentó la mayor abundancia, dominancia y riqueza de especies en el área de muestreo, seguido de las tipologías de cacao orgánico. Existió correlación entre la riqueza de reptiles y la cobertura de la vegetación mayor a 30 m de altura con relación positiva ($p = 0.0326$). Según el análisis de regresión múltiple de Stepwise, la riqueza de reptiles ($p = 0.0175$), estuvo explicada por la cobertura de la vegetación mayor a 30 m de altura con un r^2 que explica el 17% de la varianza en la riqueza de reptiles. La abundancia de reptiles está explicada por la variable cobertura de la vegetación de 10 a 20 m de altura ($p = 0.0070$), y cantidad de luz en el dosel ($p = 0.0083$), ambas con pendiente negativa y con un r^2 que explica el 24 % de la varianza en el número de individuos de reptiles. En el caso de la diversidad de reptiles fue explicada por la cobertura de vegetación de 0 a 2 m de altura ($p = 0.0227$) y cobertura de la vegetación de 2 a 9 m de altura ($p = 0.0161$), ambas con pendiente negativa y con un r^2 de 32%.

Un gran número de investigaciones se han llevado a cabo para explorar las relaciones entre la abundancia, riqueza y diversidad de especies y diferentes usos de suelo; se espera aportar al conocimiento de las relaciones y del potencial de los sistemas agroforestales de cacao orgánico en el mantenimiento y conservación de la diversidad de reptiles.

Palabras claves: abundancia, riqueza, tipologías de cacao.

Abstract

A total of 374 individuals belonging to 24 reptile species, distributed in 10 families, was registered in the types of sampled vegetation covers. The most reptile abundance was represented by fewer species (Polychrotidae family), with predominant low abundance in most species. The forest presented the most abundance, dominance and richness in species of the sampled area, followed by others typologies of organic cocoa. There was correlation between the richness of reptiles and vegetation cover greater than 30 m high with positive relation ($p = 0.0326$). According to multiple regression analysis of Stepwise, the richness of reptiles ($p = 0.0175$) was explained by vegetation cover greater than 30 m high with an r^2 explains 17% of the variance in the richness of reptiles. The abundance of reptiles was explained by the variable vegetation cover from 10 to 20 m high ($p = 0.0070$), and amount of light in the canopy ($p = 0.0083$), both with negative slope and an r^2 explaining the 24% of the variance in the number of reptile individuals. In the case of reptile diversity, this was explained by the vegetation cover from 0 to 2 m high ($p = 0.0227$) and vegetation cover from 2 to 9 m high ($p = 0.0161$), both with negative slope and with an r^2 of 32%.

A greater number of investigations have been conducted to explore the relations between abundance, richness and diversity of species in different land use expecting to contribute to the understanding of the relationships and the potential of organic cacao agroforestry systems in the maintenance and conservation of the reptile diversity.

Keywords: abundance, richness, cacao typologies.

4.1 Introducción

Los anfibios y reptiles terrestres son excelentes indicadores de la cantidad de microhábitats en los ecosistemas (Jones, 1986, en Dickerson, 2001), a la vez, que son importantes en la cadena alimentaria, y constituyen una proporción de vertebrados en determinados ecosistemas (Bury y Raphael, 1983). Por otra parte la información de la diversidad y abundancia de anfibios y reptiles ayuda a determinar la salud relativa de los ecosistemas (Dickerson, 2001). La alta especificidad de hábitat acerca ecológicamente a anfibios y reptiles, lo cual hace que muchas especies de áreas boscosas sean abundantes localmente en áreas con mayor cobertura vegetal (dosel y sotobosque), profundidad de

hojarasca, elevada humedad y temperaturas estables (Demaynadier y Hunter, 1998). 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 y reptiles que poseen baja habilidad de adaptación y dispersión (Blaustein y Wake, 1995; Rueda, 1999).

Los reptiles también son un grupo expuesto a la declinación de especies (Heinen, 1992; Glor et al. 2001; Whitfield et al. 2007). En este sentido el gremio de lagartijas de hojarasca representa el grupo de vertebrados más similar ecológicamente a los anfibios de hojarasca (Whitfield et al. 2007), tanto ranas terrestres y lagartos terrestres utilizan similares hábitats, microhábitats, y presas (Whitfield y Donnelly, 2006); proporcionando un valioso contraste de hipótesis sobre los mecanismos de clasificación de la reducción de anfibios (Whitfield et al. 2007).

Estudios de autores como, Lieberman (1986), Heinen (1992), Glor et al. (2001), Faria et al. (2007), Whitfield et al. (2007), documentan el papel de los sistemas agroforestales con cacao, en el mantenimiento y conservación de la herpetofauna. Según Heinen (1992) al comparar la herpetofauna de plantaciones de cacao abandonadas y bosque primario, concluye, que la abundancia y biomasa de la herpetofauna, es mayor en los cacaotales y la riqueza y diversidad más alta en el bosque, sugiriendo que la mayor profundidad de hojarasca y porcentaje del dosel, pueden influir en la abundancia de herpetofauna de cacaotales. Una explicación posible a esto puede ser debida a la reducción de la cantidad de hojarasca en el bosque impulsada por los cambios en el clima, ya que este se constituye en un microhábitat crítico en el ensamble de anfibios y reptiles (Whitfield et al. 2007).

Pocos estudios han examinado las relaciones de la riqueza de especies y el medio ambiente para los grupos de anfibios y reptiles (Qian et al. 2007). Debido a que la elección de las variables, que incluyan en los análisis, puede influir en las conclusiones (Montoya et al. 2007), esto, puede explicar en parte, por qué las conclusiones son incompatibles a veces en diferentes estudios del mismo taxón, en el mismo sitio, o en diferentes regiones. Para nuestro conocimiento, el presente estudio es el primer intento de estudiar e informar las relaciones de la abundancia, riqueza y diversidad de reptiles, con un grupo de variables ambientales que influyen en la presencia de especies, en diferentes tipos de uso del suelo, en el oeste de Panamá.

4.2 Materiales y métodos

Los materiales y métodos de este documento, corresponden al Capítulo I citado anteriormente, pero abordan un análisis estadístico con los datos del grupo de reptiles.

4.3 Resultados

4.3.1 Tipologías de cacao y bosques

Las 3 tipologías de cacao orgánico muestreadas en la zona del Bosque Protector de Palo Seco, obedecen a criterios de selección basados en Somarriba y Harvey (2003), análisis discriminante canónico de las características estructurales y variables ambientales en las tipologías de cacao y bosque (Ver Resultados Subcapítulo 3.4), dichas tipologías presentaron, los niveles más contrastantes y la mayor varianza obtenida a partir de la clasificación de la estratificación vertical, cobertura de dosel de los árboles de sombra a diferentes estratos, cantidad de luz que entra al sotobosque, composición florística y tipo de manejo.

4.3.2 Abundancia y diversidad de reptiles en tipologías de cacao orgánico y bosque natural

Se registraron un total de 374 individuos pertenecientes a 24 especies de reptiles, distribuidos en 10 familias de reptiles (Cuadro 6), con un esfuerzo de muestreo de 117 horas/persona en 9750 m². En el grupo de reptiles la familia Polychrotidae fue la de mayor abundancia (92% de los individuos totales) agrupando una riqueza de 7 especies, seguida de la familia Colubridae con 7 especies; las 8 familias de reptiles adicionales Anguidae, Boidae, Corytophanidae, Elapidae, Gymnophthalmidae, Teiidae, Viperidae, Xantusiidae, presentaron una riqueza de 10 especies (Cuadro 6). La curva de acumulacion de especies (Figura 9), da como resultado, un total de 24 especies de reptiles para el área de muestreo, la curva tiende a seguir acumulando o encontrando nuevas especies a medida que se aumenta el esfuerzo de muestreo. En los tipos de cobertura muestreados, la mayor abundancia de reptiles, estuvo representada por pocas especies, predominando abundancias bajas en la mayoría de especies, el bosque presentó la mayor dominancia en el área de muestreo, seguido de cacao con laurel y banano y cacao multiestrato diversificado, por último la menor dominancia de especies la obtuvo el cacao con árboles remanentes de bosque (Figura 10).

Hubo diferencias en el esfuerzo de muestreo/persona en los tipos de coberturas muestreados, registrando el bosque natural (BN) 33 horas/muestreo/persona, el cacao con árboles remanentes de bosque (CARB) 27 horas/muestreo/persona, el cacao con laurel y banano (CLB) 27 horas/muestreo/persona y el cacao con árboles remanentes de bosque (CARB) con 30 horas/muestreo/persona. El mayor número de individuos de reptiles en las parcelas de muestreo fue registrado en bosque (33% del total global) y cacao con laurel y banano (24% del total global), y el menor número en cacao con árboles remanentes de bosque (21% del total global) y cacao multiestrato diversificado (20% del total global). El bosque y el cacao con árboles remanentes de bosque registraron la mayor riqueza de especies (16 especies y 10 especies respectivamente). El cacao multiestrato diversificado y el cacao con laurel y banano presentaron solamente 7 y 6 especies (Cuadro 6).

Anolis sp. fue la especie de mayor abundancia en las parcelas de muestreo con el 81%, seguido de *Anolis humilis* con el 8% (Cuadro 7); por otra parte las especies de menor abundancia con solo 1 individuo fueron: *Anolis biporcatus*, *Anolis lemurinus*, *Anolis lionotus*, *Clelia clelia*, *Coniophanes fissidens*, *Corallus annulatus*, *Diploglossus bilobatus*, *Lepidophyma flavimaculatum*, *Micrurus nigrocinctus*, *Ninia maculata*, *Ptychoglossus plicatus* y *Sibon annulatus* (Cuadro 6).

Por tipología de muestreo y bosque *Anolis sp.* y *Anolis humilis* fueron las especies más comunes y abundantes, mientras el número de especies con 1 individuo estuvo representada en las tipologías por bosque (10 especies), cacao con árboles remanentes de bosque (6 especies), en cacao multiestrato diversificado (4 especies) y en cacao con laurel y banano (3 especies) (Cuadro 6). El porcentaje de especies únicas fue mayor para el bosque (53%), seguida de cacao con árboles remanentes de bosque (33%), e igual para cacao con laurel y banano y cacao multiestrato diversificado (7%) (Cuadro 6).

En los tipos de usos de suelo muestreados, las tipologías de cacao orgánico, tienen menor probabilidad de acumular especies que el bosque, al parecer la curva cacao con árboles remanentes de bosque está llegando a la asíntota y no acumula más especies, la curva de bosque natural, tiene mayor probabilidad, ya que la pendiente tiene tendencia a incrementar más especies que las tipologías de cacao. Probablemente los tres tipos de cacao no van a acumular más especies, pero el bosque sí; de esta manera la mayor riqueza de especies de

reptiles sería en el bosque, seguido por el cacao con árboles remanentes de bosque, cacao multiestrato diversificado y por último, el cacao con laurel y banano (Figura 11).

Cuadro 6. Especies de reptiles registrados en 39 parcelas de 4 tipos de cobertura en un paisaje agroforestal de cacao orgánico en el Bosque Protector de Palo Seco, Panamá.

Familia/Especie	Tipos de cobertura				Total n=39 ¹
	BN* n=11 ¹ (2750 m ²) ⁺	CARB* n=9 ¹ (2250 m ²) ⁺	CLB* n=9 ¹ (2250 m ²) ⁺	MD* n=10 ¹ (2500 m ²) ⁺	
Anguidae					
<i>Diploglossus bilobatus</i>	1*	0	0	0	1
Boidae					
<i>Corallus annulatus</i>	0	1	0	0	1
Colubridae					
<i>Clelia clelia</i>	1	0	0	0	1
<i>Coniophanes fissidens</i>	0	1	0	0	1
<i>Imantodes cenchoa</i>	1	0	1	0	2
<i>Mástigodryas melanolomus</i>	1	0	0	1	2
<i>Ninia maculata</i>	0	1	0	0	1
<i>Nothopsis rugosus</i>	2	0	0	0	2
<i>Sibon annulatus</i>	1	0	0	0	1
Corytophanidae					
<i>Corytophanes cristatus</i>	2	0	0	0	2
Elapidae					
<i>Micrurus nigrocinctus</i>	0	0	0	1	1
Gymnophthalmidae					
<i>Leposoma rugiceps</i>	1	1	3	0	5
<i>Leposoma southi</i>	1	0	1	0	2
<i>Ptychoglossus plicatus</i>	1	0	0	0	1
Polychrotidae					
<i>Anolis biporcatus</i>	0	1	0	0	1
<i>Anolis capito</i>	2	0	0	1	3
<i>Anolis cryptolimifrons</i>	2	3	0	1	6
<i>Anolis humilis</i>	17	6	4	2	29
<i>Anolis lemurinus</i>	0	0	1	0	1
<i>Anolis lionotus</i>	1	0	0	0	1
<i>Anolis sp.</i>	91	64	81	68	304
Teiidae					
<i>Ameiva festiva</i>	0	1	0	2	3
Viperidae					
<i>Bothrops asper</i>	0	2	0	0	2
Xantusiidae					
<i>Lepidophyma flavimaculatum</i>	1	0	0	0	1
Riqueza Total	16	10	6	7	24
Abundancia Total	126	81	91	76	374
Esfuerzo de muestreo•	33	27	27	30	117

*Tipos de cobertura: bosque natural (BN), cacao con árboles remanentes de bosque (CARB), cacao, laurel y banano (CLB), cacao multiestrato diversificado (MD).¹ Número de parcelas por tipo de cobertura. + Metros cuadrados muestreados por tipo de cobertura. •Esfuerzo de muestreo/persona. *Abundancia de especie por cobertura.

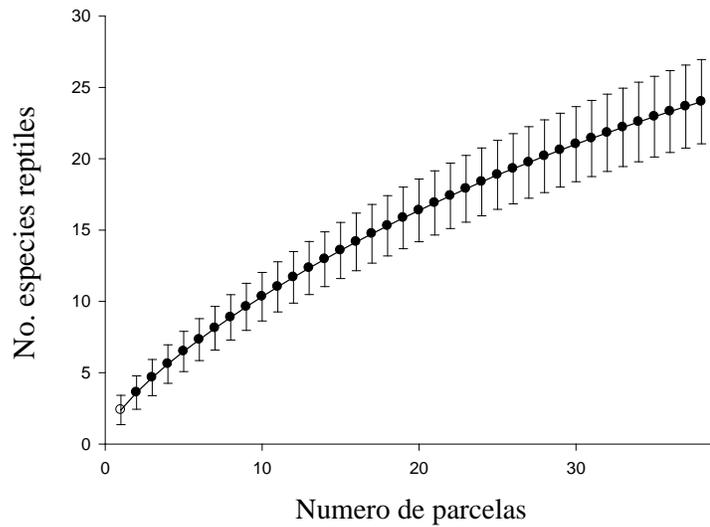


Figura 9. Curva de acumulación de especies del paisaje agroforestal con cacao orgánico en el Bosque Protector de Palo Seco, Panamá. Las barras indican el número acumulado de especies de reptiles, según el orden de muestreo en las parcelas.

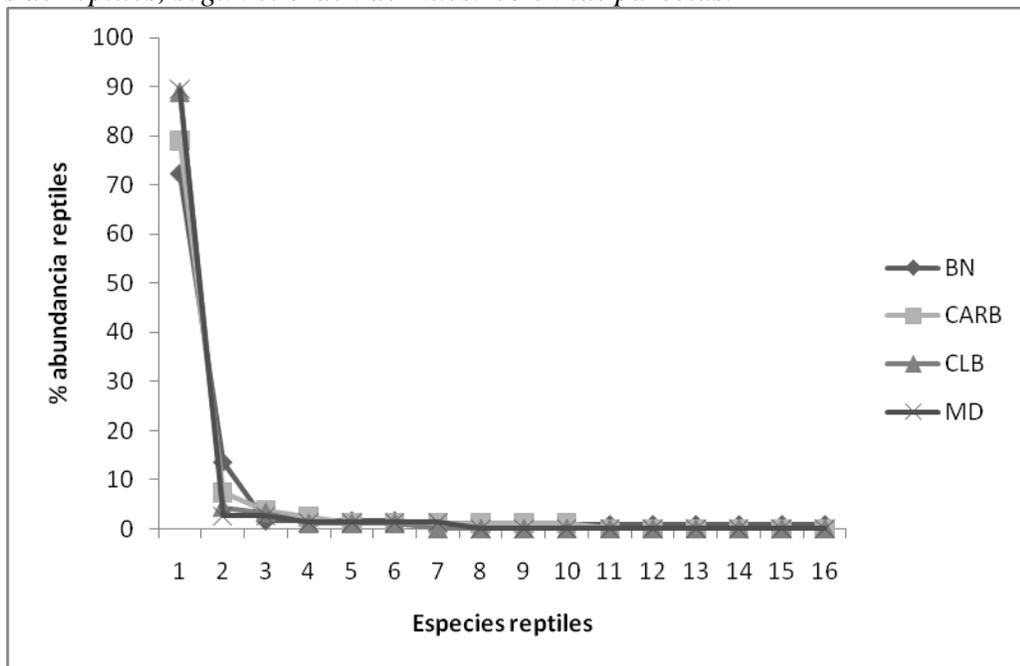


Figura 10. Curva rango-abundancia de reptiles en el paisaje agroforestal de cacao orgánico del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá. Boque natural (BN), cacao con árboles remanentes de bosque (CARB), cacao con laurel y banano (CLB) y cacao multiestrato diversificado (MD).

Cuadro 7. Abundancia de reptiles en cuatro coberturas del paisaje agroforestal de cacao orgánico en el Bosque Protector de Palo Seco, Panamá. * Bosque natural (BN), cacao con árboles remanentes de boque (CARB), cacao con laurel y banano (CLB) y cacao multiestrato diversificado (MD)

BN *		CARB *		CLB *		MD *	
Sp	Ind	Sp	Ind	Sp	Ind	Sp	Ind
<i>Anolis sp.</i>	91	<i>Anolis sp.</i>	64	<i>Anolis sp.</i>	81	<i>Anolis sp.</i>	68
<i>Anolis humilis</i>	17	<i>Anolis humilis</i>	6	<i>Anolis humilis</i>	4	<i>Anolis humilis</i>	2
<i>Anolis cryptolimifrons</i>	2	<i>Anolis cryptolimifrons</i>	3	<i>Leposoma rugiceps</i>	3	<i>Ameiva festiva</i>	2
<i>Anolis capito</i>	2	<i>Bothrops asper</i>	2	-	1	-	1
<i>Nothopsis rugosus</i>	2		1	-	1	-	1

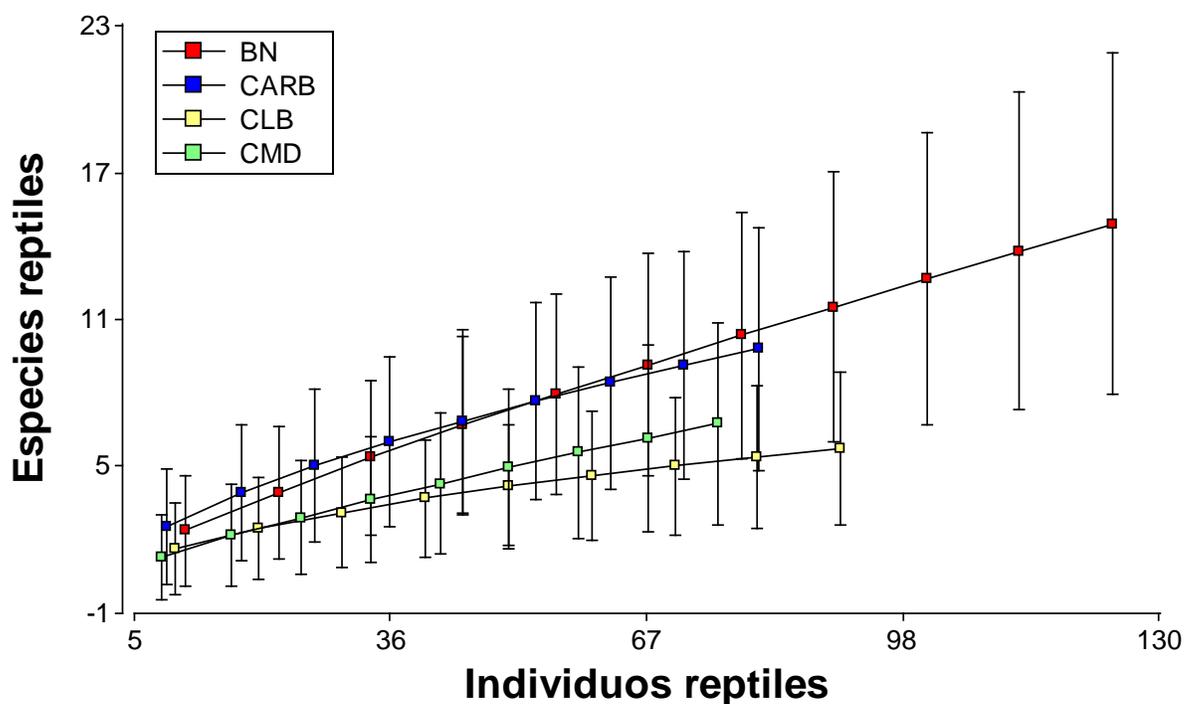


Figura 11. Curva de acumulación de especies de reptiles en tipologías de cacao orgánico y bosque natural, en el paisaje agroforestal del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá.

4.3.3 Comparación entre las tipologías de cacao y bosque, según las comunidades de reptiles y factores ambientales

La abundancia de reptiles presentó diferencias significativas, en la interacción entre la zona y las tipologías ($F = 3.54$; $gl = 3$; $p = 0.0292$); por otra parte no hubo diferencias significativas en la riqueza de especies entre tipologías y zona ($F = 1.25$; $gl = 3$; $p = 0.3139$),

ni interacción entre la zona y las tipologías ($F = 2.38$; $gl = 1$; $p = 0.1357$), similares fueron los resultados de diversidad de reptiles ($F = 0.67$; $gl = 3$; $p = 0.5857$). El bosque natural (BN), en la zona baja, registró, mayor abundancia que las tipologías ubicadas en la zona alta de los muestreos, sin embargo, el cacao con árboles remanentes de bosque (CARB), el cacao con laurel y banano (CLB) y el cacao multiestrato diversificado (CMD), presentaron mayores abundancias en la zona alta que las mismas parcelas ubicadas en la zona baja (Figura 12).

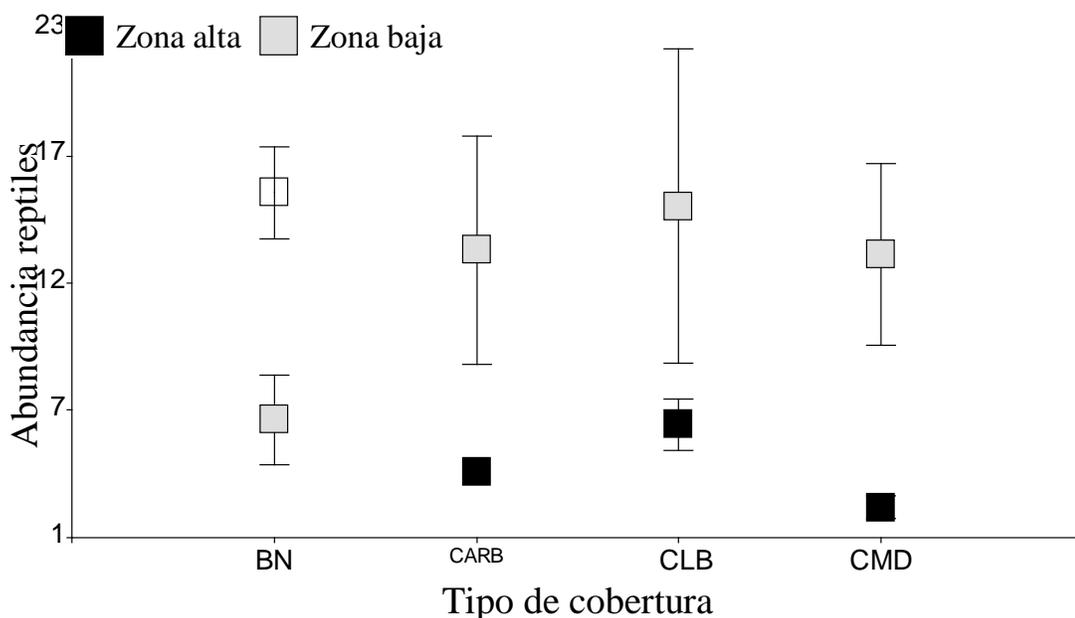


Figura 12. Interacción entre la abundancia de reptiles en tipologías de cacao orgánico y bosque natural y la altitud, en el paisaje agroforestal del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá.

4.3.4 Abundancia, riqueza y diversidad de reptiles entre tipologías de cacao orgánico y bosque natural

No hubo diferencia significativa en la abundancia de reptiles entre tipologías ($F = 0.08$; $gl = 3$; $p = 0.9701$) (Figura 13), similar fue el caso para la riqueza de especies ($F = 2.48$; $gl = 3$; $p = 0.0805$) (Figura 14) y en la diversidad de reptiles ($F = 1.38$; $gl = 3$; $p = 0.2811$).

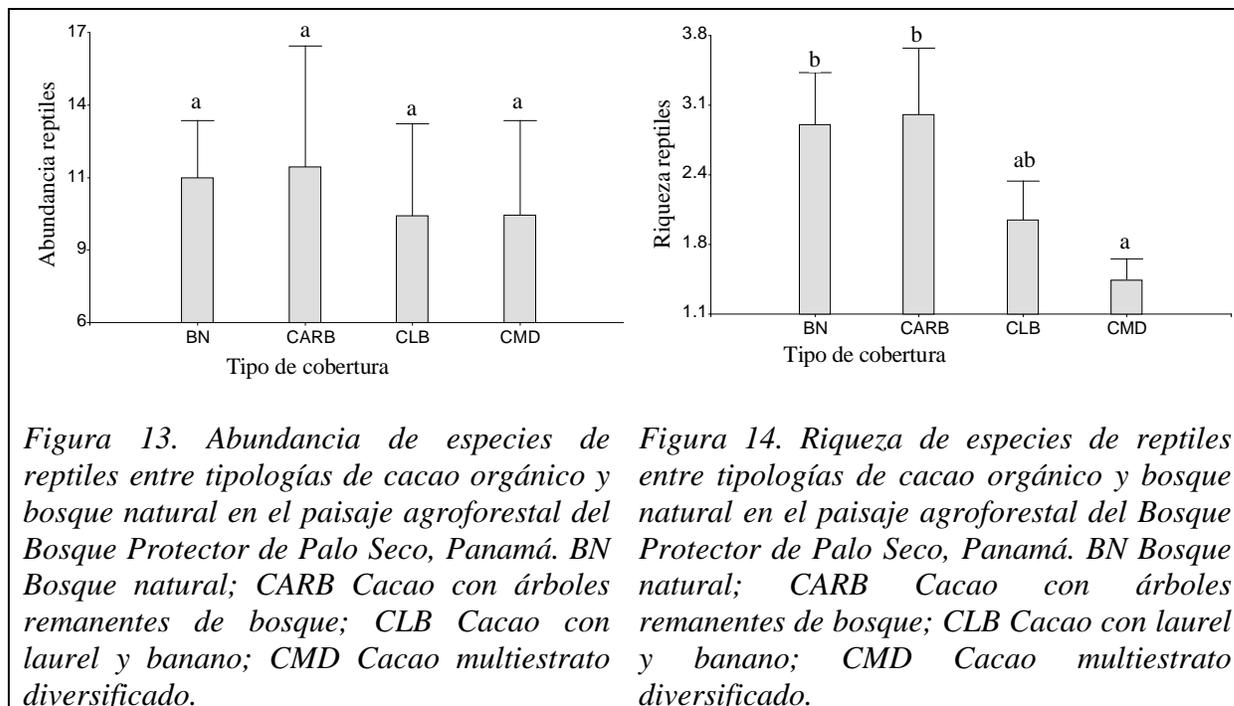


Figura 13. Abundancia de especies de reptiles entre tipologías de cacao orgánico y bosque natural en el paisaje agroforestal del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá. BN Bosque natural; CARB Cacao con árboles remanentes de bosque; CLB Cacao con laurel y banano; CMD Cacao multiestrato diversificado.

Figura 14. Riqueza de especies de reptiles entre tipologías de cacao orgánico y bosque natural en el paisaje agroforestal del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá. BN Bosque natural; CARB Cacao con árboles remanentes de bosque; CLB Cacao con laurel y banano; CMD Cacao multiestrato diversificado.

4.3.5 Comparación de la composición de comunidades de reptiles en tipologías de cacao orgánico y bosque

Los tipos de uso de suelo que comparten especies son cacao con árboles remanentes de bosque (CARB) y cacao multiestrato diversificado (MD), siendo el bosque natural (BN) y el cacao con laurel y banano (CLB), los tipos de uso del suelo que comparten menos especies y que forman un solo grupo, asumiendo además que tienen hábitats propios de ellos.

El uso de suelo bosque natural (BN) registró ocho (8) especies propias (*Diploglossus bilobatus*, *Clelia clelia*, *Nothopsis rugosus*, *Sibon annulatus*, *Corytophanes cristatus*, *Ptychoglossus plicatus*, *Anolis lionotus* y *Lepidophyma flavimaculatum*), el cacao con árboles remanentes de bosque (CARB) presentó, cinco (5) especies propias de este uso de suelo (*Corallus annulatus*, *Coniophanes fissidens*, *Ninia maculata*, *Anolis biporcatus* y *Bothrops asper*), el cacao multiestrato diversificado (MD) solo registró una (1) especie propia de este uso de suelo (*Micrurus nigrocinctus*), finalmente el cacao con laurel y banano registró una (1) especie propia (*Anolis lemurinus*) (Cuadro 6).

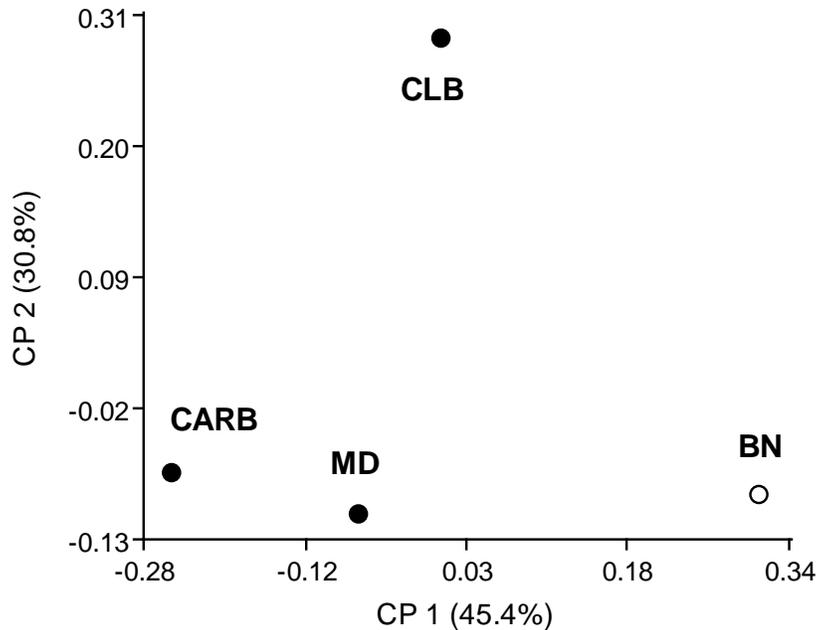


Figura 15. Gráfico de ordenación (Coordenadas principales) para reptiles en tipologías de cacao orgánico y bosque natural, en el paisaje agroforestal del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá. Bosque natural (BN), cacao con árboles remanentes de bosque (CARB), cacao con laurel y banano (CLB) y cacao multiestrato diversificado (CMD).

4.3.6 Efectos de las características estructurales en las tipologías de cacao y bosque y la conservación de reptiles

Comparando la densidad de la vegetación en varios estratos de las parcelas con la riqueza, abundancia y diversidad, existe una correlación positiva, entre el porcentaje de cobertura de la vegetación mayor a 30 m (>30) con la riqueza de reptiles ($r = 0.37$; $p = 0.0326$), las demás variables tuvieron una relación no significativa, al igual que la abundancia y diversidad de reptiles (Cuadro 8).

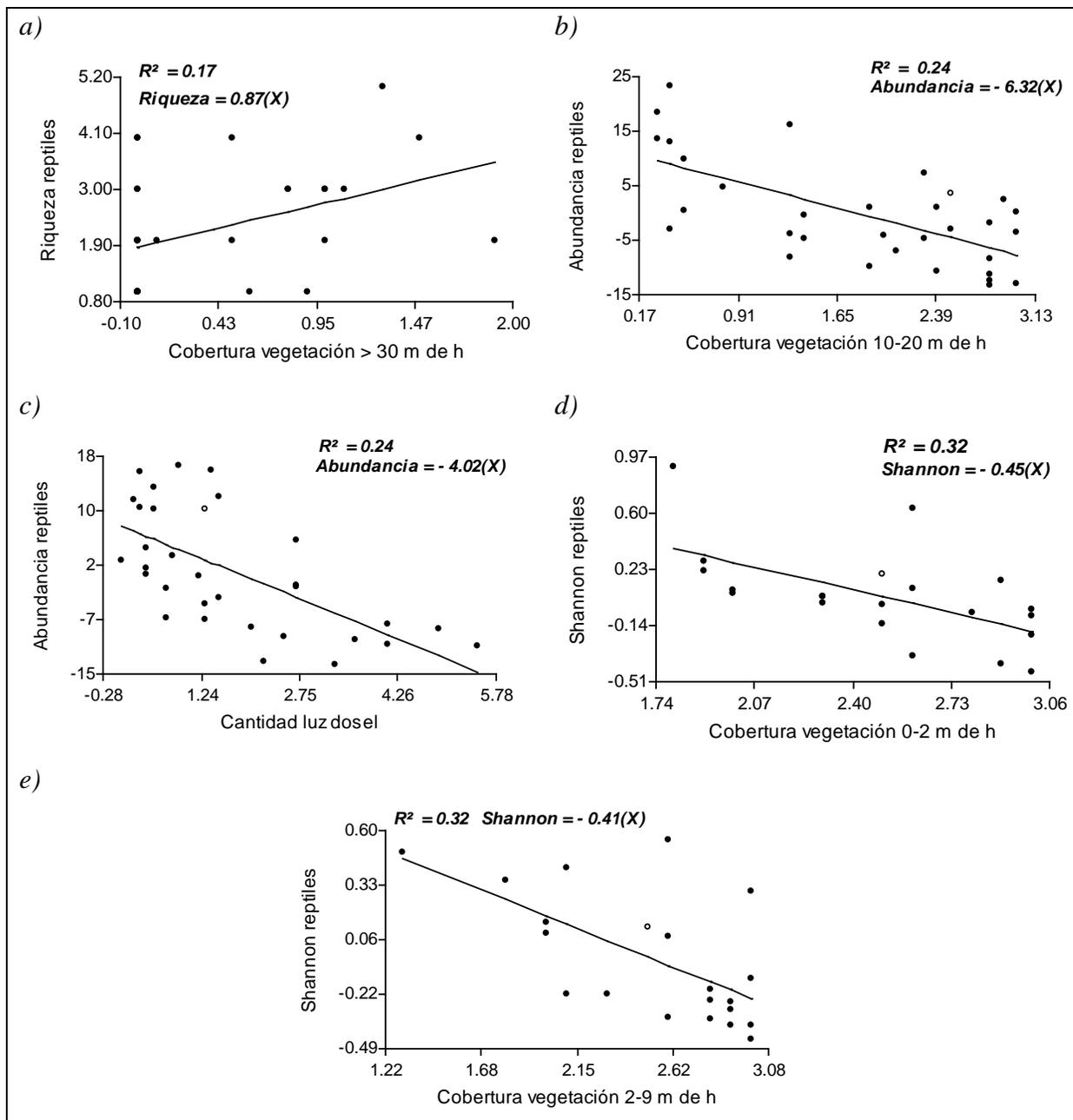
Cuadro 8. Correlación de la estructura vertical en las tipologías de cacao orgánico y bosque natural vs. riqueza, abundancia y diversidad de reptiles, en el paisaje agroforestal del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá

Variables	Riqueza		Abundancia		Diversidad	
	r	P	R	P	r	P
Cobertura 0-2 m	-0.30	0.0884	0.008	0.9635	-0.28	0.2028
Cobertura 2-9 m	0.11	0.5393	0.12	0.4896	-0.25	0.249
Cobertura 10-20 m	0.33	0.0544	-0.14	0.4365	0.23	0.2987
Cobertura 20-30 m	0.33	0.053	-0.08	0.6525	0.19	0.3831
Cobertura >30 m	0.37	0.0326	-0.01	0.9375	0.16	0.4581
Cantidad luz dosel	-0.26	0.1347	-0.17	0.3347	-0.13	0.5481
Cantidad hojarasca parcela	-0.1586	0.3781	-0.1767	0.3251	-0.0316	0.8891

4.3.7 Análisis de regresión lineal de reptiles en las tipologías de cacao orgánico y bosque (abundancia, riqueza y diversidad)

La riqueza de reptiles encontrada en las parcelas de cacao y bosque, estuvo relacionada con la variable cobertura de la vegetación mayor a 30 m de altura ($p = 0.0175$), con pendiente positiva y con r^2 que explica el 17% de la varianza observada (Cuadro 9a). La abundancia de reptiles estuvo relacionada con las variables, cantidad de luz en el dosel ($p = 0.0083$) y cobertura de la vegetación de 10 a 20 m de altura ($p = 0.0070$), ambas con pendiente negativa y con un r^2 que explica el 24% de la varianza encontrada (Cuadro 9a y 9b). En cuanto a la diversidad de especies, existió diferencias significativas en las variables cobertura de la vegetación de 0 a 2 m de altura ($p = 0.0227$) y la cobertura de la vegetación de 2 a 9 m de altura, ambas con pendiente negativa y con un r^2 que explica el 32% de la variación registrada (Cuadro 9d y 9e).

Cuadro 9. Análisis de regresión lineal de reptiles en las tipologías de cacao orgánico y bosque natural (abundancia, riqueza y diversidad), en el paisaje agroforestal del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá



4.3.8 Relación de las variables ambientales y estructurales con la composición de especies de reptiles

Hay relación significativa entre la variable porcentaje de cobertura de vegetación mayor a 30 m de altura, y porcentaje de troncos en el sustrato, con la composición de reptiles, indicando que a mayor porcentaje de leña en el sustrato y mayor cobertura de vegetación a 30 m de altura, mayor número de especies compartirán las tipologías. La variabilidad explicada en este modelo es del 35 % (Cuadro 10).

Cuadro 10. Dirección de la relación de las variables estructurales y ambientales con la composición de especies de reptiles en los tratamientos. Alpha < 0.05

Regresoras	Relación	T	P
Composición			
> 30 m	+	2.59	0.0136

4.4 Discusión

4.4.1 Estructura de la comunidad de reptiles en el paisaje

En los tipos de cobertura muestreados, del Bosque Protector de Palo Seco, se encontraron 24 especies de reptiles y 374 individuos, los cuales disminuyen en abundancia pero aumentan en riqueza, comparado a lo reportado para la Estación Biológica La Selva (EBLS), con un total de 23 especies de reptiles, y un total de 521 individuos (Lieberman, 1986), teniendo esta última investigación, mayor esfuerzo de muestreo que el realizado en el BPPS; similar es el caso de lo registrado para un paisaje agroforestal de cacao orgánico en la zona de Talamanca, Costa Rica en donde se identificaron 25 especies de reptiles y un total de 407 individuos, con un esfuerzo de muestreo similar en tiempo (horas de muestreo) al BPPS (Soto, 2008). La EBLS tiene gran cantidad de bosque continuo y otras coberturas en proceso de restauración ecológica como cacao y pastizales (Donnelly, 1994); en el caso de Talamanca, en el paisaje predominan en la parte baja monocultivos de banano, ganadería, cacao, maíz y arroz (Soto, 2009).

Según los reptiles observados en los cuatro tipos de cobertura estudiados en el BPPS, el 50% de las especies de bosque reportadas para el paisaje agroforestal de cacao orgánico de

Talamanca están presentes en el BPPS y solo el 43% de lo registrado para la EBLIS; en el caso de los tipos de uso de suelo con menor cobertura vegetal (diferentes tipologías de sistemas agroforestales de cacao orgánico), registra el 30% de las especies encontradas en Talamanca y el 31% de las reportadas en la EBLIS. Los resultados obtenidos en el BPPS de riqueza de reptiles en bosques, representan el 66% de las especies y 33% de individuos, mientras que las tipologías de cacao orgánico, albergaron el 66% de las especies y 66% de individuos.

De las tres tipologías de cacao orgánico y bosque, el bosque presentó la mayor riqueza de reptiles y la mayor abundancia de individuos, seguido de la tipología cacao con árboles remanentes de bosque, el cual es similar en su estructura al bosque. En este sentido, las tipologías de cacao orgánico con manejo (cacao con laurel y banano y cacao multiestrato diversificado), ocuparon los menores valores de riqueza de reptiles, comparado con el bosque, al igual que la abundancia de individuos, en la totalidad de las tipologías de cacao orgánico, comparadas al bosque. Basados en todas las muestras, pocas especies fueron abundantes, mientras la mayoría fueron raras. Según el resultado los valores de riqueza y diversidad de reptiles son consistentes con otros estudios (Lieberman, 1986 y Heinen, 1992), concluyendo que es mayor el número de especies registradas en bosque a comparación de sitios con cacao, pero, contrario a los resultados de Soto (2008), Lieberman (1986) y Heinen (1992), la abundancia y dominancia de individuos de reptiles demuestran que es mayor para el sitio bosque, comparado a las tipologías de cacao orgánico. Estos resultados pueden ilustrar la importancia potencial de los bosques como refugio para algunas especies raras, y áreas perturbadas (Heinen, 1992).

Al parecer, la similitud en la complejidad estructural del bosque, con el cacao con árboles remanentes de bosque, puede explicar lo pronunciado de la riqueza de reptiles en estos tipos de coberturas, comparado a las otras tipologías de cacao orgánico con manejo. Similar es el caso para explicar la diversidad de aves en los cultivos de cacao, por ejemplo Van Bael et al. (2007), en una investigación realizada en cacaotales del oeste de Panamá, concluyó, que la diversidad de aves aumentó conforme había mayor riqueza de especies de árboles de sombra y la disminución en la intensidad de manejo. Posiblemente para el gremio de aves al haber mayor riqueza de especies de árboles hay mayor complejidad estructural, similar a la encontrada en bosques, obteniendo mayores posibilidades de encontrar alimento y refugio. Estos datos coinciden además a lo reportado para anuros, aves, murciélagos y mamíferos no

voladores en paisajes agrícolas dominados por sistemas agroforestales de cacao (Faria et al. 2006; Harvey y González-Villalobos, 2007; Vaughan et al. 2007 y Van Bael et al. 2007).

Contrario a lo reportado por Soto (2008), en los tipos de cobertura de Talamanca, las tipologías de cacao del BPPS, tienen menor abundancia de individuos y riqueza de especies, posiblemente, el mayor número de parcelas muestreadas (1250 m² de más en Talamanca), en las tipologías de cacao, tiene un efecto directo sobre los resultados de esta investigación, ejemplo de esto, lo constituye, el número de especies en tipologías de cacao de Talamanca, siendo 23 (Soto, 2009) frente a 16 especies en el BPPS; en cuanto a la abundancia de reptiles en cacao, Soto (2009) encontró 357 individuos, frente a 248 (esta investigación). Sin embargo, en bosque sucede lo contrario, dado que se efectuó un mayor número de parcelas en el BPPS (750 m² más que en Talamanca), posiblemente esto se debe a la diferencia de 50 individuos en Talamanca (Soto, 2009) y 126 en este trabajo; aunque la cifra estimada en m² que debería cubrir el bosque en Talamanca para alcanzar la abundancia de individuos es mucho mayor comparado al área del BPPS. Una explicación tentativa a la alta abundancia en el área puede ser debida a lo relativamente más conservado de los fragmentos de bosque del BPPS que los muestreados en Talamanca. Evidencia de esto lo constituye el número de familias de reptiles encontradas en bosque, siendo 4 familias para Talamanca y 6 para el BPPS.

En cuanto a la riqueza en tipologías de cacao y bosque del BPPS, las diferencias pueden ser explicadas por la baja presencia de la familia Colubridae, Gymnophthalmidae y Polychrotidae en tipologías de cacao orgánico con algún tipo de manejo, la mayoría de las especies encontradas en el paisaje habitan principalmente hábitats inalterados (Savage, 2002), como por ejemplo *Lepidophyma flavimaculatum*, el cual es un habitante de áreas sin disturbio, por lo general se encuentra debajo de troncos caídos o desechos del bosque en el suelo, lo cual junto con la preferencia a alimentarse de artrópodos de gran tamaño (incluidos ciempiés y arañas) (Savage, 2002), podría explicar la presencia de este en el bosque, ya que hay una mayor disponibilidad de presas grandes comparado al cacao (Lieberman, 1986). En el caso de *Anolis lionotus*, si bien es una especie ribereña y puede ser común en cierta medida, prefiere troncos caídos como sitios de percha (Savage, 2002). *Anolis humilis* y *Anolis capito* por sus hábitos arbóreos prefieren áreas sombreadas cerca a la base de grandes árboles (Savage, 2002).

Caso contrario ocurrió con especies de reptiles que tuvieron presencia y mayor abundancia en tipologías de cacao orgánico que en bosque natural como lo fue la especie *Ameiva festiva*, la cual habita regiones forestales, siendo muy común, con una dieta compuesta por una variedad de pequeños artrópodos y anfibios y, probablemente otros lagartos (Savage, 2002). Posiblemente la mayor abundancia de anfibios en tipologías de cacao orgánico y la presencia de pequeños artrópodos en este tipo de coberturas (Lieberman, 1986), explican la preferencia a estos hábitats. En el caso de *Bothrops asper*, especie común en entornos humanos modificados (por ejemplo plantaciones de banano), para los juveniles la dieta consiste en una amplia variedad de vertebrados terrestres, principalmente ranas y lagartos, y artrópodos (Savage, 2002), lo que coincide con la mayor disponibilidad de este recurso, dada la abundancia de anuros en las tipologías de cacao orgánico; así mismo los adultos de *B. asper* escogen a pequeños mamíferos, especialmente roedores y zarigüeyas como presas (Savage, 2002), en este sentido cabe indicar que la presencia del juvenil como el adulto de *B. asper* en la tipología de cacao, correspondió a este patrón, dado que fueron observados mamíferos de pequeño porte (zarigüeya y ratones) en dicha tipología. Posiblemente lo mismo suceda con la boa *Corallus annulatus*, especie arborícola que se alimenta de aves y murciélagos (Savage, 2002), su único registro realizado en la tipología de cacao con árboles remanentes de bosque puede ser consecuente con lo expresado por Van Bael et al. (2007), en cacaotales del oeste de Bocas del Toro, demostrando que la diversidad de aves en los cultivos de cacao aumentó conforme había mayor riqueza de especies de árboles de sombra y la disminución de la intensidad de manejo, lo que coincide con esta tipología de cacao la cual se asemeja estructuralmente al bosque y posee la menor intensidad de manejo.

Estudios realizados en otros usos de suelo como sistemas silvopastoriles en Matagalpa, Nicaragua (Gómez-Martínez, 2007) destacan la menor densidad de reptiles, comparado a lo encontrado en el paisaje agroforestal de cacao orgánico en el BPPS, el cual presentó mayores valores de abundancia de individuos, pero una riqueza de especies más baja que dicho sistema silvopastoril. Igual fue la tendencia en un paisaje fragmentado de la reserva de la biosfera Los Tuxtlas (Urbina-Cardona et al. 2006) en México, aunque en esta los valores de abundancia y riqueza de reptiles fueron mayores que lo observado en el paisaje agroforestal de cacao orgánico del BPPS; posiblemente las diferencias en la abundancia y riqueza de reptiles, estaría explicada por el esfuerzo de muestreo por persona en los estudios de Nicaragua, (300 horas/persona frente a 117 horas/persona de esta investigación) y el área muestreada (12000

m² frente a 9750 m² en el BPPS) y el estudio de México con 3500 horas/persona y un área muestreada de 15000 m²; superando ambos estudios dos o tres veces más que lo realizado en las tipologías de cacao orgánico y bosques del noroeste de Panamá.

4.4.2 Efecto de las características estructurales y variables ambientales en la abundancia, riqueza y diversidad de reptiles en el paisaje

En los tipos de coberturas estudiadas, el bosque y el cacao con árboles remanentes de bosque, similares en su estructura vertical y características ambientales, presentaron la mayor riqueza comparado al cacao multiestrato diversificado y cacao con laurel y banano, estos últimos con un régimen de manejo permanente, poca sombra y menor estratificación vertical. Características que pueden explicar la ausencia de especies de hábitats sin disturbio, y su baja abundancia, la constituye el mayor porcentaje de vegetación a una altura de 10 a 20 m en tipologías de cacao comparadas a bosque, el cual tenía baja representatividad de este estrato arbóreo. Por ejemplo, Whitfield y Pierce (2005), encontró que la abundancia y riqueza de anfibios y reptiles de hojarasca son mayores cerca de los árboles con gambas que en sitios donde faltan estos. En la mayoría de los bosques muestreados, esta característica se hizo evidente, ya que predominaban árboles maduros con fustes grandes y gambas muy desarrolladas y poca vegetación en el estrato bajo. Estos resultados, se asemejan a la investigación de Lieberman (1986), donde la especie *Bufo haematiticus* y *Lepidoblepharis xanthostigma*, demostraban un aumento significativo en cuadrantes de hojarasca que contenían árboles con gambas. Al parecer, los árboles con gambas, sirven como una característica estructural importante, en la especialización de microhábitats, para algunos elementos de la herpetofauna de hojarasca, y sugiere que la heterogeneidad en el microhábitat, puede contribuir al mantenimiento de la alta biodiversidad en las regiones tropicales (Whitfield y Pierce, 2005).

Otra característica estructural que influyó en la abundancia de reptiles, en las tipologías de cacao y bosque, fue la cantidad de luz en la canopia con relación negativa; esta puede ser debida, a que los niveles menores de luz incidente dentro de las coberturas estudiadas, se dan en los bosques, y pueden impedir que algunas especies se sometan al estrés del calor (Heinen, 1992). Por ejemplo, Talbot (1977) encontró, que *Anolis humilis* en la selección de microhábitat prefiere intensidad de luz reducida. En este sentido, los valores más bajos de luz

en el sotobosque coinciden con la presencia de especies de las familias Colubridae, Gymnophthalmidae y Polychrotidae, que en su mayoría son de hábitats inalterados (Savage, 2002), donde la poca luz incidente en el sotobosque constituye una característica particular. Al parecer, el elevado número de individuos y de especies registradas en bosques, comparado a tipologías de cacao orgánico, es debido, a que este tipo de cobertura, constituye un hábitat con una cobertura de dosel cerrado, y que además presenta bajo disturbio o es inalterada.

La riqueza de reptiles estuvo explicada en su gran mayoría por la cantidad de troncos en el sustrato de las parcelas, prueba de esto lo constituye la mayor riqueza de especies en este tipo de cobertura, siendo el bosque el que mayores valores presentó comparado a las tipologías de cacao orgánico. La presencia de las especies *Nothopsis rugosus*, *Sibon annulatus*, *Corytophanes cristatus*, *Lepidophyma flavimaculatum*, *Anolis lionotus* y *Ptychoglossus plicatus*, en los bosques y no en las demás tipologías de cacao orgánico, podrían ser explicadas por ser hábitats inalterados o con poca intervención (Savage, 2002), además de poseer los árboles con los fustes y gambas más pronunciados, palmas, lianas, troncos y árboles jóvenes (Lieberman, 1992 y Whitfield y Pierce, 2005). Otra característica la constituye, que este grupo de reptiles, es generalmente observado por debajo de troncos caídos o desechos (Savage, 2002); condición presente y en mayor porcentaje en los bosques comparado a los otros usos del suelo.

Según los registros obtenidos de abundancia y riqueza de reptiles en el BPPS, comparados a estudios en la EBLIS y Talamanca arrojan los siguientes datos: Lieberman (1986), encontró 24 especies de reptiles en 5760 m², Heinen (1992), 11 especies en 1875 m², y Soto (2009), 25 especies en 11000 m²; el resultado de Heinen (1992) registra el mayor valor de riqueza por metro cuadrado, comparado a este trabajo (24 especies en 9750 m²), siendo similar al reportado por Lieberman (1986) en la EBLIS, pero en número más alto de unidad de área muestreada y mayor que el reportado por Soto (2009), en Talamanca, según estimaciones de riqueza por metro cuadrado. Lieberman (1986), reporto una densidad estimada de reptiles de 9.32 individuos por cada 100 m², Heinen (1992) 5.92 individuos, Soto (2009) 3.7 individuos y esta investigación 3.83 individuos. Teniendo en cuenta solo bosques los resultados de densidad serian, 5.4 individuos por cada 100 m² (Lieberman, 1986), 3.2 individuos (Heinen, 1992), 2.5 individuos (Soto, 2009) y 4.58 individuos de este trabajo. En el caso de la riqueza en bosques, Lieberman (1986) registró 16 especies en 3648 m², Heinen

(1992) 6 especies en 625 m², Soto (2009) 10 especies en 2000 m² y esta investigación 16 especies en 2750 m², valores mayores que los registrados por Lieberman (1986), por metro cuadrado en la EBLS, y que Soto (2009) en Talamanca. Comparando solo los valores de densidad y riqueza de cacaotales de Talamanca y del BPPS los resultados son los siguientes: 3.96 individuos por cada 100 m² (Soto, 2009) y 3.54 individuos (esta investigación); en cuanto a la riqueza Soto (2009) registra 23 especies en 9000 m² de Talamanca, frente a 16 especies en 7000 m² en el BPPS. Factores como el mayor número de parcelas muestreadas en cacaotales de Talamanca (36 parcelas de 250 m² cada una, frente a 28 parcelas de 250 m² en el BPPS) podrían estar incidiendo en la abundancia de reptiles, como en la riqueza de especies.

Según los resultados obtenidos, la menor riqueza de reptiles encontrada en cacaotales, frente al mayor valor en bosques, obedecen al mismo patrón de otras investigaciones, como también se reporta en anfibios (ver Capítulo I) (Lieberman, 1986; Heinen, 1992), pero no la abundancia como lo registra Soto (2009), siendo esta mayor en tipologías de cacao que en bosque.

4.5 Bibliografía

- Blaustein, A. R.; Wake, D. B. 1995. The puzzle of declining amphibian populations. *Scientific American* 272:56-61
- Bury, R. B.; Raphael, M. G. 1983. Inventory methods for amphibians and reptiles. *Proceedings of the International Conference on Renewable Resources. Inventories for monitoring changes and trends.* Oregon State Univ. Corvallis, USA.
- Crump, M. L.; Scott Jr, N. J. 1994. Relevamientos por encuentros visuales. En Heyer, W. R.; Donnelly, A.; Mcdiarmid, R.; Hayek, L. A.; Foster, M. Eds. *Measuring and Monitoring Biological Diversity: Standard Methods for Amphibians.* Smithsonian Institution Press.
- Currie, D. J. 2001. Projected effects of climate change on patterns of vertebrate and tree species richness in the conterminous United States. *Ecosystems.* 4:216-225 p
- Degani, G. y Warburg, M. R. 1978. Population structure and seasonal activity of adult *Salamandra salamandra* (L.). *Journal of Herpetology.* 12:437-444 p

- Demaynadier, P. G.; Hunter Jr, M. L. 1998. Effects of silvicultural edges on the distribution and abundance of amphibians in Maine. *Conservation Biology* Vol. 12 No. 2. 340-352
- Dickerson, D. D. 2001. Riparian habitat management for reptiles and amphibians on Corps of Engineers projects,” EMRRP Technical Notes Collection (ERDC TNEMRRP-SI-22), U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS. 13 p
Disponible en www.wes.army.mil/el/emrrp
- Donnelly, M.; Crump, M. L. 1998. Potential effects of climate change on two neotropical amphibian assemblages. *Climatic change* 39:541-561
- Donnelly, M.A., 1994. Amphibian diversity and natural history. *La Selva Ecology and Natural History of a neotropical Rain Forest*. En Mc.Dade, L.A et al (eds). University of Chicago Press. USA. pp 199-209.
- Faria, D.; Barradas-Paciencia, M. L.; Dixo, M.; Ricardo-Laps, R.; Baumgarten, J. 2007. Ferns, frogs, lizard, birds and bats in forest fragment and shade cacao plantations in two contrasting landscapes in the Atlantic forest, Brazil. *Biodiversity and Conservation* Vol.16 No. 8. 2335-2357 p
- Faria, D.; Ricardo-Laps, R.; Baumgarten, J.; Cetra, M. 2006. Bat and Bird assemblages from forest and shade cacao plantations in two contrasting landscapes in the Atlantic forest of southern Bahia, Brazil. *Biodiversity and Conservation* 15:587-612
- Fauth, J. E.; Crother, B. I. y Slowinski, J. B. 1989. Elevations patterns of richness, evenness, and abundance of the Costa Rican leaf litter herpetofauna. *Biotropica*. 21 (2): 178-185 p
- Gibbons, J. W. et al. 2000. The global decline of reptiles, de´ja` vu. *Amphibians*. *BioScience* 50: 653-666 p
- Glor, R.E.; Flecker, A. S.; Benard, M. F.; Power, A. G. 2001. Lizard diversity and agricultural disturbance in a Caribbean forest landscape. *Biodiversity and Conservation* 10:711-723
- Gomez-Martinez, M. J. 2007. Relación entre la diversidad de herpetofauna en sistemas silvopastoriles, la calidad del agua y el bienestar de los productores en el municipio de Matiguas (Matagalpa, Nicaragua). Tesis Magister Scientiae. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 139 p

- Harper, K. A.; Macdonald, S. E.; Burton, P. J.; Chen, J.; Brosnoff, K. D.; Saunders, S. C.; Euskirchen, E. S.; Roberts, D.; Jaiteh, M. S.; Essen, P. A.; 2005. Edge influence on forest structure and composition in fragmented landscapes. *Conservation Biology*. 19. 768–782 p
- Harvey, C. A.; Gonzalez-Villalobos, J. A. 2007. Agroforestry systems conserve species-rich but modified assemblages of tropical birds and bats. *Biodiversity and Conservation* Vol. 16 No. 8. 2257-2292 p
- Heinen, J.T. 1992. Comparisons of the leaf litter herpetofauna in abandoned cacao plantations and primary rain forest in Costa Rica: Some implications for faunal restoration. *Biotropica*, 24(3):431-439.
- Heyer, W. R.; Donnelly, A.; McDiarmid, R.; Hayek, L. A.; Foster, M. Eds. 1994. *Measuring and Monitoring Biological Diversity: Standard Methods for Amphibians*. Smithsonian Institution Press. Washington. 364 p
- Holdridge, L. R. 1978. *Ecología basada en zonas de vida*. Serie Libros y materiales educativos IICA. San José, Costa Rica. No 34.
- Lieberman, S. S. 1986. Ecology of the litter herpetofauna of a neotropical rain forest: La Selva, Costa Rica. *Acta Zool. Mex.* (ns). 15. 72 p
- Magurran, A. E. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press, New Jersey, 179 p
- Montoya, D. et al. 2007. Contemporary richness of holarctic trees and the historical pattern of glacial retreat. *Ecography*. 30: 173-182 p
- Moreno, C. E. 2001. *Métodos para medir la biodiversidad*. M&T–Manuales y Tesis SEA, Zaragoza, España. Vol. 1. 84 p
- Mueller-Dombois, D.; Ellenberg, H. 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. Wiley. New York, USA. 574 p
- Murcia, C. 1995. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology and Evolution*. 10. 58–62.
- Pisani, G. R.; Villa, J. 1974. Guías de técnicas de preservación de anfibios y reptiles. En *Herpetological circulars*, Society for the study of amphibians and reptiles, Circular No. 2. 1-28 p
- Qian, H.; Wang, X.; Wang, S.; Li, Y. 2007. Environmental determinants of amphibian and reptile species richness in China. *Ecography*. 30: 471-482 p

- Rueda, J. V. 1999. Anfibios y reptiles amenazados de extinción en Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 23:475-497
- Savage, J. M. 2002. *Amphibians and Reptiles of Costa Rica: a herpetofauna between two continents, between two continents, between two seas*. The University of Chicago Press. Chicago, EU. 934 pp.
- Scott, N. T. 1976. The abundance and diversity of the herpetofaunas of tropical forest litter. *Biotropica*. 8: 41-58 p
- Somarriba, E.; Harvey, C. A. 2003. ¿Cómo integrar producción sostenible y conservación de biodiversidad en cacaotales orgánicos indígenas? *Agroforestería en las Americas*. Vol. 10. No 37-28
- Soto, G. 2009. Contribución al conocimiento del paisaje de cacaotales como hábitat para el mantenimiento de la diversidad de herpetofauna en Talamanca, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 71 p
- Stewart, M. M. 1985. Arboreal habitat use and para-chuting by a subtropical forest frog. *Journal Herpetology*. 19:391-401 p
- Suatunce, P.; Somarriba, E.; Harvey, C.; Finegan, B. 2003. Composición florística y estructura de bosques y cacaotales en los territorios indígenas de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* Vol. 10 No. 37-38. 31-35 p
- Talbot, J. J. 1977. Habitat selection in two tropical anoline lizards. *Herpetological*. 33. 114-123 p
- Thiollay, J. M. 1992. Influence of selective logging on bird species diversity in a Guianan rain forest. *Conservation Biology*. Vol. 6. No 1. 47-67 p
- Urbina-Cardona, J. N.; Olivares-Perez, M. y Reynoso, V. H. 2006. Herpetofauna diversity and microenvironment correlates across a pasture-edge-interior ecotone in tropical rainforest fragments in the Los Tuxtlas Biosphera Reserve of Veracruz, Mexico. *Biological Conservation*. 132 (2006) 61-75 p
- Van Bael, S. A.; Bichier, P.; Ochoa, I.; Greenberg, R. 2007. Bird diversity in cacao farms and forest fragments of western Panamá. *Biodiversity and Conservation* Vol. 16. No. 8. 2245-2256
- Vaughan, C.; Ramirez, O.; Herrera, G.; Guries, R. 2007. Spatial ecology and Conservation of two sloth species in a cacao lanscape in Limon, Costa Rica. *Biodiversity and Conservation* Vol. 16 No. 8. 2293-2310 p

- Whitfield, S. M.; Bell, K. E.; Philippi, T.; Sasa.; Bolaños, F.; Chaves, G.; Savage, J. M.; Donnelly, M. A. 2007. Amphibian and reptile declines over 35 years at La Selva, Costa Rica. PNAS Vol. 104 No. 20. 8352-8356 p
- Whitfield, S. M.; Donnelly, M. A. 2006. Ontogenetic and seasonal variation in the diets of a Costa Rican leaf-litter herpetofauna. *Journal of Tropical Ecol* 22:409–417
- Whitfield, S. M.; Pierce, M. S. 2005. Tree buttress microhabitat use by a neotropical leaf-litter herpetofauna. *Journal of Herpetology*. Vol. 39. No 2. 192-198 p

5 CAPITULO III. VARIABLES ESTRUCTURALES QUE EXPLICAN LA DIVERSIDAD DE HERPETOFAUNA EN UN PAISAJE FRAGMENTADO DEL TRÓPICO HÚMEDO DE PANAMÁ

Resumen

Los análisis y exámenes de los gradientes de riqueza de especies, en relación a una amplia gama de variables ambientales, son los primeros pasos, para la evaluación de los impactos ambientales negativos, sobre anfibios y reptiles en los sectores agrícola, industrial, y otras actividades, que modifican o degradan hábitats naturales. Esto es particularmente cierto para la herpetofauna, donde la riqueza de especies de anfibios y reptiles está disminuyendo a nivel mundial, y porque se cree que el calentamiento global es parcialmente responsable del descenso. En los tipos de cobertura muestreados del Bosque Protector de Palo Seco, se encontraron un total de 3165 individuos, pertenecientes a 58 especies (34 especies de anfibios y 24 especies de reptiles), distribuidos en 11 familias de anfibios y 10 familias de reptiles, con un esfuerzo de muestreo de 117 horas/persona en 9750 m². La riqueza de especies de anfibios y reptiles entre tipologías de cacao y bosque, presentó diferencias significativas según el análisis de varianza ($F = 4.07$; $gl = 3$; $p = 0.0151$); la diversidad de especies vario entre tipologías y bosque ($F = 3.94$; $gl = 3$; $p = 0.0172$), y según la altitud ($F = 9.21$; $gl = 1$; $p = 0.0048$); la equidad entre tipologías no varió, pero si fue significativa para la altitud entre tipologías ($F = 32.73$; $gl = 1$; $p = <0.0001$). Existió correlación entre la riqueza de herpetofauna, la cobertura de la vegetación de 10 a 20 m de altura ($p = 0.0483$) y la cantidad de luz en el dosel de las parcelas ($p = 0.0297$); la abundancia ($p = 0.023$), diversidad ($p = 0.0005$), y equidad ($p = 0.0002$) de herpetofauna presentaron diferencias significativas con la cantidad de hojarasca en las parcelas. Según el análisis de regresión múltiple de Stepwise, la riqueza de especies estuvo relacionada, con la variable cantidad de luz en el dosel ($p = 0.0297$), con pendiente negativa, explicando el 12% de la varianza registrada. La abundancia de herpetofauna fue relacionada con la variable cantidad de hojarasca en las parcelas ($p = 0.0230$), explicando el 21% de la varianza encontrada. La diversidad de herpetofauna fue relacionada con la cantidad de hojarasca en las parcelas ($p = 0.0005$), explicando el 38% de la variabilidad encontrada.

Palabras claves: anfibios, reptiles, calentamiento climático.

Abstract

The analysis and tests of richness gradients in relation to a wide range of environmental variables are the first steps for the evaluation of the negative environmental impacts on amphibians and reptiles in the agricultural and industrial sectors and other activities modifying or degrading natural habitats. This is particularly true for the herpetofauna, because the richness of amphibian and reptile species is declining at a worldwide level. It is believed that global warming is partially responsible for this decreasing. In the sampled organic cacao agroforestry systems and vegetation covers of Palo Seco Protector Forest, a total of 3165 individuals belonging to 58 species (34 amphibian species and 24 reptile species) was found, distributed in 11 amphibian families and 19 reptile families, with a sampling effort of 117 person- hours¹ in 9750 m². Species richness of amphibians and reptiles among forests and cocoa typologies presented significant differences according to the analysis of variance ($F = 07.04$, $gl = 3$, $p = 0.0151$). Species diversity varied between typologies and forests ($F = 3.94$, $gl = 3$, $p = 0.0172$), and according to altitude ($F = 9.21$; $gl = 1$, $p = 0.0048$). Equity between typologies showed no variation, but it was significant in terms altitude among typologies ($F = 32.73$, $gl = 1$, $p = <0.0001$). There was correlation among the richness of herpetofauna, the vegetation cover of 10 to 20 m high ($p = 0.0483$) and the amount of light in the canopy of the plots ($p = 0.0297$). Abundance ($p = 0.023$), diversity ($p = 0.0005$), and equity ($p = 0.0002$) of herpetofauna differed significantly with the amount of litter in the plots. According to the Stepwise multiple regression analysis, the species richness was associated with the variable amount of light in the canopy ($p = 0.0297$), with negative slope, explaining 12% of the variance recorded. The abundance of herpetofauna was related to the variable amount of litter in the plots ($p = 0.0230$), explaining 21% of the variance found. The diversity of herpetofauna was related to the amount of litter in the plots ($p = 0.0005$), explaining 38% of the variability found.

Keywords: amphibians, reptiles, global warming.

5.1 Materiales y métodos

Los materiales y métodos de este documento corresponden al Capítulo I, citado anteriormente, pero abordan un análisis estadístico combinado con los datos de los grupos de anfibios y reptiles.

5.1.1 Especies indicadoras de herpetofauna

Se realizó un análisis de especies indicadoras, el cual afirma la tendencia de las agrupaciones mediante la caracterización específica de los grupos, otorgando valores indicadores para cada especie en cada grupo (McCune y Mefford, 1999). Este análisis no sólo permite identificar cuáles especies aportan a la diferenciación de los tipos de bosque encontrados, y nombrarlos a partir de ellas, sino que a través del número total de especies indicadoras y su valor de significancia (p) promedio, obtenido de la prueba de Monte Carlo para diferentes número de grupos, permite obtener el número óptimo de grupos a definir (valor de p promedio más bajo y mayor número de especies indicadoras). El VI ocurre entre 0 y 100, dando un valor de 0 (no indicación) hasta 100 (perfecta indicación), cuando se determina la presencia de una especie en un grupo particular sin error (Macune y Grace 2002). Este análisis se realizó con el programa PC-ORD v 4.25 (McCune y Mefford, 1999) (citado en Chain-Guadarrama, 2009).

5.2 Resultados

Se registraron un total de 3165 individuos pertenecientes a 58 especies (34 especies de anfibios y 24 especies de reptiles), distribuidos en 11 familias de anfibios y 10 familias de reptiles (Cuadro 1 y 6), con un esfuerzo de muestreo de 117 horas persona en 9750 m². La familia con más especies de anfibios fue la Craugastoridae, ocupando la mayor riqueza (8 especies), seguido de la familia Dendrobatidae (6 especies), siendo esta la que mayor abundancia presentó en las parcelas, con más del 75% de la totalidad de los individuos observados (2397 individuos) (Cuadro 1). En el grupo de los reptiles, la familia Polychrotidae fue la de mayor abundancia (92% de los individuos totales), agrupando una riqueza de 7 especies, seguido de la familia Colubridae con 7 especies (Cuadro 6). La curva de acumulación de especies (Figura 16), da como resultado un total de 34 especies de anfibios y 24 especies de reptiles para el área de muestreo, la curva tiende a seguir acumulando o encontrando nuevas especies a medida que se aumenta el esfuerzo de muestreo. La alta abundancia de anfibios y reptiles, está representada por pocas especies, predominando abundancias bajas en gran parte de las especies, la tipología de cacao multiestrato

diversificado presentó la mayor dominancia en el área, seguido de bosque y cacao con laurel y banano, por último la menor dominancia de especies la obtuvo el cacao con árboles remanentes de bosque (Figura 17).

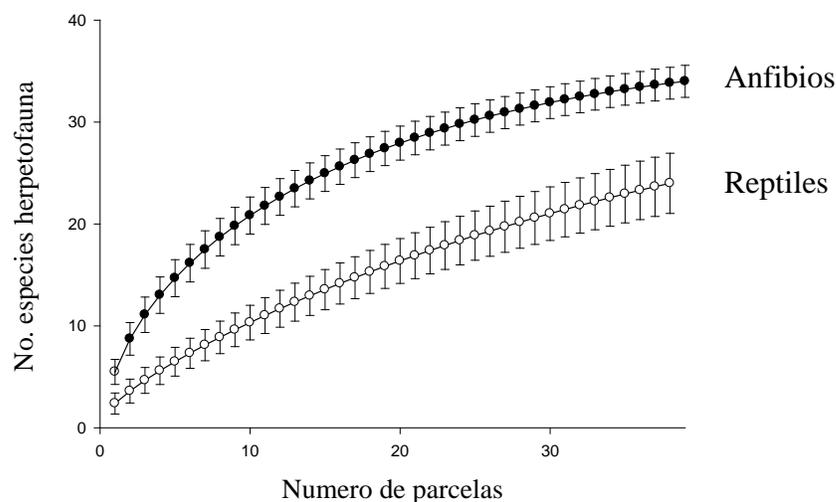


Figura 16. Curva de acumulación de especies del paisaje agroforestal con cacao orgánico en el Bosque Protector de Palo Seco, Panamá. Las barras indican el número acumulado de especies de herpetofauna según el orden de muestreo en las parcelas.

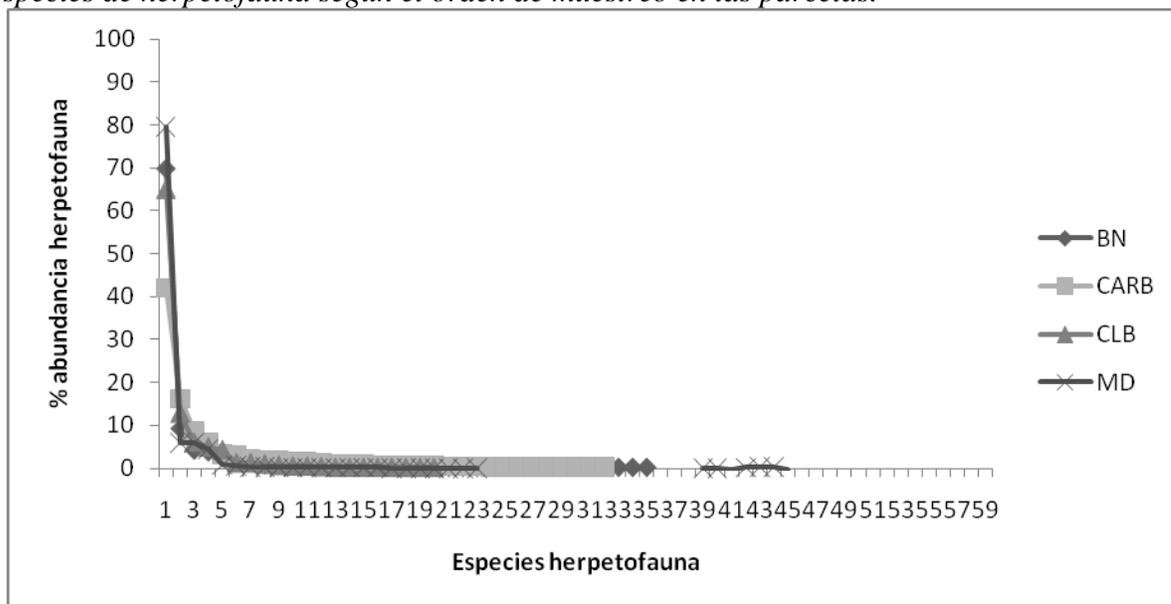


Figura 17. Curva rango-abundancia de herpetofauna en el paisaje agroforestal de cacao orgánico del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá. Boque natural (BN), cacao con árboles remanentes de bosque (CAR), cacao con laurel y banano (CLB) y cacao multiestrato diversificado (MD).

La especie que mayor abundancia obtuvo en las diferentes parcelas (Cuadro 11), fue *Oophaga pumilio* totalizando más del 75% de los individuos registrados (2397 individuos), seguido de *Anolis sp.* con el 10% (304 individuos), *Dendrobates auratus* ocupó el tercer lugar

de abundancia de anfibios con el 5% (154 individuos), *Allobates talamancae* con el 4% (134 individuos) y *Craugastor sp.* con el 3% (85 individuos) (Cuadro 11).

*Cuadro 11. Abundancia de herpetofauna en cuatro coberturas del paisaje agroforestal de cacao orgánico en el Bosque Protector de Palo Seco, Panamá. * Bosque natural (BN), cacao con árboles remanentes de bosque (CARB), cacao con laurel y banano (CLB), cacao multiestrato diversificado (CMD)*

BN *		CARB *		CLB *		MD *	
Sp	Ind	Sp	Ind	Sp	Ind	Sp	Ind
<i>Oophaga pumilio</i>	694	<i>Oophaga pumilio</i>	166	<i>Oophaga pumilio</i>	418	<i>Oophaga pumilio</i>	908
<i>Anolis sp.</i>	91	<i>Anolis sp.</i>	64	<i>Anolis sp.</i>	81	<i>Allobates talamancae</i>	68
<i>Dendrobates auratus</i>	41	<i>Cochranella granulosa</i>	34	<i>Dendrobates auratus</i>	38	<i>Anolis sp.</i>	68
<i>Craugastor sp.</i>	37	<i>Dendrobates auratus</i>	24	<i>Allobates talamancae</i>	31	<i>Dendrobates auratus</i>	51
<i>Allobates talamancae</i>	29	<i>Rhaebo haematiticus</i>	13	<i>Craugastor sp.</i>	27	<i>Craugastor sp.</i>	9

5.2.1 Abundancia, riqueza y diversidad de herpetofauna entre tipologías de cacao orgánico y bosque natural

Comparando la riqueza de especies de anfibios y reptiles entre tipologías de cacao y bosque, el análisis de varianza registró diferencia significativa ($F = 4.07$; $gl = 3$; $p = 0.0151$) (Figura 18), pero no hubo diferencia significativa en la variable zona ($F = 3.21$; $gl = 1$; $p = 0.0828$), ni en la interacción tipología-zona ($F = 0.44$; $gl = 3$; $p = 0.7265$); la abundancia de individuos no presentó diferencias significativas entre tipologías y bosque ($F = 1.96$; $gl = 3$; $p = 0.1398$) (Figura 19). La diversidad de especies vario entre tipologías y bosque ($F = 3.94$; $gl = 3$; $p = 0.0172$) y según la altitud ($F = 9.21$; $gl = 1$; $p = 0.0048$); la equidad entre tipologías no varió, pero si fue significativa para la altitud entre tipologías ($F = 32.73$; $gl = 1$; $p = <0,0001$).

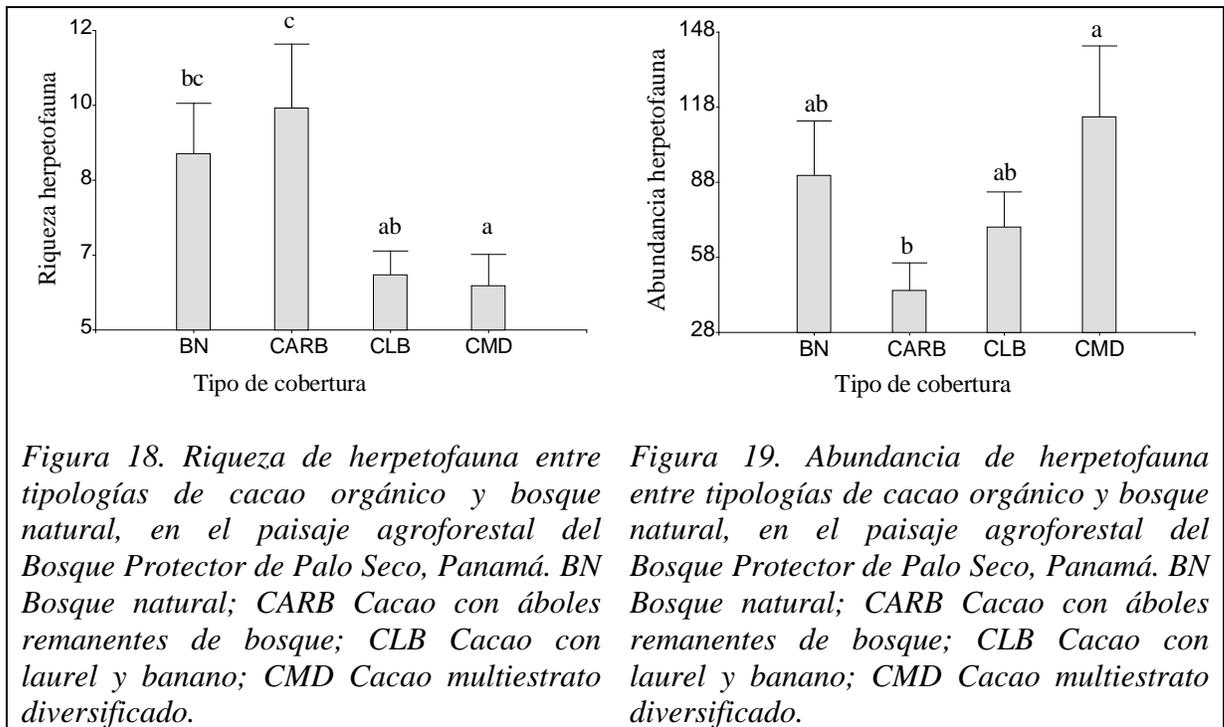


Figura 18. Riqueza de herpetofauna entre tipologías de cacao orgánico y bosque natural, en el paisaje agroforestal del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá. BN Bosque natural; CARB Cacao con árboles remanentes de bosque; CLB Cacao con laurel y banano; CMD Cacao multiestrato diversificado.

Figura 19. Abundancia de herpetofauna entre tipologías de cacao orgánico y bosque natural, en el paisaje agroforestal del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá. BN Bosque natural; CARB Cacao con árboles remanentes de bosque; CLB Cacao con laurel y banano; CMD Cacao multiestrato diversificado.

5.2.2 Comparación de la composición de comunidades de herpetofauna en tipologías de cacao orgánico y bosque natural

Los tipos de uso de suelo que comparten especies son cacao con laurel y banano (CLB) y cacao multiestrato diversificado (MD), siendo el bosque natural (BN) y el cacao con árboles remanente de bosque (CARB) los tipos de uso del suelo que comparten menos especies y que forman un solo grupo, asumiendo además que tienen hábitats propios de ellos.

El uso de suelo bosque natural (BN), registró, catorce (14) especies propias (*Centrolene ilex*, *Craugastor crassidigitus*, *Craugastor gollmeri*, *Craugastor megacephalus*, *Pristimantis altae*, *Pristimantis cerasinus*, *Diploglossus bilobatus*, *Clelia clelia*, *Nothopsis rugosus*, *Sibon annulatus*, *Corytophanes cristatus*, *Ptychoglossus plicatus*, *Anolis lionotus* y *Lepidophyma flavimaculatum*), el cacao con árboles remanentes de bosque (CARB) presentó, once (11) especies propias de este uso de suelo (*Cranopsis conifera*, *Craugastor noblei*, *Phyllobates lugubris*, *Diasporus quidditus*, *Dendropsophus ebraccatus*, *Lithobates warszewitschii* *Corallus annulatus*, *Coniophanes fissidens*, *Ninia maculata*, *Anolis biporcatus*

y *Bothrops asper*), el cacao multiestrato diversificado (MD) solo registró dos (2) especies propias de este uso de suelo (*Scinax elaeochrous* y *Micrurus nigrocinctus*), finalmente el cacao con laurel y banano (CLB) registró, una (1) especie propia de este tipo de cobertura (*Anolis lemurinus*) (Figura 1 y 6).

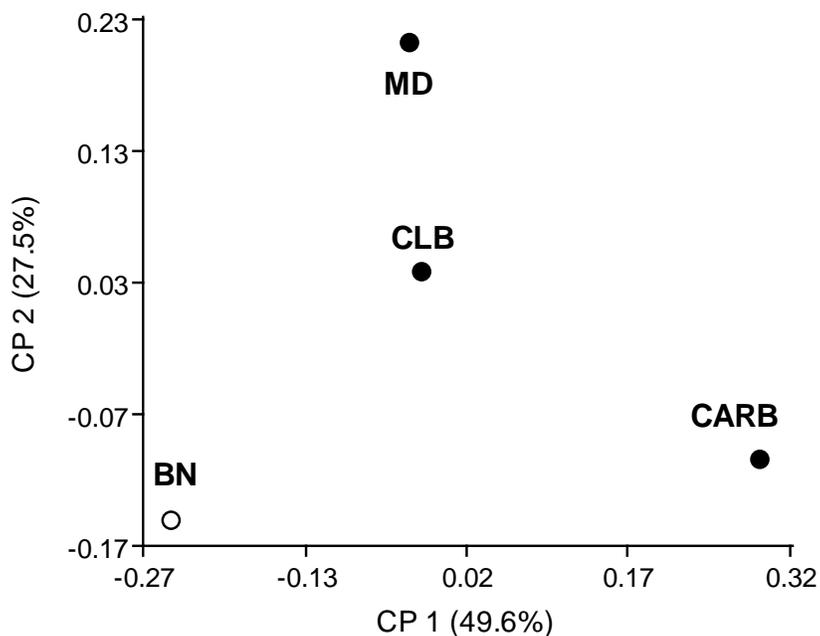


Figura 20. Gráfico de ordenación (Coordenadas principales) para herpetofauna en tipologías de cacao orgánico y bosque, en el paisaje agroforestal del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá. Bosque natural (BN), cacao con árboles remanentes de bosque (CARB), cacao con laurel y banano (CLB) y cacao multiestrato diversificado (MD).

5.2.3 Efectos de las características estructurales de las tipologías de cacao y bosque, en la conservación de herpetofauna

Existió correlación entre el porcentaje de cobertura de vegetación 10 a 20 m de altura con la riqueza de herpetofauna ($r = 0.31$; $p = 0.04$), al igual que con la cantidad de luz en el dosel y la riqueza de herpetofauna ($r = -0.34$; $p = 0.029$). Existió correlación entre la riqueza de herpetofauna, la cobertura de la vegetación de 10 a 20 m de altura ($p = 0.0483$) y la cantidad de luz en el dosel de las parcelas ($p = 0.0297$); la abundancia ($p = 0.023$), diversidad ($p = 0.0005$), y equidad ($p = 0.0002$) de herpetofauna presentaron diferencias significativas con la cantidad de hojarasca en las parcelas. Las otras variables presentaron una relación no significativa (Cuadro 12).

Cuadro 12. Correlación de la estructura vertical en las tipologías de cacao orgánico y bosque natural vs. riqueza, abundancia y diversidad de herpetofauna, en el paisaje agroforestal de cacao en el Bosque Protector de Palo Seco, Panamá

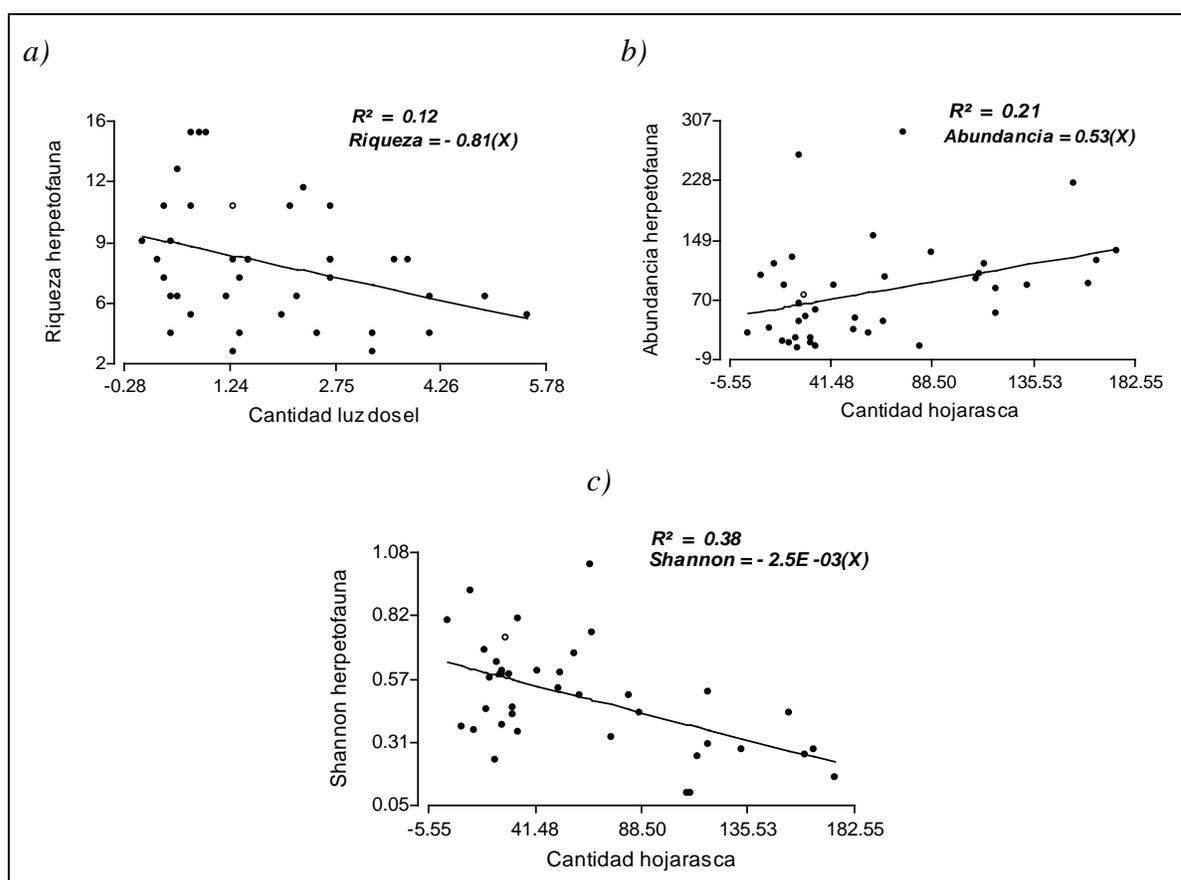
Variable	Riqueza		Abundancia		Diversidad		Equidad	
	R	P	r	P	R	P	r	P
Cobertura 0-2 m	-0.28	0.0833	0.04	0.7976	-0.16	0.3092	-0.05	0.7336
Cobertura 2-9 m	0.15	0.3316	-0.11	0.4868	0.08	0.6013	0.02	0.8745
Cobertura 10-20 m	0.31	0.0483	0.02	0.8916	-0.09	0.549	-0.28	0.0778
Cobertura 20-30 m	0.30	0.0585	0.05	0.7299	-0.02	0.8583	-0.18	0.247
Cobertura >30 m	0.25	0.1194	0.09	0.5661	0.08	0.6178	-0.05	0.7602
Cantidad luz dosel	-0.34	0.0297	-0.08	0.5864	-0.05	0.7313	0.19	0.2439
Cantidad hojarasca parcela	-0,17	0,2931	0,36	0,023	-0,53	0,0005	-0,56	0,0002

5.2.4 Análisis de regresión lineal de herpetofauna en tipologías de cacao orgánico y bosque natural (abundancia, riqueza y diversidad)

Según el análisis de regresión múltiple de Stepwise, la riqueza de especies estuvo relacionada, con la variable cantidad de luz en el dosel ($p = 0.0297$), con pendiente negativa, explicando el 12% de la varianza registrada. La abundancia de herpetofauna fue relacionada con la variable cantidad de hojarasca en las parcelas ($p = 0.0230$), explicando el 21% de la varianza encontrada. La diversidad de herpetofauna fue relacionada con la cantidad de

hojarasca en las parcelas ($p = 0.0005$), explicando el 38% de la variabilidad encontrada. (Cuadro 13).

Cuadro 13. Análisis de regresión lineal de herpetofauna en tipologías de cacao orgánico y bosque natural (abundancia, riqueza y diversidad), en el paisaje agroforestal del Bosque Protector de Palo Seco, Panamá



5.2.5 Composición de herpetofauna, especies indicadoras

Se identificaron 3 especies indicadoras de herpetofauna, de un total de 58 especies registradas (anfibios y reptiles). Para bosque 2 especies y 1 especie para las tipologías de cacao. Estas especies registraron valores significativos ($p < 0.05$), por lo que son consideradas como especies indicadoras en los tipos de coberturas vegetales muestreadas según el método de especies indicadoras de Dufrene y Legendre (1999), (Cuadro 14).

Cuadro 14. Resultados de la prueba de MONTE CARLO para el Valor de Indicador Observado, en cada especie de herpetofauna, mediante 4999 permutaciones, entre los 4 tipos de cobertura de suelo.

Especies	Tipo	VI	P
<i>Craugastor crassidigitus</i>	Bosque	36.4	0.0110
<i>Craugastor sp.</i>	Bosque	39.1	0.0306
<i>Leptodactylus pentadactylus</i>	Cacaotal	30.1	0.0390

VI Valor Indicador Observado. Especies indicadoras $p < 0.05$.

5.3 Discusión

5.3.1 Estructura de la comunidad de herpetofauna en el paisaje

En los tipos de cobertura muestreadas del Bosque Protector de Palo Seco, se encontraron un total de 3165 individuos, pertenecientes a 58 especies (34 especies de anfibios y 24 especies de reptiles), distribuidos en 11 familias de anfibios y 10 familias de reptiles, teniendo en cuenta estos valores y haciendo claridad en las diferencias existentes, en cuanto a esfuerzo de muestreo (horas/persona), intensidad de muestreo (días/año), número de parcelas muestreadas, tipos de cobertura y edad de abandono de los cacaotales, así como también tamaño de los cuadrantes, entre otros, encontramos diferencias en la riqueza y abundancia, comparado con lo registrado, para la Estación Biológica La Selva, con un total de 47 especies de anfibios y reptiles y un total de 1967 individuos (Lieberman, 1986); similar es el caso de lo registrado para un paisaje agroforestal de cacao orgánico en la zona de Talamanca, Costa Rica en donde se identificaron 45 especies de anfibios y reptiles y un total de 844 individuos (Soto, 2009).

De las tres tipologías de cacao orgánico y bosque, el bosque obtuvo la mayor riqueza de herpetofauna y la segunda mayor abundancia seguido del cacao multiestrato diversificado el cual tuvo la mayor abundancia de herpetofauna del conjunto de tipologías de cacao y bosque, seguido del cacao con laurel y banano y por último el cacao con árboles remanentes de bosque. En cuanto a la riqueza de herpetofauna el segundo valor lo obtuvo el cacao con árboles remanentes de bosque seguido del cacao con laurel y banano y finalizando el cacao multiestrato diversificado. Un gran porcentaje de todas las especies fueron únicas encontradas solamente en bosque y cacao con árboles remanentes de bosque, hecho que confirma lo importante de mantener las coberturas boscosas aledañas al cacao con manejo, en este sentido

la tipología sin manejo está jugando un rol importante sirviendo de zona amortiguadora entre los cacaotales con manejo y los bosques, manteniendo algunas especies que no se encuentran en bosques ni en cacaotales con manejo y sirviendo además de transición entre las áreas intervenidas y las zonas de bosques que conservan especies únicas las cuales pueden desarrollar su ciclo de vida bajo condiciones donde no exista perturbación alguna.

Teniendo en cuenta otras investigaciones como punto de referencia, y aclarando que hay diferencias en cuanto a esfuerzo de muestreo y metodologías de trabajo en campo, se mencionan estudios realizados en otros usos de suelo como sistemas silvopastoriles y plantaciones de banano manejadas orgánicamente (Bach, 2000) destacando la menor densidad y riqueza de especies de anfibios y reptiles, comparado a lo encontrado en el paisaje agroforestal de cacao orgánico en el BPPS, el cual presentó valores mayores de abundancia y riqueza que otros tipos de agrosistemas. Por ejemplo sistemas silvopastoriles estudiados en Matiguas, Nicaragua (Gómez, 2007) reporta 53 especies de anfibios y reptiles; frente a 58 especies registradas en sistemas agroforestales de cacao orgánico del BPPS.

5.3.2 Efecto de las características estructurales y variables ambientales en tipologías de cacao orgánico y bosque natural en la riqueza y abundancia de herpetofauna

Las respuestas del análisis de correlación lineal y regresión del grupo de anfibios y reptiles según los resultados solo coinciden con los patrones observados para el grupo de anfibios pero no para los reptiles (ver capítulo I y II), por ejemplo la abundancia de herpetofauna aumenta conforme hay mayor cantidad de hojarasca según este capítulo, el comportamiento de los anfibios apoya este patrón, al igual que lo hace para explicar la relación negativa de la diversidad con la cantidad de hojarasca en anfibios (ver capítulo I), pero no lo hace con el grupo de reptiles, ya que estos son más sensibles a cambios de temperatura en función de la cantidad de luz en el sotobosque y de la cobertura presente en alturas de 10 a 20 m de altura (ver capítulo II). Otras variables que apoyan los resultados de las relaciones en abundancia, riqueza y diversidad de herpetofauna y el mismo patrón en anfibios y las diferencias con el grupo de reptiles, son los patrones de respuesta a las variables ambientales registradas; por ejemplo, factores como la temperatura del aire en época lluviosa al igual que están correlacionadas negativamente con la abundancia en herpetofauna lo hacen

también para el grupo de anfibios, iguales fueron los patrones para explicar la relación negativa de la temperatura del suelo en época lluviosa con la abundancia de herpetofauna y del grupo de anfibios, como también para explicar la relación positiva de la humedad relativa en época lluviosa tanto para herpetofauna como para el grupo de anfibios (ver capítulo I).

Haciendo un análisis con la correlación negativa de la variable cantidad de luz en el dosel y la diversidad de herpetofauna, se podría explicar que tanto en la riqueza de anfibios (capítulo I) como en la abundancia de reptiles (capítulo II), ambos con relación negativa, probablemente la elevada cantidad de luz impide que algunas especies se sometan al estrés del calor (Heinen, 1992), un ejemplo de ello lo constituyen especies de anfibios de las familias Centrolenidae, Craugastoridae y Strabomantidae que prefieren hábitats inalterados donde la luz incidente en el sotobosque es relativamente baja o nula; en el caso de reptiles las familias de Polychrotidae (thermoconformers que viven en los bosques) son activas a baja temperatura del cuerpo y no toleran temperaturas elevadas (Huey et al. 2009). Es importante destacar que la actividad de estas lagartijas en bosques tropicales es en promedio inferior a la de hábitats abiertos, en este sentido si la temperatura en microambientes donde hay sombra están por debajo de los requerimientos de un ectotermo y si la sombra es fácilmente accesible, ellos podrían encontrar refugio térmico y enfrentar el calentamiento climático y por tanto, permanecer activas (Kearney et al. 2009). Sin embargo, si la temperatura es igual o superior a la temperatura de un ectotermo, el cambio climático los obligará a retirarse bajo tierra o tolerar la actividad a una temperatura corporal alta, lo cual probablemente induce al estrés y reduce el rendimiento (Huey 1983, citado por Huey et al 2009). Si hay efectos en el tiempo y el rendimiento disminuye, son restricciones de carácter sustantivo ya que la población podría extinguirse (Kearney et al. 2009). Hecho que corrobora los efectos de la temperatura en ectotermos son los encontrados para el grupo de anfibios, la menor riqueza y abundancia estuvo explicada en gran parte por las altas temperaturas del aire (ver capítulo I).

Según Huey et al (2009), el calentamiento climático puede propiciar que especies de hábitats abiertos desplacen a las especies forestales tropicales, sugiriendo que las lagartijas de tierras bajas que viven en bosques neotropicales probablemente ya están experimentando temperaturas en el cuerpo que están por encima de la óptima fisiológica, al menos en época seca, lo cual aumentaría la competencia y depredación de especies de hábitats abiertos, promoviendo una cascada de efectos negativos a las especies forestales importantes en las

redes tróficas de bosques tropicales; en este sentido la variable temperatura del aire en época seca fue altamente significativa y se relacionó negativamente con la riqueza de especies de herpetofauna.

En el paisaje agroforestal la abundancia de herpetofauna estuvo explicada por la cantidad de hojarasca, posiblemente el alto número de individuos de *Oophaga pumilio* tuvo un efecto importante en el análisis de regresión y correlación lineal dado que ocuparon la mayor abundancia del total de individuos observados en ambos grupos (discutido capítulo I). Datos que podrían ser interpretados es que la mayor cobertura de hojarasca en el sustrato de las parcelas y la cantidad (biomasa), está favoreciendo la presencia de pocas especies de la familia Dendrobatidae tolerantes de ambientes con perturbaciones humanas y que podría estar explicando la relación inversa con la diversidad de especies, ya que a menor porcentaje de cobertura, mayor era la cantidad de biomasa de hojarasca, características las cuales estaban presentes en tipologías de cacao con manejo donde existen menor heterogeneidad estructural de la vegetación, como también en los factores ambientales, los cuales a una escala microclimática favorecen la presencia de especies propias de hábitats intervenidos.

5.3.3 Implicaciones para la conservación de herpetofauna en sistemas agroforestales de cacao

En el paisaje agroforestal de cacao del BPPS, la existencia de una cobertura vegetal de mayor a menor complejidad estructural, parece definir, la distribución y abundancia de especies de anfibios y reptiles, siendo la tipología de cacao con árboles remanentes de bosque, que presentó, mayor complejidad estructural y menor régimen de manejo, la que tiene mayor posibilidad de albergar la comunidad del grupo de anfibios y reptiles, dado que soporta un ambiente menos intervenido, el cual se asemeja, tanto en características estructurales, como ambientales, al bosque, sin embargo, este mismo tipo de cobertura, no presentó, la mayor riqueza dado que muchas de las parcelas muestreadas, no registraron especies tanto anfibias, como de reptiles, y posiblemente el tamaño de los bosques y los tipos de cobertura, que lo rodeaban, afectaban la presencia de especies. Al parecer la tipología de cacao con árboles remanentes de bosque, se constituye en una transición avanzada para llegar a tener condiciones similares al bosque, en esta fase, se pueden estar sobrepasando etapas sucesionales, que tendrían que pasar otro tipo de usos de suelo, que no tenga la complejidad

estructural que este presenta (ej. ganadería y monocultivos). Desde el punto de vista práctico y para efectos de los procesos de restauración ecológica, la tipología de cacao con árboles remanentes de bosque, cumple las características adecuadas, para albergar una mayor biodiversidad no solo de anfibios y reptiles, también de otros grupos animales como por ejemplo, aves (Van Bael et al. 2007), y mamíferos no voladores (obs. personal); al parecer, la intensidad de manejo disminuye la presencia de anfibios y reptiles, que utilizan esta área como hábitat, es el caso de la familia Bufonidae, Craugastoridae, Ranidae, Boidae y Colubridae, que presentaron mayor número de especies únicas en esta tipología, como por ejemplo, la especie *Cochranella granulosa*, la cual fue vista en un número de tres parejas colocando, y cuidando sus huevos en las hojas del cacao abandonado, y algunas otras posadas sobre el dosel del cacao realizando cantos; en el caso de *Corallus annulatus* se constituyó en el único registrado, observada sobre el fuste de un árbol de cacao sin manejo.

La baja heterogeneidad de las coberturas de cacao con manejo, al parecer, explican en parte la presencia de especies anfibias, que son tolerantes a las perturbaciones humanas; posiblemente, además de las características especiales de la familia Dendrobatidae, esta aproveche la baja presencia de otras familias (competencia) y la oferta alimenticia en el sustrato de hojarasca de cacao, para mantener una alta densidad por m², inclusive mayor que en bosques de la zona, y de Costa Rica.

De igual forma, las prácticas de manejo en tipologías de cacao constituye, otro impacto en las especies presentes en el sistema, sin embargo, manteniendo un manejo orgánico y las chapias manuales, podría disminuirse en gran medida los efectos sobre las poblaciones de anfibios y reptiles, que si se efectuara de manera convencional y con aplicación de pesticidas, ya que generalmente, se hacen una o dos chapias por año en cada parcela, lo que constituye dos periodos de descanso del suelo, y por consiguiente la regeneración permite que muchas especies se protejan, y camuflen en la hojarasca, posibilitando que realicen todo su ciclo de vida en este hábitat.

Los resultados, evidencian el papel que cumplen los sistemas agroforestales dentro del área protegida, manteniendo y conservando las coberturas arbóreas, y permitiendo que se mantenga una elevada heterogeneidad estructural en los cacaotales, con otros tipos de manejo diferente a los estudiados, y fomentando, que una muestra representativa de la biodiversidad de anfibios y reptiles de hojarasca del área, pueda utilizar como hábitat este tipo de usos de

suelo, sin dejar de lado, la importancia de las coberturas arbóreas nativas, y el rol que cumplen los parches de bosque, como áreas fuente de especies raras, ejemplo de ello lo constituye la familia Craugastoridae, la cual provee una buena oportunidad para identificar relaciones indicadoras para la conservación de un conjunto de especies, el cual es sensible al disturbio antropogénico (Pearman, 1997); si bien, la gran mayoría de estas especies son de hábitats inalterados, probablemente, el no tener un área fuente, donde poder reproducirse y alimentarse, en medio del paisaje agroforestal, constituye la primera señal, de que es necesario preservar suficientes áreas de bosque, dentro del paisaje dominado por cultivos de cacao.

La inclusión de las variables de estructura vertical de los tipos de cobertura y ambientales en este estudio, nos ha permitido, ser capaces de identificar un conjunto de variables que influyen en la composición, abundancia, riqueza y diversidad de especies de anfibios y reptiles, en los sistemas agroforestales de cacao orgánico de la zona. Sugiero, que los futuros estudios sobre los gradientes, que influyen en la presencia de especies de herpetofauna, en sistemas agroforestales de cacao orgánico, deben incluir una amplia gama de variables no solo ambientales, considerando también, la composición de la vegetación, tamaño de las coberturas, y a escala de paisaje, evaluar la incidencia de los otros tipos de cobertura, sobre estos grupos en particular, a fin de que pueda llegarse a conclusiones más sólidas, y ser comparados con otras investigaciones para los mismos taxones en diferentes regiones, como también, para la mismas regiones entre diferentes taxones.

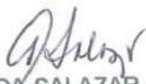
5.4 Bibliografía

- Bach, O. 2000. Diversidad, abundancia y distribución de anfibios en fincas bananeras según tipo de manejo agrícola. *Ambientico* 20(6): 52-64
- Dufrene, Marc; Legendre, P. 1999. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*. Vol.67. No. 3. 345-366
- Gómez, M. J. 2007. Relación entre la diversidad de herpetofauna en sistemas silvopastoriles, la calidad del agua y el bienestar de los productores en el municipio de Matiguas (Matagalpa, Nicaragua). Tesis Magister Scientiae. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 139 p

- Huey, R. B.; Deutsch, C. A.; Tewksbury, J. J.; Vitt, L. J.; Hertz, P. E.; Alvarez-Perez, H. J.; Garland, T. 2009. Why tropical forest lizards are vulnerable to climate warming. *Proceedings of the Royal Society*. 276. 1939-1948
- Kearney, M.; Shine, R.; Porter, W. 2009. The potential for behavioral thermoregulation to buffer "cold-blooded" animals against climate warming. *PNAS*. Vol. 106. No. 10. 3835-3840
- Lieberman, S. S. 1986. Ecology of the litter herpetofauna of a neotropical rain forest: La Selva, Costa Rica. *Acta Zool. Mex.* (ns). 15.
- McCune, B.; Grace, J.B. 2002. *Análisis of Ecological Communities. Software design*, Gleneden Beach, Oregon, USA. 300p.
- Soto, G. 2009. Contribución al conocimiento del paisaje de cacaotales como hábitat para el mantenimiento de la diversidad de herpetofauna en Talamanca, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 71 p

ANEXO

Anexo 1. Permiso científico de colecta de herpetofauna.

		Autoridad Nacional del Ambiente  Apartado C, Zona 0843, Balboa, Ancón, Panamá		PERMISO CIENTÍFICO SCIENTIFIC PERMIT No. <u>SE/A-74-08</u> VALIDO HASTA: <u>31-12-2008</u> VALID UNTIL	
				FAUNA / FLORA / HONGOS / BACTERIAS / OTROS ORGANISMOS FAUNA	
INVESTIGADOR RESPONSABLE MAIN RESEARCHER ROLANDO ANDRÉS GUTIÉRREZ ZUÑIGA		IDENTIFICATION I.D. Pas. 10492058-COL		COLECTA COLLECT MARCADO MARKING	
ASISTENTE (S) ASSISTANT (S) Viviana Moreno Quintero		IDENTIFICATION I.D. Pas. 34321413-COL		OBSERVACION OBSERVATION OTROS OTHERS ESPECIAL	
INSTITUCION QUE RESPALDA LA INVESTIGACION INSTITUTE SUPPORTING THE RESEARCH CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA (CATIE)					
OBJETIVO PURPOSE Evaluar el potencial de los sistemas agroforestales con cacao como hábitat para la herpetofauna de hojarasca en un paisaje fragmentado de Bocas del Toro.				LUGAR DEL ESTUDIO STUDY Bocas del Toro, B.P. Palo Seco	
NOMBRE COMUN COMMON NAME		NOMBRE CIENTÍFICO SCIENTIFIC NAME		CANTIDAD QUANTITY	
Herpetofauna		Ranas, Lagartijas y Serpientes.		106	
DURACION DEL ESTUDIO TIME OF STUDY 28-07-2008 Hasta 31-12-2008					
ESTE PERMISO ES EMITIDO POR: THIS PERMIT IS ISSUED BY:					
Dirección de Áreas Protegidas y Vida Silvestre				 ALEIDA SALAZAR Directora de Áreas Protegidas y Vida Silvestre	
FECHA: DATE 28-07-2008				FIRMA RESPONSABLE Y SELLO	
TODO INVESTIGADOR DEBE: 1. REPORTARSE A LA REGION CORRESPONDIENTE ANTES DE INICIAR SU TRABAJO; 2. PORTAR EN TODO MOMENTO EL PERMISO CORRESPONDIENTE; 3. ENVIAR INFORME DE COLECTA A LA ANAM; 4. ENTREGAR MUESTRAS DE CADA ESPECIE A LA UNIVERSIDAD DE PANAMA; 5. ENVIAR A LA ANAM, A MAS TARDAR EN UN AÑO, AVANCE O INFORME FINAL DEL ESTUDIO, CON RESUMEN EN ESPAÑOL DE LO CONTRARIO NO SE LE OTORGARA OTRO PERMISO. EVERY RESEARCHER MUST: 1. REPORT TO THE NEAREST ANAM OFFICE BEFORE START WORKING; 2. CARRY THE PERMIT AT ALL TIMES; 3. SEND A REPORT OF COLLECTED MATERIAL TO ANAM; 4. SEND SAMPLES OF REPRESENTATIVE MATERIAL TO THE UNIVERSITY OF PANAMA; 5. SEND AN INTERMEDIATE OR FINAL REPORT TO ANAM WITHIN A YEAR, WITH A SPANISH SUMMARY. NO MORE PERMITS WILL BE ISSUED TO THOSE WHO DO NOT COMPLY WITH THESE REGULATIONS.					