

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades



Efectos de la fragmentación de bosques de pino-encino en la diversidad de aves de la zona montañosa del Municipio de San José Pinula, Guatemala, Guatemala.

Trabajo de investigación presentado por

Mariana Gabriela Solis González

para optar al grado de Licenciada en Biología

Guatemala

2015



Efectos de la fragmentación de bosques de pino-encino en la diversidad de aves de la zona montañosa del Municipio de San José Pinula, Guatemala, Guatemala.

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades



Efectos de la fragmentación de bosques de pino-encino en la diversidad de aves de la zona montañosa del Municipio de San José Pinula, Guatemala, Guatemala.

Trabajo de investigación presentado por

Mariana Gabriela Solis González

para optar al grado de Licenciada en Biología

Guatemala

2015

Vo. Bo.:

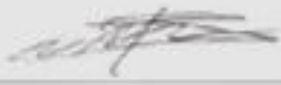
(f):



M Sc. Pablo Bolaños

Tribunal Examinador

(f):



M Sc. Pablo Bolaños

(f):



M Sc. Claire Dallies

(f):



Lic. Maria Renée Álvarez

Fecha de aprobación: 12 de noviembre de 2015, Guatemala

## PREFACIO

Desde inicios de mi carrera pensé en trabajar en una tesis que pudiera llevar a cabo cerca del lugar de mi residencia. Yo vivo en *Aldea Las Nubes* en San José Pinula. Vivir en el área rural de este Municipio me dio una perspectiva más amplia acerca de la falta de estudios que hay dentro del Departamento de Guatemala.

Las aves no estaban en mi grupo de interés hasta el tercer ciclo de la carrera cuando cursé Ecología General y tuve que hacer un proyecto en torno a ellas. Me han gustado desde entonces y aunque no pude llevar Ornitología hasta el quinto año, mi ánimo por este grupo taxonómico no desfalleció.

Por otro lado, los árboles también han sido otro de los grupos que me han interesado durante mucho tiempo. De hecho, como selectivos cursé Dendrología y Ecología Forestal, así que incorporarlos a mi tesis fue algo que tenía que hacer.

Además de las personas a las que agradeceré a continuación, me permito agradecer a Dios y a las circunstancias, por tener una vida que me permita hacer lo que me gusta y tener las oportunidades de Becas y ayudas financieras de las que he gozado. Aunque directamente en el trabajo no me hayan ayudado, tengo que agradecer profundamente a mis profesores. Todos los catedráticos y auxiliares que he tenido en la UVG han sido parte fundamental de mi formación y por ello creí que era apropiado mencionarlos en esta sección.

Sin embargo, tengo que agradecer sinceramente a quienes me ayudaron de forma directa en la elaboración de este trabajo. A mi hermano: Javier Solis por acompañarme a todos los viajes de campo y las mediciones de las parcelas, sin su apoyo la recolección de datos hubiera sido imposible. A mis padres: Juan Francisco Solis y Amparo González; por ser parte integral de la logística, de conexiones personales y del apoyo moral que me dieron durante todos los años y en especial en los últimos meses.

A Narciso Dávila, quien me ayudó con la elaboración de las parcelas arbóreas, un gran conocedor de las especies nativas.

A los dueños de las fincas (que no he mencionado) donde se ubican los parches objetos de este estudio: Capitán César Dávila, Doña Betty Orellana y al Dr. Danilo Flores. Todos gustosamente me aceptaron y dieron permisos para entrar a sus propiedades y hacer las visitas necesarias.

A administradores de las fincas: Rafael González e Ing. Erick de la Roca, que muy amablemente me proporcionaron información y me dejaron entrar a las propiedades. Además, a Lic. Jacobo Lainfiesta que me dio los permisos para entrar en la *Finca Agua Tibia*. A Hugo Montenegro que me acompañó en uno de los viajes de campo y con algunos nombres comunes para las especies de la localidad. A Higinio Pérez por su atención en un viaje de campo.

A Ing. Margarita Vides, a Licda. María Renée Álvarez y M. Sc. Enio Cano que me ayudaron en el manejo de programas de computación, en brindarme artículos científicos para la elaboración de mi informe y en darme consejos sobre estadística. A Lic. Javier Rivas, que aunque no fue mi asesor directo, fue de mucho apoyo para la redacción de mi protocolo y me proveyó de valiosa información para concretar mis ideas iniciales.

A Patricia Rodríguez que fue incondicional para proveerme de permisos y de equipo necesario para el trabajo de campo. A mis asesores: M.Sc. Pablo Bolaños y a M.Sc. Claire Dallies de Masaya, quienes me dieron correcciones y seguimiento a lo largo de la duración del estudio. Por último les agradezco a mis amigos y compañeros de estudios por darme palabras de aliento cada vez que me preguntaban sobre mi trabajo de graduación.

# CONTENIDO

PREFACIO	v
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE CUADROS	ix
LISTA DE ANEXOS	ix
RESUMEN	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MÉTODOS	13
III. RESULTADOS	24
IV. DISCUSIÓN	38
V. CONCLUSIONES	57
VI. LIMITACIONES DEL ESTUDIO	60
VII. RECOMENDACIONES	61
VIII. LITERATURA CITADA	62
IX. ANEXOS	722

## LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Biomás de Villar para Guatemala usados generalmente para estudios con aves	2
2. Procesos por los que se lleva a cabo la fragmentación	5
3. Mapa de cobertura y dinámica forestal de San José Pinula en período 2006-2010	14
4. Localización de los siete parches en el Municipio de San José Pinula	15
5. Riqueza forestal total observada y estimación finita de Rarefacción en 50 individuos	31
6. Riqueza de aves total observada y estimación finita de Rarefacción en 33 individuos	32
7. Riqueza total observada de aves y estimaciones de Jackknife 1 y Bootstrap Curvas de acumulación de riqueza de aves según estimadores no paramétricos de parche 1	33
8. Diagrama de análisis de componentes principales (PCA) de especies de aves y parches	34
9. Diagrama de Análisis canónico de correspondencias (ACC) de especies de aves y variables de parches	35
10. Clasificación de métodos para medir la diversidad biológica	43

## LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Largo de transecto determinado para cada parche	17
2. Fórmulas de índices de diversidad utilizadas en el estudio	19
3. Fórmulas de forma y aislamiento de parche utilizadas en el estudio	21

4. Fórmulas base de los estimadores no paramétricos usados en curvas de acumulación de especies	24
5. Índices de riqueza, diversidad y equidad de aves encontradas en los siete parches evaluados en zona montañosa de San José Pinula	26
6. Índices de forma y de nivel de aislamiento de los siete parches evaluados en zona montañosa de San José Pinula	27
7. Estimación de riqueza de aves con rarefacción en 33 individuos	30
8. Estimación de riqueza de árboles con rarefacción en 50 individuos	32
9. Resultados del ACC con respecto a los ejes	36
10. Correlaciones <i>intraset</i> y coeficientes canónicos	36
11. Correlaciones entre las variables de parches de bosque	37

## LISTA DE ANEXOS

Anexos	Página
1. Fórmulas base de estimadores no paramétricos de la riqueza	73
2. Hojas de datos de campo en parcelas forestales de parche 1	75
3. Hojas de datos de campo en parcelas forestales de parche 2	76
4. Hojas de datos de campo en parcelas forestales de parche 3	77
5. Hojas de datos de campo en parcelas forestales de parche 4	78
6. Hojas de datos de campo en parcelas forestales de parche 5	79
7. Hojas de datos de campo en parcelas forestales de parche 6	81
8. I Hojas de datos de campo en parcelas forestales de parche 7	81
9. I Hojas de datos de campo en avistamiento de aves de parche 1	83
10. Hojas de datos de campo en avistamiento de aves de parche 2	85
11. Hojas de datos de campo en avistamiento de aves de parche 3	87
12. Hojas de datos de campo en avistamiento de aves de parche 4	88
13. Hojas de datos de campo en avistamiento de aves de parche 5	90
14. Hojas de datos de campo en avistamiento de aves de parche 6	92
15. Hojas de datos de campo en avistamiento de aves de parche 7	94

16. IVI de especies forestales de parches en zonas montañosas de San José Pinula	96
17. Perfil forestal de Parche 1	97
18. Perfil forestal de Parche 2	98
19. Perfil forestal de Parche 3	99
20. Perfil forestal de Parche 4	100
21. Perfil forestal de Parche 5	101
22. Perfil forestal de Parche 6	102
23. Perfil forestal de Parche 7	103
24. Curvas de rarefacción para árboles en siete parches evaluados	104
25. Estimación de riqueza de árboles con rarefacción en 50 individuos	104
26. Curvas de rarefacción para aves en siete parches evaluados	105
27. Estimación de riqueza de aves con rarefacción en 33 individuos	105
28. Curvas de acumulación de riqueza de aves según estimadores no paramétricos de Parche 1	105
29. Curvas de acumulación de riqueza de aves según estimadores no paramétricos de parche 2	106
30. Curvas de acumulación de riqueza de aves según estimadores no paramétricos de Parche 3	106
31. Curvas de acumulación de riqueza de aves según estimadores no paramétricos de Parche 4	106
32. Curvas de acumulación de riqueza de aves según estimadores no paramétricos de Parche 5	106
33. Curvas de acumulación de riqueza de aves según estimadores no paramétricos de Parche 6	107
34. Curvas de acumulación de riqueza de aves según estimadores no paramétricos de Parche 7	107
35. Listado de especies e incidencia de aves (de 317 individuos) en los 7 parches	108
36. Diagrama de ACC de variable 1: Riqueza de aves	110
37. Diagrama de ACC de variable 2: Diversidad de Shannon de aves	110
38. Diagrama de ACC de variable 3: Área de parche	111
39. Diagrama de ACC de variable 4: Índice de proximidad	111
40. Diagrama de ACC de variable 5: Riqueza arbórea	112
41. Diagrama de ACC de variable 6: Dimensión fractal	112

## RESUMEN

La fragmentación de hábitat es un problema que ha estado poniendo en peligro muchas especies y mermando sus poblaciones. Muchos de los bosques en el Departamento de Guatemala no han sido estudiados, así que el conocimiento que se tiene sobre ellos es bastante vago.

El objetivo de este estudio fue encontrar la relación de características de parches de bosques (tamaño, forma, grado de aislamiento y diversidad arbórea) con riqueza y composición de especies de aves en los bosques mixtos de pino-encino de la zona montañosa de San José Pinula, Guatemala. Con esta información se pretende proveer datos sobre este grupo taxonómico, ya que podría ser útil como incentivo para el aviturismo y conservación en el Municipio.

Para hacer esta evaluación, fue necesario explorar y encontrar parches de bosques maduros y mixtos de pino-encino en la zona. Se encontraron siete parches que parecían aptos y en los que se llevó a cabo la evaluación de aves.

Se hallaron un total de 41 especies de árboles y 69 de aves dentro de los parches mencionados. Parece que la riqueza de aves en cada parche se encontró afectada por la riqueza de árboles, el tamaño de parche y su nivel de aislamiento, aunque a distinto nivel. El grado de complejidad de forma de parche y la equidad de especies no parecen relacionarse linealmente con las otras variables, probablemente por las pocas variaciones que tuvieron entre los siete parches visitados. Los parches 1, 2 y 7 demostraron ser los de mayor riqueza. Los que presentaron menor fueron los parches 3 y 4. El parche 2 y 7, debido a su composición de especies, parecen tener el mayor potencial en turismo y diversidad aún por descubrir.

**PALABRAS CLAVE:** fragmentación, parche, tamaño, forma, riqueza, diversidad

# I. INTRODUCCIÓN

La fragmentación es un problema constante que amenaza las poblaciones de aves de cada región donde se presenta. Como resultado, el paisaje cambia y quedan remanentes o parches con diferentes características. La evaluación de esas características y su efecto en la diversidad biológica que albergan pueden ser de utilidad para tomar decisiones de conservación y protección posteriormente. El presente estudio se basará en el análisis de relación de parches de bosques (forma, tamaño, grado de aislamiento y diversidad arbórea) con la riqueza y composición de aves encontrada en cada uno de ellos.

## A. Antecedentes

1. Aves en Guatemala. Según estudios bibliográficos sobre la ornitología en Guatemala, se han registrado 724 especies de aves en el país, pertenecientes a 77 familias y 398 géneros. Se incluyen especies con registros hipotéticos, una especie extinta y tres suprimidas regionalmente. Aún así, hace falta recolectar información de muchos sitios, que va desde inventarios básicos, hasta análisis sistemáticos y biogeográficos (Tenez, 2008).

Las tierras altas del país presentan un menor número de especies con relación a las tierras bajas, pero es donde hay mayor endemismo (Eisermann y Avendaño, 2006). Algunas especies endémicas (por región, la única endémica para el país está extinta) encontradas en Guatemala son: Cayaya (*Penelopina nigra*), pavo de cacho (*Oreophasis derbianus*), cenizontle canelo (*Turdus rufitorques*), chipe rosado (*Cardellina versicolor*) y tángara de cabanis (*Tangara cabanisi*) (Tenez, 2008).

También se han estudiado aves en el departamento de Guatemala, aunque no con gran intensidad, principalmente debido a la urbanización que ha sufrido el área en general. Se han documentado 110 especies, 6 medianamente sensibles a alteraciones de hábitat, 17 indicadoras de áreas perturbadas, una de alta sensibilidad a la alteración de su hábitat y una catalogada como casi amenazada de extinción a nivel mundial, el mosquero fajado (*Xenotriccus callizonus*) (Ixcot, 2006).

a. **Biomás de Villar.** Guatemala está fraccionada en varias áreas por la subdivisión biológica que refleja su vegetación. Estos territorios conforman las mayores comunidades bióticas reconocidas y se han definido siete específicamente para el país (ver Figura 1) (Villar 1998).

Figura 1. Biomás de Villar para Guatemala usados generalmente para estudios con aves



(Villar 1998)

El sitio de estudio es parte del Municipio de San José Pinula, departamento de Guatemala. Es por esto que se clasifica según los biomas referidos en un Bosque de Montaña (Villar 1998).

b. **Tipo de bosque.** En la clasificación de Biomás de Villar, el Departamento de Guatemala es reconocido como Bosque de Montaña. Es uno de los biomas más intervenidos por presiones humanas en el país. Es rico en coníferas de los géneros *Pinus* y *Cupressus*, pero también *Abies* y *Taxodium*. Además abundan los fagales de los géneros *Quercus*, *Ostrya* y *Alnus*. Suelen haber temperaturas críticas de escarcha durante el invierno, con claro cambio de temperatura en el verano. La altitud supera los 2000 msnm<sup>1</sup>. Entre los biotopos más comunes se encuentran los bosques mixtos, de pino-encino, o llamados también robledal-pinar (o pinar-robledal) (Villar, 1998).

<sup>1</sup>msnm: metros sobre el nivel del mar

El Departamento también se ubica clasificado como ecorregión de bosques de pino-encino, en la que se encuentran alrededor de 308 especies de aves. Esto representa aproximadamente el 43% de especies registradas en todo el país (Eisermann y Avendaño, 2006 en CEAB-UVG, 2009) y el 88% de las especies en la ecorregión en toda Centroamérica (CEAB-UVG, 2009).

La zona de estudio se encuentra clasificada como un Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical (bh-MB) según las zonas de vida de Holdridge. El patrón de lluvias varía entre 10057 mm y 1588 mm, con un promedio de 1344 mm de precipitación anual. Las biotemperaturas van desde 15°C hasta 23°C. La elevación varía entre 1500 y 2400 msnm (De la Cruz, 1982).

## 2. Transformación de paisaje: pérdida de hábitat y fragmentación

a. Pérdida de hábitat. La pérdida de hábitat se refiere a la perturbación de lugares naturales, lo que, junto con la fragmentación, son las causas reconocidas comúnmente como las principales amenazas hacia la biodiversidad global y que aportan la mayor contribución al cambio del paisaje (Fisher y Lindenmayer, 2007).

Existen muchos usos de suelos modificados por humanos. Algunos de los más conocidos son: la agricultura, ganadería, ciudades y minería. Este deterioro de hábitat es probablemente la causa de mayor extinción de especies, siendo la deforestación una de las consecuencias del avance tecnológico para la invasión de estos territorios (Martín, 2001). Se ha comprobado que, ya que muchas de las tierras con hábitats naturales para aves pueden ser convertidas en territorios para uso humano, la riqueza natural del área sufre significativamente las consecuencias. Se estima que con más del 50% del área perturbada, las especies comienzan a sufrir de extinción local (Desrochers *et al.* 2011).

Hay evidencia que apunta a que la pérdida de hábitat amenaza por igual a aves exclusivas de bosque y a aquellas que se adaptan a hábitats secundarios, por lo que los esfuerzos de conservación deben ser aumentados para ambos tipos de especies (Harris y Pimm, 2004).

Una acción que parece contrarrestar en cierta medida las consecuencias del cambio de uso de suelos, es la implementación de especies nativas. Una investigación sobre

diversidad de avifauna en cafetales en Guatemala (Greenberg *et al.* 1996) demostró que existe una mayor riqueza de especies en cafetales donde están sembrados árboles nativos del país como sombra, mientras que en los lugares donde no, la diversidad disminuye.

b. Fragmentación de paisaje. La fragmentación de hábitat puede ser descrita como la desintegración de un hábitat natural y ecosistemas en unos más pequeños, en mayor número y más aislados. El proceso de fragmentación se lleva a cabo gracias a muchos diferentes factores, pero la pérdida de hábitat natural es la más evidente (Seiler y Folkson, 2006).

La fragmentación ocurre cuando los hábitats de vida silvestre cambian en área, configuración o relaciones espaciales por mecanismos naturales o antropogénicos. La fragmentación de hábitat es uno de los retos más grandes de conservación al que se afrontan los biólogos el día de hoy. Para saber si la fragmentación ha ocurrido, se necesitan al menos cuatro fuentes de información. Primero, el tipo de hábitat que ha sido fragmentado debe ser determinado. Segundo, las escalas espacial y temporal de la fragmentación deben ser determinadas. Tercero, la magnitud y tipo de fragmentación deben ser registradas. Cuarto, el mecanismo debe ser conocido porque es necesario saber el contexto y clasificarlo como de causa natural o antropogénica (Garrison, 2005).

Hay dos paradigmas o modelos que tratan de conceptualizar la pérdida de hábitat y el proceso de fragmentación. El primero es el de biogeografía de islas de McArthur y Wilson. En este modelo, los fragmentos de hábitat son vistos como análogos a islas oceánicas en un mar inhospitable. Aunque tiene muchas ventajas por su simplicidad, su principal problema se deriva en asumir que la matriz externa a los parches es neutral y uniforme, lo cual es muy difícil de encontrar. El otro, es el de mosaico de paisaje dinámico. En este paradigma, los paisajes son vistos como complejos espacialmente, ensamblajes heterogéneos de tipos de cubiertas que no pueden ser simplificados en una dicotomía de hábitat y matriz (McGarigal *et al.* 2005).

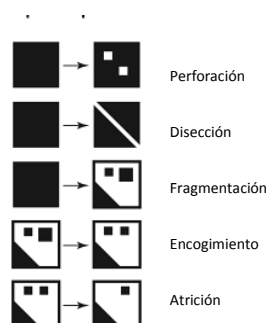
La biogeografía de islas, reconocida ya como teoría es la más conocida y, básicamente ratifica que mientras el tamaño de la isla es mayor, el número de especies que contiene también lo es. Esto esencialmente porque los hábitats físicos y recursos incrementan, los tamaños de poblaciones son mayores, por lo que el riesgo de extinción

es menor. Además, en un grupo de islas, las poblaciones en cada una de ellas actúan como un sistema de metapoblaciones (Gillespie y Clague, 2009).

Estudios demuestran que existe una diferencia significativa entre parches de bosques de diferentes tamaños en cuanto a diversidad de aves. También hay una diferencia entre los paisajes continuos y fragmentados, especialmente en términos de números en el borde y el interior, y las especies residentes y migratorias (McIntyre, 1995).

En el proceso espacial de fragmentación, hay varias rutas (Lindenmayer y Fischer, 2006).

Figura 2. Procesos por los que se lleva a cabo la fragmentación



(Lindenmayer y Fischer, 2006)

Como se puede apreciar (Figura 2), los procesos para la fragmentación de hábitat se pueden clasificar en cinco tipos. El primero es la perforación en la que un hábitat intacto se ve afectado por algunas alteraciones internas pequeñas y separadas. En el proceso de disección se ven separadas dos secciones por un camino, carretera o una división por el estilo. La fragmentación se refiere a que se secciona el hábitat en diferentes formas sin un patrón aparente. El encogimiento se refiere al proceso de remoción de hábitat natural alrededor de fragmentos y que como consecuencia queden fracciones cada vez más pequeñas. La atrición es la remoción de fragmentos completos (Lindenmayer y Fischer, 2006).

c. Efectos de pérdida de hábitat y fragmentación en aves. A lo largo del siglo pasado, el mundo vio algunos de los mayores avances tecnológicos de la historia. Sin embargo, estos avances implicaron cambios enormes en la distribución de la diversidad biológica. Es así como se registran cambios en la diversidad y abundancia de

ciertas especies de aves y la distribución de sus poblaciones, lo que reafirma su vulnerabilidad ante cambios ambientales (Gil *et al.* 2009).

Muchos grupos de organismos han sido afectados por cambios en los procesos ecológicos e intervención humana, como por ejemplo la implementación de la agricultura. Las aves, por su naturaleza popular y carismática, son del interés del público por lo que se han hecho múltiples estudios donde se comprueba la disminución de su diversidad por introducción de cultivos (Ormerod y Watkinson, 2000). Sin embargo, así como existen especies que se ven afectadas por la intervención humana, también hay algunas que parecen verse beneficiadas por el desarrollo industrial del sitio en cuestión (Lantz y Martínez-Espiñeira, 2008).

El tamaño de una población en cierta área está determinado por el número de nacimiento, de muertes, de inmigración y emigración de individuos (Sodhi y Ehrlich, 2010). Sin embargo, cuando las poblaciones se vuelven pequeñas y aisladas, se vuelven más vulnerables a cierto número de procesos estocásticos que podrían representar pocos riesgos en poblaciones grandes. Algunos de estos procesos incluyen: variación en los parámetros demográficos (nacimientos, muertes, proporción de sexos en la progenie), pérdida de variabilidad genética (hace a la población más vulnerable a alelos letales o condiciones cambiantes), fluctuación en el ambiente (como lluvia y cantidad de recursos alimenticios disponibles) y la vulnerabilidad a eventos catastróficos (como inundaciones, fuegos, huracanes, etc.) (Sodhi y Ehrlich, 2010).

Además, el proceso de formación de parches pequeños de hábitat tiene como consecuencia un cambio del ambiente en general, la maximización de los efectos de borde y el incremento de vulnerabilidad a ser atacados por especies invasoras (Lindenmayer y Fischer, 2006).

La fragmentación suele tener efectos por área, por aislamiento y por borde. Se ha propuesto que los pequeños fragmentos contienen pequeñas muestras del hábitat original, por ello probablemente tendrán menos especies que las áreas grandes (Ramos, 2004). El efecto de borde en fragmentos de bosque pueden influir en la composición de especies y la estructura de comunidades como un resultado de variaciones en microambientes y

variables edáficas (Bunyan, *et al.* 2012). Asimismo, los procesos de un ecosistema se ven afectados por el aislamiento. Las consecuencias del aislamiento sobre la diversidad biológica varían según el tiempo desde el aislamiento, la distancia del fragmento hasta otros remanentes y el grado de conectividad entre los hábitats requeridos (Ramos, 2004). El grado de aislamiento afecta la población local al restringir la inmigración y emigración. Hay mucha más mortalidad de individuos durante la dispersión en áreas pobremente conectadas que en las mejor conectadas (Sodhi y Ehrlich, 2010).

Aunque, por lo general, la fragmentación afecta drásticamente las poblaciones de ciertas especies, algunos autores sugieren que los hábitats con granjas pero con territorios heterogéneos pueden ser beneficiosos para las especies de aves (Pickett y Siriwardena, 2011). Un problema que se da con las aves en bosques fragmentados es principalmente la migración de algunas especies. Algunas de estas aves tratan de regresar a su sitio “estacional” y encuentran el hábitat que les era familiar, reemplazado por uno modificado por humanos o con parches indefinidos de bosque (Hollander *et al.* 2011). De hecho, algunos investigadores sugieren tratar a aquellas poblaciones migratorias como metapoblaciones y hacer planes de conservación en base a estos principios (Esler, 2000).

d. Metapoblaciones como consecuencia de la fragmentación. El enfoque tradicional hacia la ecología poblacional asume que los individuos de la misma especie que comparten el mismo ambiente pertenecen a la misma población. Sin embargo, desde 1970, Richard Levins acuñó el término metapoblación para describir una población que consista en muchas poblaciones locales. De acuerdo al concepto clásico de metapoblaciones, todas las poblaciones locales tienen una probabilidad substancial de extinción. Además, el concepto ha sido aplicado a poblaciones divididas en unidades espaciales más pequeñas y que están vinculadas por la dispersión de individuos. El concepto atrae a ecologistas porque el mundo se está parchando y tristemente, para muchas especies es cada vez peor (Hanski, 2003).

Las ideas sobre metapoblaciones recientemente han estado en boga en conservación biológica porque muchos de los ambientes se están transformando cada vez más en fragmentados. Uno de los mayores peligros para las poblaciones aisladas está relacionado a las consecuencias genéticas. La pérdida de heterocigocidad puede ser realmente

acelerada si la especie pierde muchos individuos y su estructura metapoblacional apunta hacia extinción más que a regeneración (Hanski, 1991).

e. Evaluación de hábitats usando aves como indicadores. Debido a la sensibilidad ecológica de las aves, los ensamblajes de hábitats (diferentes usos de suelos) son una herramienta para monitorear los efectos en las comunidades de aves y evaluar cambios en la diversidad biológica basándose en este indicador (Canterbury *et al.*, 2000).

Se puede conocer qué áreas son de mayor prioridad para conservar cuando ya se han hecho evaluaciones sobre las especies presentes en un sitio determinado. Para optimizar la conservación de aves de bosques (las más sensibles), se sugieren análisis sobre modelos de hábitats potenciales con base al mayor número de especies o individuos de una especie que ocupan cierto espacio en común (Beautry, 2011). También se suele hacer estudios sobre especies que ocupan exclusivamente cierto hábitat, para priorizar la conservación de este, y por lo tanto de su diversidad única (Cerezo, 2009).

Muchos autores sugieren el uso de especies endémicas (Loyola *et al.* 2007) y raras (Lawler *et al.* 2003) como indicadoras de áreas necesarias de conservar.

Ciertas especies de aves, por sí mismas, constituyen un excelente indicador biológico. Debido a sus altos requerimientos ecológicos, pueden ser usadas como tales para evaluar la alta diversidad del grupo en cierto hábitat (Jansson y Andrén, 2003). Algunas investigaciones sostienen el hecho que los vertebrados endémicos son las herramientas más efectivas para identificar áreas de conservación, y es muy común basar los planes de desarrollo de áreas protegidas en estos elementos (Loyola *et al.*, 2007). Por otro lado, las especies raras o infrecuentes (comúnmente conocidas por ser especies en riesgo) funcionan bien como grupo indicador de la mayor biodiversidad de un sitio en particular (Lawler *et al.* 2003).

f. Estudios previos. En Guatemala se han llevado cabo pocos proyectos relacionados con la fragmentación. Probablemente el más reconocido ha sido el elaborado en la zona del Caribe nacional (Cerezo, 2012). Este estudio fue muy elaborado, y se hizo a nivel paisajístico. Esto quiere decir que se examinaron factores como: tipo de bosque (primario o secundario), unidades paisajísticas, grado de división del paisaje, doseles y datos recolectados por años sobre las especies de aves de la región. Se utilizaron Análisis de Ordenación y se concluyó (entre muchas más cosas) que la estructura del paisaje puede tener un efecto en la composición y diversidad de aves. También se encontró que las especies de bosque interno están más afectadas por la fragmentación.

Un estudio realizado en Georgia, EE. UU. demuestra que las aves son grandes indicadores ecológicos y con alto valor estético. Por estas razones es importante comprender que se ven afectadas por el tamaño del parche, forma, grado de aislamiento, proporción de borde y otros factores (McIntyre, 1995).

En Nicaragua un estudio sobre fragmentación tomó en cuenta la conectividad de parches por medio del uso de estos indicadores: colindancia, conexión directa con otros bosques, corredores ribereños y cercas vivas. Si no se cumplía con los requisitos se consideraban parches aislados. De esta manera se evaluó la conectividad para aves y se encontró diferencia entre aquellas de bosque interno con las de bosque abierto. También se determinó que hay probabilidades de conectividad funcional al encontrar hembras de diferentes especies en parches contiguos. Todos estos datos dan información vital para conservación (Martínez, 2008).

Estas investigaciones tienen en común la generación de información básica sobre causas y consecuencias de fragmentación en aves, a manera de proveer información que sirva para conservación del área.

## B. Justificación

San José Pinula es un área relativamente cercana a la Ciudad Capital de Guatemala, a aproximadamente 20 km de ella. Es un lugar que ha tenido diversidad de uso de suelos. En su área rural (caracterizada por una topografía muy cambiante) se pueden identificar estos principales entornos: potreros para ganadería (destacando los hatos de ganado Jersey), agricultura, reforestaciones y bosques naturales (Jáuregui, 2008). Para evaluar ecológicamente un sitio es necesario contar con herramientas, las aves son un excelente grupo indicador biológico (Canterbury *et al.* 2000).

San José Pinula es uno de los municipios más grandes del Departamento y por ello su zona montañosa alberga gran parte de la cobertura forestal del mismo. Debido a esto, se considera una gran fuente de recarga hídrica para la zona metropolitana (IARNA-URL y TNC, 2013). Así que además de la función que tiene el bosque en el almacenamiento y mantenimiento de fuentes de agua, es importante ecológicamente por las amenazas que constantemente sufren los bosques de pino-encino en los procesos de urbanización. Los bosques naturales del Municipio se han visto altamente afectados por la deforestación. Los parches de bosques se han visto reducidos en tamaño y aumentado en número. Las amenazas siguen constantes y las consecuencias en diversidad biológica pueden ser devastadoras para algunas especies.

Por estas razones, el evaluar la composición, riqueza, abundancia y distribución de aves podría conllevar una manera de catalogar los sitios con mayor prioridad para conservar (Gil, Brotons y Saura 2009). El uso de estos indicadores cumple con dos objetivos fundamentales. El primero, en proveer información para enfocar los esfuerzos de conservación hacia ciertos hábitats y a sus alrededores. El segundo, podría ser un claro estímulo para los pobladores y dueños de los bosques en invertir en conservarlos, de manera que algún día le sean rentables como fuentes de ingresos por turismo ecológico.

Existen muchas características inherentes a parches de bosques que describen y explican el por qué de las respuestas demográficas de las aves (Lampila, *et al.* 2005). Así que es importante identificar estos rasgos como parte de descripción del paisaje, para lograr alcanzar los objetivos discutidos anteriormente. La exploración de ecología de parches guía eventualmente hacia la conservación, pudiendo incluir la creación y

protección de corredores y de especies vegetales, por lo que se convierte en un plan a mayor escala y que engloba más dimensiones.

Con este trabajo se busca relacionar las características de parches de bosque mixto con la riqueza y composición de aves observada, y evaluar la calidad de hábitat que las zonas boscosas de la llamada “parte alta” o montañosa de San José Pinula representan. Debido a que no se tiene mucha información de la avifauna de la zona, es necesario seguir en la búsqueda para identificar especies con posible importancia económica, social, ecológica o con amenazas de desaparecer. Por último, la conservación de aves puede ser un hito de gran importancia para su uso potencial como herramienta para el aviturismo y ser un incentivo económico para los habitantes de la región.

## C. Objetivos

### 1. General

- a. Determinar la existencia de una relación entre las características de parches de bosques de pino-encino de la zona montañosa de San José Pinula y su riqueza y composición de aves.

### 2. Específicos

- a. Hacer un listado general de especies de aves (residentes, migratorias, transitorias y endémicas) y árboles de la región, clasificándolas según los parámetros de LEA-CONAP, Lista Roja de la IUCN y CITES.
- b. Establecer las características de cada parche evaluado de bosques de pino-encino de la zona montañosa de San José Pinula: tamaño, forma y nivel de aislamiento (índice de proximidad).

- c. Elaborar un análisis de la riqueza forestal, las especies y sus respectivos índices de valor de importancia de los parches de bosques de pino-encino de la zona montañosa de San José Pinula.
- d. Elaborar un análisis panorámico de la riqueza y diversidad de aves de bosques de pino-encino de la zona montañosa de San José Pinula mediante el uso de índices y estimadores de riqueza.

### 3. Hipótesis

- a. Existe una relación entre composición de aves y características de parches y riqueza forestal.
- b. Habrá una relación positiva entre la riqueza de aves y los parches de bosque mientras son de mayor tamaño, con mayor conectividad (menos aislamiento), con formas menos complejas y con mayor riqueza arbórea en la zona montañosa de San José Pinula.

## II. MÉTODOS

### A. Descripción del área de estudio

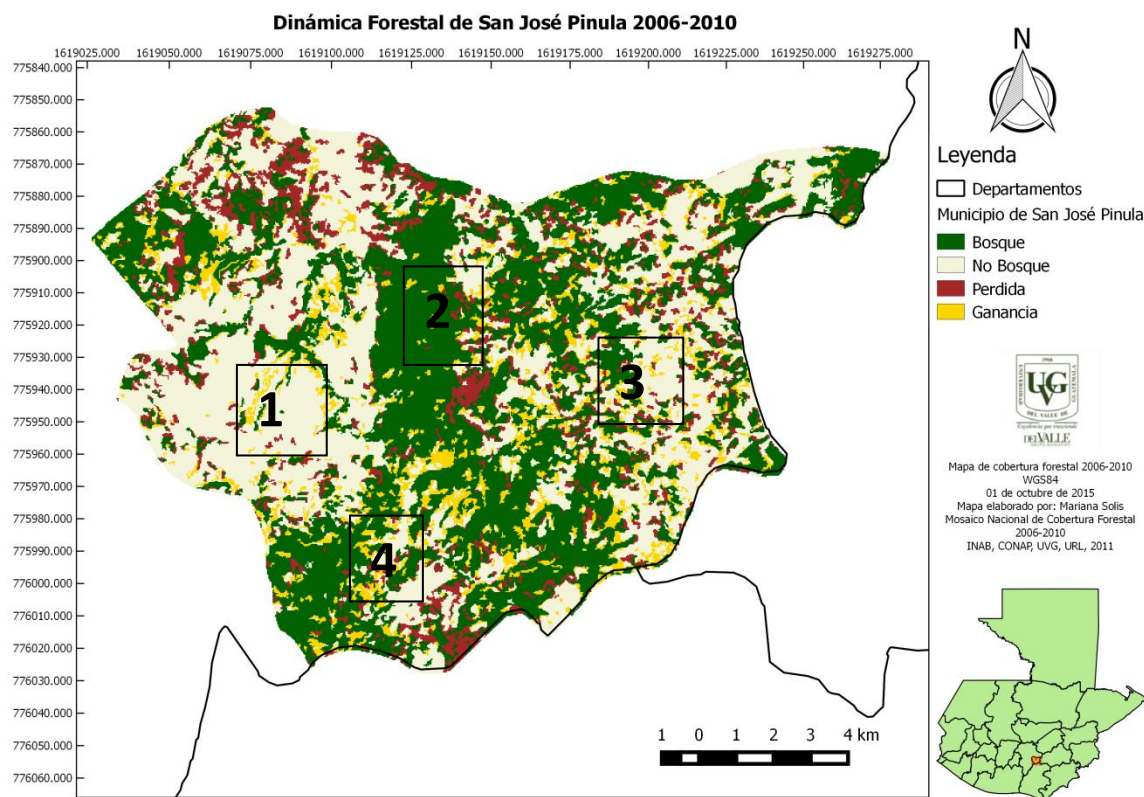
San José Pinula se ubica a aproximadamente 20 Km de la Ciudad Capital. El área urbana posee terrenos para vivienda, comercio, industria y baldíos. La topografía del área rural presenta planicies ondulantes, valles rellenos, barrancos profundos con pendientes casi verticales y montañas bastante quebradas. La superficie del Municipio ocupa alrededor de 20 000 ha y tiene un rango altitudinal entre 1500 y 2500 msnm (Jáuregui, 2008).

El Municipio de San José Pinula posee 20 aldeas. Aunque el pueblo de dicho municipio forma parte de la zona metropolitana de Guatemala, el área rural montañosa (conformada por 12 de las aldeas) todavía contiene grandes extensiones de bosque de pino-encino. De hecho, se considera que es una zona de alta recarga hídrica para la zona metropolitana (IARNA-URL y TNC, 2013).

A pesar de su importancia como fuente de recarga hídrica, cabe destacar que muchas de sus aldeas están altamente deforestadas. El crecimiento poblacional acelerado y el cambio de uso de suelo para ganadería y plantaciones agrícolas son factores decisivos en esta situación. Hay pocas aldeas que poseen reforestaciones y son casi exclusivamente de pino y ciprés. Los bosques de pino-encino muchas veces se han visto reducidos a montañas con pendientes muy pronunciadas, donde se imposibilitan otras actividades económicas, es decir, hay hábitats fragmentados.

Hay dos rutas de acceso a las áreas rurales boscosas desde el casco Municipal. Una que se encuentra más cercana a la zona central urbana y otra que está más alejada (la primera dirigida al área 4 y la segunda para la 2 y 3, diagramadas en Figura 3). La más lejana está ubicada en las montañas del Municipio y a mayor altitud que el resto. Esta es el área que conformó el objeto de este estudio.

Figura 3. Mapa de cobertura y dinámica forestal de San José Pinula en período 2006-2010



(INAB *et al.* 2011)

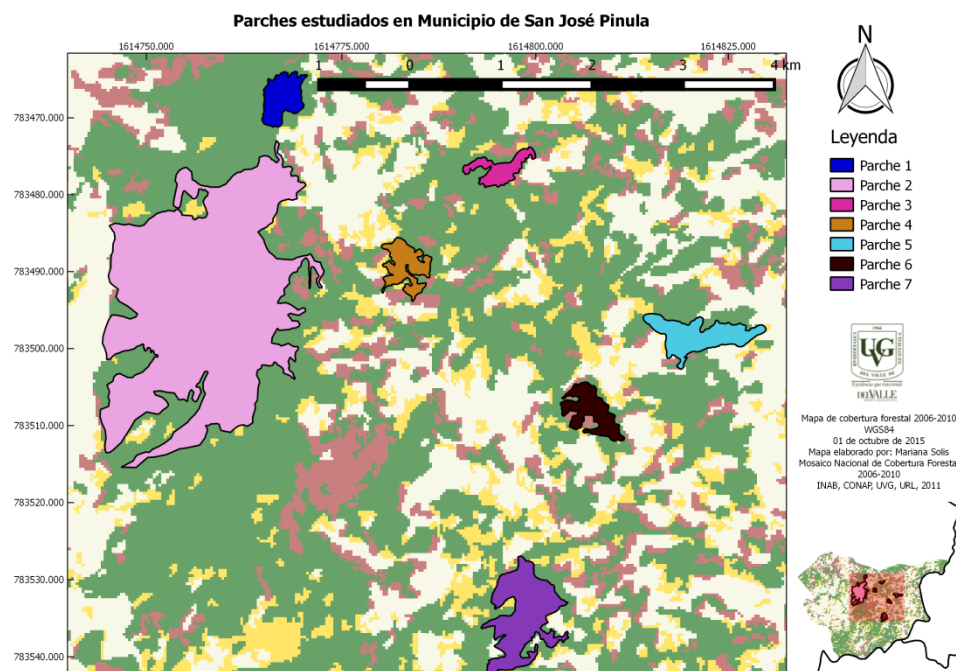
En el mapa de dinámica forestal (INAB *et al.* 2011) es posible observar más cobertura forestal al este del municipio, precisamente lo que constituye su área rural boscosa (ver Figura 3). Al oeste se ubica el casco del área urbana y la rural no boscosa, numerada como 1. Los parches continuos de bosque nativo más grandes de la región y que forma parte del presente estudio se encuentran numerados como 2. La parte alta o montañosa de San José Pinula, se extiende desde el sur y hacia el este de la parte señalada (numerada como 3 y que posee algunos parches objeto de esta tesis también), sin embargo y claramente, con mayor fragmentación. Por último, la zona numerada como 4 contiene también parches de bosque continuos pero no se ubica en la parte montañosa sino en el Valle del Municipio.

## B. Observación de aves y de hábitat

1. Selección de parches. Dada la creciente fragmentación de paisajes, en la parte montañosa de San José Pinula se encuentran parches de bosques de diferentes tamaños rodeados de tierra de cultivo o para ganadería. Debido a estas circunstancias, cada uno de los parches a estudiar puede ser tomado como unidad de muestreo (Sutherland *et al.*, 2004).

Se escogieron siete parches de bosques maduros y mixtos, procurando seleccionar los que mostraran mejor estado de conservación. Se utilizaron los siguientes criterios de selección: tamaño mayor a diez hectáreas, facilidad de acceso (existencia de senderos internos y no en el borde) y de permisos, que no fueran depósitos de basura (usual en bosques en barrancos), que no existieran viviendas adyacentes y que el nivel de pendiente no hiciera imposible el ingreso y locomoción. Los parches forman parte de las Aldeas: Cruz Alta, Las Nubes, Monte Redondo, El Colorado I y El Zapote.

Figura 4. Localización de los siete parches en el Municipio de San José Pinula



(INAB *et al.* 2011)

Es posible apreciar que de los parches seleccionados, los más grandes se encuentran más cercanos (ver Figura 4). Esto fue inevitable, hay más poblaciones humanas en la zona este. Por ello hay más fragmentación y abundancia de parches pequeños. La delimitación de los parches se hizo con ayuda de la cartografía digital disponible en Google Earth Pro 7.1. Las imágenes son las más recientes encontradas por cualquier otra base de datos (2014-2015). En base a estas delimitaciones se exportaron las capas para su proyección en los mapas elaborados en QGIS 2.10.1 (Athán, *et al.*, 2014). Los cálculos posteriores se hicieron también basados en ellas.

2. Caracterización de hábitat. Se caracterizó el estrato arbóreo de los siete parches de bosque y se elaboró un perfil forestal para cada uno. Debido a la zona de vida Bosque húmedo Montano Subtropical en la que se encuentra, se considera que el bosque es homogéneo (el bosque de pino-encino no es muy diverso, como son los bosques en zonas más bajas), además que hay áreas con plantaciones forestales dentro de los parches. Por esta característica, se determinó que el tamaño de parcela (unidad de muestreo) adecuado a utilizar será de 0.05 ha, de 10m x 50m. Las parcelas rectangulares de 10 m de ancho han demostrado ser eficientes, aunque el largo varíe (IRENA-CIFOR-FONDEBOSQUE, 2003). Se hicieron dos de estas parcelas en cada uno de los parches para llegar al área recomendada de 0.1 ha para una parcela destinada a un inventario forestal en áreas no muy diversas (CATIE, 2002). Se escogió un lado al azar del sendero interno de cada parche y en la misma dirección, paralelamente al camino se trazaron las parcelas. Se separaron cinco metros una de otra.

En cada parcela se determinó la especie (Williams, 1977) de todos los árboles (con Diámetro de altura pecho -DAP, medido a 1.3 m- mayor a 10 cm) presentes adentro de este perímetro. Se midió su altura (con ayuda de un clinómetro y experiencia del conocedor local), su DAP (con una cinta métrica) y su radio de copa (también con una cinta métrica desde el suelo, tomando el tronco como centro) (ver anexos 2-8).

Por último se hizo un listado general de las especies anotadas en toda el área, así como su clasificación en las listas LEA-CONAP, para CITES y de Lista Roja de IUCN. Para completar la lista se hicieron caminatas independientes e identificaron especies *ad libitum*.

3. Determinación de riqueza de especies de aves. En un reconocimiento preliminar del área se determinaron senderos preexistentes dentro de cada parche. Se siguieron los mismos senderos durante todo el estudio. Se hizo uso del muestreo estratificado con reparto proporcional. Por ello, el largo de cada transecto fue determinado en base al área por parche, eliminando la relación cuadrática y transformando el área en unidimensional al obtener su raíz cuadrada (ver Cuadro 1).

La distancia a recorrer constituye un redondeo del cálculo (Cuadro 1), a manera de facilitar la ejecución. El uso de muestreo estratificado se utilizó como una medida necesaria. El utilizar la medida más pequeña de transecto podía limitar el avistamiento de especies raras en los parches más grandes. Se hizo de esta manera con el solo propósito de tener una lista de especies más completa sobre el área, ya que como se ha mencionado, podría tener potencial turístico. Sin embargo, los “redondeos” se desvían en algunos parches de la relación cuadrática que se pretendió hacer (Parche 1 y 3). Esto por errores previos de cálculo de áreas por parche. Afortunadamente, para poder hacer los cálculos estadísticos se hicieron ajustes por el número de individuos por medio del método de Rarefacción. Esto permitió hacer un análisis en cuanto a individuos no a largo de transectos. Más adelante se describe el proceso.

También se presentan las altitudes como una característica de cada parche y para visualizar que todos se encuentran en el mismo rango altitudinal (Cuadro 1).

Cuadro 1. Largo de transecto determinado para cada parche

Parche	Área (m <sup>2</sup> )	Transecto (m)	Distancia recorrida (m)	Altitud
1	200892	448.209772	300	2332
2	4751740	2179.84862	2100	2229
3	140187	374.415545	300	2464
4	205594	453.424746	500	2356
5	335244	579.002591	600	2375
6	217205	466.052572	500	2536
7	596178	772.125637	800	2231

Se utilizó la metodología de transectos lineares. Se recorrieron los transectos pre-existentes 10 m a partir del borde. La metodología tiene la ventaja de ser apropiada para poblaciones de bajas densidades (que se podrían encontrar en paisajes fragmentados), para especies conspicuas, para sitios donde el acceso es bueno (todos los parches poseen un sendero interno que es de relativa fácil locomoción), se recorre mayor distancia registrando más eficientemente (Sutherland, Newton y Green, 2004) y principalmente porque algunas áreas son tan pequeñas que la utilización de puntos de conteo podría resultar complicada

La distancia a la que un ave es vista u oída (a ambos lados de la ruta) fue medida por intervalos: A) 10 m, B) 20 m y C) 30 m (ver datos en Anexos 9-15). Se tomó una distancia perpendicular a la ruta, no al observador. Se trató de que la velocidad de caminata no sobrepasara 1 km/h. Solo se hicieron pausas en caso de necesitar más tiempo para identificar la especie de determinado individuo.

Se identificaron todas las especies posibles de aves así como la abundancia de cada una, tanto observada como escuchada. Se utilizaron binoculares y la guía de campo Howell y Webb (1995) y Birds of North America (Dunn y Aldefer, 2004). Se hicieron anotaciones sobre el clima, se usó ropa de colores neutros para evitar el sesgo en observación de aves y los organismos que no se pudieron identificar hasta especie, fueron catalogados en la siguiente escala taxonómica conocida (Ver anexos 9-15).

Los conteos se iniciaron en la mañana (6:00 am-6:20 máximo). Se hicieron cuatro repeticiones de cada sendero durante el tiempo que duró la investigación (febrero, marzo e inicio de abril de 2015). Todos los transectos se sortearon al azar y se evaluó uno diariamente. Solamente se anotó el número de aves mayor a uno si se vieron u oyeron al mismo tiempo.

Por último se hizo un listado general de las especies anotadas en toda el área, así como su clasificación en las listas LEA-CONAP, para CITES y de Lista Roja de IUCN. Para completar la lista se hicieron caminatas independientes e identificaron especies *ad libitum*. Las especies vistas afuera de los sitios de estudio están resaltadas con color gris

(ver Cuadro 6). Se hicieron especificaciones sobre su distribución, población y hábitat (Dallies, 2008; Howell y Webb, 1995).

## C. Análisis estadístico

1. Características de parche. Los índices de parches son una manera matemática de expresar sus características. Los índices de forma intentan cuantificar la complejidad de parches. La forma puede indicar la cantidad de área nuclear que el parche posee (Rutledge, 2003). En este caso se utilizó la dimensión fractal que mide el grado de complejidad de forma, y el índice de forma de Patton. También se utilizaron índices de aislamiento para conocer el alejamiento que se mantiene con otros parches (ver fórmulas en Cuadro 2). Para obtener los datos base (tamaño de parche) de estos cálculos y para el índice de vecino más cercano y el de proximidad se hizo uso del programa Google Earth Pro 7.1 (Munguía y Montiel, 2014).

Cuadro 2. Fórmulas de forma y aislamiento de parche utilizadas en el estudio

Índice	Ecuación
Índice de diversidad de Patton (Patton, 1975; McGarigal y Marks 1995 y Shumaker 1996 en Rutledge, 2003)	$SI = \frac{P_i}{200[(\pi A_i)^{0.5}]}$ Donde, P: Perímetro; A: área
Dimensión fractal (Krummel <i>et al.</i> 1987; Milne, 1991; Schumaker, 1996; Hargis, 1998 en Rutledge, 2003)	$DP = \frac{2 \log P_i}{\log A_i}$
Índice de aislamiento: NNI, índice de vecino más cercano Índice de proximidad (McGarigal y Marks, 1995)	NNI: distancia mínima entre dos parches Índice de proximidad: $\sum \left( \frac{\text{Área}}{\text{Distancia de parche focal}^2} \right)$ a cada parche a 1Km

SI: Índice de diversidad de Patton. Se puede agrupar en cinco rangos (Henao, 1988 en Pincheira-Ulbrich, *et al.* 2009 y Ulbrich 2009): redondo (SI < 1.25), oval redondo (SI entre 1.25 a 1.5), oval oblongo (SI entre 1.5 y 1.7), rectangular oblongo (SI 1.7 a 2) y amorfo (SI >2). DP: Dimensión fractal. Varía entre uno para formas euclidianas simples (cuadrados y círculos), y de 1.001 a 2 para formas complejas, análogas a objetos fractales (Pincheira-Ulbrich, *et al.* 2009 y Ulbrich 2009).

Tomando en cuenta el tamaño del parche más grande, se determinó que se usaría un km como distancia máxima para determinación de parches vecinos. Para el cálculo del índice de proximidad se incluyeron todos los parches en línea recta a 1km de cualquier punto del borde de cada parche. Se incluyeron todos los parches mayores a dos hectáreas.

2. Análisis de riqueza forestal. El estudio tiene problemas de pseudoreplicación. Presentó inconvenientes dada su segregación temporal y espacial. No se contó con el suficiente personal para que al mismo tiempo se hicieran los transectos en cada uno de los parches. Además, no se pudo ni se puede modificar el hábitat, por lo que no estuvo a disposición del investigador. Debido a ello se siguieron los senderos pre-existentes y ya que no se puede asegurar independencia entre parches (ni entre las repeticiones), se describió su índice de aislamiento (de proximidad) como un factor más en el análisis.

Hubo variaciones en densidad arbórea a través de todos los parches, que podrían sesgar la estimación de riqueza final. Por ello, se utilizó la rarefacción basada en número de individuos, mediante el programa Species Diversity and Richness 4.0 (Seaby y Henderson, 2006). Se utilizó este método para comprobar si la diferencia de riqueza de especies era estadísticamente significativa entre parches.

Para analizar la estructura de los bosques, se elaboró un perfil forestal de cada parche. Los perfiles se hicieron empleando la metodología de Holdridge (1967) modificada. Se diagramó por lo menos un individuo (con todas sus medidas reales a escala) de cada especie presente en todos los parches. Se representaron más individuos dependiendo de la frecuencia de cada especie.

También se calculó el índice de valor de importancia de especies (IVI). Para esto se debió analizar la frecuencia, densidad y dominancia relativa de las especies, desde la más importante a la menos (Rudas 2006), procedimiento repetido en cada parche. Estas son las fórmulas usadas para cada uno de estos parámetros (Rudas 2006):

$$\text{Densidad relativa} = \frac{\# \text{ individuos de una sp. o familia}}{\# \text{ total de individuos}} \times 100$$

$$\text{Dominancia relativa} = \frac{\text{área basal de una sp. o familia}}{\text{área basal todas las spp. o familias}} \times 100$$

$$\text{Frecuencia} = \frac{\# \text{ subunidades muestrales donde aparece la especie}}{\# \text{ total de subunidades muestreadas}} \times 100$$

$$\text{Frecuencia relativa} = \frac{\text{Frecuencia de una especie}}{\sum \text{Frecuencia de todas las spp.}} \times 100$$

$$\text{IVI} = \text{frecuencia relativa} + \text{densidad relativa} + \text{dominancia relativa}$$

3. Índices de riqueza de especies de aves. Los índices de diversidad fueron usados a manera de describir la variedad de composición de avifauna que tenía cada parche evaluado. Todos fueron calculados con ayuda del programa Species Diversity and Richness IV (Seaby y Henderson 2006) y EstimateS (Colwell, 2009) (ver Cuadro 3).

Cuadro 3. Fórmulas de índices de diversidad utilizadas en el estudio

Índice	Ecuación	Referencia
Shannon	$H = \sum_{i=1}^s p_i \ln(p_i)$	(Shannon, 1948). Donde $p_i$ es la abundancia relativa y S es el número de especies totales
Simpson	$D = \sum p_i^2,$	(Simpson, 1949 en Simpson, 2002)
Margalef	$D = \frac{(S - 1)}{\ln N}$	(Margalef, 1969, en Rodríguez <i>et al.</i> 1994). Donde N es el número total de individuos
Berger-Parker	$d = \frac{N_{max}}{N}$	(Berger y Parker, 1970). Donde $N_{max}$ es la especie con mayor número de individuos

El índice de Shannon (Shannon, 1948) aumenta mientras la riqueza y equidad incrementan. Los valores típicos son generalmente entre 1.5 y 3.5 en la mayoría de los estudios ecológicos, raramente mayor a 4.

El índice de Margalef supone que hay una relación funcional entre el número de especies y el número total de individuos. Valores inferiores a 2 son considerados como relacionados con zonas de baja diversidad (en general resultado de efectos antropogénicos) y valores superiores a 5 son considerados como indicativos de alta diversidad (Margalef, 1995 en Allen *et al.* 2004). Los índices de dominancia de Simpson y Berger-Parker (Simpson, 1949; Berger y Parker, 1970) varían entre 0 y 1, cuanto más se acercan a 1, mayor es la dominancia que se presenta y menor es la diversidad.

4. Rarefacción basada en individuos para aves. Ya que todos los parches fueron tratados con un esfuerzo de muestreo de diferente nivel, resultó necesario ajustar los datos para que fueran comparables y que se pudiera concluir sobre la riqueza de cada uno de ellos en los mismos valores. Se usó el programa Species Diversity and Richness 4.0 (Seaby y Henderson, 2006).

5. Curvas de acumulación de especies de aves. Se utilizaron siete estimadores no paramétricos para la elaboración de las diferentes curvas de acumulación de especies extrapoladas. Para la elaboración de las gráficas se utilizó el programa SPSS ver. 17.0 (SPSS Inc, 2008). Los siete estimadores usados fueron: ACE, ICE, Chao 1, Chao 2, Jackknife1, Jackknife 2 y Bootstrap (Anexos 5).

El cómputo de los siete estimadores se elaboró con ayuda del programa EstimateS versión 9.0 con 100 aleatorizaciones (Colwell, 2009) que en ocasiones usa variaciones corregidas de las fórmulas base (Anexo 1).

6. **Análisis de ordenación.** Se llevó a cabo un análisis de componentes principales (PCA) para relacionar las especies de aves con los siete parches evaluados y de esta manera explicar más visualmente la diversidad presente en cada uno de ellos. A continuación se realizó un Análisis Canónico de Correspondencias (ACC) con dos matrices: 1) la presencia y abundancia de especies en cada parche y 2) seis variables que podrían afectar esa presencia. Las seis variables usadas fueron: 1) riqueza de aves (ajustada por medio de rarefacción), 2) índice de diversidad de Shannon (como indicador de estructura), 3) área de parche, 4) índice de proximidad (como indicador del nivel de aislamiento), 5) riqueza de árboles (ajustada por medio de rarefacción) y 6) dimensión fractal. En el ACC se evaluaron correlaciones y regresiones de las variables con los ejes de ordenación y su relación con los parches y de las variables entre sí. Ambos diagramas se computaron por medio del programa PC-ORD 4.0 (McCune y Mefford, 1999).

### III. RESULTADOS

A. Listados generales de especies. Se generaron listados de las especies de aves y árboles encontrados durante el tiempo que duró el estudio. El listado forestal (Cuadro 4) fue identificado por medio de números y letras. Las letras son las mismas utilizadas en los perfiles forestales (anexos 17-23).

Cuadro 4. Listado de especies forestales registradas en parches de bosques de zona montañosa de San José Pinula

Letra	No.	Familia u Orden	Especie	Nombre común	Altitud	LEA-CONAP	CITES	IUCN
A	1	Lauraceae	<i>Persea</i> sp.	Aguacate	-	-	-	-
B	2	Theaceae	<i>Cleyera theoides</i> (Sw.) Choisy	Cacho	(1200-1500) msnm	-	-	NE
C	3	Urticaceae	<i>Boehmeria ulmifolia</i> Wedd.	Chichicastillo	(350-2800) msnm	-	-	NE
D	4	Ulmaceae	<i>Ulmus mexicana</i> (Liebm.) Planch.	Duraznillo	(900-2700) msnm	.	.	NE
E	5	Betulaceae	<i>Quercus</i> sp.	Encino	-	-	-	-
F	6	Styraceae	<i>Styrax argenteus</i> C. Presl	Estorac	1500 m	-	-	NE
G	7	Myrtaceae	<i>Psidium</i> sp.	Guayabillo	-	-	-	NE
H	8	-	<i>Spondias</i> sp.	Jocote	-	-	-	-
I	9	Lauraceae	<i>Litsea glaucescens</i> Kunth	Laurel	(1300-3500) msnm	3	-	NE
J	10	Flacourtiaceae	<i>Olmediella betschleriana</i> (Göpp.) Loes.	Manzanote	(1500-2700) msnm	-	-	NE
K	11	Rubiaceae	---	Palo Blanco	-	-	-	.
L	12	Rubiaceae	<i>Rondeletia laniflora</i>	Papelillo	(1400-3000) msnm	-	-	NE
M	13	Malpighiaceae	<i>Malpighia glabra</i> L.	Pimienta	Hasta 1800 msnm	-	-	NE
N	14	-	---	Plomillo	-	-	-	-
Ñ	15	Chloranthaceae	<i>Hedyosmum mexicanum</i> C. Cordem.	Sandío	(1200-2900) msnm	-	-	VU A1c, ver 2.3
O	16	Celastraceae	<i>Cassine xylocarpa</i> Vent.	Siete Caldos	(500-2500) msnm	-	-	-
P	17	Verbenaceae	<i>Citharexylum mocinnii</i> D. Don.	Soguillo	(1500-2800) msnm	-	-	-
Q	18	Berberidaceae	<i>Mahonia paniculata</i> Oerst.	Yema de huevo	(1800-2800) msnm	-	-	NE
R	19	Clethraceae	<i>Clethra pahecoana</i> Standl. & Steyerl.	Zapotillo	(2000-3200) msnm	-	-	NE
S	20	Meliaceae	<i>Cedrela pacayana</i> Harms.	Cedro	(1000-2500) msnm	2	-	NE
T	21	-	---	Morfo 1	-	-	-	-
U	22	-	---	Morfo 2	-	-	-	-
V	23	Araliaceae	<i>Oreopanax</i> sp.	Mano de León	-	-	-	-
W	24	Araliaceae	----	Mazurco	-	-	-	-
X	25	Mimosaceae	<i>Mimosa</i> sp.	Cuje	-	-	-	-
Y	26	Rubiaceae	<i>Psychotria</i> sp..	Peineto	-	-	-	-
Z	27	Pinaceae	<i>Pinus maximoi</i> H.E. Moore	Pino	(600-2400) msnm	-	-	-
AA	28	Anacardiaceae	-----	Sapuyulo	(600-2200) msnm	3	-	NE
BB	29	Compositae	<i>Perymenium grande</i> Hemsl.	Taxiscobo	Hasta 3000 msnm	-	-	NE

## Continuación de Cuadro 4

Letra	No.	Familia u Orden	Especie	Nombre común	Altitud	LEA- CONAP	CITES	IUCN
CC	30	Myrcinaceae	<i>Ardisia compressa</i> Kunth	Capulín	Hasta 2500 msnm	-	-	NE
DD	31	Pteridophyta	---	Helecho	-	2	II	-
EE	32	-	----	Morfo 3	-	-	-	-
FF	33	Melastomataceae	<i>Conostegia xalapensis</i> (Bonpl.) D. Don ex DC.	Tinajillo	Hasta 1800 msnm	-	-	NE
GG	34	Myricaceae	<i>Morella cerifera</i> (L.) Small	Siete camisas	Hasta 3500 msnm	-	-	NE
HH	35	Onagraceae	<i>Fuchsia arborescens</i> Sims	Flor de verano	(1300-2900) msnm	-	-	NE
II	36	--	---	Morfo 4	-	-	-	-
JJ	37	Araliaceae	---	---	-	-	-	-
KK	38	Polygonaceae	<i>Polygonum</i> sp.	Chilillo	-	-	-	-
LL	39	-	---	Morfo 5	-	-	-	-
MM	40	-	---	Morfo 6	-	-	-	-
NN	41	Rutaceae	<i>Casimiroa edulis</i> La Llave	Matasano	(600-2700) msnm	-	-	NE
--	42	Lamiaceae	<i>Salvia karwinskii</i> Benth.	Mielero	(1500-2800) msnm	-	-	NE
--	43	Rutaceae	<i>Zanthoxylum fagara</i> (L.) Sarg.	Lagarto	(1600-2400) msnm	-	-	NE
--	46	Leguminosae	<i>Erythrina macrophylla</i> DC	Pito	(1200-2500) msnm	-	-	NE
--	47	Caprifoliaceae	<i>Sambucus canadensis</i> L.	Sauco (plantado)	(1300-3700) msnm	-	-	NE
--	48	Betulaceae	<i>Alnus acuminata</i> Kunth	Aliso	(1350-3000) msnm	-	-	NE
--	49	Rosaceae	<i>Crataegus mexicana</i> Mo. & Sess, ex DC.	Manzanilla (plantada)	(1500-2700)msnm	-	-	NE
--	50	Compositae	<i>Baccharis vaccinioides</i> Kunth	Arrayán	(1500-3900) msnm	-	-	NE
--	51	Pinaceae	<i>Abies guatemalensis</i> Rehder	Pinabete (plantado)	(600-2400) msnm	1	1	EN

El listado de especies forestales encontradas para el área (Cuadro 4) presenta un total de 51 especies. De ellas, 41 fueron registradas dentro de los parches de estudio, las demás fueron vistas o identificadas afuera de estos sitios (en otros bosques o en zonas abiertas y resltadas en gris en el Cuadro 4). No todas pudieron ser identificadas hasta especie, así que se designaron hasta la categoría taxonómica más cercana posible. Aún de no poder ser así, se sustentó de que cada una representara una especie diferente (más importante para este estudio que la identificación taxonómica *per se*).

Todas las especies encontradas a excepción de *H. mexicanum* C. Cordem. y *A. guatemalensis* Rehder no están evaluadas para la Lista Roja de la IUCN (VU y EN respectivamente en Cuadro 4). Ninguna de las 51 especies está categorizada en CITES, a

excepción de *A. guatemalensis* Rehder que se ubica en la categoría 1. Para la lista de especies amenazadas de CONAP existen dos bajo la categoría 2: *Cedrela pacayana* Harms. (Cedro) y el Orden Pteridophyta (no se identificaron especies, pero las familias de helechos arborescentes están bajo este orden); y dos bajo la 3: *Litsea glaucescens* Kunth (laurel) y *Pistacia mexicana* Kunth (sapuyulo).

Se elaboraron índices de valor de importancia (IVI) para cada uno de los parches, así como siete diferentes perfiles forestales (ver listado completo de IVI en Anexo 16 y Perfiles en Anexos 17-23). Los IVI de mayor ponderación muestran la proporcionalidad de las especies más importantes en cada parche (Cuadro 5).

Cuadro 5. IVIS más altos en cada parche evaluado en zona montañosa de San José Pinula

Parches	Especies	IVI
1	Aguacate	26.75535821
	Cacho	28.49927636
	Sandío	31.72031619
2	Cacho	31.70293292
	Jocote	25.34688967
	Palo Blanco	22.82223338
3	Aguacate	33.38179206
	Encino	54.31335906
	Zapotillo	44.73944268
4	Cacho	49.63359065
	Encino	15.4871472
	Pino	126.340188
5	Cacho	30.81521906
	Encino	39.57100696
	Zapotillo	68.28866401
6	Aguacate	77.85533749
	Encino	53.3250127
	Estorac	92.89902854
7	Aguacate	60.98806299
	Mazurco	30.21583928
	Cuje	31.22672976

En el parche 1 (Cuadro 5) las especies más significativas son el aguacate (Lauraceae, con 26.75%), cacho (*Gonzalagunia rojasii* Standl. con 28.49%) y sandío (*Hedyosmum*

*mexicanum* C. Cordem. con 3.72%), las tres con valores similares y de bajas proporciones, lo que podría mostrar una predisposición a la equidad de valores. El parche 2 parece mantener esa tendencia. El parche 3, sin embargo, presenta al encino (*Quercus* sp. con 54.31%) como la especie más dominante con un valor mayor a los anteriormente mencionados. El parche 4 perfila al cacho también como una de sus especies más importante (con un valor similar al del encino en el parche anterior, 49.63%), sin embargo el mayor valor (y de todas las especies del estudio) es el pino (*Pinus* sp.) con un 126%, es decir casi la mitad de los 300% posibles. El zapotillo (*Clethra pahecoana* Standl. & Steyerl., con 68.28%) lidera los índices de valor de importancia para el parche 5. El parche 6 presenta valores inusualmente altos para las tres especies más importantes (todas mayores al 50%). Estos valores se presentan de esta manera porque la riqueza es baja y la proporcionalidad de las más importantes aumenta gracias a este hecho. Por último, el parche 7 mantiene valores similares en todas las especies a excepción del aguacate (Lauraceae, con 60.98%) que es un poco mayor.

De igual manera que para los árboles, se elaboró un listado de aves, aunque para este solamente se utilizó numeración regular (Cuadro 6).

Cuadro 6. Listado total de especies de aves encontradas en zona montañosa de San José Pinula

	Familia	Nombre científico	Nombre en inglés	Nombre común en español	Migratorio (M), Residente (R), Transitorio (T), Endémico (E) en Guatemala	LEA-CONAP/CITES/IUCN
1	Cracidae	<i>Penelopina nigra</i>	Highland Guan	Cayaya, faisán	E	2/III (GT)/Vu
2	Odontopharidae	<i>Dendrotyx leucophrys</i>	Buffy-crowned wood-partridge	Gallina de monte Centroamericana	R	NA/III/LC
3		<i>Dactylortyx thoracicus</i>	Singing quail	Codorniz Silbadora	R	NA/III/LC
1	Cathartidae	<i>Coragyps atratus</i>	Black Vulture	Zopilote común	R	NA/III/LC
2		<i>Cathartes aura</i>	Turkey Vulture	Aura Común, Zope cabeza roja	R/M	NA/III/LC
3	Falconidae	<i>Falco sparverius</i>	American Kestrel	Halcón Cernícalo o clis-clis	R/M	3/II/LC
4	Columbidae	<i>Zenaida asiatica</i>	White-winged Dove	Paloma ala Blanca	R	3/III/LC
5		<i>Columbina passerina</i>	Common ground-dove	Tortolita común	R	NA/III/LC
6		<i>Claravis mondetura</i>	Maroon-chested Ground-Dove	Tórtola pechimorada	R	NA/III/LC
7		<i>Leptotila verreauxi fulviventris</i>	White-tipped Dove	Paloma arroyera	R	NA/III/LC
4	Psittacidae	<i>Aratinga strenua</i>	Pacific Parakeet	Perico Centroamericano	E	
8	Cuculidae	<i>Coccyzus americanus</i>	Yellow-billed cuckoo	Cucú piquiamarillo	T	NA/III/LC
5		<i>Piaya cayana</i>	Squirrel Cuckoo	Cucú ardilla	R	NA/III/LC
10		N/ID	N/ID	N/ID	N/ID	N/ID

## Continuación cuadro 6

	Familia	Nombre científico	Nombre en inglés	Nombre común en español	Migratorio (M), Residente (R), Transitorio (T), Endémico (E) en Guatemala	LEA-CONAP/CITES/IUCN
6	Strigidae	<i>Bubo virginianus</i>	Great horned owl	Búho cornudo	R	3/III/LC
7		<i>Glaucidium gnoma</i>	Mountain pygmy owl	Tecolote Serrano	R	3/III/LC
11		<i>Aegolius ridgwayi</i>	Unspotted Saw-whet Owl	Tecolote-abetero Sureño	E	NA/III/LC
12	Caprimulgidae	<i>Caprimulgus vociferus</i>	Whip-poor-will	Tapacamino cuerporruin	R y M	NA/III/LC
8	Apodidae	<i>Streptoprocne zonaris</i>	White-collared Swift	Vencejo cuelliblanco	R	NA/III/LC
13	Trochilidae	<i>Basilinna leucotis</i>	White-eared hummingbird	Colibrí oreji-blanca	E	NA/III/LC
14		<i>No identificado</i>	N/ID	N/ID	N/ID	N/ID
15	Trogonidae	<i>Trogon</i> sp.	Probablemente Elegant Trogon	Trogón elegante	N/ID	N/ID
16		<i>Trogon collaris</i>	Collared Trogon	Trogón collarajo	R	NA/III/LC
17		<i>Trogon mexicanus</i>	Mountain Trogon	Trogón de montaña	E	NA/III/LC
18	Momotidae	<i>Aspatha gularis</i>	Blue-throated motmot	Momoto gorijazul	E	NA/III/LC
19	Ramphastidae	<i>Aulacorhynchus prasinus</i>	Emerald Toucanet	Tucaneta verde	R	3/III/LC
20	Picidae	<i>Melanerpes formicivorus</i>	Acorn woodpecker	Carpintero arlequín	R	NA/III/LC
21	Picidae	<i>Melanerpes aurifrons</i>	Golden-fronted woodpecker	Carpintero frentidorado	R	NA/III/LC
22		<i>Picoides villosus</i>	Hairy woodpecker	Carpintero veloso mayor	R	NA/III/LC
23		<i>Piculus rubiginosus</i>	Golden-olive Woodpecker	Carpintero Oliváceo	R	NA/III/LC
24		<i>Colaptes auratus</i>	Northern flicker	Carpintero collajero	R	NA/III/LC
25	Furnariidae	<i>Automolus rubiginosus</i>	Rudy foliage gleaner	Breñero rojizo	R	NA/III/LC
9	Dendrocolaptidae	<i>Xiphorhynchus erythropegius</i>	Spotted woodcreeper	Trepatroncos manchado	R	NA/III/LC
26	Tyrannidae	<i>Contopus sordidulus</i>	Western woodpeewee	Pibí occidental	M	NA/III/LC
27		<i>Empidonax minimus</i>	Least Flycatcher	Empidonax mínimo	M/T	NA/III/LC
28		<i>Empidonax affinis</i>	Pine flycatcher	Mosquero pinero	E	NA/III/LC
29		<i>Myiarchus tuberculifer</i>	Dusky-capped Flycatcher	Copetón triste	R	NA/III/LC
10		<i>Myiozetetes similis</i>	Social Flycatcher	Luis Gregario	R	NA/III/LC
30		<i>No identificado</i>	N/ID	N/ID	N/ID	N/ID
31	Vireonidae	<i>Vireo bellii</i>	Bell's Vireo	Vireo de Bell	M y T	NA/III/NT (3.1)
11		<i>Vireo plumbeus</i>	Plumbeous Vireo	Vireo Plomizo	M	NA/III/LC
32		<i>Vireo huttoni</i>	Hutton's Vireo	Vireo de Hutton	R	NA/III/LC
33		<i>Vireo gilvus</i>	Warbling Vireo	Vireo Dorado	M	NA/III/LC
34		<i>Vireo philadelphicus</i>	Philadelphia Vireo	Vireo de Filadelfia	M	NA/III/LC
35		<i>Vireo sp.</i>	N/ID	N/ID	N/ID	N/ID
36		<i>Chinchibulín</i>	N/ID	N/ID	N/ID	N/ID
37	Corvidae	<i>Cyanocitta stelleri ridgwayi</i>	Steller's Jay	Chara de Steller, Chara de montaña	R	NA/III/LC
38		<i>Cyanocorax melanocyaneus</i>	Bushy-crowned jay	Chara Centroamericana	E	NA/III/LC
39		<i>Cyanolyca pumilo</i>	Black-throated jay	Chara de Niebl	E	NA/III/LC
40		<i>Aphelocoma unicolor</i>	Unicolored jay	Chara unicolor	E	NA/III/LC
41	Hirundinidae	<i>Notiochelidon pileata</i>	Black-capped swallow	Golondrina Gorrinegra	E	NA/III/LC
42	Troglodytidae	<i>Campylorhynchus zonatus</i>	Band-backed Wren	Matraca Barrada Tropical	R	NA/III/LC
43		<i>Troglodytes rufociliatus</i>	Rufous-browed wren	Saltapared Cejirrufo	E	NA/III/LC
44	Regulidae	<i>Regulus satrapa</i>	Golden-crowned kinglet	Reyezuelo Coronadorada	R	NA/III/LC
12	Turdidae	<i>Salia salis</i>	Eastern bluebird	Azulejo Gorjicanelo	R y M	NA/III/LC
45		<i>Myadestes</i>	Brown-backed solitaire	Guardabarranco	E	NA/III/LC

Continuación cuadro 6

	Familia	Nombre científico	Nombre en inglés	Nombre común en español	Migratorio (M), Residente (R), Transitorio (T), Endémico (E) en Guatemala	LEA-CONAP/CITES/IUCN
		<i>occidentalis</i>				
13		<i>Catharus guttatus</i>	Hermit thrush	Zorzalito colirrufo	M	NA/III/LC
46		<i>Turdus infuscatus</i>	Black thrush	Cenzontle negro	E	NA/III/LC
47		<i>Turdus grayi</i>	Clay-colored Robin	Cenzontle	R	NA/III/LC
48		<i>Turdus rufitorques</i>	Rufous-collared robin	Cenzontle Cuellirrufo	E	NA/III/LC
49	Miimidae	<i>Melanotis hypoleucus</i>	Blue-and-white mockingbird	Mulato Pechiblanco	R	NA/III/LC
50	Ptilogonatidae	<i>Ptilogonys cinereus</i>	Grey silky flycatcher	Capulinerio Gris	E	NA/III/LC
51	Parulidae	<i>Parula superciliosa</i>	Crescent-chested Warbler	Chipe cejiblanco	E	NA/III/LC
52		<i>Setophaga petechia</i>	Yellow Warbler	Chipe amarillo	M	NA/III/LC
53		<i>Setophaga townsendi</i>	Townsend's Warbler	Chipe de Townsend	M	NA/III/LC
54		<i>Setophaga dominica</i>	Yellow-throated Warbler	Chipe dominico	M y T	NA/III/LC
55		<i>Setophaga graciae</i>	Grace's Warbler	Chipe de Grace	R	NA/III/LC
56		<i>Wilsonia pusilla</i>	Wilson's Warbler	Chipe coroninegro	M	NA/III/LC
57		<i>Wilsonia canadensis</i>	Canada Warbler	Chipe de collar	T	NA/III/LC
58		<i>Myioborus pictus</i>	Painted Redstart	Pavito aliblanco	M	NA/III/LC
59		<i>Myioborus miniatus</i>	Slate-throated Redstart	Pavito gorjigris	R	NA/III/LC
14		<i>Basileuterus rufifrons</i>	Rufous-capped warbler	Chipe gorrirufo	E	NA/III/LC
15		<i>Setophaga ruticilla</i>	American redstar	Pavito migratorio	M	NA/III/LC
60		<i>Setophaga petechia</i>	Yellow warbler	Chipe amarillo	M	NA/III/LC
61		<i>Basileuterus culicivorus</i>	Golden-crowned warbler	Chipe Corona dorada	R	NA/III/LC
62		Thraupidae	<i>Piranga flava</i>	Hepatic Tanager	Tangara Roja piquioscura	R
63	<i>Piranga bidentata</i>		Flame-colored Tanager	Tangara dorsirrayada	R	NA/III/LC
64	N/ID		N/ID	N/ID	N/ID	N/ID
65	Emberizidae	<i>Buarremon brunneinucha</i>	Chestnut-capped Brushfinch	Saltón gorjirrufo	R	NA/III/LC
66		<i>Aimophila rufescens</i>	Rusty Sparrow	Zacatanero Rojizo	R	NA/III/LC
67		N/ID	N/ID	N/ID	N/ID	N/ID
16		<i>Zonotrichia capensis</i>	Rufous-collared sparrow	Gorrión chingolo	R	NA/III/LC
68	Cardinalidae	<i>Pheucticus ludovicianus</i>	Rose-breasted Grosbeak	Piquigrueso pechirroza	M	NA/III/LC
69		<i>Passerina caerulea</i>	Blue grosbeak	Picogrueso azul	M y R	NA/III/LC
17	Icteridae	<i>Quiscalus mexicanus</i>	Great-tailed Grackle	Zanate mayor	R	NA/III/LC
18		<i>Molothrus aeneus</i>	Bronzed cowbird	Tordo ojirrojo	R	NA/III/LC
19		<i>Icterus wagleri</i>	Black-vented Oriole	Chorcha de Wagler	E	NA/III/LC
20		<i>Icterus galbula</i>	Baltimore Oriole	Chorcha de Baltimore	M	NA/III/LC
21	Fringillidae	<i>Carduelis notata</i>	Black-headed siskin	Dominico cabecinegro	E	NA/III/LC

En el caso de las aves se contó un total de 69 especies (Cuadro 6) internas de bosque y 21 encontradas en el exterior o en otros hábitats (resaltadas en gris). Diecinueve del total fueron endémicas regionales y 19, migratorias y/o transitorias transnacionales. Las especies amenazadas a nivel nacional son dos (según el listado de LEA de CONAP): *Penelopina nigra* (que es considerada como Vulnerable según la clasificación de la lista Roja de IUCN) y la familia Psttaciae (no se pudieron identificar especies, pero la familia

está propensa a la extinción). También se encontró una especie de halcón (*Falco sparverius*) que se encuentra en la categoría II de CITES.

## B. Análisis estadístico

1. Características de parches. En esta sección se presentan varios índices obtenidos a partir de fórmulas matemáticas, a manera de describir cualitativamente algunas características de los parches.

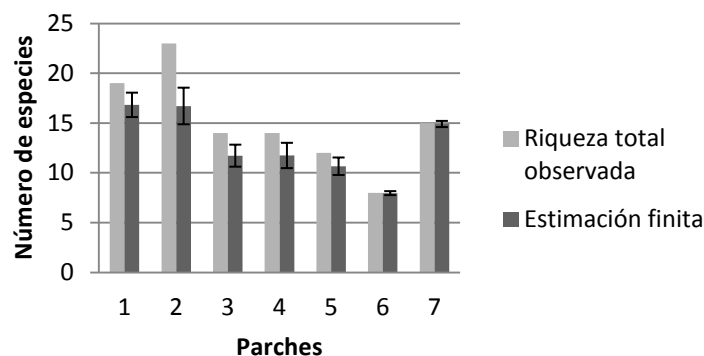
Cuadro 7. Tamaño e índices de forma y de nivel de aislamiento de los siete parches evaluados en zona montañosa de San José Pinula

Parches	Área (m <sup>2</sup> )	Índice de diversidad de Patton	Dimensión fractal	NNI: Índice de vecino más cercano	Índice de proximidad
1	200892	0.01433099	1.26622164	21	1719.52918
2	4751740	0.02906939	1.30344879	10	3490.853129
3	140187	0.02193224	1.34611965	13	660.800806
4	205594	0.02523407	1.35821226	10	1684.961679
5	335244	0.01977088	1.30609096	8	4646.036854
6	217205	0.02322477	1.34310632	8	1117.669576
7	596178	0.02547571	1.33096779	17	736.4492299

Todos los parches son mayores a 140,000 m<sup>2</sup> (Cuadro 7), lo que equivale a 14 ha. El parche de mayor tamaño es el 2 y el de menor, el 3. El índice de diversidad de Patton muestra en todos los casos valores menores a 1.25. Esto implica que todos presentarían una forma redonda, por lo menos genéricamente y lejos del grado de convertirse en parches amorfos. El valor de dimensión fractal es bastante similar en casi todos los parches, y en todos ellos se supera a 1. Esto quiere decir que todos presentan formas más complejas que círculos o cuadrados. El índice de proximidad indica que mientras mayor es el valor, mayor es la proximidad y abundancia de parches grandes continuos. El parche 5 es el que presenta más parches grandes y cercanos con respecto al resto y el que menos peso presenta en este aspecto es el parche 3.

2. Análisis de riqueza forestal. Las curvas de rarefacción (Anexo 24 y 25) se vieron resumidas en un gráfico de barras para simplificar su visualización (Figura 5).

Figura 5. Riqueza forestal total observada y estimación finita de Rarefacción en 50 individuos



Para la elaboración de la Rarefacción se usó el parche con la menor muestra, que fue el 1 (Figura 5). Con base en estas estimaciones se comparó la riqueza con el resto de parches. Para evaluarlo correctamente se tomaron en cuenta los errores estándar como parámetro estadístico de su variación.

El traslape ocurrente entre barras con errores estándar entre el parche 1, 2 y 7 señala que no existe suficiente razón estadística para concluir que son diferentes entre sí en cuanto a riqueza. De igual manera, pero con menores valores, los parches 3, 4 y 5 no parecen ser estadísticamente diferentes. Por su parte, el parche 6 sí es diferente estadísticamente y con un valor de menos de 10 especies forestales, lo que representa el total más bajo de todos los parches.

3. Índices de riqueza de especies de aves. Se utilizaron dos índices de riqueza, dos de dominancia y uno de diversidad (ver Cuadro 8). Los índices de riqueza (riqueza de especies y de Margalef) aumentan, mientras mayor es la riqueza y ambos muestran la misma tendencia. El parche con mayor riqueza es el 7, y el de menor es el 3. El índice de Shannon que une la riqueza y equidad muestra que el parche 7 tiene el mayor valor y el menor es para el parche 4. Los índices de dominancia, Simpson y Berger-

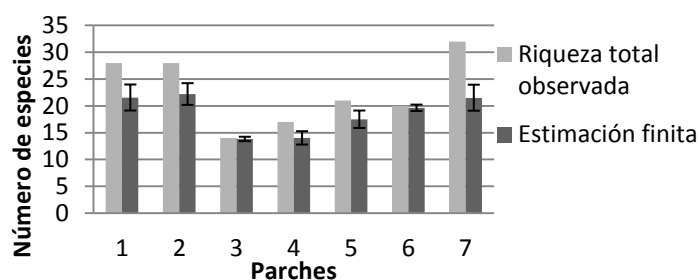
Parker muestran valores cercanos a cero y muy parecidos entre sí. No parece haber un parche con un valor de importancia muy por encima de los demás.

Cuadro 8. Índices de riqueza, diversidad y equidad de aves encontradas en los siete parches evaluados en zona montañosa de San José Pinula

Parche	Riqueza de especies	Índice de Margalef	Índice de Shannon (H)	Índice de Simpson (D)	Dominancia de Berger-Parker
Parche 1	28	6.938	$2.89 \pm 0.3$	0.0512	0.1224
Parche 2	28	6.975	$3.27 \pm 0.19$	0.0503	0.1042
Parche 3	14	3.656	$3.42 \pm 0.15$	0.0938	0.1714
Parche 4	17	4.254	$3.51 \pm 0.12$	0.1054	0.186
Parche 5	21	5.285	$3.57 \pm 0.08$	0.0929	0.2045
Parche 6	20	5.434	$3.61 \pm 0.06$	0.0615	0.1212
Parche 7	32	7.426	$3.64 \pm 0.0$	0.0480	0.1077

4. Rarefacción basada en individuos para aves. La rarefacción está representada en un diagrama de barras (Figura 6).

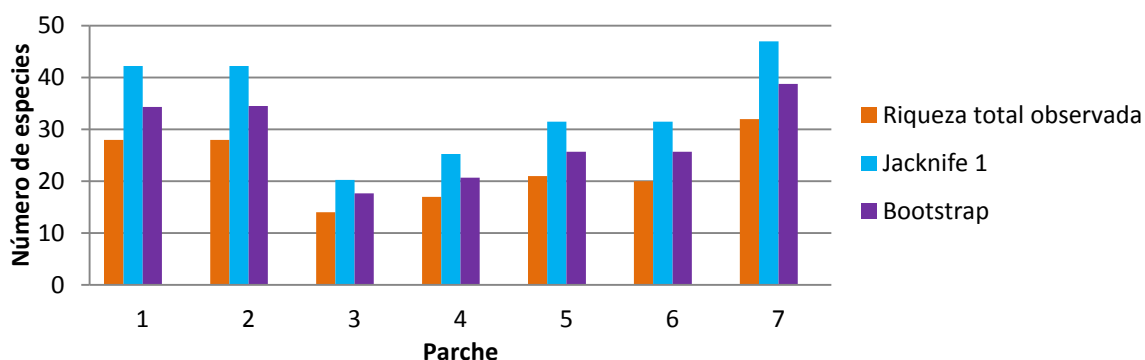
Figura 6. Riqueza de aves total observada y estimación finita de Rarefacción en 33 individuos



El parche 6 es el que marcó el límite de estandarización con 33 individuos (Figura 6, ver curvas de rarefacción y errores estándar en anexos 26 y 27). Los cálculos en este punto muestran que los parches 1, 2, 6 y 7 no son estadísticamente diferentes y son los de mayor riqueza aviaria. El parche 5 se mantiene ligeramente abajo y traslapada con los parches 6 y 7 en sus límites menores. Los parches que poseen la menor riqueza en definitiva son los 3 y 4 aunque indiferenciables estadísticamente entre sí.

5. Curvas de acumulación de especies de aves. Las curvas de acumulación de especies extrapoladas, en este caso, fueron utilizadas para evaluar el muestreo utilizado y para discutir sobre los mejores estimadores no paramétricos usados y así, examinar la riqueza aproximada de especies que podría tener cada parche. Dados los resultados de las curvas y el análisis de su forma (ver anexos 28-34) se escogieron dos estimadores como los más precisos en sus predicciones de riqueza: Jackknife 1 y Bootstrap.

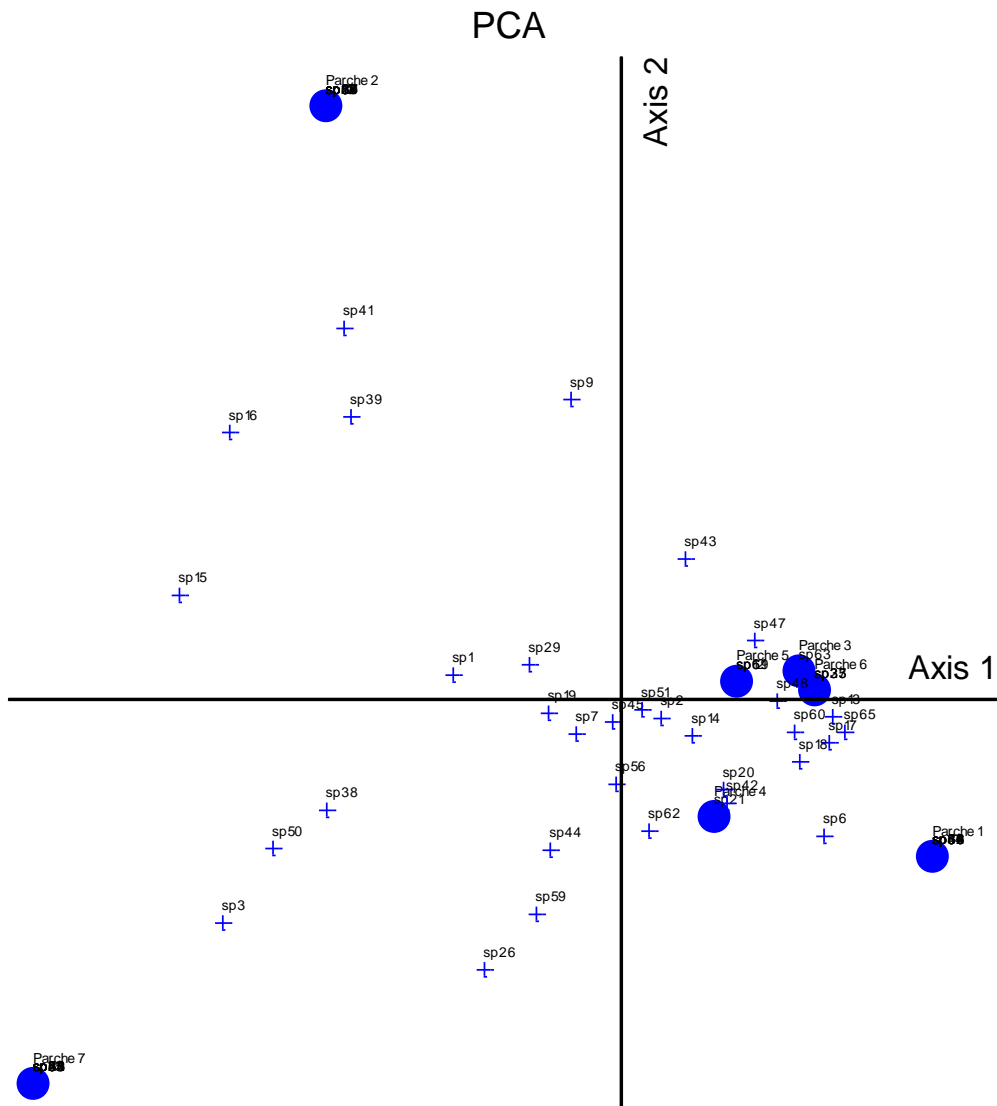
Figura 7. Riqueza total observada de aves y estimaciones de Jackknife 1 y Bootstrap



La riqueza total observada de aves se ve distanciada de las predicciones (Figura 7). Los estimadores utilizados muestran mayor predicción para el caso de Jackknife 1. El rango entre ambos es constante y muestra que el parche 1, 2 y 7 son a los que se les augura un mayor número de especies en caso de seguir con el muestreo. Las predicciones van desde las casi 40 especies hasta cerca de las 50. Los parches con menores valores son el 3 y 4 con un máximo menor a las 30 especies. Los dos parches “intermedios” son el 5 y el 6 con valores máximos ligeramente mayores a las 30 especies.

6. Análisis de ordenación. Se elaboró un diagrama de análisis de componentes principales (Figura 8) en el que se lograron identificar agrupaciones de especies más asociadas a ciertos parches. Los parches 2 y 7 no se encuentran agrupados, mientras que el resto de parches se congregan en una misma zona.

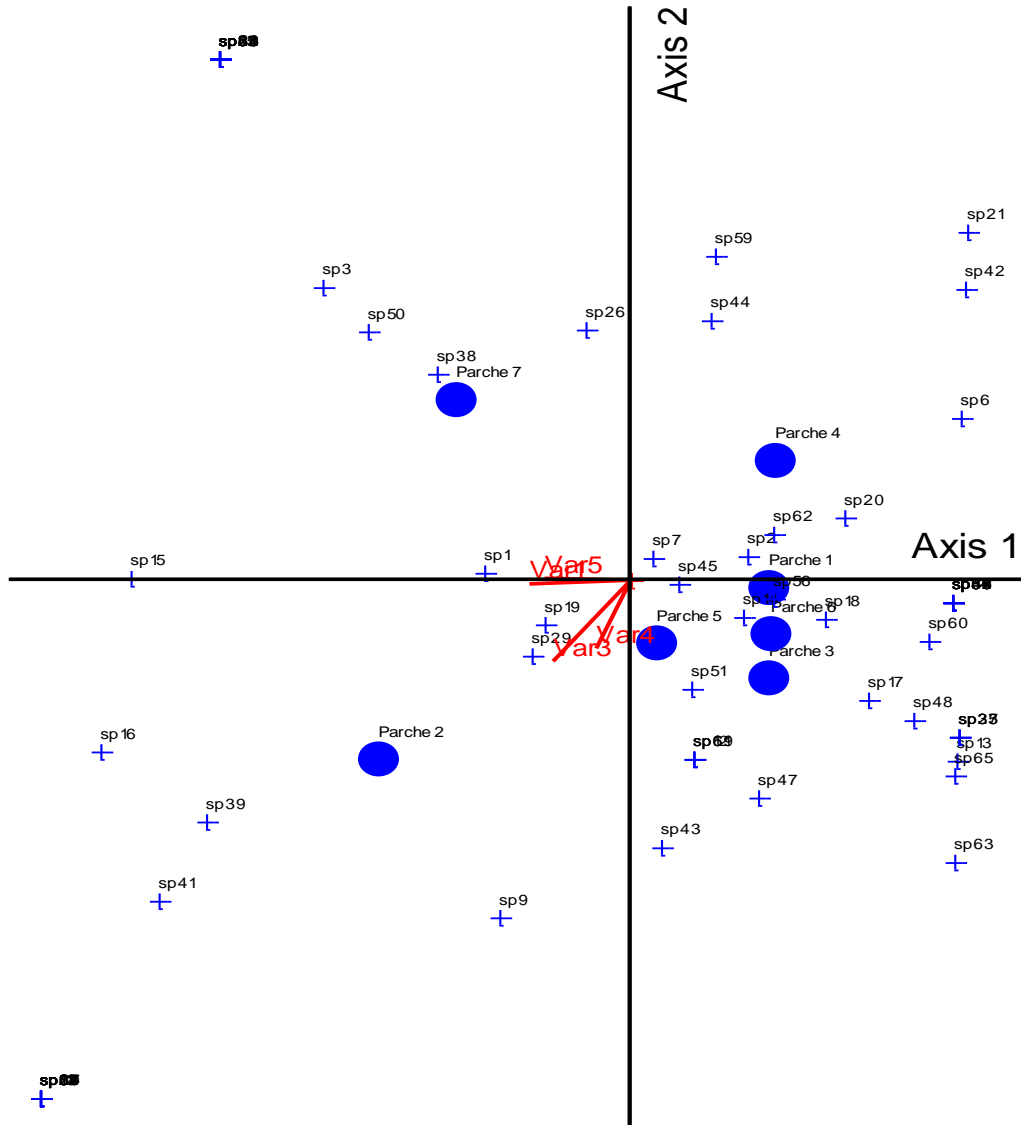
Figura 8. Diagrama de análisis de componentes principales (PCA) de especies de aves y parches



El análisis canónico de correspondencias (ACC, Figura 9) muestra la composición de especies de aves dentro de los parches pero además destacan unas diagonales rojas que

representan diferentes variables analizadas, definidas para el caso como “ambientales”. Las variables presentes en el diagrama son: 1 (riqueza de especies de aves), 3 (área de parche), 4 (índice de proximidad de parches) y 5 (riqueza de especies forestales). Las que faltan son: 2 (Índice de Shannon para aves) y 6 (dimensión fractal de los parches).

Figura 9. Diagrama de análisis canónico de correspondencias (ACC) de especies de aves y variables de parches



El análisis canónico de correspondencias arroja no solamente un diagrama sino datos asociados al mismo que permiten interpretarlo de mejor manera. La varianza total en la matriz de especies (inerencia) fue de 1.6755 (para el Cuadro 9).

Cuadro 9. Resultados del ACC con respecto a los ejes

	<b>Eje 1</b>	<b>Eje 2</b>	<b>Eje 3</b>
<b>Autovalor</b>	0.427	0.345	0.287
<b>% de varianza explicada</b>	25.5	20.6	17.1
<b>% de varianza acumulada explicada</b>	25.5	46.1	63.2
<b>Prueba de Monte Carlo</b>	0.02	0.01	0.01
<b>Correlación de Pearson</b>	1.000	1.000	1.000

La prueba de Monte Carlo tiene como hipótesis nula que no existe relación lineal entre las dos matrices: composición de especies y variables ambientales (Vertel y Pardo, 2010). El valor en los tres ejes es menor a  $\alpha = 0.05$  (ver Cuadro 9). Por ello, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que sí existe una relación lineal entre la estructura de especies de aves y las variables descritas, representada en cada uno de los ejes. La relación entre la composición de especies de aves y variables analizadas fue explicada por el ACC con una proporción de la variación total bastante alta (63.2%, ver Cuadro 9).

La correlación de Pearson muestra el valor máximo que se pudiera otorgar (1.000 en Cuadro 10), lo que implica que sí son resultados canónicos. Esta alta correlación se da entre los datos de composición de especies de aves y las combinaciones lineales de las variables ambientales para cada eje.

Cuadro 10. Correlaciones *intraset* y coeficientes canónicos

<b>Variable</b>	<b>Correlación</b>			<b>Coefficiente</b>		
	<b>Eje 1</b>	<b>Eje 2</b>	<b>Eje 3</b>	<b>Eje 1</b>	<b>Eje 2</b>	<b>Eje 3</b>
1. Riqueza de aves	<b>-0.633</b>	-0.032	0.202	<b>0.204</b>	1.17	-1.135
2. Shannon de aves	-0.205	<b>0.379</b>	0.293	-0.96	<b>-0.881</b>	1.801
3. Área de parche	-0.477	<b>-0.659</b>	-0.279	-0.392	<b>-1.007</b>	0.684
4. Proximidad de parche	-0.209	<b>-0.552</b>	-0.156	0.14	<b>0.64</b>	-1.18
5. Riqueza forestal	<b>-0.536</b>	0.02	-0.3	<b>-0.666</b>	0.028	-0.099
6. Dimensión fractal	0.118	<b>0.336</b>	-0.078	0.605	<b>1.931</b>	-2.736

Las correlaciones consideradas *intraset* (ver Cuadro 10) muestran coeficientes de correlación entre las variables ambientales y cada eje. Los coeficientes canónicos se refieren a los resultados de regresión múltiple de las combinaciones lineales de las

variables ambientales y los ejes de ordenación. Se marcaron con negrita los valores que representaban el valor más alto para cada variable en las correlaciones. También en negrita se encuentran los coeficientes que corresponden a esas correlaciones más altas.

Por último, se hizo una matriz de correlaciones entre todas las variables ambientales analizadas (ver Cuadro 11).

Cuadro 11. Correlaciones entre las variables de parches de bosque

<b>VARIABLES</b>	1. Riqueza de aves	2. Shannon de aves	3. Área de parche	4. Proximidad de parche	5. Riqueza forestal	6. Dimensión fractal
1. Riqueza de aves	---	---	---	---	---	---
2. Shannon de aves	-0.300	---	---	---	---	---
3. Área de parche	0.294	-0.018	---	---	---	---
4. Proximidad de parche	0.073	-0.097	0.341	---	---	---
5. Riqueza forestal	<b>0.628</b>	<b>-0.629</b>	0.086	0.005	---	---
6. Dimensión fractal	<b>-0.633</b>	<b>0.786</b>	0.021	-0.410	<b>-0.633</b>	---

Se marcaron en negrita las correlaciones con valor más alto (ver Cuadro 11). Las variables 5 y 6 parecen ser las que más se relacionan entre sí y con las variables 1, 2. Se puede argumentar que existe un segundo grupo de valores medios de correlación que ronda el 30% y 40% (valores cercanos al 0.300 y 0.4000 en Cuadro 11). En este rango la variable 1 también se relaciona, pero más débilmente con la variable 2 y 3. De la misma manera la variable 3 mantiene una relación con la variable 4 y la 4 con la 6.

## IV. DISCUSIÓN

A. Caracterización de hábitat y listados generales de especies. Se contabilizaron un total de 41 especies forestales a lo largo de la duración del estudio y 10 externamente (Cuadro 4). Aunque no parece un número muy alto, es de recordar que las zonas montañosas no son tan diversas y el tamaño de las parcelas fue pequeño. De hecho, el conteo de especies se hizo con la idea de dar un panorama rápido de la riqueza de árboles. Además, muchos de los sitios fragmentados suelen mantener una riqueza menor que los bosques continuos. El parche 2 parece tener más potencial y parece que con un esfuerzo de muestreo mayor se pueden llegar a encontrar muchas más especies, para aumentar el listado general de la región.

La única especie evaluada para la Lista Roja de la IUCN es el sandío (*H. mexicanum* C. Cordem). con la categoría de Vulnerable (Cuadro 4). Bajo los criterios por los que fue evaluada parece que su población se ha visto reducida grandemente (por lo menos al 50%) en las últimas tres generaciones por reducción de área y calidad hábitat (IUCN, 2001). Esta especie es también una de las más importantes según el índice de valor de importancia, especialmente para el parche 1 (Cuadro 5). Ninguna especie apareció en la lista de CITES por lo que parece que ninguna presenta peculiaridades que la hagan deseable para comerciarla fuera del país. En la Lista de especies amenazadas de CONAP resaltan dos con distribución restringida: *Cedrela pacayana* Harms. y el Orden Pterydophyta (no son árboles pero por la alta frecuencia que presentaron los helechos arborescentes en el parche 3 se incluyeron, ver representación en Anexo 19). El Laurel (*Litsea glaucescens* Kunth) y el Sapuyulo (*Pistacia mexicana* Kunth) necesitan manejo y cuidado para no llegar a ser especies en peligro de extinción (CONAP, 2009).

Los índice de valor de importancia (IVI) y la composición forestal de cada parche (ver Cuadro 4 y 5 y Anexo 16) muestran mayores valores de algunas especies en todos los parches (valores cercanos a los 30% en los parches 1 y 2, en un rango entre 30% y menos de 70% en los parches 3, 5 y 7), pero con especial notoriedad en los parches 4 y 6 (con los valores más altos de 126.34% para el pino, y el aguacate y estorac con 77.85% y 92.89%

respectivamente). Esto evidencia menor equidad o diversidad forestal con respecto a los otros parches.

Las especies de aves observadas en el estudio ascendieron a 21 fuera de los parches y 69 especies con 317 individuos dentro (ver Cuadro 6). Se encontraron muchas especies únicas por parche (anexo 35) y aunque el número de especies no es bajo, el número de individuos sí parece serlo. Varias causas pudieron ser las que dieran como consecuencia estos fenómenos descritos:

- 1) Poca experiencia de experimentador en identificación de especies en bosques cerrados. Sin embargo, se podría decir que este riesgo fue bastante minimizado con la aleatorización de las visitas a los diferentes parches, así como que el mismo observador y un acompañante estuvieron presentes en todos los muestreos.
- 2) La presencia de especies comunes en sitios alterados, pero no dentro de bosques. Esto es evidenciado, por ejemplo, con la presencia de la paloma de ala blanca- *Zenaida asiatica*- dentro de uno solo de los parches (ver Anexo 35). Es una especie cosmopolita sumamente común en sitios perturbados (Howell y Webb, 1995) y que solamente se encontrara en uno de los parches evidencia que no es usual en bosques maduros.
- 3) La presencia de especies propias de bosques maduros y especies nocturnas. Ejemplos de ellos fueron: el breñero rojizo- *Automolus rubiginosus*- y el tapacaminos cuerporruin- *Caprimulgus vociferus*- (Howell y Webb, 1995).
- 4) A criterio del autor, se considera que también pudo deberse a los mismos efectos de la fragmentación o como efecto de la actividad humana circundante. Es necesario ahondar en el tema.

Las especies de la familia Trochilidae pueden ser difíciles de identificar para el ojo no bien entrenado, por ello fue que se decidió dejarlo en esta categoría taxonómica.. No se encontraron representantes del orden Accipitridae dentro del estudio. En realidad son especies grandes, el problema es que pueden ser escurridizas en bosques cerrados. Aún así, su ausencia también puede ser indicio de la actividad humana pues son especies muy vulnerables por representar peligro para la crianza de aves y otros animales en granjas.

Las especies endémicas observadas (ver Cuadro 6) representaron un buen porcentaje del total encontrado con un total de 20 de las 89 (22.5%). Las especies amenazadas, y endémicas en conjunto fueron relativamente abundantes. Debido a que estudios sugieren el uso de especies endémicas (Loyola *et al.* 2007) y raras (Lawler *et al.* 2003) como indicadores de áreas a cuidar, la presencia de *P. nigra* por ejemplo, podría dar indicios de sitios con valor en conservación.

Regionalmente, los sitios estudiados podrían representar hábitats importantes de conservar porque se trata de especies con distribución limitada a cierto número de países. Adicionalmente, se encontraron 19 especies migratorias en total (Cuadro 6). Ninguna de ellas se encuentra en la lista de especies amenazadas. Aún así, deben ser tomadas en cuenta porque temporalmente estas especies utilizan el área como parte de su ciclo de vida. La teoría de las metapoblaciones puede ser aplicada a poblaciones migrantes de aves (Esler, 1998) y la conservación de estos sitios de transición es trascendental para la sobrevivencia de esas aves.

## B. Análisis estadístico

1. Características de parches. Algunos de los factores que pueden afectar la diversidad de aves en un parche son su tamaño, su nivel de conectividad (McIntyre, 1995) y su geometría (McGarigal, *et al.* 2005). En este estudio, se hizo uso de índices para poder evaluar estos dos últimos parámetros. El concepto fractal fue introducido como una forma geométrica que exhibe estructura en todas las escalas espaciales, y se propuso un método que relaciona perímetro y área para calcular la dimensión fractal de cualquier forma natural plana. Por su parte, el índice de diversidad de Patton mide la complejidad de forma de un parche comparado con una forma estándar (McGarigal y Marks, 1995).

Ambos índices están basados en los datos de perímetros y áreas de cada parche. Las áreas delimitadas con base en estas imágenes satelitales de Google Earth Pro 7.1 varían en forma y tamaño con respecto a la capa de Mosaico Nacional Forestal 2006-2010 (el inventario más reciente). Esto por varias razones. La primera es que las imágenes usadas son más recientes y en cuatro/cinco años la cobertura forestal en un sitio fragmentado varía inesperadamente. Se excluyeron áreas conocidas por la autora y otros colaboradores

como sitios deforestados. La otra razón son las carreteras. Los caminos también diseccionan paisajes (Lindenmayer y Fischer, 2006). El efecto de borde, la pérdida de árboles grandes y la cosecha comercial de productos forestales en los sitios adyacentes a las carreteras tienen un efecto negativo en aves (aunque estas puedan volar y no son estáticas) (Watson, 2005). Por ello, aunque en el Inventario Forestal se obvian por prácticas razones, en esta ocasión por la dimensión y escala menores en el estudio, se utilizaron como separación entre parches.

Según la Ley Forestal, Decreto 101-96, capítulo II: Art. 4 (Guatemala, 2006), un bosque es un ecosistema en donde los árboles son las especies vegetales dominantes y permanentes y se clasifican en: bosques naturales sin manejo, bosques naturales con manejo y bosques naturales bajo manejo agroforestal. Como requisitos mínimos deben tener una extensión o menor a 2 ha con una cobertura de dosel del 30% (Lund, 2012). Es por ello, que aunque remanentes de bosques estaban adyacentes a los parches focales, no se tomaron en cuenta porque el área no cumplía con los parámetros establecidos anteriormente.

Los resultados en torno a la dimensión fractal (ver Cuadro 7) muestran que todos los parches poseen formas complejas y casi todos con valores parecidos (esto no significa que con la misma forma, pero sí con un nivel similar de complejidad). Todos tienen valores mayores a uno, aunque no tan cercanos a 2 como para considerarse completamente fractales. La similitud presente entre parches para este índice, igual que con el índice de Shannon, da indicios de que la riqueza y diversidad de aves presentes en el estudio pueden ser un efecto de causas multifactoriales.

El índice de diversidad de Patton (ver Cuadro 7) indica que todos los parches muestran una forma con tendencia a ser redonda. Aunque ambos índices parecieran contradictorios, no lo son. El índice de Patton solamente pretende relacionar una forma geométrica conocida con la forma genérica de cada parche, mientras que el de dimensión fractal sí indica el nivel de complejidad de forma de cada remanente. Las otras opciones de Patton se limitan a compararlos con óvalos y rectángulos por ejemplo. Es por ello que se usó el índice de dimensión fractal, por ser más robusto en cuanto a conclusiones sobre forma, para el análisis de ordenación descrito más adelante.

El valor de índice de vecino más cercano está basado meramente en cercanía de borde a borde con otro parche. Los valores en todos los parches son pequeños y similares, no sobrepasaron los 21 m (Cuadro 7). Los parches vecinos mantienen una cercanía tan corta debido a existencia de carreteras y cambios de uso de suelo de origen antropogénico, como potreros y zonas de cultivo que no abarcan mucha área.

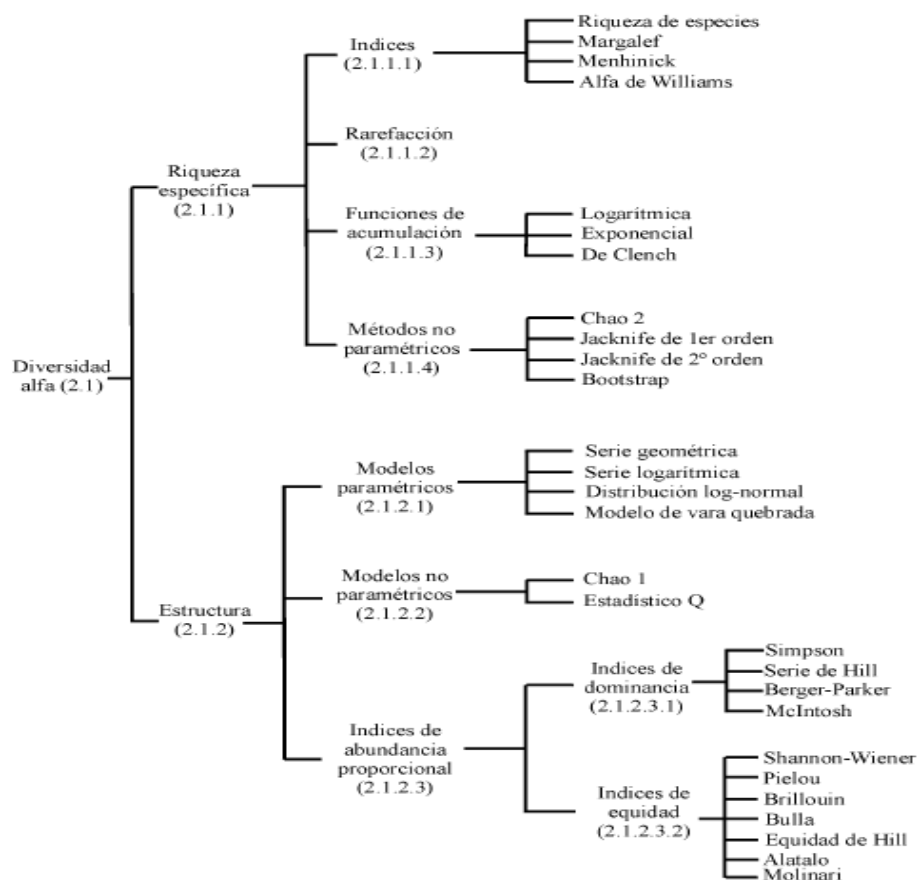
Por otro lado, el índice de proximidad pretende proveer un dato basado en cercanía y área de parches vecinos. No pareciera existir un patrón entre a riqueza y diversidad de aves con respecto a este índice, que trata de pesar la fragmentación circundante. Sin embargo hay que analizar otros factores. Los parches 4 y 5 no fueron precisamente los mayores exponentes de riqueza aviaria de la región. Aún así, su índice de proximidad es alto. Por otro lado, el parche 7 fue el que mayor riqueza presentó, pero su índice de proximidad es de los más bajos. Esto pudo tener otro factor incrustado, la calidad de los bosques vecinos y el nivel de actividad antropogénica adyacente. Las siembras, caza y poblaciones humanas son más frecuentes cercanas a 4 y 5 que a 7. Aún así, se prefirió el uso de este índice antes que el de vecino más cercano por la mayor cantidad de información que provee y que se puede relacionar en el análisis de ordenación.

2. **Análisis de riqueza forestal.** La riqueza arbórea muestra ser mayor en los parches 1, 2 y 7 (ver Figura 5) y las barras de error estándar hacen indiferenciable la riqueza entre ellos. Le siguen los parches 3, 4 y 5 con un traslape entre sus barras de error. Aunque estadísticamente estos tres últimos parches no se pueden diferenciar, sí existe una diferencia definitiva con el parche 6 que claramente y sin traslape presentó la menor riqueza de todos (aunque es de los mayores en riqueza aviaria, lo que sugiere que existen más factores que explican dicha respuesta). Coincidentemente los parches 1, 2 y 7 son los que presentan mayor riqueza de especies de aves también en otros análisis elaborados.

3. **Índices de riqueza de aves.** Existen diversos métodos para medir la diversidad dentro de las comunidades (alfa). Para diferenciar los diferentes métodos existentes, se podrían dividir en dos grupos (ver Figura 10): los métodos que se basan en la cuantificación del número de especies presentes y aquellos métodos basados en la

estructura de la comunidad. Es así como los índices pueden tener distintas interpretaciones y es necesario evaluar varios para poder complementar con mayor información las conclusiones acerca de los sitios evaluados (Moreno, 2001).

Figura 10. Clasificación de métodos para medir la diversidad biológica



(Moreno, 2001)

Entre los métodos utilizados en este estudio que evalúan riqueza específica están: el índice de riqueza específica e índice de Margalef, las curvas de rarefacción, y las funciones de acumulación con métodos no paramétricos (Chao 2, Jackknife de primer y segundo orden y Bootstrap). Para los métodos de estructura se utilizaron los índices de Shannon-Wiener, Berger-Parker y de Simpson y el modelo no paramétrico de Chao 1.

La idea básica de un índice de diversidad es obtener un estimado cuantitativo de la variabilidad biológica que existe en determinado tiempo y espacio. En el caso de

analizarlos a nivel de especie, se deben tomar en cuenta dos aspectos: la riqueza y la equidad (Heip *et al.* 1998). Es por esta razón que los índices utilizados representan buena parte del espectro de las formas de medir diversidad. El índice de riqueza específica es la forma más sencilla de medir la diversidad biológica, porque solamente se basa en el número de especies presentes (Moreno, 2001). El índice de diversidad de Margalef se basa en proporciones sobre distribución numérica de individuos de las diferentes especies en función del número de individuos existentes en la muestra analizada (Margalef, 1969 en Rodríguez *et al.* 1994)

En el presente estudio los resultados de ambos índices parecen coincidir bastante en el caso de las aves (ver Cuadro 8). Básicamente el parche con mayor riqueza de especies es el número 7, de la misma manera, el índice de Margalef es el mayor de todos los presentes. 2004). Aún así, casi todos los parches parecieran presentar alta diversidad biológica ya que superan el valor de 5 (Margalef, 1995 en Allen *et al.* 2004). Los únicos dos sitios que no parecieran ser tan diversos son los parches 3 y 4.

En el análisis de estructura, uno de los índices más usados es el de Shannon-Weiner (Gotelli y Chao, 2013). Los datos provenientes de las aves (ver Cuadro 8) muestran que en todos los parches existen valores de Shannon indicativos de equidad de distribución de individuos. Pareciera que el parche 1, 2 y 7 presentan una sólida equidad (en un nivel menor para el parche 1) y la mayor riqueza, por lo que probablemente son los más diversos también.

Los índices de dominancia son parámetros inversos al concepto de equidad de una comunidad. En su cálculo toman en cuenta la representatividad de las especies con mayor valor de importancia, le restan importancia a la contribución del resto de especies (Moreno, 2001). El índice de Simpson es probablemente uno de los índices más usados en Ecología después del de Shannon. Este índice mide la probabilidad de que dos individuos escogidos al azar pertenezcan a dos diferentes especies (Gotelli y Chao, 2013). El índice de Berger Parker utiliza directamente el dato de la especie más abundante con relación al resto que conforma la composición (Berger y Parker, 1970 en Lexerod y Eid. 2006). Esto quiere decir que pasa totalmente por alto las especies raras y se enfoca únicamente en las más abundantes.

En el caso de los índices de dominancia calculados (Simpson y Berger-Parker en Cuadro 8) muestran la misma tendencia. Ambos índices muestran poca dominancia y de hecho, mucha equidad en la composición de especies en la comunidad de cada parche. Esto implica que aún la especie más abundante no pesó lo suficiente (no contiene tantos individuos) como para afectar la dominancia en alguno de los índices. Se puede afirmar que si se toman dos individuos al azar de los que se observaron, la probabilidad de que ambos sean de la misma especie son bastante bajas. Sin embargo, sí hay tres parches que mostraron una dominancia un poco mayor de alguna especie determinada. Aunque los valores de los tres parches (numerados como 3, 4 y 5) no sobrepasan el 20%, son mayores que el resto de sitios evaluados.

El Comité de Tierra de la Sociedad Ecológica de América recomienda fuertemente que los paisajes con coberturas raras usen el índice de Shannon que presenta mayor sensibilidad. De la misma manera, para diseños de reservas de conservación de especies únicas, es preferido el uso del índice de diversidad de Simpson (Nagendra, 2002). Debido a que esta tesis no está basada en una única especie, se escogió Shannon como el indicador de estructura a usar para el análisis de ordenación.

4. Rarefacción basada en individuos para aves. Todos los métodos de muestreo tienen errores desconocidos que favorecen la detección de algunas especies pero no de otras (Gotelli y Colwell, 2011). La hipótesis de muestreo pasivo señala que las áreas más grandes están más propensas a representar una mayor diversidad de especies porque tienen más individuos que las pequeñas. En ocasiones, no es cuestión solamente de individuos sino porque se lleva cabo un esfuerzo de muestreo diferencial. Para hacer una comparación entre datos tomados proporcionalmente por área de parche, los datos deben rectificarse (Helzer y Jelsinki, 1999). Existen estudios en donde es necesario hacerlo por la diferencia tan masiva que hay entre las áreas de los parches (Helzer y Jelsinki, 1999). Debido a que en esta investigación esa diferencia de muestreo se hizo deliberadamente, la rarefacción es una alternativa viable para estandarizar los resultados y poder compararlos (Baldi y Kisbenedek, 2000). No se hicieron anotaciones de observaciones por metro o por hora, por ello se prefirió usar la rarefacción basada en individuos y no en muestreo para nivelar las comparaciones.

Algunas asunciones son hechas al momento de elaborar curvas de rarefacción: muestreo suficiente (al menos 20 individuos), métodos comparables de muestreo (aunque sí puede ser usada para comparar la eficiencia de diferentes métodos de muestreo usados en la misma área), similitud taxonómica, comunidades cercanas o individuos discretos, distribución al azar (pueden haber errores si las especies están agregadas porque se puede sobreestimar la riqueza) y muestreo al azar e independiente (esto es casi imposible de garantizar en todos los estudios, por lo que los errores deben ser minimizados durante el muestreo y mejorados a futuro por medio de fórmulas y programas) (Gotelli y Colwell, 2011). Este estudio cumple con casi todos los supuestos, a excepción de la distribución al azar de individuos que no puede ser garantizada (pero que se disminuye al proponerse senderos en los que se recorren distancias para detectar mayor número de individuos) y el muestreo al azar, que no pudo ser regulado debidamente y que es muy difícil de alcanzar en cualquier caso.

Las valoraciones hechas mediante la rarefacción arrojan diferentes tendencias (ver Figura 6). Debido a que este método se basa en individuos a través de sub-muestras repetidas al azar de  $n^*$  individuos a partir de la muestra original más grande, siendo  $n^* = n$  (el tamaño de la muestra original más pequeña) (Gotelli y Colwell, 2011), se utilizó la muestra de menor tamaño. Se hicieron los análisis y comparaciones en el individuo 33. Esto implicó que al observar 33 individuos de aves, las fórmulas apuntan a que se encontraría determinada estimación finita de aves con su respectivo error estándar en cada parche.

En primer lugar, los parches que muestran estimaciones más bajas son el 3 y 4, ambos traslapados entre sí (Figura 6). Pareciera que no hay forma de probar quién de los dos representa el sitio con mayor riqueza con seguridad. El parche 5 parece tener una riqueza significativamente mayor que los otros dos sitios, aunque marginalmente traslapada con los límites inferiores de los parches 6 y 7. Aún así, hasta este punto la estandarización con el método de rarefacción basada a en individuos sí determina diferencia de riqueza de especies entre los parches. Sin embargo, notablemente en el caso de los parches 1, 2, 6 y 7 se presenta un problema gracias a la cercanía de las barras (Figura 6). Prácticamente cuatro de los siete parches rodean el valor de las 20 especies con errores estándar que se

traslapan. Esta superposición indica que no hay evidencia estadística que revele que exista mayor riqueza en determinado parche de estos cuatro en cuestión.

5. Curvas de acumulación de especies de aves. Las curvas de acumulación de especies son un método utilizado para estimar el número de especies esperadas a partir de un muestreo. Su forma se origina a medida que el número de especies se acumula en función del número acumulado de muestras. Son útiles por si hay problemas de submuestreo porque sus valores extrapolados pueden ser usados como una medida de la diversidad alfa de determinado sitio (Gotelli y Colwell, 2011). La asíntota responde al punto donde el mayor esfuerzo de muestreo no adhiere una nueva especie por descubrir (Gotelli y Chao, 2013). La probabilidad de añadir una nueva especie dependerá del total de especies en el ensamblaje y lo equitativa que sea la distribución individuos por especie (Gotelli y Colwell, 2011).

En una curva de acumulación de especies, por lo general las especies más comunes se colectan primero y las más raras se adhieren a la curva cuando el esfuerzo de muestreo aumenta (Jiménez-Valverde y Hortal, 2003). Los métodos más exitosos han probado ser los estimadores no paramétricos (Gotelli y Chao, 2013). Un estimador robusto y exacto no debería ser sensible al tamaño de la muestra (González *et al.* 2010).

Un buen estimador: 1) debería llegar (o acercarse) a una asíntota estable con menos muestras que las requeridas para que la curva de acumulación de especies observadas llegue a una asíntota, 2) debería tener pocas probabilidades de que su estimado final difiera grandemente de los otros estimadores a evaluar, y 3) debería proveer un valor que sea razonablemente cercano a la curva de acumulación de especies observadas (Toti, *et al.* 2000).

Los estimadores usados en este estudio son todos basados en riqueza de especies, a excepción de Chao 1 y ACE que son de estructura (Moreno, 2001). De la misma manera, los estimadores pueden dividirse en la clase de datos que utilizan. Los datos de incidencia se basan en la presencia/ausencia de especies en determinados sitios, los de abundancia se basan en la cantidad de individuos presentes para cada especie encontrada en un sitio en cuestión. De esta forma existen estimadores para abundancia (Chao 1, ACE

y Jackknife tanto de primer como de segundo orden) de incidencia (ICE) y de incidencia replicada (Chao2) (Gotelli y Colwell, 2011).

Chao 1 y Chao 2 son estimadores intuitivos y fáciles de calcular y frecuentemente actúan tan bien como los estimadores asintóticos más complejos. Por otro lado, la cobertura es la proporción estimada del número total de individuos en el ensamblaje que está representado por las especies registradas en la muestra: ACE (estimador de abundancia de cobertura por sus siglas en inglés). Para los datos de incidencia, existe un estimador de cobertura basado en incidencia (ICE). En el caso de Jackknife de primer orden, se considera a los subdatos mediante la eliminación sucesiva de  $j$  individuos en los datos. Este, solamente contiene el número de singletons usados para estimar el número de especies no vistas. El jackknife de segundo orden, es un estimador que usan singletons y doubletons (Gotelli y Chao, 2013). El estimador Bootstrap sirve como estimador de la varianza de una población creando predicciones a partir de la variancia de la muestra (Smith y Van Belle, 1984 en Norris y Meeter, 1991).

Las curvas de acumulación de especies extrapoladas más consistentes y con mejor forma muestran que los mejores estimadores para todos los parches fueron Bootstrap y Jackknife 1 (Ver anexos 28-34 y Figura 7). En el parche 1, su predicción es de 34 y 42 especies respectivamente. En el parche 2, de nuevo Bootstrap y Jackknife 1 presentan una mayor tendencia a estabilizarse prediciendo una riqueza de 34 y 42 especies respectivamente. En el parche 3, los estimadores evalúan una riqueza aproximada de 17 a 20 especies. La cantidad de especies observadas fue de 15. Con base en los cálculos pareciera entonces que no hay muchas más especies que encontrar en el parche 3. Su riqueza es bastante limitada. En el parche 4 se predice un valor de 26 especies. El parche 5 supera este valor con una riqueza calculada de 25 hasta 31 especies. Este mismo rango es presentado por el parche 6. Por último, el parche al que se le augura mayor riqueza es el 7 con una predicción de 38 hasta 54 especies.

Tomando en cuenta estos datos como referencia, los parches 1, 2 y 7 parecen ser a los que se les predice mayor riqueza de especies en caso de continuar con la toma de datos. Los parches 5 y 6 mantienen predicciones parecidas y un poco alejadas de los primeros. Los parches a los que se les podría considerar de menor riqueza son los 3 y 4, siendo el

parche tres el de las curvas más consistentes y en el que se esperaría encontrar aproximadamente hasta 20 especies, lo que representa el valor más bajo en todos los cálculos hechos para el estudio. Se presentan resultados similares a la rarefacción, exceptuando el parche 6 que sí parece ser diferenciadamente menor en predicción que los primeros tres (1, 2 y 7). En este análisis se evidencia que el esfuerzo de muestreo podría ser mejorado. Debido a la falta de robustez en la forma de estas curvas y las predicciones variantes, la riqueza obtenida en las curvas de rarefacción fue electa como el parámetro a utilizar en el análisis de ordenación.

6. Análisis de ordenación. El PCA tiene como objetivo reducir el banco de variables a un número menor perdiendo una cantidad mínima de información posible (Gorgas, 2011). Consiste en condensar la información a una portada. Este análisis no presenta hipótesis y su objetivo es explicar la variabilidad total observada en la matriz de información a partir de pocos factores (Cáceres, 1994) Se utiliza principalmente para reducir la dimensionalidad de datos multivariados (Gotelli y Ellison, 2004). La representación gráfica de los individuos y las variables en el espacio y dimensión de los componentes permite visualizar las relaciones de dependencia existentes entre las variables y las semejanzas o diferencias entre individuos o especies, como consecuencia se pueden determinar grupos homogéneos (Polo, 2005).

El diagrama de PCA (Figura 8) muestra una tendencia a la formación de esos grupos homogéneos. Los parches 1, 3, 4, 5 y 6 se agrupan y acumulan alrededor del eje 1. Mientras tanto, los parches 2 y 7 se alejan y existe un grupo de especies que se asocian con cada uno de ellos. Si se comparan los números de especies señaladas con el Cuadro general de especies registradas (Cuadro 6) es posible encontrar que especies como trogones (*Trogon collaris*) y cucús (*Coccyzus erythrophthalmus*) se encuentran más sesgadas hacia el parche 2, así como una especie de chara endémica regional (*Cyanolyca pumilo*) y una golondrina (*Notiochelidon pileata*).

La cayaya (*Penelopina nigra*) parece tener un sesgo más propenso hacia el parche 2 y hacia el límite con el 7, aunque fue encontrada en otros cuatro parches (ver anexo 35), por su abundancia puede estar un poco más asociada a este en particular. La especie *Automolus rubiginosus* propia de bosques internos, está muy relacionada con este parche,

probablemente como consecuencia de ser una especie únicamente avistada allí (anexo 35). Por su parte, el parche 7 también atrae su número notable de especies. Tiene afiliadas tres especies endémicas regionales: la codorniz silbadora (*Dactylortix thoracicus*), el capulinerio gris (*Ptilononys cinereus*) y otra especie de chara (*Cyanocrax melanocyaneus*). Además, parece estar muy relacionada la especie migratoria Piquigruoso pechirosa (*Pheuctitus ludovicianus*) que solo fue observada en este sitio (Anexo 35).

Aunque no todas estas especies son precisamente poco abundantes (como el caso de *P. cinereus* y *N. pileata* que son muy comunes y especialmente más en bosques abiertos), es interesante encontrar algunas de ellas en estos parches en particular. El hecho de encontrar dos especies de Galliformes (*D. thoracicus* y *P. nigra*) y una distintiva de bosque interno y sin perturbaciones (*A. rubiginosus*) más relacionadas a estos parches podría ser un indicio de que existe menos presión antropogénica en estas dos regiones de las siete evaluadas. La sola presencia de especies raras puede dar pie a asunciones sobre la diversidad e importancia ecológica que albergan estos dos parches en específico.

En general, las especies que demuestran las siguientes características son consideradas raras: 1) crecen naturalmente en un área geográficamente restringida, 2) ocupan solo uno o muy pocos hábitats especializados y c) forman pequeñas poblaciones en su rango. Estas particularidades hacen que las especies raras estén más propensas a la extinción (Isik, 2011).

El faisán o cayaya –*Penelopina nigra*– que tiene un rango de distribución bastante limitado (desde el este de Oaxaca hasta Nicaragua), es conspicua ya que es más común escucharla que verla (Andrle, 1967) y se encuentra descrita como una especie vulnerable por la IUCN<sup>2</sup> (VU<sup>3</sup>, con alto riesgo de extinción en la naturaleza) (BirdLife International, 2013). Por estas razones parece caer en esta categoría y fue una de las especies encontradas durante el estudio. De hecho, se encontró en cinco de los parches, aunque con mayor abundancia en el 2 (y con razón, ya que es conocido por habitantes de la región como uno de los sitios más buscados para la caza de esta y otras especies de fauna cinegética).

---

<sup>2</sup> Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza por sus siglas en inglés

<sup>3</sup> Vulnerable

El ACC muestra un diagrama diferente al PCA ya que se incorporan dos matrices de datos (ver Figura 9). Es una técnica que permite relacionar un conjunto de especies directamente con un conjunto de variables ambientales. Es un tipo de análisis estadístico lineal de múltiples variables y que utiliza el algoritmo de promedios recíprocos y el análisis de regresión múltiple (Ter-Braak, 1986).

El ACC es el método más generalizado de la familia de las técnicas estadísticas multivariantes. Posee un supuesto de linealidad, por lo que si la relación no es lineal, los datos de alguna o de las variables en cuestión deben ser transformados para que se pueda visualizar. Si los valores teóricos se relacionan de una manera no lineal, la relación no se refleja por la correlación canónica (Badii *et al.* 2007). La correlación canónica busca determinar cómo las diferencias entre dos bases de datos se relacionan, sin hacer distinción en si son o no independientes (Leech *et al.* 2012).

El diagrama de la ACC (Figura 9) muestra la presencia de cuatro variables tomadas y referidas para el caso como “ambientales”: 1 (riqueza de especies de aves obtenida de rarefacción), 3 (área de parche), 4 (índice de proximidad) y 5 (riqueza de especies forestales obtenida de rarefacción). Las otras dos variables (2. Diversidad de Shannon y 6. Dimensión fractal) no parecen mostrar una relación lineal con los ejes por lo que no aparecieron en el esquema.

Según los resultados numéricos del ACC (ver Cuadro 9) sí existe una relación linear entre la estructura de especies de aves y las variables ambientales en cada eje, comprobado por medio de la Prueba de Monte Carlo. La correlación de Pearson (Cuadro 10) explica que además, existe una fuerte correlación entre ambas matrices.

El porcentaje de la varianza acumulada explica el 63.2% del total (Cuadro 9). Este porcentaje puede ser interpretado como alto. Esto quiere decir que los tres ejes explican en buen nivel la varianza de la relación anteriormente establecida. Por otra parte, la inercia de la matriz de especies (1.6755) es pequeña, lo que implica que las abundancias y dominancias de especies en la matriz de frecuencias no varían mucho entre sí.

Las correlaciones de mayor valor (ver Cuadro 10) muestran en diferente nivel la estrechez de la conexión de cada variable con los ejes. Ninguno de estos datos perteneció

al eje 3. Las correlaciones están muy asociadas a su representación gráfica (Figura 9). El tamaño de la línea roja está dado por el coeficiente canónico de la regresión múltiple (Cuadro 11) y la dirección, por el signo que poseen los datos de correlación. Es así como las correlaciones con menor valor (variable 2 y 6) coinciden con ser las dos variables que al no cumplir con el supuesto de linealidad no se visualizan en el diagrama (Figura 9).

De esta manera, la riqueza de especies de aves (variable 1) está correlacionada negativamente con el eje 1, al igual que la riqueza de árboles (variable 2). Por otro lado, el área de parche y el índice de proximidad de parches (variable 3 y 4) están correlacionados negativamente con el eje 2. Los parches 2 y 7 están correlacionados negativamente con el eje 1, y en caso del parche 2, con el eje 2 también. Visualmente se observa entonces que las cuatro variables descritas parecen direccionarse más hacia el parche 2, mientras que para el parche 7 hay más relación con las variables de riqueza tanto de aves como de árboles (1 y 5).

Por último, en el ACC se elaboró una matriz de correlaciones entre todas las variables evaluadas (ver Cuadro 11). En esta matriz no se toma en cuenta la composición de especies sino meramente los valores de las variables. Se muestra que las variables 1 y 2 están altamente correlacionadas con la 5 y 6 y estas últimas también entre sí. Las variables 2 y 6 vuelven a tomar importancia en este análisis, principalmente con la variable 1 que evaluó la riqueza de especies de aves. De esta manera la cantidad de especies de cada parche parece verse relacionada positivamente con el tamaño del parche (aunque de una forma un poco débil) y con la riqueza de especies forestales (de una forma más fuerte). Parece relacionarse negativamente con la diversidad de Shannon (de una forma débil) y con la dimensión fractal (de forma un poco más robusta). Esto indicaría que mientras la riqueza aumenta, la diversidad de Shannon disminuye y también lo hace la dimensión fractal (se es menos forma fractal y más forma euclidiana). La dimensión fractal tiene mayor correlación y de hecho, sí se esperaba que la correlación fuera negativa, así se explicaría que en parches con menos borde y más zona nuclear se encontrara mayor riqueza de especies de aves. Lo mismo sucede con la riqueza de especies forestales con respecto a esta dimensión. Sin embargo, con la diversidad de Shannon es diferente. Realmente los valores de Shannon no están conectados

completamente a la riqueza sino a la equidad de individuos en dicha riqueza. Shannon también pareciera tener una relación negativa con la riqueza arbórea. Este dato tampoco parece dar una explicación lógica pues explicaría que a mayor diversidad aviaria, existe menor riqueza arbórea. Es por ello que la información que este índice provee debe ser analizado a detalle e individualmente. Aún así, la información de las correlaciones aunadas a la prueba de Monte Carlo, comprueban positivamente la hipótesis inicial de esta tesis, que sí existe la relación entre composición de aves y las variables evaluadas.

Se presentó una serie de diagramas que explica cada variable con respecto a su influencia en los parches (ver anexo 36-41). La variable 1 o riqueza de especies (anexo 36) muestra puntos más grandes en los parches 1, 2, 6 y 7, reflejando los resultados de las curvas de rarefacción. Estos cuatro son los sitios de mayor riqueza aviaria. De nuevo, el parche 3 y 4 presentan los más pequeños y existe una separación del resto de parte de los parches 2 y 7. La diversidad de Shannon es muy parecida entre todos los parches (anexo 37) y es la distribución de las especies de aves la que provoca que siempre los parches 2 y 7 se alejen del resto. En cuanto al área de parche es clara la diferencia (anexo 38) en el que por mucho es mayor el parche 2. El índice de proximidad (anexo 39) muestra ser mayor en el parche 5 y el 2, dejando al parche 7 en último lugar. La riqueza arbórea (anexo 40) muestra un patrón parecido a la riqueza aviaria: los parches 1, 2 y 7 son los que presentan mayores gráficas. Por último, la dimensión fractal (anexo 41) mantiene similitudes grandes entre todos los parches, sin diferencias o patrones claros.

La asociación de especies por parche permanece similar al PCA. Al igual que con el PCA, se muestra una separación de los parches 2 y 7 con el resto, gracias a la presencia de especies “raras” a las que el análisis es muy sensible. El parche 4, ahora se aleja del resto con una tendencia a una asociación propia de especies. Algunas de ellas son bastante comunes en zonas y bosques abiertos, tales como: *Melanerpes formicivorus*, *M. aurifrons* y *Myioborus miniatus* (ver numeración en Cuadro 6).

Los parches evaluados muestran una tendencia más clara. Con base en todos los análisis de riqueza y diversidad elaborados pareciera ser que los parches 1, 2 y 7 son los que presentan valores más altos en este ámbito. Los factores que parecen que han propiciado esta consecuencia son: el tamaño de parche, la riqueza arbórea y el nivel de

aislamiento de los parches. No de la misma forma ni en todos los casos, pero son los más congruentes. Probablemente el grado de complejidad de forma de parche poseería una relación más estrecha si esta forma fuera más variable entre los parches.

El parche 1 parece ser muy diverso no por su tamaño, sino por su cercanía y proximidad a muchos parches grandes alrededor de él y que no presentan mucha actividad perturbadora de hábitat. Su riqueza arbórea también parece estar relacionada con el hecho (la riqueza arbórea observada, pero más notablemente la estimada que es en la que se basó el análisis estadístico diagramado en la Figura 5). El parche 2, a pesar de mantener presión por caza, posee un tamaño, proximidad a otros parches grandes y riqueza arbórea que lo favorecen para presentar alta riqueza de especies de aves. De la misma manera lo favorecen para mantener la presencia de especies diferentes al resto de parches y más propias de bosque, así como fauna cinegética. El parche 7 parece mantener alta riqueza de aves debido a su tamaño y riqueza arbórea. El índice de proximidad no fue alto en su caso, sin embargo cabe mencionar que sí existen grandes parches boscosos en sus cercanías, pero no a un km de distancia (determinada para el cálculo de índice de proximidad). Tampoco se llevan a cabo actividades económicas muy invasivas en sus alrededores y no hay poblados cercanos. Probablemente esta es otra razón que le es de ayuda.

El parche 6 mantuvo una riqueza de aves un poco menor que las anteriores. Pareciera que en este caso sí existe una relación con el tamaño del parche porque era menor que dos de los anteriores. La riqueza de árboles no parecería ayudarlo, pero esta baja diversidad es quizás debido a raleo de ciertas especies de árboles para uso comercial, así que lo que compensó este hecho fue el grado de proximidad que tiene con otros parches vecinos.

El parche 5 se mantiene detrás de los cuatro punteros. Aunque es más grande que el 6, su riqueza es menor. Su riqueza de árboles es congruente con su posición con respecto al resto de parches. Aunque tiene el mayor índice de proximidad, no pareciera que esto influyera en la riqueza que presenta. Probablemente es porque en esta región sí se llevan a cabo mayor número de actividades económicas como ganadería y agricultura. Los parches vecinos no son grandes parches de bosque mixto como en el caso del parche 1 y

2, sino reforestaciones o bosques bastante intervenidos. Aún así, probablemente es el sitio con mejor infraestructura y un mejor sendero para actividad turística.

Los parches 3 y 4 mantuvieron la menor riqueza de aves de todo el estudio. El parche 3 se ve afectado porque es de los más pequeños y no mantiene proximidad con muchos parches que le den conectividad y su riqueza arbórea es de las más bajas. Posee poblados humanos grandes en sus alrededores (no adyacentemente). El parche 4 se ve afectado por su baja riqueza arbórea y por su tamaño. Su índice de proximidad es relativamente alto, sin embargo sus parches vecinos están conformados en su mayoría por reforestaciones. Aunque no intensivamente y no como el parche 5, sí existen viviendas cercanas y terrenos usados para ganadería y agricultura.

La existencia de especies consideradas “raras”, endémicas y propias de bosques internos en el parche 2 y 7 sugieren que ambos podrían mostrar mayor riqueza que la presentada en este informe. La evidencia sugiere que se realizó un esfuerzo de muestreo un poco deficiente. Así que si existen planes de conservación o de uso turístico en la región, estos dos parches parecen ser los que tienen más potencial por lo que se sugeriría que hace falta más muestreo en estos sitios para generar listados más completos.

Estudios similares analizados con regresiones múltiples para evaluar diversidad de aves, señalan como variables importantes: el área de parche, número de árboles, proximidad de parches y densidad de corredores (Van Dorp y Opdam, 1987). La existencia de corredores podría ser un dato muy útil para analizar en trabajos de la misma índole o en la misma área. Los efectos que tienen el tamaño de parches y la forma que presentan también ha sido evaluada en riqueza de especies de árboles y arbustos (Pincheira, *et al.* 2009), variable analizada aunque no objeto de este estudio.

Esta tesis no pretendió ser una investigación ecológica profunda a nivel de paisaje en San José Pinula. Realmente esto requeriría muchos recursos y tiempo y pocos estudios se llevan a cabo a este nivel por estas limitaciones. En Guatemala, por ejemplo, es conocido el estudio de aves y paisaje en Izabal (Cerezo, 2001). A pesar de hacer uso de técnicas de ordenación, metodologías, estadísticos e índices parecidos a este estudio (Cerezo, 2011) pero en muy pequeña escala, los objetivos no fueron los mismos. En el presente caso se

pretendió dar mayor importancia a parches escogidos por su potencialidad como destinos turísticos. Al mismo tiempo se llegó a dar información nueva sobre especies amenazadas, de importancia ecológica y sitios para conservación en el área.

## V. CONCLUSIONES

- El listado de árboles generado para la región de bosques de mixtos de la zona montañosa del Municipio de San José Pinula incluye un total de 51 especies.
- Ninguna especie forestal se encuentra catalogada en CITES. Solamente *H. mexicanum* C. Cordem y *A. guatemalensis* Rehder que se encuentra bajo la categoría vulnerable (VU) y en peligro respectivamente (EN) según la Lista Roja de la IUCN. En la lista de especies amenazadas de CONAP, dos se encuentran bajo la categoría 2: *C. pacayana* Herms. y miembros del orden Pterydophyta (helechos arborescentes). *Litsea glaucescens* Kunth y *Pistacia mexicana* Kunth necesitan mayor manejo para no ser especies en peligro de extinción (categoría 3).
- El listado de aves generado para la zona rural montañosa del Municipio de San José Pinula elaborado durante febrero, marzo e inicio de abril de 2015 incluye un total de 69 especies dentro de parches y 21 especies ajenas al análisis estadístico porque se anotaron en días diferentes a los del estudio o en otros sitios aledaños a los parches.
- Se registraron 19 especies de aves endémicas, 19 migratorias y dos especies amenazadas a nivel nacional (LEA de CONAP), una de las cuales está amenazada a nivel internacional (*Penelopina nigra* como vulnerable en IUCN y que también es endémica) y una especie de loro (*Aratinga strenua*).
- La ausencia de aves rapaces y la poca abundancia encontrada parecen ser indicio de perturbaciones humanas y posible inflexibilidad en el conteo de individuos en los transectos.
- La presencia de tan alta proporción de especies endémicas y migratorias indica que los parches podrían proveer de hábitats con alta importancia en conservación.
- Todos los parches presentaron una forma genéricamente redonda pero con una complejidad con más tendencia a una forma fractal que a una euclidiana. Los parches con mayor cercanía de parches vecinos grandes fueron el 5 y 2. El parche 3 fue el que menos proximidad presentó, seguido del 7.

- Los parches 1, 2 y 7 mostraron mayor riqueza forestal observada (19, 23 y 15 respectivamente). Le siguieron el 3, 4 y 5 (14, 14 y 12) y por último y claramente menor, el 6 (con 8 especies únicamente).
- La especie forestal con mayor índice de valor de importancia fue el pino en el parche 4 (*Pinus* sp., 126.34%). Le siguieron dos especies con los valores más altos en el parche 6, el aguacate y el estorac (Lauraceae y *S. argenteus* C. Presl con 77.85% y 92.89%). Estos dos parches demostraron su baja riqueza de especies y además una baja diversidad dados estos IVI mucho más dominantemente evidentes que en el resto de parches.
- Los parches 1, 2 y 7 mostraron mayor riqueza de especies de aves (28, 28 y 32 respectivamente). Los parches 5 y 6 son los intermedios (con 21 y 20 especies) y los más débiles parecieron ser el 3 y 4 (con 14 y 17 especies cada uno). Parece haber equidad en todos los parches, sin ninguna especie dominante sobre el resto (valores parecidos de Índice de Shannon de alrededor de 3).
- Pareciera que a los parches 1, 2 y 7 se les predice mayor riqueza de especies en caso de continuar con la toma de datos (alrededor de las 50 especies). A los que se les augura una menor recolección de especies son los parches 3 y 4 (21 y 30 especies respectivamente).
- Parece existir una agrupación de los parches 1, 2, 4, 5 y 6 a cierto grupo de especies de aves. Los parches 2 y 7 se alejaron de este conglomerado presentando un grupo de especies asociadas a cada uno de ellos. La existencia de Galliformes, especies endémicas y especies muy propias de bosques dan indicios de que son los parches de más importancia para conservación, con mayor potencial turístico y en los que hace falta un mayor esfuerzo de muestreo para obtener un listado de especies más completo.
- Sí existe relación entre la composición de especies de aves y las variables estudiadas (Prueba de Montecarlo con valores de 0.02, 0.01 y 0.01 con los ejes evaluados).
- Las variables que más se relacionaron con la composición de especies de aves y los parches evaluados fueron: tamaño de parche, riqueza arbórea, índice de

proximidad y riqueza de especies de aves. Las cuatro variables de mejor manera con el parche 2 y las primeras dos en mayor medida que el resto con el parche 7.

- La riqueza de especies de aves está correlacionada positivamente con el tamaño del parche y la riqueza arbórea y negativamente con la diversidad de Shannon y la dimensión fractal. La diversidad arbórea también se encuentra fuertemente y de forma negativa correlacionada con la dimensión fractal.
- Pareciera que la riqueza del parche 2 está influenciada por el tamaño del parche (4751740 m<sup>2</sup>), su índice de proximidad (3490.85) y riqueza arbórea (23 especies). El 7 también, a excepción de la proximidad (736.45), aunque se ve beneficiado por la ausencia de presiones antropogénicas en sus alrededores y parches grandes cercanos pero no lo suficiente para el cálculo realizado en el estudio. El parche 1 se ve afectado por su tamaño (200892 m<sup>2</sup>) pero se compensa por la buena cantidad de grandes parches vecinos poco perturbados que lo rodean (proximidad de 1719.53)
- Los parches 5 y 6 presentan una menor riqueza aviaria (21 y 20 especies respectivamente). El primero parece estar afectado por: riqueza arbórea (14 especies), tamaño (menor a 2,1 y 7, de 335244 m<sup>2</sup>) y aunque con buena proximidad de parches (con un índice de 4646.03), probablemente no son de la mejor calidad (por lo intervenidos que están y muchos ser reforestaciones y no bosques mixtos). El 6 es ligeramente inferior en riqueza de aves y aunque con baja diversidad forestal (8 especies), su compensación se basa en una aceptable calidad y cantidad de parches vecinos (índice de proximidad de 1117.67) más que en su tamaño (217205 m<sup>2</sup>).
- Los parches 3 y 4 presentaron la menor riqueza de especies de aves (14 y 17 especies respectivamente). Los afectaron el tamaño (140187m<sup>2</sup> y 205594m<sup>2</sup>) y en el caso del 3 la riqueza de especies forestales (14 especies) y un bajo nivel de índice de proximidad (660.80). En el caso del parche 4 sí tiene un índice de proximidad alto (1684.96) pero con parches adyacentes conformados principalmente por reforestaciones.

## **VI. LIMITACIONES DEL ESTUDIO**

- Poca experiencia del investigador en identificación de aves visual y auditivamente.
- Por cuestión de logística y dificultad en llegar a cada uno de los parches, se hizo únicamente una visita diaria y cuatro réplicas. La dificultad de acceso a cada sitio marca una fuerte limitación. Aunque tienen potencial turístico, el llegar a cada parche es un desafío para seguir con determinado método científico. Para tener información más confiable se debería ampliar el tiempo del estudio, ya que no es posible hacer visita a dos sitios diariamente.
- Solamente había un observador con un poco de experiencia en cada una de las tomas de datos. Lo deseable es que hubiera una mayor cantidad de observadores con habilidades similares para evaluar todos los parches al mismo tiempo.

## VII. RECOMENDACIONES

- Seguir una metodología basada en horas no en visitas a los parches y aumentar el esfuerzo. Probablemente de esta manera las curvas de acumulación de especies serían más robustas y los datos más completos. De hacer una observación lo suficientemente larga, se podría usar la misma cantidad para todos los parches y no serían necesarias las curvas de rarefacción.
- Empezar el conteo de especies 10 metros antes de llegar al parche, a manera de mejorar la recaudación de datos.
- Utilizar métodos de Bioacústica para identificar mejor especies en bosques cerrados y mantener un mayor control del número de individuos de cada especie.
- Sería óptimo que fuera posible hacer simultáneamente el conteo de aves con observadores diferentes pero con una experiencia similar. Esto para tener datos más robustos y hacer mejor uso de las pruebas estadísticas.
- Hacer análisis específicos de aves con importancia ecológica o carismática. Existe potencial en las especies endémicas, amenazadas y miembros de la fauna cinegética.
- Encontrar alguna manera de relacionar calidad de parches vecinos o ampliar el estudio para abarcar mayor área y mayor número de parches y describir de mejor manera la ecología del paisaje.
- Se podría incorporar al análisis el tipo de hábitat de cada especie (para evaluar calidad de hábitat) y se podría remover la diversidad de Shannon.
- Para describir mejor el paisaje, es necesario hacer un análisis de la matriz externa a los parches y conocer la composición y riqueza de aves fuera de ellos.
- Pareciera que la proximidad de parches grandes y de calidad (los más diversos albergan mayor cantidad de nichos) favorecen la riqueza de aves presente en los parches focales. Por lo tanto, para los dueños con interés en actividad turística, se sugiere que se dejen corredores de bosque nativo, así como especies nativas que se regeneran naturalmente dentro de las reforestaciones. Además, obviamente, no talar indiscriminadamente los parches de bosque natural porque la conectividad con otros bosques mantiene la diversidad de aves.

## VIII. LITERATURA CITADA

- Allen, T.; M. Jiménez y S. Vilafranca. 2004. *Abundancia y riqueza específica de la ictiofauna asociada con Thalassia testudinum en el Golfo de Cariaco, Venezuela*. Rev. Biol. Trop. V. 52 (4): 973-980
- Andrle, R. 1967. *Notes on the black chachalaca (Penelopina nigra)*. The AUK a quarterly journal of Ornithology. 84 (2): 169-172
- Anjos, L. 2006. *Bird Species Sensitivity in a Fragmented Landscape of the Atlantic Forest in Southern Brazil*. Biotropica. 38 (2): 229-234
- Athan, T. 2014. QGIS Desktop 2.10.1. [www.qgis.org]. (Consultado por última vez el 28 de julio de 2015).
- Badii, M.H.; J. Castillo; K. Cortez; A. Wong; P. Villalpando. 2007. *Análisis de correlación canónica (ACC) e investigación científica*. Innovaciones de Negocios. 4(2): 405-422
- Baldi, A. y T. Kisbenedek. 2000. *Bird species numbers in an archipelago of reeds at Lake Velence, Hungary*. Global Ecology & Biogeography. 9, 451-461
- Beautry, F.; A. Pidgeon; D. Mladenoff; R. Howe; G. Bartelt y V. Radeloff. 2011. *Optmizing regional conservation planning for forest birds*. Journal of Applied Ecology. 48: 726-735
- BirdLife International. 2013. *IUCN Red List for birds*. En: <http://www.birdlife.org> [con acceso el 21/03/2013]
- Bunyan, M.; S. Jose, R. y R. Fletcher. 2012. *Edge Effects in small forest fragments: why more is better?* American Journal of Plant Sciences. 3: 869-878
- Cáceres, R. 1994. *Estadística multivariante y no paramétrica con SPSS: aplicación a las ciencias de la salud*. Ediciones Díaz de Santos, Madrid. 408 pp.

- Canterbury, G.; T. Martin; D. Petit; L. Petit y D. Bradford. 2000. *Bird Communities and Habitat as Ecological Indicators of forest Condition in Regional Monitoring*. Conservation Biology. 14 (2): 544-558
- CATIE. 2002. *Inventarios Forestales para bosques latifoliados en América Central*. Eds. Lorena Orozco, Cecilia Brumér. Turrialba, C.R. 264 pp.
- CEAB-UVG (Centros de Estudios Ambientales y Biodiversidad). 2009. *Alianza para la Conseervación de Bosques de Pino-Encino de Mesoamérica, The Nature Conservancy. Diagnóstico Ecológico y Socioeconómico de la Ecorregión Bosques de Pino-Encino de Centroamérica*. The Nature Conseervancy/Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala, 335 pp.
- Cerezo, A. 2009. *Uso de hábitats modificados por aves dependientess de bosque tropical en la región caribeña de Guatemala*. Biología Tropical. 57: 401-419.
- Chao, A. 1984. *Nonparametric Estimation of the Number of Classes in a Population*. Scad J Statist. 11: 265-270
- Coddington, J. y L. Young; F. Coyle. 1996. *Estimating spider species richness in a southern Appalachian cove hardwood forest*. The Journal of Arachnology. 24: 111-128
- CONAP. 2009. *Lista de especies amenazadas de Guatemala-LEA- y Listado de Especies de Flora y Fauna silvestres CITES de Guatemala*. Departamento de Vida Silvestre. CONAP. 124 pp.
- Colwell, R. 2009. *EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples*. Versión 9.0 [viceroy.eeb.uconn.edu/estimates/] (Consultado el 7 de agosto de 2015).

- Colwell, R. y J. Coddington. 1994. *Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation*. Philosophical Transactions of the Royal Society. 345 (1311): 101-118. .
- Dallies, C. 2008. *Manual Interactivo para identificar las Aves de Guatemala*. Instituto Guatemalteco de Turismo (INGUAT). Organización de los Estados Americanos.
- De la Cruz, J. 1982. *Clasiicación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento*. MAGA. 29 pp.
- Desrochers, R.; J. Kerr y D. Currie. 2011. *How, and how much, natural cover loss increases species richness*. Global Ecology and Biogeography. 20: 857-867
- Dunn, J. y J. Aldefer. 2006. *National Geographic field guide to the birds of North America*. Quinta edición. EE. UU. 504pp.
- Eisermann, K. y Avendaño, C. 2006. *Diversidad de aves en Guatemala, con una lista bibliográfica*. En E. Cano (Ed.), *Biodiversidad de Guatemala*. Vol. 1. Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala y Fondo Nacional para la Conservación (FONACON). Pp. 525-623
- Esler, D. 2000. *Applying Metapopulation Theory to Conservation of Migratory Birds*. Conservation Biology. Vol. 14 (2): 366-372
- Fisher, J. y Lindenmayer, D.B. 2007. *Landscape modification and habitat fragmentation: a synthesis*. Global Ecology and Biogeography. 16: 265–280
- Garrison, B. 2005. *Fragmentation of terrestrial habitat: an overview for wildlife biologists*. Transactions of the western section of the wildlife society. No. 41: 42-58

- Gil, A., L. Brotons y S. Saura. 2009. *Mediterranean forest dynamics and forest bird distribution changes in the late 20<sup>th</sup> century*. 15: 474-485
- Gillespie, R. y D. Clague. 2009. *Encyclopedia of Islands*. University of California Press. California, EE. UU. 1077 pp.
- González, J., A. de la Fuente, L. Hernández, D. Buzo y C. Bonache. 2010. *Evaluación de estimadores no paramétricos de la riqueza de especies. Un ejemplo con aves en áreas verdes de la Ciudad de Puebla, México*. *Animal Biodiversity and Conservation*. 33 (1): 31-45
- Gorgas, J. y N. Cardiel. 2011. *Análisis de datos y estadística avanzada: análisis de componentes principales*. Universidad Complutense de Madrid. 52 pp.
- Gotelli, N. y R. Colwell. 2011. *Estimating species richness*. 39-54 pp. en A. Magurran y B. McGill. *Frontiers in measuring biodiversity*. Oxford University Press. New York
- Gotelli, N. y A. Chao. 2013. *Measuring and Estimating Species Richness, Species Diversity, and Biotic Similarity from Sampling Data*. En: Levin S.A. (ed.) *Encyclopedia of Biodiveristy*. Segunda Edición. Vol 5: 195-211
- Gotelli, N y A. Ellison. 2004. *A primer of ecological analysis*. Sinauer Associates, Massachussets. 510 pp.
- Greenberg, R., P. Bichier, A. Cruz y R. Reitsma. 1996. *Bird populations in shade and sun coffee plantations in Central America*. *Conservation Biology*. 11 (2): 448-459
- Hanski, I. 1991. *Metapopulation dynamics: brief history and conceptual domain*. *Biological Journal of the Linnean Society*. 42: 3-16
- . 2003. *Metapopulation Ecology*. Oxford University Press. Inglaterra. 289 pp.

- Harris, G. y S. Pimm. 2004. *Bird species' tolerance of secondary forest habitats and its effects on extinction*. Conservation Biology 18 (6): 1607-1616
- Heip, C.; P. Hermann y K. Soetaert. 1998. *Indices of diversity and evenness*. Océanis 24 (4): 61-87
- Helzer, C. y D. Jelinski. 1999. *The relative importance of patch area and perimeter-area ratio to grassland breeding birds*. Ecological Applications 9 (4): 1448-1458
- Holdridge, L.R. 1967. *Life Zone Ecology*. Costa Rica: Tropical Science Center. 206 pp.
- Hollander, F.; H. Van Dyck; G. San Martin y N. Titeux. 2011. *Maladaptive Habitat selection of a migratory passerine bird in a Human-Modified landscape*. Plos One. 6 (9): 1-11
- Hortal, J.; P. Borges y C. Gaspar. 2006. *Evaluating the performance of species richness estimators: sensitivity to sample grain size*. Journal of animal Ecology. 75: 274-287
- Howell, S. N. G., y S. Webb. 1995. *A guide to the birds of Mexico and northern Central America*. New York: Oxford Univ. Press. Inglaterra. 685 pp.
- Jiménez-Valverde, A. y J. Hortal. 2003. *Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos*. Revista Ibérica de Aracnología. 8: 151-161
- IARNA-URL y TNC (Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar y *The Nature Conservancy*). 2013. *Bases técnicas para la gestión del agua con visión de largo plazo en la zona metropolitana de Guatemala*. Guatemala: 140 pp.

- INAB, CONAP, UVG y URL. 2011. *Mapa de Cobertura Forestal de Guatemala 2006 y Dinámica de la Cobertura Forestal 2006-2010*. Guatemala. 97 pp.
- INRENA-CIFOR-FONDEBOSQUE. 2003. *Apoyo a la implementación del nuevo régimen a través de la capacitación a asociaciones de productores forestales concesionarios en la Amazonía peruana. Curso Técnicas de Manejo Forestal. Módulo I: Inventarios Forestales*. Perú. 36 pp.
- Isik, K. 2011. *Rare and endemic species: why are they prone to extinction?* *Tubitak*. 35: 411-417
- IUCN. 2001. *Categorías y Criterios de la Lista Roja de la IUCN*. 23 pp.
- IUCN. . Versión 2015. *The IUCN Red List of Threatened Species*. [www.iucnredlist.org] (Consultado el 5 de octubre de 2015)
- Ixcot, L. 2006. *Diversidad biológica en el Departamento de Guatemala*. FODECYT, CDC, CECON, FUNDAECO. Guatemala. 105 pp.
- Jansson, G. y H. Andrén. 2003. *Habitat Composition and Bird Diversity in Managed Boreal Forests*. *Scand.J. For. Res.* 18: 225-236
- Jáuregui, V. 2008. *San José Pinula. Tesis para optar al Título de Maestría en Docencia Universitaria*. USAC. 71 pp.
- Lampila, P.; M. Monkkonen y A. Desrochers. 2005. *Demographic responses by birds to forest fragmentation*. *Conservation Biology* 19 (5): 1637-1546
- Lantz, V y, R. Martínez-Espiñeira. 2008. *Testing the Environmental Kuznets Curve Hypothesis with bird Populations as Habitat-Specific Environmental Indicators: Evidence from Canada*. *Conservation Biology* 22. (2): 428-438

- Lawler, J.; D. White; J. Sifneos y L. Master. 2003. *Rare Species and the Use of Indicator Groups for Conservation Planning*. Conservation Biology 17 (3): 875-882
- Lexerod, N. y T. Eid. 2006. *An evaluation of different diameter diversity indices based onn criteria related to forest management planning*. Forest Ecology and Management. 222: 17-29
- Leech, N.; K. Barret y G. Morgan. 2012. *IBM SPSS for Intermediate Statistics*. Routledge, EE. UU. 312 pp.
- Lindenmayer, D.B. y J. Fischer. 2006. *Habitat fragmentation and Landscape Change. An Ecological and Conservation Synthesis*. Island Press. EE. UU. 325 pp.
- Loyola, R.; U. Kubota y T. Lewinsohn. 2007. *Endemic vertebrates are the most effective surrogates for identifying conservation priorities among Brazilian eccoregions*. Diversity and Distributions 13: 389- 396
- Lund, G. 2012. *National Definitions of Foresst/Forestland listed by country*. Forest Information Service. [gyde@comcast.net](mailto:gyde@comcast.net). 63 pp.
- Magurran, A. 2004. *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Publishing. 70 pp.
- Martín, F. 2001. *Agricultura y Desertificación*. Ediciones Mundi- Prensa, Barcelona. 341 pp.
- Martínez, M. 2008. *Conectividad funcional para aves terrestres dependientes de bosque en un paisaje fragmentado en Matiguás, Nicaragua. Tesis sometida para el título de Magister Scientiae en Manejo y Conservación de Bosques Tropicales y Biodiversidad*. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 141 pp.
- McCune, B. y M. Mefford. 1999. PC-ORD. *Multivariate Analysis of Ecological Data*. Version 4. MjM Software. Gleneden Beach, Oregon, U.S.A.

- McGarigal, K.; S. Cushman, y C. Regan, 2005. *Quantifying Terrestrial Habitat Loss and Fragmentation: A Protocol*. Natural Resources Conservation Department, University of Massachusetts. USDA Forest Service. Massachusetts. 115 pp.
- McGarigal, K. y B. Marks. 1995. FRAGSTATS. *Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure*. Forest Science Department, Oregon State University. 141 pp.
- McIntyre, N. 1995. *Effects of forest patch size on avian diversity*. Vol. 10. No. 2: 85-99
- Moreno, C. 2001. *Métodos para medir la biodiversidad*. CYTED, ORCYT, S.E.A. Zaragoza, 84 pp.
- Munguía.Rosas, M. y S. Montiel. 2014. *Parch Size and Isolation predict plant species desity in a naturally fragmented forest*. Journal Plos One. 9 (10): e111742. Doi: 10.171/journal.pone.0111742
- Nagendra, H. 2002. *Opposite trends in response for the Shannon and Simpson indices of landscape diversity*. Applied Geography. 22: 175-186
- Norris, J. y D. Meeter. 1991. *A Jth Bootstrap Bias-Corrected estimator of the number of classes of objects*. Department of Statistics. Florida State University. 35 pp.
- Ormerod, S. y A. Watkinson. 2000. *Editors' Introduction: Birds and Agriculture*. Journal of applied Ecology. 37: 699-705
- Pickett, S. y G. Siriwardena. 2011. *The relationship between multi-scale habitat heterogeneity and farmland bird abundance*. Ecography. 34: 966-969
- Pincheira-Ulbrich, J.; J.R. Rau y F. Peña. 2009. *Tamaño y forma de fragmentación de bosque y su relación con la riqueza en especies de árboles y arbustos*. International Journal of Experimental Botany. OYTON. 78: 121-128

- Polo, C. 2005. *Estadística multivariable*. Universidad Politécnica de Catalunya, España. 196 pp.
- Ramos, Z. 2004. *Estructura y composición de un paisaje boscoso fragmentado: Herramienta para el diseño de estrategias de conservación de la biodiversidad. Tesis para optar al grado de Magister Scientiae*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 127 pp.
- Reese, G. 2012. *Dissertation. Simulating species assemblages and evaluating species richness estimators*. Graduate Degree Program in Ecology. Colorado State University. 173 pp.
- Rudas, A. 2006. *Análisis de los datos de la vegetación*. Universidad Nacional de Colombia. Colombia. 3 pp.
- Rutledge, D. 2003. *Landscape indices as measures of the effects of fragmentation: can pattern reflect process?* Doc Science Internal Series, EE. UU. 26 pp.
- Seaby, R. y P. Henderson. 2006. *Species Diversity and Richness IV*. Pisces Conservation.
- Simpson, E. 1949. En: Simpson, D. 2002. *Definitions of Biodiversity and Measures of its value. Resources for the Future. Discussion Paper 02-62*. 17 pp.
- Shannon, C. 1948. *The mathematical theory of communication*. In: Shannon, C.E Weaver, W. (Eds.), *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana. 29-125 pp.
- Seiler, A. y L. Folkesn. 2006. *Habitat fragmentation due to transportation infrastructure*. VTI. Suecia. 164 pp.
- Sodhi, N. y P. Ehrlich. 2010. *Conservation Biology for all*. Oxford University Press. Inglaterra. 358 pp.
- SPSS Inc. Released 2008. *SPSS Statistics for Windows, Version 17.0*. Chicago: SPSS Inc.

- Sutherland, W.; I. Newton y R. Green. 2004. *Bird Ecology and Conservation, A Handbook of Techniques*. Oxford University Press. Inglaterra. 405 pp.
- Rodríguez, R.; L. Albitia; Galván, F. y Chávez, H. 1994. *Composición, abundancia y riqueza específica de la Ictiofuna de Bahía Cncepciónn, Baja California Sur, México*. Ciencias Marinas, 20 (3): 321-350
- Tenez, D. 2008. *Riqueza de especies de aves en Guatemala y el estado de su conocimiento*. IARNA. Guatemala. 32 pp.
- Ter-Braak, J. 1986. *Canonical Correspondence Analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis*. Ecology. 67 (5): 1167-1179.
- Toti, D.; F. Coyle y J. Miller. 2000. *A structured inventory of Appalachian Grass Bald and heath bald spider assemblages and a test of species richness estimator performance*. The Journal of Arachnology. 28: 329-345
- Van Dorp, D. y P. Opdam. 1987. *Effects of patch size, isolation and regional abundance on forest bird communities*. Landscape Ecology. 1 (1): 59-73
- Vertel, M. y E. Pardo. 2010. *Comparación entre el análisis canónico de correspondencias y el análisis factorial múltiple en tablas de frecuencias variables continuas*. Tesis para optar al título de Maestría en Ciencias Estadística. Universidad Nacional de Colombia. 62 pp.
- Villar, L. 1998. *La Flora Silvestre de Guatemala*. CECON, USAC. Guatemala. 99 pp.
- Watson, M. 2005. *Habitat Fragmentation and the effects of roads on wildlife and habitats*. Conservation Services Division New Mexico Department of Game and Fish. 18 pp.
- Williams, T. 1977. *Flora of Guatemala*. Field Museum o Natural History. 7352 pp.

## **IX. ANEXOS**

## A. Fórmulas base

## Anexo 1. Fórmulas base de estimadores no paramétricos de la riqueza

Estimador	Ecuación	Descripción de la fórmula	Referencia
ACE	$S_{abun} + \frac{S_{rare}}{\hat{C}_{rare}}$ $+ \frac{F_1}{\hat{C}_{rare}} \gamma_{rare}^2$	<p><math>S_{abun}</math> = El número de especies abundantes (con más de 10 individuos). <math>S_{rare}</math> = el número total de individuos en especies raras. <math>F_1</math> = el número de especies con <math>i</math> individuos, número de singletons. <math>\hat{C}_{rare}</math> está basado en: <math>1 - F_1/S_{rare}</math>. Por último, <math>\gamma_{rare}^2</math> está basada en:</p> $\max \left\{ \frac{S_{rare}}{\hat{C}_{rare}} \frac{\sum_{i=1}^{10} i(i-1)F_1}{(S_{rare})(S_{rare}-1)} - 1, 0 \right\}$	<p>(Chao y Lee, 1992 en Reese, 2012) (Chazdon, <i>et al.</i> 1998 en Magurran, 2004)</p>
ICE	$S_{freq} + \frac{S_{infreq}}{\hat{C}_{infreq}}$ $+ \frac{Q_1}{\hat{C}_{infreq}} \gamma_{infreq}^2$	<p><math>S_{freq}</math> se refiere al número de especies frecuentes, menor a 10 muestras. <math>S_{infreq}</math> se refiere al número de encuentros de especies infrecuentes. <math>\hat{C}</math>, es el estimador de cobertura de incidencia. <math>Q_1</math> es la frecuencia total de únicos. <math>\gamma</math> es el coeficiente de variación de <math>Q_1</math> por las especies infrecuentes. Está basado en:</p> $\max \left\{ \frac{S_{infreq}}{\hat{C}_{infreq}} \frac{m_{infreq}}{(m_{infreq}-1)} \frac{\sum_{j=1}^{10} i(i-1)F_i}{(N_{infreq})^2} - 1, 0 \right\}$	<p>(Lee y Chao, 1994 en Reese, 2012) (Chazdon, <i>et al.</i> 1998 en Magurran, 2004)</p>
Chao 1 $S_1$	$S_{obs} + \frac{F_1^2}{2F_2}$	<p><math>S_{obs}</math> = número de especies en la muestra, <math>F_1</math> = número de singletons (número de especies con un solo individuo en la muestra) y <math>F_2</math> = número de dobletons (número de especies con dos individuos en la muestra)</p>	<p>(Chao, 1984)</p>

## Continuación del Anexo 1

Estimador	Ecuación	Descripción de la fórmula	Referencia
Chao 2 $S_{max}$	$S(n) + \frac{L^2}{2M}$	Donde L es el número de especies encontradas en una sola muestra y M es el número de especies encontradas exactamente en dos	(Chao, 1987 en Colwell y Coddington, 1994)
Jacknife 1 $S_{jack1}$	$S_{obs} + Q_1 \left( \frac{m-1}{m} \right)$	Donde Q1 representa el número de especies que solo aparecieron en una muestra o réplica y m representa el número total de muestras	(Burnham y Overton, 1978 en Colwell y Conddington, 1994)
Jacknife 2 $S_{jack2}$	$S_{obs} + \left[ \frac{L(2n-3)}{n} - \frac{M(n-2)^2}{n(n-1)} \right]$	Donde L es el número de especies encontradas en una sola muestra y M es el número de especies encontradas exactamente en dos	(Burnham y Overton, 1978 en Colwell y Conddington, 1994)
Bootstrap $S_{boot}$	$S_{obs} + \sum_{j=1}^{S_{obs}} (1-p_j)^n$	Se basa en $p_j$ , la proporción de muestras conteniendo cada especie, j.	(Smith y Van Belle, 1984 en Norris y Meeter, 1991)

## B. Hojas de datos de árboles

### Anexo 2. Hojas de datos de campo en parcelas forestales de parche 1

Parche 1				
Parcela	Especie	DAP (m)	Altura (m)	Copa (m)
1	Sandío	0.96766205	15	3.3
1	Jocote	0.69391555	10	1
1	Laurel	0.38197186	10	5
1	Papelillo	0.21645072	8	3.5
1	Cacho	0.78940852	20	3.1
1	Aguacate	1.13318319	14	4.8
1	Encino	0.8467043	15	2
1	Zapotillo	0.9	20	7
1	Papelillo	0.5729578	9	3
1	Sandío	0.52202821	12	4.4
1	Sandío	0.50929582	14	6
1	Sandío	0.36287327	13	0
1	Sandío	0.63661977	13	2
1	Manzanote	0.38197186	14	1.5
1	Manzanote	0.73847894	15	2
1	Encino	0.22918312	16	3
1	Zapotillo	0.24191551	22	8
1	Encino	0.38	20	6
1	Jocote	0.5538592	10	10
1	Pimiento	0.31830989	20	2
1	Duraznillo	0.85307049	10	4
1	Encino	1.03769023	15	2
1	Cacho	1.03769023	20	8
1	Encino	0.45836624	14	8
1	Encino	0.72	15	10
1	Encino	0.78940852	15	4
1	Soguillo	0.46473243	20	2
1	Duraznillo	0.38197186	10	4
1	Papelillo	0.2864789	5	3
1	Papelillo	0.50929582	5	3
1	Encino	0.69391555	10	4
1	Aguacate	0.89126768	12	4
2	Aguacate	0.44	20	6
2	Zapotillo	0.78	20	6
2	Papelillo	0.25464812	4	1
2	Papelillo	0.29284534	10	3
2	Zapotillo	0.78	22	8
2	Pimiento	0.59	20	4
2	Papelillo	0.25464812	3	1
2	Plomillo	0.31831016	20	1
2	Papelillo	0.29284534	13	1
2	Papelillo	0.36923978	20	3
2	Chichicastillo	0.24828192	8	1

Parcela	Especie	DAP (m)	Altura (m)	Copa
2	Palo blanco	0.36923978	20	3
2	Palo blanco	0.95493047	22	6
2	Sandío	0.89126843	20	3
2	Sandío	0.43290181	20	6.5
2	Cacho	0.79577539	18	6
2	Sandío	0.89126843	20	5
2	Palo blanco	0.43290181	8	1
2	Plomillo	0.22918331	8	3
2	Siete caldos	0.72	20	3
2	Plomillo	0.29244413	12	3
2	Yema de huevo	0.52131346	20	3
2	Soguillo	0.80104263	20	4
2	Cacho	0.97	22	8
2	Estorac	0.29284534	10	1
2	Duraznillo	0.47746523	15	1
2	Duraznillo	0.30557775	15	3
2	Duraznillo	0.63662031	20	3
2	Duraznillo	0.39470459	20	2
2	Cacho	0.27374673	10	1
2	Palo blanco	0.42653561	10	1.5
2	Plomillo	0.26738053	10	2
2	Zapotillo	0.91673325	20	3
2	Aguacate	0.46473283	12	3
2	Aguacate	0.84670501	20	4
2	Pimiento	0.89763464	20	3
2	Aguacate	0.36287358	12	3
2	Guayabillo	0.35014117	15	1
2	Cacho	0.36923978	12	2
2	Aguacate	0.60478929	20	2
2	Yema de huevo	0.77667678	20	3
2	Jocote	0.37560598	20	3
2	Yema de huevo	0.50293004	15	3
2	Sandío	0.84033881	7	4
2	Jocote	0.75121197	20	3
2	Cacho	0.35650737	20	4

## Anexo 3. Hojas de datos de campo en parcelas forestales de parche 2

Parche 2				
Parcela	Especie	DAP (m)	Altura (m)	Copa (m)
1	Aguacate	0.28011294	20	1
1	Cacho	0.65571892	18	2
1	Cacho	0.50293004	18	2
1	Cacho	0.33740876	18	2
1	Cacho	0.33740876	18	2
1	Cacho	0.63025411	20	4
1	Cacho	0.70028234	20	4
1	Cacho	0.54112726	20	5
1	Cacho	0.76394437	20	6
1	Cacho	0.36923978	15	4
1	Cacho	0.26101433	15	4
1	Encino	0.90400084	20	4
1	Encino	0.99312768	20	6
1	Encino	0.96766287	20	3
1	Encino	0.98039528	20	4
1	Encino	0.52839486	20	1
1	Encino	0.77031058	20	5
1	Encino	0.6	20	8
1	Estorac	0.36923978	10	2
1	Guayabillo	0.2037185	10	2
1	Jocote	0.2100847	15	2
1	Jocote	0.28647914	18	2
1	Jocote	0.22918331	12	3
1	Jocote	0.28011294	12	3
1	Laurel	0.24828192	8	4
1	Mano de León	0.37560598	15	4
1	Mimosa sp.	0.26101433	10	2
1	Peineto	0.39470459	18	2
1	Pino	0.87853603	20	3
1	Plomillo	0.24828192	12	0
1	Siete caldos	0.29921155	13	3
1	Siete caldos	0.21645091	15	2
1	Siete caldos	0.34377497	11	4
1	Soguillo	0.44563422	18	2
1	Soguillo	0.31194395	18	3
1	Taxiscobo	0.68754993	14	5
1	Yema de huevo	0.44563422	13	3
1	Yema de huevo	0.43926801	19	2
1	Yema de huevo	0.4138032	20	2
1	Yema de huevo	0.407437	15	7
1	Yema de huevo	0.31831016	20	2
1	Zapotillo	0.58569069	20	3
1	Zapotillo	0.68118373	20	2
1	Zapotillo	0.54749347	20	4
2	Cacho	0.24191572	12	3
2	Cedro	0.8276064	22	4
2	Desqui111	0.22281711	15	2
2	Desqui111	0.407437	15	3
2	Desqui111	0.33104256	15	2
2	Desqui111	0.35650737	20	2

Parcela	Especie	DAP (m)	Altura (m)	Copa (m)
2	Desqui111	0.29921155	20	2
2	Desqui111	0.23554951	8	4
2	Desqui111	0.38197219	14	3
2	Desqui222	0.37560598	22	5
2	Estorac	0.31194395	10	3
2	Estorac	0.2100847	10	2
2	Estorac	0.4138032	15	3
2	Estorac	0.50929625	15	3
2	Estorac	0.42653561	15	3
2	Jocote	0.23554951	15	3
2	Jocote	0.43290181	15	5
2	Jocote	0.6175217	20	4
2	Jocote	0.64	25	6
2	Jocote	0.24191572	10	3
2	Jocote	0.24828192	10	2
2	Mazurco	0.42653561	10	4
2	Mazurco	0.25464812	10	3
2	Mazurco	0.33104256	10	3
2	Mazurco	0.22918331	12	7
2	Mazurco	0.24191572	11	5
2	Mazurco	0.70028234	18	6
2	Mazurco	0.26101433	15	3
2	Mazurco	0.53476106	16	3.6
2	Mazurco	0.92946565	30	5
2	Mazurco	0.63662031	25	3
2	Mazurco	0.36923978	16	4
2	Mazurco	0.47746523	17	3
2	Mazurco	0.45200042	8	4
2	Mazurco	0.52202865	15	4
2	Mazurco	0.32467636	20	5
2	Mazurco	0.51566245	10	2
2	Mazurco	0.39470459	10	3
2	Mazurco	0.56022587	8	3
2	Mazurco	0.53476106	10	4
2	Mazurco	0.35014117	10	4
2	Mazurco	0.36923978	10	3
2	Mazurco	0.26101433	10	3
2	Mazurco	0.35650737	9	1
2	Mazurco	0.38197219	14	3
2	Palo blanco	0.50929625	15	3
2	Palo blanco	0.90400084	20	4
2	Palo blanco	0.70664854	20	3
2	Palo blanco	0.44563422	15	2
2	Palo blanco	0.34377497	15	2
2	Palo blanco	0.27374673	15	3
2	Palo blanco	0.63662031	15	4
2	Palo blanco	0.4010708	15	3
2	Palo blanco	0.27374673	14	4
2	Sapuyulo	0.53476106	20	4
2	Sapuyulo	0.28647914	8	2

## Anexo 4. Hojas de datos de campo en parcelas forestales de parche 3

Parche 3				
Parcela	Especie	DAP (m)	Altura (m)	Copa
1	Zapotillo	0.18461973	9	1
1	Encino	1.48332407	17	8
1	Papelillo	0.17188734	9	2.5
1	Palo Blanco	0.31830989	12	1
1	Encino	0.35650707	12	1
1	Encino	0.36923947	12	2
1	Plomillo	0.2737465	8	1
1	Encino	0.45200004	12	3
1	Jocote	0.19098593	6.5	1
1	Encino	0.24191551	8	3
1	Encino	0.2673803	8	4
1	Jocote	0.2801127	7	5
1	Encino	1.59154943	18	7
1	Plomillo	0.2673803	7	1.5
1	Helecho	0.21645072	1.5	1.6
1	Aguacate	1.53425365	20	6
1	Aguacate	0.31194369	10	2
1	Palo Blanco	0.76394373	20	2
1	Palo Blanco	0.22281692	5	4
1	Plomillo	0.22918312	10	1.5
1	Encino	0.29921129	12	3
1	Helecho	0.32467608	2	1.5
1	Sandío	0.23554932	7	1
1	Sandío	0.29921129	8	1
1	Plomillo	0.2801127	9	3
1	Encino	0.17825354	8	4
1	Palo Blanco	0.68754935	12	7
1	Encino	0.2864789	10	2
1	Encino	0.70028175	12	3
1	Morfo 1	0.19098593	7	3
1	Plomillo	0.30557749	8	2
1	Tinajillo	0.22918312	5	3
1	Plomillo	0.24828171	9	4
1	Sandío	0.50929582	11	2
1	Helecho	0.25464791	2	1.5
1	Helecho	0.35650707	2	1
1	Zapotillo	0.34377468	12	2
1	Encino	0.34377468	9	2
1	Helecho	0.36287327	2	1.5
1	Tinajillo	0.29921129	6	3
1	Encino	0.34377468	11	2
1	Sandío	0.21645072	6	2
1	Sandío	0.38197186	9	3
1	Tinajillo	0.38833806	7	4
1	Encino	0.36923947	8	2
1	Sandío	0.42653525	10	5
1	Encino	2.1	15	3
1	Helecho	0.31830989	3	2
1	Sandío	0.42653525	10	2
2	Papelillo	0.29921129	5	3
2	Papelillo	0.40107046	5	3

Parcela	Especie	DAP (m)	Altura (m)	Copa
2	Tinajillo	0.24828171	5	2
2	Papelillo	0.41380285	6	3
2	Plomillo	0.2864789	10	3
2	Helecho	0.33104228	5	2
2	Pimiento	0.76394373	15	6
2	Zapotillo	1.20957757	25	7
2	Encino	0.38197186	5	1
2	Aguacate	2.10084525	18	10
2	Palo Blanco	0.2737465	7	3
2	Palo Blanco	0.38197186	10	2
2	Palo Blanco	0.2864789	10	3
2	Helecho	0.19098593	2	1
2	Helecho	0.19098593	2	1
2	Plomillo	0.41380285	11	1.5
2	Encino	0.54112681	12	2
2	Aguacate	1.46422548	12	5
2	Papelillo	0.22918312	5	2
2	Papelillo	0.2864789	5	3
2	Papelillo	0.2673803	5	3
2	Papelillo	0.36923947	5	3
2	Papelillo	0.38197186	5	2
2	Palo Blanco	1.01859164	12	4
2	Tinajillo	0.2673803	5	3
2	Tinajillo	0.24191551	5	3
2	Zapotillo	0.89126768	11	5
2	Papelillo	0.31830989	6	2
2	Estorac	0.43290145	10	2
2	Zapotillo	1.01859164	18	3
2	Encino	0.42016905	12	2
2	Encino	0.45836624	12	2
2	Encino	0.2864789	10	1.5
2	Encino	0.42653525	6	2
2	Plomillo	0.40743665	8	1
2	Plomillo	0.43926764	7	3
2	Zapotillo	1.14591559	18	4
2	Encino	0.21645072	7	1.5
2	Aguacate	0.50929582	12	2
2	Papelillo	0.19098593	6	1
2	Aguacate	0.44563384	11	3
2	Zapotillo	1.01859164	12	11
2	Plomillo	0.25464791	12	1
2	Palo Blanco	0.2864789	12	1
2	Zapotillo	0.42016905	12	3
2	Zapotillo	0.21645072	15	3
2	Capulín	0.43290145	10	3
2	Zapotillo	0.39470426	10	2
2	Plomillo	0.2737465	9	4
2	Zapotillo	1.71887339	15	1

## Anexo 5. Hojas de datos de campo en parcelas forestales de parche 4

Parche 4					Parcela	Especie	DAP	Altura	Copa
1	Cacho	0.71301415	15	6	1	Pino	1.1140846	25	4
1	Siete caldos	0.40107046	10	0	1	Cacho	0.24191551	7	2
1	Siete camisas	0.37560567	10	3	1	Cacho	0.21645072	6	3
1	Encino	0.95492966	12	7	1	Cacho	0.38833806	10	4
1	Cacho	0.40107046	13	2	1	Pino	0.42653525	15	2
1	Pino	0.68118316	25	3	1	Cacho	0.38833806	8	4
1	Pino	0.78304232	25	4	1	Pino	0.24191551	10	0
1	Papelillo	0.24191551	7	4	1	Pino	0.85307049	25	3
1	Cacho	0.33104228	10	4	1	Cacho	0.42653525	8	5
1	Pino	0.79577472	25	7	1	Pino	0.47109863	25	3
1	Pino	0.2673803	15	2	1	Pino	0.85943669	25	5
1	Pino	0.45836624	22	3	1	Pino	0.77667612	25	3
1	Pino	0.25464791	20	2	1	Yema de huevo	0.20371833	8	3
1	Cacho	0.2673803	12	2	1	Pino	0.38197186	25	2
1	Pino	0.43290145	25	3	1	Cacho	0.2864789	9	3
1	Pino	0.40107046	20	2	1	Pino	0.35650707	20	2
1	Pino	0.5602254	25	3	2	Pino	0.41380285	20	2
1	Pino	0.87853529	25	4	2	Manzanote	0.26101411	7	4
1	Plomillo	0.19735213	10	2.5	2	Manzanote	0.49656342	10	4
1	Peineto	0.19735213	8	3	2	Manzanote	0.24828171	12	2
1	Palo Blanco	0.25464791	5	3	2	Manzanote	0.19098593	5	1
1	Cacho	0.22281692	12	3	2	Cacho	0.2737465	10	4
1	Plomillo	0.19098593	10	3	2	Pino	0.80214091	25	5
1	Cacho	0.2928451	10	2	2	Pino	0.38833806	25	2
1	Laurel	0.43290145	7	0	2	Pino	0.75121133	25	4
1	Cacho	0.22918312	9	3	2	Manzanote	0.36287327	10	4
1	Pino	0.36287327	20	1.5	2	Pino	0.49019722	25	2
1	Pino	0.81487331	25	4	2	Cacho	0.33740848	10	4
1	Pino	0.40107046	20	2	2	Manzanote	0.49019722	12	5
1	Yema de huevo	0.2673803	8	3	2	Peineto	0.40107046	10	4
1	Plomillo	0.21008452	8	2	2	Cacho	0.46473243	10	4
1	Cacho	0.22281692	10	3	2	Pino	0.70028175	25	4
1	Cacho	0.2801127	10	2	2	Pino	0.31830989	20	40
1	Cacho	0.48383103	10	3	2	Pino	0.86580289	25	4
1	Cacho	0.5602254	10	4	2	Plomillo	0.22281692	12	3
1	Duraznillo	0.64935217	10	4	2	Peineto	0.2928451	7	3
1	Duraznillo	0.36923947	10	4	2	Cacho	0.29921129	15	2
1	Cacho	0.30557749	8	4	2	Palo Blanco	0.36287327	11	2
1	Pino	0.87216909	22	5	2	Pino	0.35014087	12	0
1	Pino	0.50292962	20	2	2	Pino	0.5665916	25	3
1	Pino	0.92309867	25	7	2	Pino	0.82123951	25	4
1	Peineto	0.39470426	5	3	2	Pino	0.26101411	12	1
1	Pino	0.63661977	25	4	2	Pino	0.74484513	25	3
1	Pino	0.2737465	20	1	2	Pino	0.47109863	13	3
1	Pino	0.70028175	25	4	2	Cacho	0.38197186	12	4
1	Cacho	0.26101411	9	4	2	Pino	0.49019722	25	2
1	Pino	0.25464791	12	0	2	Pino	0.40743665	23	2
1	Cacho	0.29921129	10	2	2	Guayabillo	0.33740848	10	3
1	Duraznillo	0.5665916	10	5	2	Cacho	0.35014087	12	2
1	Cacho	0.53476061	10	5	2	Manzanote	0.22918312	5	2
1	Encino	1.20957757	15	7	2	Manzanote	0.2737465	5	2
					2	Cacho	0.44563384	10	4

Parcela	Especie	DAP	Altura	Copa
2	Encino	0.75757753	10	5
2	Cacho	0.33104228	12	3
2	Pino	0.64298597	25	3
2	Pino	0.24191551	20	2
2	Pino	0.2801127	25	2
2	Pino	0.29921129	25	2
2	Cacho	0.38833806	10	3
2	Siete camisas	0.2801127	10	1
2	Siete caldos	0.40743665	8	4
2	Pino	0.68754935	25	4
2	Pino	0.77030992	25	4
2	Peineto	0.31830989	12	3
2	Cacho	0.21645072	8	2
2	Cacho	0.19098593	10	3
2	Papelillo	0.22918312	10	4
2	Cacho	0.21008452	6	3
2	Laurel	0.22918312	5	2
2	Pino	0.77030992	25	3
2	Pino	0.53476061	25	2
2	Pino	0.40743665	25	2
2	Cacho	0.25464791	10	3
2	Cacho	0.33740848	10	4
2	Cacho	0.23554932	12	1
2	Encino	0.59205639	12	4
2	Pino	0.5538592	25	3
2	Cacho	0.21645072	8	3
2	Cacho	0.19735213	6	2
2	Pino	1.01859164	25	5
2	Cacho	0.19735213	10	2
2	Pino	0.91036627	25	4
2	Pino	1.05042262	25	4

Anexo 6. Hojas de datos de campo en parcelas forestales de parche 5

Parche 5				
Parcela	Especie	DAP (m)	Altura (m)	Copa
1	Cacho	0.21008452	8	2
1	Cacho	0.2864789	12	2
1	Cacho	0.22918312	8	2
1	Duraznilo	0.35014087	10	3
1	Encino	1.26	25	8
1	Encino	1.33690152	25	5
1	Encino	0.69391555	11	3
1	Encino	0.88490148	25	5
1	Encino	0.98676065	15	6
1	Encino	0.63661977	20	4
1	Encino	0.48383103	20	3
1	Encino	1.06	25	8
1	Encino	0.24191551	10	3
1	Encino	0.24828171	8	2
1	Encino	0.34377468	10	2
1	Encino	0.547493	12	3

Parcela	Especie	DAP (m)	Altura (m)	Copa
1	Encino	0.289662	10	3
1	Encino	0.47746483	10	5
1	Encino	0.65	20	10
1	Encino	0.42	20	6
1	Encino	0.21008452	5	2
1	Flor de verano	0.22918312	4	1
1	Jocote	0.22918312	15	1
1	Jocote	0.2864789	10	2
1	Jocote	0.17188734	10	2
1	Jocote	0.33740848	10	2
1	Laurel	0.38197186	12	1
1	Laurel	0.47109863	15	2
1	Laurel	0.43290145	10	3
1	Laurel	0.31830989	10	1
1	Laurel	0.47746483	15	3
1	Laurel	0.2673803	11	3

Parcela	Especie	DAP (m)	Altura (m)	Copa
1	Papelillo	0.24191551	6	1
1	Papelillo	0.21645072	7	2
1	Parece Palo Blanco	0.58569019	12	4
1	Parece Palo Blanco	0.24191551	5	2
1	Pimiento	0.42653525	20	3
1	Pimiento	0.66208456	18	4
1	Plomillo	0.35650707	12	2
1	Plomillo	0.45836624	20	3
1	Sandío	0.5665916	15	4
1	Sandío	0.36287327	15	4
1	Sandío	0.22281692	10	2
1	Sandío	0.61752118	15	3
1	Sandío	0.2864789	10	2
1	Sandío	0.42653525	15	3
1	Sandío	0.75757753	20	4
1	Sandío	0.22918312	4	1
1	Sandío	0.44563384	8	4
1	Sandío	0.23554932	8	2
1	Sandío	0.2801127	10	2
1	Sandío	0.30557749	8	2
1	Sandío	0.2673803	8	2
1	Sandío	0.21008452	5	2
1	Sandío	0.24191551	10	2
1	Sandío	0.72574654	6	2
1	Sandío	0.65571837	8	2
1	Sandío	0.42653525	12	4
1	Zapotillo	0.2801127	8	1.5
1	Zapotillo	0.8403381	15	4
1	Zapotillo	0.20371833	10	1
1	Zapotillo	0.49019722	12	2
1	Zapotillo	0.91673247	20	8
1	Zapotillo	0.48383103	8	2
1	Zapotillo	0.58569019	10	2
1	Zapotillo	0.547493	10	2
1	Zapotillo	0.64298597	12	3
1	Zapotillo	0.80850711	15	4
2	Cacho	0.52202821	20	2
2	Cacho	0.42016905	17	4
2	Cacho	0.2928451	12	2
2	Cacho	0.35014087	18	3
2	Cacho	0.48383103	15	2
2	Cacho	0.47746483	15	2
2	Cacho	0.2801127	8	2
2	Cacho	0.24191551	8	2
2	Cacho	0.72574654	15	4
2	Cacho	0.41380285	15	2
2	Cacho	0.80214091	12	4

Parcela	Especie	DAP (m)	Altura (m)	Copa
2	Cacho	0.64935217	10	4
2	Laurel	0.24828171	10	4
2	Papelillo	0.35650707	8	3
2	Papelillo	0.30557749	12	2
2	Papelillo	0.22281692	8	3
2	Papelillo	0.2737465	12	3
2	Papelillo	0.24828171	8	3
2	Papelillo	0.23554932	10	3
2	Papelillo	0.2928451	5	3
2	Papelillo	0.2928451	25	2
2	Papelillo	0.2801127	9	2
2	Papelillo	0.53476061	12	4
2	Papelillo	0.21645072	5	3
2	Papelillo	0.36923947	8	2
2	Papelillo	0.24191551	8	3
2	Papelillo	0.24191551	8	3
2	Papelillo	0.2864789	8	3
2	Papelillo	0.2737465	8	3
2	Papelillo	0.2928451	8	3
2	Papelillo	0.2673803	8	8
2	Papelillo	0.24191551	7	2
2	Pimiento	0.8276057	20	5
2	Pimiento	1.01859164	25	6
2	Pimiento	0.65571837	20	4
2	Pimiento	0.55	18	8
2	Pimiento	0.6	15	5
2	Plomillo	0.43926764	15	2
2	Plomillo	0.44563384	8	3
2	Plomillo	0.50292962	18	4
2	Plomillo	0.25464791	15	2
2	Sandío	0.25464791	10	2
2	Sandío	0.19735213	8	2
2	Sandío	0.87216909	10	4
2	Zapotillo	0.2801127	10	2
2	Zapotillo	0.31194369	10	2
2	Zapotillo	0.68754935	20	4
2	Zapotillo	0.78304232	20	5
2	Zapotillo	0.64298597	18	3
2	Zapotillo	0.40743665	15	3
2	Zapotillo	0.54	20	5
2	Zapotillo	0.45	25	5
2	Zapotillo	0.50292962	15	3
2	Zapotillo	0.5602254	12	3
2	Zapotillo	0.25464791	12	1
2	Zapotillo	0.23554932	10	1
2	Zapotillo	0.48383103	10	1
2	Zapotillo	0.76394373	15	6
2	Zapotillo	0.68118316	20	3
2	Zapotillo	0.70664795	15	2
2	Zapotillo	0.98039445	20	4
2	Zapotillo	0.61115498	20	2

Parcela	Especie	DAP (m)	Altura (m)	Copa
2	Zapotillo	0.34377468	12	2
2	Zapotillo	0.8467043	20	4
2	Zapotillo	0.61752118	12	3
2	Zapotillo	0.94219726	20	4
2	Zapotillo	0.29921129	10	2
2	Zapotillo	0.94219726	12	5

### Anexo 7. Hojas de datos de campo en parcelas forestales de parche 6

Parche 6				
Parcela	Especie	DAP	Altura	Copa
1	Aguacate	0.43926764	20	7
1	Aguacate	0.71301415	20	10
1	Aguacate	0.65571837	20	3
1	Aguacate	0.5602254	18	4
1	Estorac	0.75757753	20	3
1	Encino	0.2737465	8	1
1	Sapuyulo	1.13318319	20	4
1	Encino	0.52202821	20	10
1	Estorac	0.96766205	20	10
1	Encino	1.22867616	21	10
1	Encino	0.82123951	16	5
1	Estorac	0.79577472	18	5
1	Aguacate	1.24140856	20	7
1	Estorac	0.91673247	20	5
1	Estorac	1.29233814	20	6
1	Aguacate	0.95492966	16	8
1	Aguacate	1.05042262	16	8
1	Estorac	7.25109921	20	6
1	Estorac	0.90400008	9	0
1	Estorac	0.94856346	22	7
1	Aguacate	0.8467043	12	2
1	Aguacate	1.90985932	22	9
1	Aguacate	1.48332407	25	6
1	Estorac	0.54112681	20	10
2	Aguacate	1.01859164	17	3

Parcela	Especie	DAP (m)	Altura (m)	Copa
2	Sandío	0.66845076	11	4
2	Estorac	0.8467043	20	5
2	Estorac	0.44563384	10	2
2	Aguacate	0.96129586	15	4
2	Aguacate	0.8403381	18	3
2	Encino	1.01859164	12	5
2	Estorac	0.42653525	15	2
2	Encino	0.68118316	10	2
2	Estorac	0.89126768	25	4
2	Estorac	1.29870434	15	4
2	Encino	1.35600012	25	5
2	Peineto	0.20371833	6	2
2	Jocote	1.13954939	15	4
2	Aguacate	2.20907061	20	6
2	Encino	0.78940852	15	7
2	Jocote	0.78940852	15	3
2	Encino	1.14591559	10	5
2	Encino	0.64298597	12	3
2	Sandío	0.81487331	15	3
2	Peineto	0.31194369	10	5
2	Plomillo	0.2673803	8	2
2	Estorac	2.02445088	12	3
2	Sandío	0.59205639	15	2
2	Peineto	0.89126768	8	1
2	Estorac	0.66208456	16	3

### Anexo 8. Hojas de datos de campo en parcelas forestales de parche 7

Parche 7				
Parcela	Especie	DAP	Altura	Copa
1	Aguacate	0.6111555	30	0
1	Mazurco	3.05577749	40	15
1	Matasano	0.34377497	10	4
1	Mazurco	0.25464812	10	10
1	Matasano	0.26738053	10	5
1	Arialaceae	0.52839486	15	3
1	Desconocido 1	0.85307122	22	10

1	Zapotillo	0.87216982	20	5
1	Zapotillo	0.53476106	18	4
1	Aguacate	0.85	25	10
1	Manzano	0.84033881	25	10
1	Desconocido 2	0.38197219	25	3
1	Mimosa sp.	0.44563422	25	3
1	Duraznillo	0.65	30	10
1	Duraznillo	0.89126843	30	5
1	Duraznillo	0.45	30	8
1	Duraznillo	0.31831016	30	8
1	Siete camisas	0.44563422	12	3
1	Siete camisas	0.35650737	30	4
1	Papelillo	0.49019764	15	5
1	Cacho	0.61	30	7
1	Zapotillo	0.56	30	4
1	Aguacate	0.83	30	10
1	Cacho	0.6	30	6
2	Manzano	0.67	30	7
2	Manzano	0.56022587	10	3
2	Mimosa sp.	0.92	35	10
2	Duraznillo	0.66	30	10
2	Aguacate	0.63662031	30	8
2	Mimosa sp.	0.85943742	30	4
2	Manzano	0.45	28	6
2	Cacho	0.9	30	10
2	Zapotillo	0.22	25	4
2	Chilillo	0.2037185	10	3
2	Aguacate	0.6	30	12
2	Matasano	0.39470459	25	4
2	Aguacate	0.6	30	12
2	Matasano	0.49019764	20	4
2	Palo blanco	0.22281711	10	2
2	Aguacate	0.45	25	8
2	Aguacate	0.55	35	12
2	Mimosa sp.	0.70028234	18	15
2	Mazurco	0.38197219	12	4
2	Palo blanco	0.52839486	20	2
2	Mimosa sp.	0.42653561	6	4
2	Aguacate	0.92309945	30	9
2	Aguacate	0.31194395	30	5
2	Aguacate	0.84670501	30	8
2	Aguacate	0.84670501	30	5
2	Mimosa sp.	0.47746523	10	4
2	Zapotillo	0.31831016	30	6

## C. Hojas de datos de aves

### Anexo 9. Hojas de datos de campo en avistamiento de aves de parche 1

<b>Hoja de toma de datos de aves</b>				<b>Hoja de toma de datos de aves</b>		
Fecha: 03 de marzo de 2015				Fecha: 01 de abril de 2015		
Código de transecto: 0101				Código de transecto: 0103		
Clima: Frío, un poco nublado				Clima: Cálido		
Observadores: Mariana Solis, Javier Solis				Observadores: Mariana Solis, Javier Solis		
Hora de inicio: 06:00 a.m.				Hora de inicio: 06:00		
Hora de finalización: 7:00 a.m.				Hora de finalización: 07:25		
<b>Hoja de toma de datos de aves</b>				<b>Hoja de toma de datos de aves</b>		
Fecha: 19 de marzo de 2015				Fecha: 17 de abril de 2015		
Código de transecto: 0102				Código de transecto: 0104		
Clima: Caluroso				Clima: Soleado		
Observadores: Mariana Solis, Javier Solis				Observadores: Mariana Solis, Javier Solis		
Hora de inicio: 06:00				Hora de inicio: 6:00		
Hora de finalización: 07:20				Hora de finalización: 7:20		
101Especie	Número de individuos	Distancia	Sexo (M/H)	Edad (Adulto/juvenil)	Comportamiento*	Visual/auditivo
Trochillidae	1	A	?	A	S	O
Brown-backed Solitaire	2	B	?	A	S	O
Parulidae	1	A	?	A	S	O
Buffy-crowned Wood- Partridge	2	B	?	A	S	O
0102 Especie	Número de individuos	Distancia	Sexo (M/H)	Edad (Adulto/juvenil)	Comportamiento*	Visual/auditivo
Yellow-throated warbler	1	A	?	A	S	O
Emerald Toucanet	1	B	?	A	S	O
Philadelphia vireo	1	A	?	A	S	O
Clay-colored thrush	1	C	?	A	S	O
Rufous-browed wren	1	A	?	A	S	O
Brown-backed Solitaire	1	B	?	A	S	O
Trochillidae	1	A	?	A	S	O
Acorn woodpecker	1	B	?	A	S	O
Buffy-crowned Wood- Partridge	1	B	?	A	S	O
Blue-throated motmot	1	B	?	A	S	O

0103 Especie	Número de individuos	Distancia	Sexo (M/H)	Edad (Adulto/juvenil)	Comportamiento*	Visual/auditivo
Emerald toucanet	1	A	?	A	S	O
103Especie	Número de individuos	Distancia	Sexo (M/H)	Edad (Adulto/juvenil)	Comportamiento*	Visual/auditivo
Blue-throated motmot	1	A	?	A	S	O
Singing quail	1	A	?	A	S	O
Clay-colored thrush	1	A	?	A	S	O
Trochilidae	1	A	?	A	F	O
Brown-backed solitaire	1	B	?	A	S	O
Acorn woodpecker	1	B	?	A	S	O
Maroon-chested ground-dove	1	B	?	A	S	O
Crescent-chested warbler	1	A	?	A	S	O
Dusky-capped flycatcher	1	B	?	A	S	O
White-faced quail-dove	1	B	?	A	S	O
Canada warbler	1	A	?	A	S	O
Black thrush	3	A	M	A	S, P	V
Blue and white mockingbird	1	B	?	A	FO	V
Rusty sparrow	1	A	?	A	P	V
Chinchibulín	1	A	?	A	S	O
Eastern bluebird	1	B	?	A	P	V
0104 Especie	Número de individuos	Distancia	Sexo (M/H)	Edad (Adulto/juvenil)	Comportamiento*	Visual/auditivo
Slate-throated redstart	2	A	?	A	P	V
buffy-crowned woodpatridge	1	B	?	A	S	O
Chestnut-capped brushfinch	1	A	?	A	F	V
Hutton's vireo	1	A	?	A	S	O
Crescent-chested warbler	1	A	?	A	S	O
Brown-backed Solitaire	1	B	?	A	S	O
white-eared hummingbird	1	A	?	A	F	V
Mountain trogon	1	C	?	A	S	O
Acorn woodpecker	1	A	?	A	S	O
Highland guan	1	C	?	A	S	O
White-faced quail dove	1	C	?	A	S	O
Hepatic tanager	1	A	?	A	S	O

## Anexo 10. Hojas de datos de campo en avistamiento de aves de parche 2

<b>Hoja de toma de datos de aves</b>			<b>Hoja de toma de datos de aves</b>			
Fecha: 12 de marzo de 2015			Fecha: 26 de marzo de 2015			
Código de transecto: 0201			Código de transecto: 0202			
Clima: Frío, no muy soleado			Clima: Un poco nublado			
Observadores: M. Solis, J. Solis, Narciso Dávila			Observadores: Mariana Solis, Javier Solis			
Hora de inicio: 06:15			Hora de inicio: 06:10			
Hora de finalización: 08:30			Hora de finalización: 08:10			
<b>Hoja de toma de datos de aves</b>			<b>Hoja de toma de datos de aves</b>			
Fecha: 6 de abril de 2015			Fecha: 8 de abril de 2015			
Código de transecto: 0203			Código de transecto: 0204			
Clima: Soleado			Clima: Soleado			
Observadores: Mariana Solis, Javier Solis			Observadores: Mariana Solis, Javier Solis			
Hora de inicio: 6:15			Hora de inicio: 6:10			
Hora de finalización: 08:00			Hora de finalización: 08:15			
0201 Especie	Número de individuos	Distancia	Sexo (M/H)	Edad (Adulto/juvenil)	Comportamiento*	Visual/auditivo
Brown-backed Solitaire	3	B	?	A	S	O
Clay-colored thrush	1	A	?	A	S	O
Black-billed cuckoo	1	B	M	A	S	O
Elegant trogon	1	A	?	A	P	V
Trochillidae	1	A	?	A	FO	O
Highland guan	1	A	?	A	S	O
Black-capped swallow	5	A	?	A	FO	V
0202 Especie	Número de individuos	Distancia	Sexo (M/H)	Edad (Adulto/juvenil)	Comportamiento*	Visual/auditivo
Brown-backed solitaire	1	A	?	A	S	O
Crescent-chested warbler	1	A	?	A	S	O
Yellow-billed cuckoo	1	A	?	A	S	O
Highland guan	1	B	?	A	S	O
Emerald toucanet	1	A	?	A	S	O
Black-throated jay	3	B	?	A	S	O
Yellow warbler	1	A	?	A	S	O
Emberizidae	1	A	?	A	S	O
Unspotted whet owl	1	C	?	A	S	O
Crescent-chested warbler	1	A	H	A	S	O
202Especie	Número de individuos	Distancia	Sexo (M/H)	Edad (Adulto/juvenil)	Comportamiento*	Visual/auditivo
Cassin's	1	A	?	A	S	O

kingbird						
Elegant trogon	1	A	?	A	S	O
Painted redstart	1	A	?	A	P	V
Least flycatcher	1	A	?	A	P	V
Singing quail	1	A	?	A	FT	V
Cuculidae	1	A	?	A	S	O
Thraupidae	1	A	?	A	S	O
Rufous-browed wren	1	A	?	A	S	O
Buffy-crowned woodpartridge	2	A	?	A	F	V
0203 Especie	Número de individuos	Distancia	Sexo (M/H)	Edad (Adulto/juvenil)	Comportamiento*	Visual/auditivo
Dusky-capped flycatcher	1	B	?	A	S	O
Crescent-chested warbler	1	A	?	A	S	O
white-faced quail dove	2	C	?	A	S	O
Brown-backed Solitaire	3	B	?	A	S	O
Rufous-browed wren	1	A	?	A	S	O
collared trogon	2	C	?	A	S	O y V
Emerald toucanet	1	A	?	A	S	O
0204 Especie	Número de individuos	Distancia	Sexo (M/H)	Edad (Adulto/juvenil)	Comportamiento*	Visual/auditivo
white-faced quail-dove	1	B	?	A	S	O
Bushy-crested jay	1	B	?	A	S	O
Dusky-capped flycatcher	1	C	?	A	S	O
brown-backed Solitaire	1	C	?	A	S	O
Rudy-foilage gleaner	1	A	?	A	FT	V
Grey-silky flycatcher	1	A	?	A	FO	O

## Anexo 11. Hojas de datos de campo en avistamiento de aves de parche 3

<b>Hoja de toma de datos de aves</b>			<b>Hoja de toma de datos de aves</b>			
Fecha: 26 de febrero			Fecha: 18 de marzo de 2015			
Código de transecto: 0301			Código de transecto: 0302			
Clima: templado, sin nubes			Clima: cálido			
Observadores: Mariana Solis, Javier Solis			Observadores: Mariana Solis, Javier Solis			
Hora de inicio: 6:20 a.m.			Hora de inicio: 06:15			
Hora de finalización: 7:05 a.m.			Hora de finalización: 07:30			
<b>Hoja de toma de datos de aves</b>			<b>Hoja de toma de datos de aves</b>			
Fecha: 27 de marzo de 2015			Fecha: 13 de abril de 2015			
Código de transecto: 0303			Código de transecto: 0304			
Clima: templado			Clima: Soleado			
Observadores: Mariana Solis, Javier Solis			Observadores: Mariana Solis, Javier Solis			
Hora de inicio: 06:00			Hora de inicio: 6:00 a.m.			
Hora de finalización: 07:15			Hora de finalización: 7:15 a.m.			
0301 Especie	Individuos	Distancia	Sexo (M/H)	(Adulto/juvenil)	Comportamiento*	Visual/auditivo
Brown-backed Solitaire	2	C	?	A	S	O
White-eared hummingbird	1	A	?	A	FT	V
Eastern bluebird	1	B	?	A	S	O
White-faced Quail-Dove	2	A	?	A	S	O
Highland guan	1	C	?	A	S	O
0302 Especie	Individuos	Distancia	Sexo (M/H)	Edad (Adulto/juvenil)	Comportamiento*	Visual/auditivo
Brown-backed Solitaire	1	B	?	A	S	O
White-faced Quail-Dove	1	C	?	A	S	O
White-eared hummingbird	1	A	M	A	F	V
Yellow warbler	1	A	?	A	S	O
Clay-colored thrush	1	A	?	A	S	O
Picidae	1	B	?	A	F	O
0303 Especie	Individuos	Distancia	Sexo (M/H)	(Adulto/juvenil)	Comportamiento*	Visual/auditivo
Maroon-chest ground-dove	1	B	?	A	S	O
Buffy-crowned woodpartridge	1	C	?	A	S	O
Band-backed wren	3	A	?	A	S	O
Brown-backed solitaire	1	B	?	A	S	O
0303 Especie	Número de individuos	Distancia	Sexo (M/H)	Edad (Adulto/juvenil)	Comportamiento*	Visual/auditivo
Bushy-crested jay	1	A	?	A	S	O
Blue-throated motmot	1	B	?	A	S	O
Rufous-collared thrush	1	B	?	A	S	O

Acorn woodpecker	1	A	?	A	S	O
0304Especie	Número de individuos	Distancia	Sexo (M/H)	Edad (Adulto/juvenil)	Comportamiento*	Visual/auditivo
Brown-backed Soliaire	1	B	?	A	S	O
Buffy-crowned woodpatridge	2	C	?	A	S	O
Crescent-chest warbler	mas de 5	A	?	A	P	V
Chestnut-capped brushfinch	2	A	?	A	P	V
Rufous-collared thrush	2	B	?	A	S	O
Clay-colored robin	1	A	?	A	S	O
Rufous-browed wren	1	A	?	A	S	O
Wilson's Warbler	1	A	?	A	S	O
Highland guan	1	C	?	A	S	O

#### Anexo 12. Hojas de datos de campo en avistamiento de aves de parche 4

<p><b>Hoja de toma de datos de aves</b></p> <p>Fecha: _25 de febrero_____</p> <p>Código de transecto: 0401</p> <p>Clima: templado, sin nubes</p> <p>Observadores: Mariana Solis, Javier Solis</p> <p>Hora de inicio: 6:00 a.m.</p> <p>Hora de finalización: 7:00 a.m.</p>		<p><b>Hoja de toma de datos de aves</b></p> <p>Fecha: 17 de marzo de 2015</p> <p>Código de transecto: 0402</p> <p>Clima: caluroso</p> <p>Observadores: Mariana Solis, Javier Solis</p> <p>Hora de inicio: 6:00</p> <p>Hora de finalización: 07:15</p>				
<p><b>Hoja de toma de datos de aves</b></p> <p>Fecha: 25 de marzo de 2015</p> <p>Código de transecto: 0403</p> <p>Clima: cálido</p> <p>Observadores: Mariana Solis, Javier Solis</p> <p>Hora de inicio: 06:20</p> <p>Hora de finalización: 07:10</p>		<p><b>Hoja de toma de datos de aves</b></p> <p>Fecha: 7 de abril de 2015</p> <p>Código de transecto: 0404</p> <p>Clima: despejado</p> <p>Observadores: Mariana Solis, Javier Solis</p> <p>Hora de inicio: 06:10</p> <p>Hora de finalización: 07:00</p>				
0401Especie	Número de individuos	Distancia	Sexo (M/H)	Edad (Adulto/juvenil)	Comportamiento*	Visual/auditivo
Buffy-crowned Wood- Patridge	2	B	?	A	S	O
0401Especie	Número de individuos	Distancia	Sexo (M/H)	Edad (Adulto/juvenil)	Comportamiento*	Visual/auditivo
Brown-backed Solitaire	más de 3	B	?	A	S	O
Black-billed cuckoo	1	A	?	A	S	O
White-faced Quail-Dove	2	A	?	A	S	O
Grey-silky Flycatcher	1	A	?	A	P	V
Golden Fronted Woodpecker	1	A	?	A	S	O

Acorn woodpecker	1	A	?	A	S	O
Band-backed wren	1	A	?	A	S	O
Highland guan	1	A	?	A	S	O
0402 Especie	Individuos	Distancia	Sexo (M/H)	(Adulto/juvenil)	Comportamiento*	Visual/auditivo
Buffy-crowned wood-patridge	Más de 3	B	?	?	S	O
Slate-throated Redstart	4	A	?	?	P	V
Trochillidae	1	A	?	?	FT	O
White-faced Quail-Dove	1	C	?	?	S	O
Brown-backed Solitaire	2	B	?	?	S	O
Philadelphia vireo	1	B	?	?	S	O
Band-backed wren	Más de 3	A	?	?	S	O
0402 Especie	Individuos	Distancia	Sexo (M/H)	(Adulto/juvenil)	Comportamiento*	Visual/auditivo
Buffy-crowned wood-patridge	Más de 3	B	?	?	S	O
Slate-throated Redstart	4	A	?	?	P	V
Trochillidae	1	A	?	?	FT	O
White-faced Quail-Dove	1	C	?	?	S	O
Brown-backed Solitaire	2	B	?	?	S	O
Philadelphia vireo	1	B	?	?	S	O
Band-backed wren	Más de 3	A	?	?	S	O
0403 Especie	Individuos	Distancia	Sexo (M/H)	(Adulto/juvenil)	Comportamiento*	Visual/auditivo
Band-backed wren	3	A	?	A	S	O
Brown-backed Solitaire	1	B	?	A	S	O
Bushy-crested Jay	1	A	?	A	S	O
Motmot	1	A	?	A	S	O
Rufous-collared thrush	1	B	?	A	S	O
Buffy-crowned wood-patridge	1	C	?	A	S	O
0404 Especie	Individuos	Distancia	Sexo (M/H)	(Adulto/juvenil)	Comportamiento*	Visual/auditivo
Brown-backed solitaire	1	B	?	?	S	O
Band-backed wren	1	A	?	?	S	O
Golden-crowned kinglet	1	A	?	?	S	O
Yellow warbler	1	A	?	?	S	O

## Anexo 13. Hojas de datos de campo en avistamiento de aves de parche 5

<b>Hoja de toma de datos de aves</b>				<b>Hoja de toma de datos de aves</b>			
Fecha: 05 de marzo de 2015				Fecha: 21 de marzo de 2015			
Código de transecto: 0501				Código de transecto: 0502			
Clima: Caluroso, soleado				Clima: Caluroso			
Observadores: Mariana Solis, Javier Solis				Observadores: Mariana Solis, Javier Solis			
Hora de inicio: 06:15				Hora de inicio: 06:20			
Hora de finalización: 07:30				Hora de finalización: 07:50			
<b>Hoja de toma de datos de aves</b>				<b>Hoja de toma de datos de aves</b>			
Fecha: 09 de abril de 2015				Fecha: 12 de abril de 2015			
Código de transecto: 0503				Código de transecto: 0504			
Clima: Caluroso				Clima: Caluroso			
Observadores: Mariana Solis, Javier Solis				Observadores: Mariana Solis, Javier Solis			
Hora de inicio: 6:00				Hora de inicio: 6:00			
Hora de finalización: 07:15				Hora de finalización: 07:30			
0501 Especie	Número de individuos	Distancia	Sexo (M/H)	Edad (Adulto/juvenil)	Comportamiento *	Visual/auditivo	
Brown-backed Solitaire	2	B	?	A	S	O	
White-faced Quail-Dove	1	A	?	A	S	O	
Trochillidae	1	A	?	A	FO	V	
Emerald Toucanet	1	C	?	A	S	O	
Blue-throated motmot	1	A	?	A	S	O	
Crescent-chested warbler	3	A	?	A	S y P	V	
0502 Especie	Número de individuos	Distancia	Sexo (M/H)	Edad (Adulto/juvenil)	Comportamiento *	Visual/auditivo	
Emerald Toucanet	más de 3	A	?	A	S	O	
Crescent-Chested warbler	más de 4	A	?	A	S and P	V	
Rufous-browed wren	1	A	?	A	S	O	
Brown-backed Solitaire	1	B	?	A	S	O	
0502 Especie	Número de individuos	Distancia	Sexo (M/H)	Edad (Adulto/juvenil)	Comportamiento *	Visual/auditivo	
Grey-silky flycatcher	1	A	?	A	S	O	
Acorn woodpecker	1	B	?	A	S	O	
Golden crowned kinglet	1	B	?	A	S	O	
Dusky-capped flycatcher	1	B	?	A	S	O	

Black-throated jay	1	A	?	A	S	O
Whip-poor-will	1	A	?	A	FO	V
0503 Especie	Número de individuos	Distancia	Sexo (M/H)	Edad (Adulto/juvenil)	Comportamiento *	Visual/auditivo
Brown-backed solitaire	1	A	?	A	S	O
Crescent-chested warbler	1	A	?	A	S	O
Rufous-browed wren	1	A	?	A	S	O
Black-capped swallow	1	A	?	A	FO	V
Blue-throated motmot	3	B	?	A	S	O
White faced quail-dove	1	C	?	A	S	O
Singing quail	1	A	?	A	S	O
0504 Especie	Número de individuos	Distancia	Sexo (M/H)	Edad (Adulto/juvenil)	Comportamiento *	Visual/auditivo
Acorn woodpecker	1	A	?	A	S	O
Crescent chested warbler	3	A	?	A	S	O
Brown-backed solitaire	2	A	?	A	S	O
Rufous-collared thrush	1	A	?	A	S	O
Dusky-capped flycatcher	1	A	?	A	S	O
Yellow warbler	1	A	?	A	S	O
Golden-crowned warbler	1	A	?	A	P	V
Emerad toucanet	1	B	?	A	S	O
Mountain trogon	1	C	?	A	S	O
Blue grosbeak	1	A	?	A	S	O
Clay-colored robin	1	B	?	A	P	V

## Anexo 14. Hojas de datos de campo en avistamiento de aves de parche 6

0601 Especie		Número de individuos	Distancia	Sexo (M/H)	Edad (Adulto/juvenil)	Comportamiento*	Visual/auditivo
Vireonidae		1	A	?	A	S	O
Acorn woodpecker		1	A	?	A	S	O
Wilson's warbler		1	A	?	A	S	O
0602 Especie		Número de individuos	Distancia	Sexo (M/H)	Edad (Adulto/juvenil)	Comportamiento*	Visual/auditivo
Hepatic tanager		2	A	?	A	S	O
Wilson's warbler		1	A	?	A	FO	V
Brown-backed solitaire		1	B	?	A	S	O
Miquito		1	B	?	A	S	O
Crescent-chested warbler		1	A	?	A	S	O
Buffy-crowned woodpatridge		1	C	?	A	S	O
White-eared hummingbird		1	A	?	A	F	V
Mangrove warbler		1	A	?	A	S	O
Steller's jay		1	A	?	A	S	O
Bushy-crested jay		1	A	?	A	S	O

0603 Especie	Número de individuos	Distancia	Sexo (M/H)	Edad (Adulto/juvenil)	Comportamiento*	Visual/auditivo
Rufus-collared thrush	1	A	?	A	S	O
Crescent-chested warbler	2	A	?	A	S	O
Brown-backed solitaire	1	A	?	A	S	O
Dusky-capped flycatcher	1	A	?	A	S	O
Mangrove warbler	1	A	?	A	S	O
White-eared hummingbird	1	A	?	A	F	V
Golden Olive woodpecker	1	A	?	A	P	V
0604 Especie	Número de individuos	Distancia	Sexo (M/H)	Edad (Adulto/juvenil)	Comportamiento*	Visual/auditivo
Trochillidae	1	A	?	A	FO	V
Singing quail	1	A	?	A	S	O
Dusky-capped flycatcher	1	A	?	A	S	O
Crescent-chested warbler	1	A	?	A	S	O
Rufous-browed wren	1	A	?	A	S	O
Yellow warbler	1	A	?	A	S	O
Acorn woodpecker	1	A	?	A	S	O
Brown-backed solitaire	1	B	?	A	S	O
Black billed cuckoo	1	B	?	A	S	O
Emerald toucanet	1	B	?	A	S	O
Band-backed wren	1	A	?	A	S	O
Mountain trogon	1	C	?	A	S	V

## Anexo 15. Hojas de datos de campo en avistamiento de aves de parche 7

<b>Hoja de toma de datos de aves</b>			<b>Hoja de toma de datos de aves</b>			
Fecha: 14 de marzo de 2015			Fecha: 24 de marzo de 2015			
Código de transecto: 0701			Código de transecto: 0802			
Clima: Caluroso			Clima: Soleado			
Observadores: Mariana Solis, Javier Solis, Hugo Montenegro			Observadores: Mariana Solis, Javier Solis			
Hora de inicio: 06:15			Hora de inicio: 06:15			
Hora de finalización: 08:30			Hora de finalización: 07:30			
<b>Hoja de toma de datos de aves</b>			<b>Hoja de toma de datos de aves</b>			
Fecha: 15 de abril de 2015			Fecha: 4 de abril de 2015			
Código de transecto: 0703			Código de transecto: 0704			
Clima: Soleado			Clima: Caluroso			
Observadores: Mariana Solis, Javier Solis			Observadores: Mariana Solis, Javier Solis			
Hora de inicio: 6:15			Hora de inicio: 06:15 a.m.			
Hora de finalización: 08:00			Hora de finalización: 07:45			
0701 Especie	Número de individuos	Distancia	Sexo (M/H)	Edad (Adulto/juvenil)	Comportamiento*	Visual/auditivo
Bushy-crested jay	más de 2	A	?	A	S	O
Rose-breasted grosbeak	1	A	?	A	P	V
Townsend's warbler	3	A	?	A	P	V
Slate-throated Redstart	2	A	M	A	P y S	V
Brown-backed Solitaire	2	B	?	A	S	O
Brown-backed Solitaire	1	B	?	A	FT	V
Grey-silky Flycatcher	más de 2	A	?	A	S	O
White-faced Quail-Dove	1	A	?	A	S	O
Wilson's warbler	1	B	?	A	S	O
Noerthern flicker	1	B	?	A	S	O
White-winged dove	1	C	?	A	S	O
Highland guan	1	C	?	A	S	O
Emerald Toucanet	1	A	?	A	S	O
0702 Especie	Número de individuos	Distancia	Sexo (M/H)	Edad (Adulto/juvenil)	Comportamiento*	Visual/auditivo
Brown-backed solitaire	2	A	?	A	S	O
Singing quail	4	B	?	A	FO	Visual/auditivo

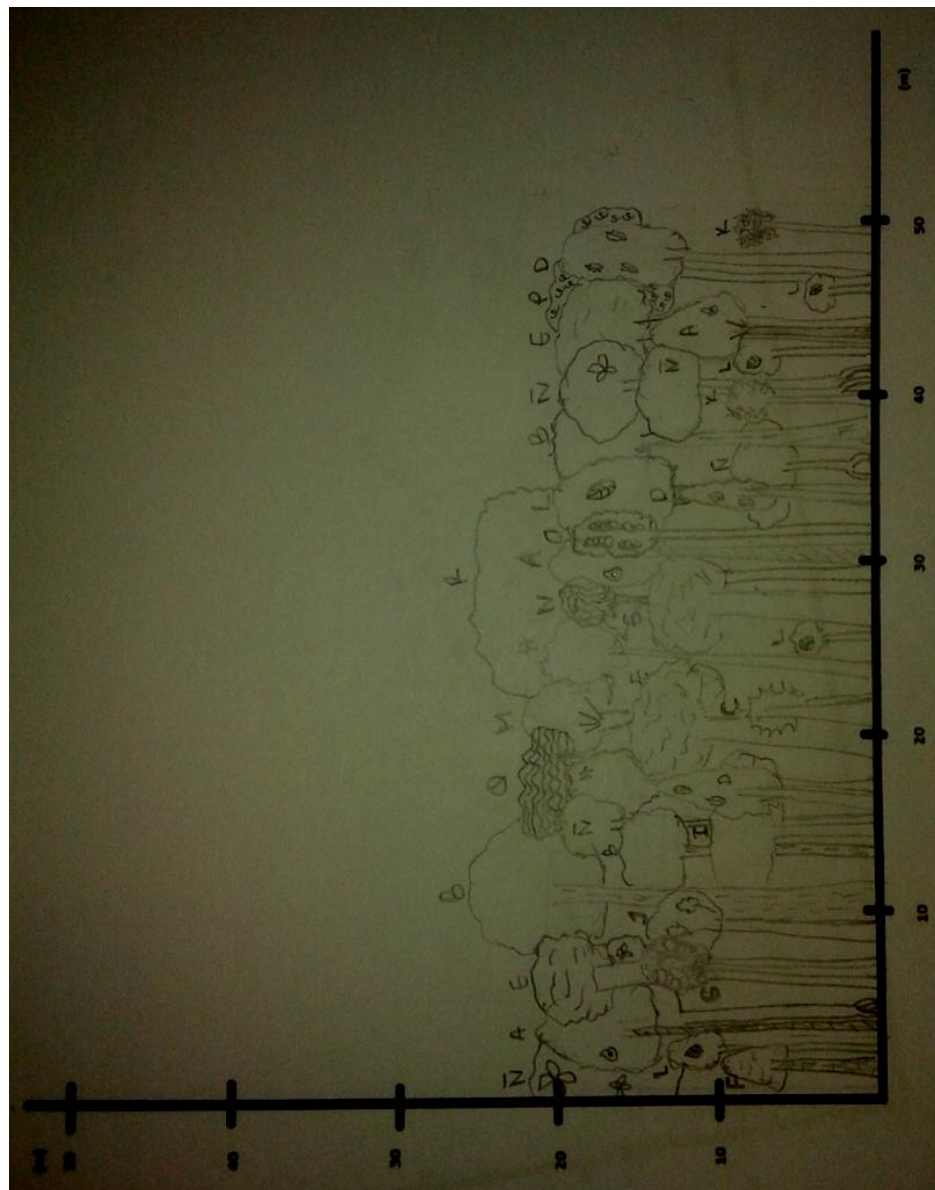
0702 Especie	Individuos	Distancia	Sexo (M/H)	(Adulto/juvenil)	Comportamiento*	Visual/auditivo
Grey-silky flycatcher	1	A	?	A	S	O
Golden-crowned kinglet	1	A	?	A	S	O
Crescent-chested warbler	1	A	?	A	S	O
Acorn woodpecker	1	A	?	A	S	O
Myoborus miniatus	1	A	?	A	FO, S	V
Trochilidae	1	A	?	A	FO	V
Eastern wood pewee	1	A	?	A	S	O
Golondrina	1	A	?	A	FO	V
0703 Especie	Individuos	Distancia	Sexo (M/H)	(Adulto/juvenil)	Comportamiento*	Visual/auditivo
Unicolored jay	1	C	?	A	S	O
Brown-backed Solitaire	2	B	?	A	S	O
Emerald Toucanet	1	A	?	A	S	O
Buffy-crowned woodpatridge	1	C	?	A	S	O
White-faced quail-dove	1	B	?	A	S	O
Dusky-capped flycatcher	1	A	?	A	S	O
Singing quail	3	B	?	A	F	V
Bushy-crested jay	1	A	?	A	S	O
Crescent chested warbler	1	A	?	A	S	O
Elegant trogon	1	A	M	A	P	V
Grace's warbler	2	A	?	A	P	V
0704 Especie	Individuos	Distancia	Sexo (M/H)	(Adulto/juvenil)	Comportamiento*	Visual/auditivo
Collared trogon	1	B	?	A	S	O
Brown-backed solitaire	1	A	?	A	S	O
Bell's Vireo	2	A	?	A	S	O
Hepatic tanager	1	A	?	A	FT	V
Warbling vireo	1	A	?	A	S	O
Emerald toucanet	1	B	?	A	S	O
Common ground-dove	1	A	?	A	S	O
Hairy woodpecker	1	A	?	A	S	O
White-faced quail dove	1	B	?	A	S	O
Elegant trogon	1	A	?	A	S	O
Grey-silky flycatcher	1	A	?	A	S	O
Pine flycatcher	1	A	?	A	P	V
Crescent-chested warbler	2	A	?	A	S	O
Black-throated jay	1	C	?	A	S	O
Highland guan	1	C	?	A	S	O
Buffy-crowned woodpatridge	1	C	?	A	S	O
Dusky-capped flycatcher	1	B	?	A	S	O

## D. Índices y perfiles forestales

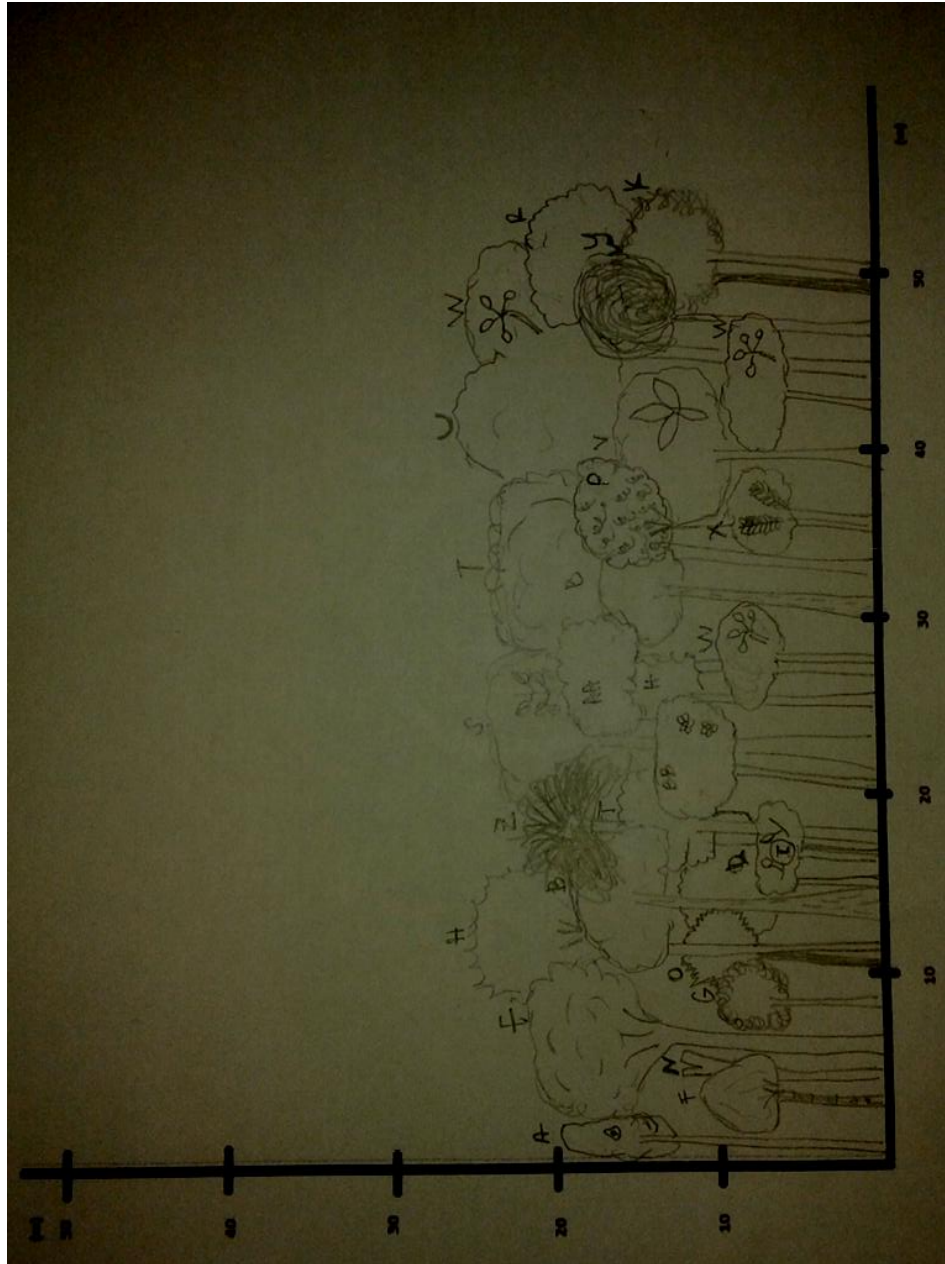
Anexo 16. IVI de especies forestales de parches en zonas montañosas de San José Pinula

Parche 1		Parche 2		Parche 3		Parche 4		Parche 5		Parche 6		Parche 7	
Especies	IVI	Especies	IVI	Especie	IVI	Especie	IVI	Especie	IVI	Especie	IVI	Especies	IVI
Aguacate	26.76	Aguacate	5.59	Aguacate	33.38	Cacho	49.63	Cacho	30.82	Aguacate	77.86	Aguacate	60.99
Cacho	28.50	Cacho	31.70	Capulín	6.34	Duraznillo	7.90	Duraznillo	6.37	Encino	53.33	Arialaceae	7.27
Chichicastillo	5.14	Cedro	7.26	Encino	54.31	Encino	15.49	Encino	39.57	Estorac	92.90	Cacho	22.23
Duraznillo	21.24	Morfoespecie 1	15.46	Estorac	6.34	Guayabillo	5.23	Flor de verano	6.10	Jocote	16.32	Chilillo	6.55
Encino	24.64	Morfoespecie 2	5.94	Helecho	19.24	Laurel	10.22	Jocote	9.43	Peineto	16.37	Morfoespecie 5	8.58
Estorac	5.27	Encino	26.09	Jocote	7.13	Manzanote	12.28	Laurel	19.09	Plomillo	11.33	Morfoespecie 6	7.46
Guayabillo	5.61	Estorac	17.56	Morfoespecie 3	5.79	Palo Blanco	10.32	Papelillo	31.90	Sandío	18.27	Duraznillo	29.27
Jocote	17.28	Guayabillo	5.12	Palo blanco	27.72	Papelillo	10.20	Morfoespecie 4	7.62	Sapuyulo	13.62	Manzano	23.71
Laurel	5.40	Jocote	25.35	Papelillo	27.76	Peineto	13.33	Pimiento	25.83			Matasano	19.66
Manzanote	8.49	Laurel	5.11	Plomillo	27.08	Pino	126.34	Plomillo	18.86			Mazurco	30.22
Palo blanco	13.87	Mano de León	5.59	Sandío	15.73	Plomillo	12.09	Sandío	36.14			Mimosa sp.	31.23
Papelillo	22.51	Mazurco	48.23	Tinajillo	16.82	Siete caldos	10.51	Zapotillo	68.29			Palo Blanco	9.82
Pimiento	16.16	Mimosa sp.	5.19	Zapotillo	44.74	Siete camisas	10.44					Papelillo	7.20
Plomillo	10.76	Palo Blanco	22.82	Pimiento	7.64	Yema de huevo	6.01					Siete Camisas	10.21
Sandío	31.72	Peineto	5.79									Zapotillo	25.62
Siete caldos	6.91	Pino	7.18										
Soguillo	13.33	Plomillo	5.24										
Yema de huevo	12.21	Sapuyulo	7.57										
Zapotillo	24.20	Siete caldos	8.29										
		Soguillo	7.66										
		Taxiscobo	6.12										
		Yema de huevo	13.48										
		Zapotillo	11.66										
	300.		300		300		300		300		300		300

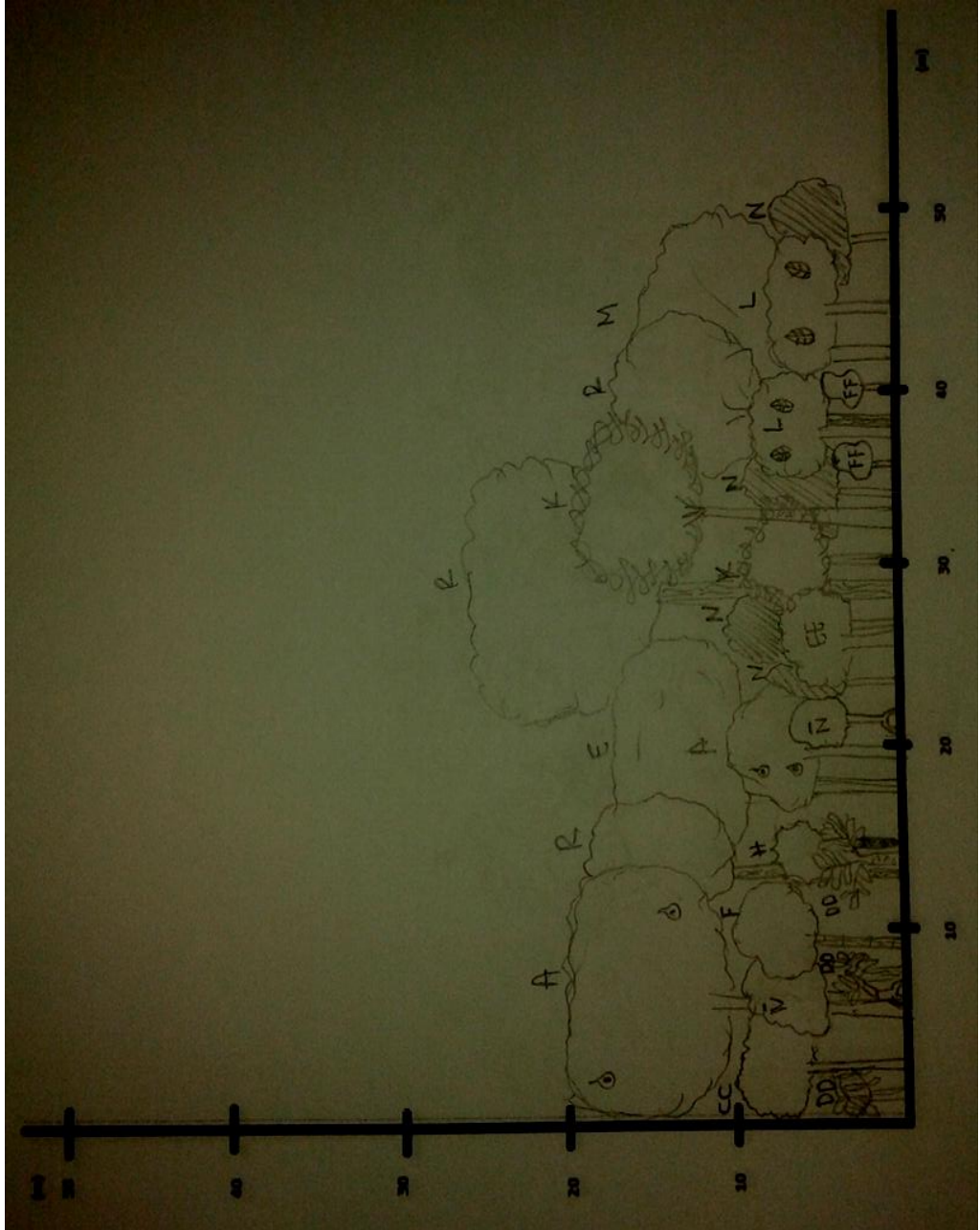
Anexo 17. Perfil forestal de Parche 1



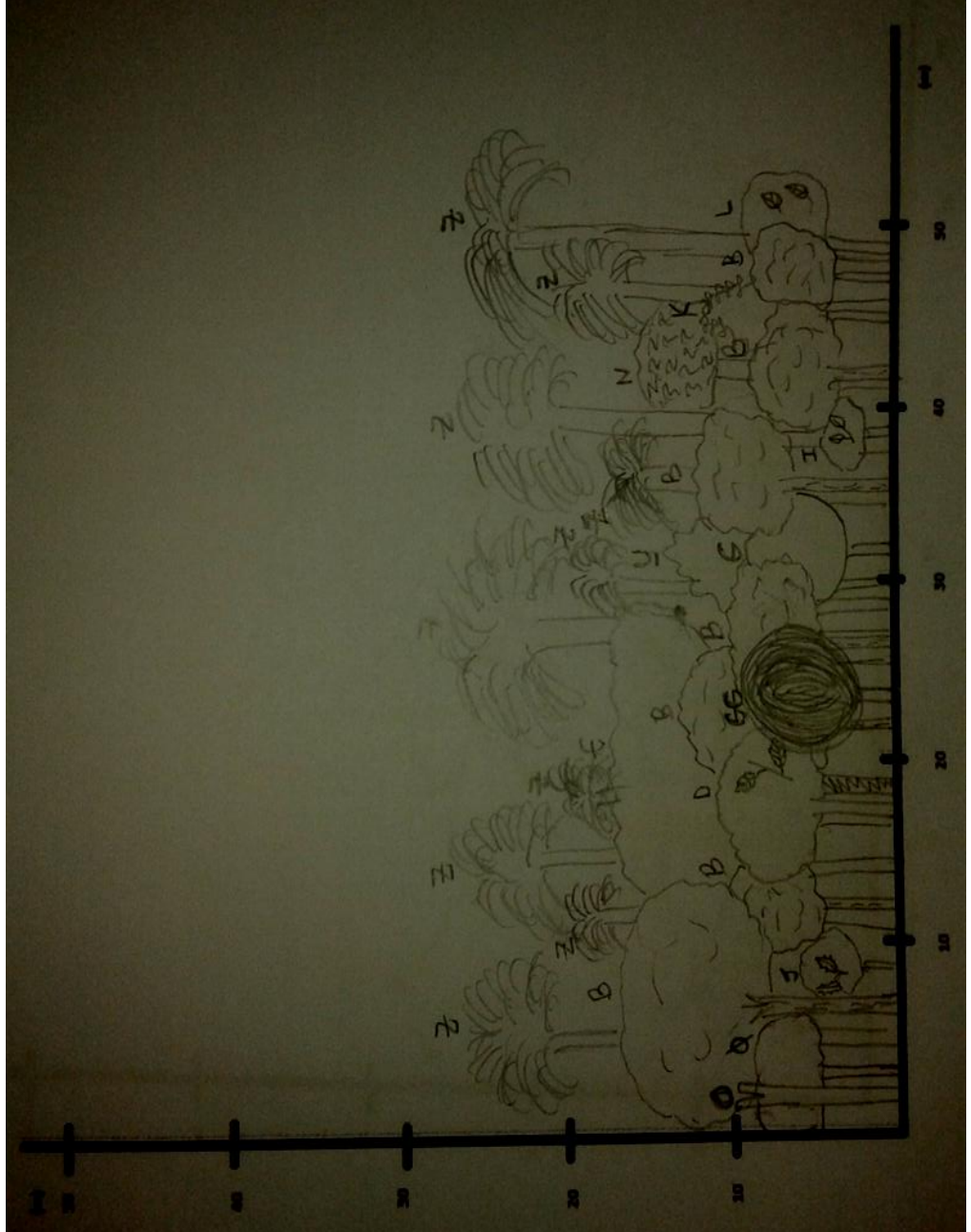
Anexo 18. Perfil forestal de Parche 2



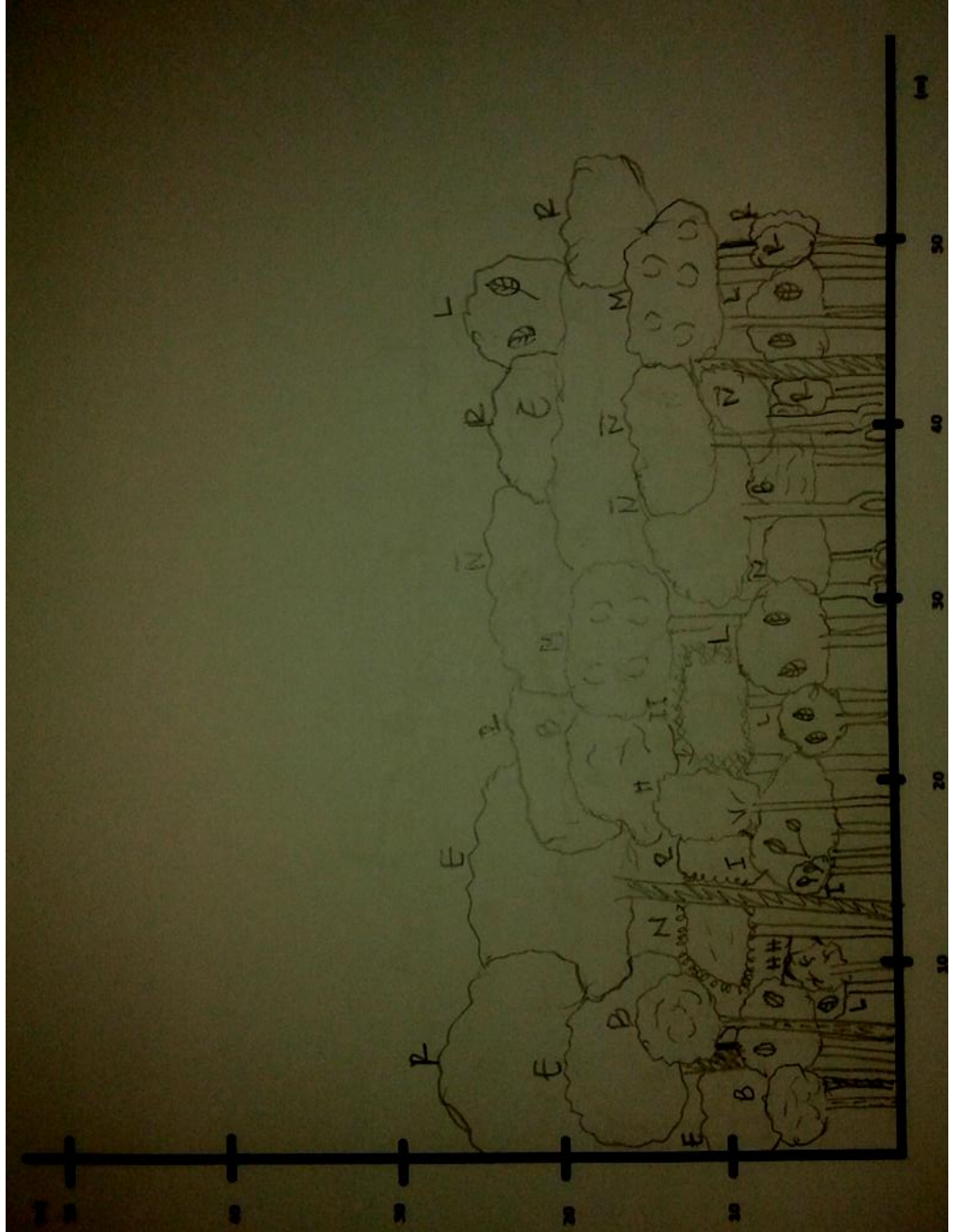
Anexo 19. Perfil forestal de Parche 3



Anexo 20. Perfil forestal de Parche 4

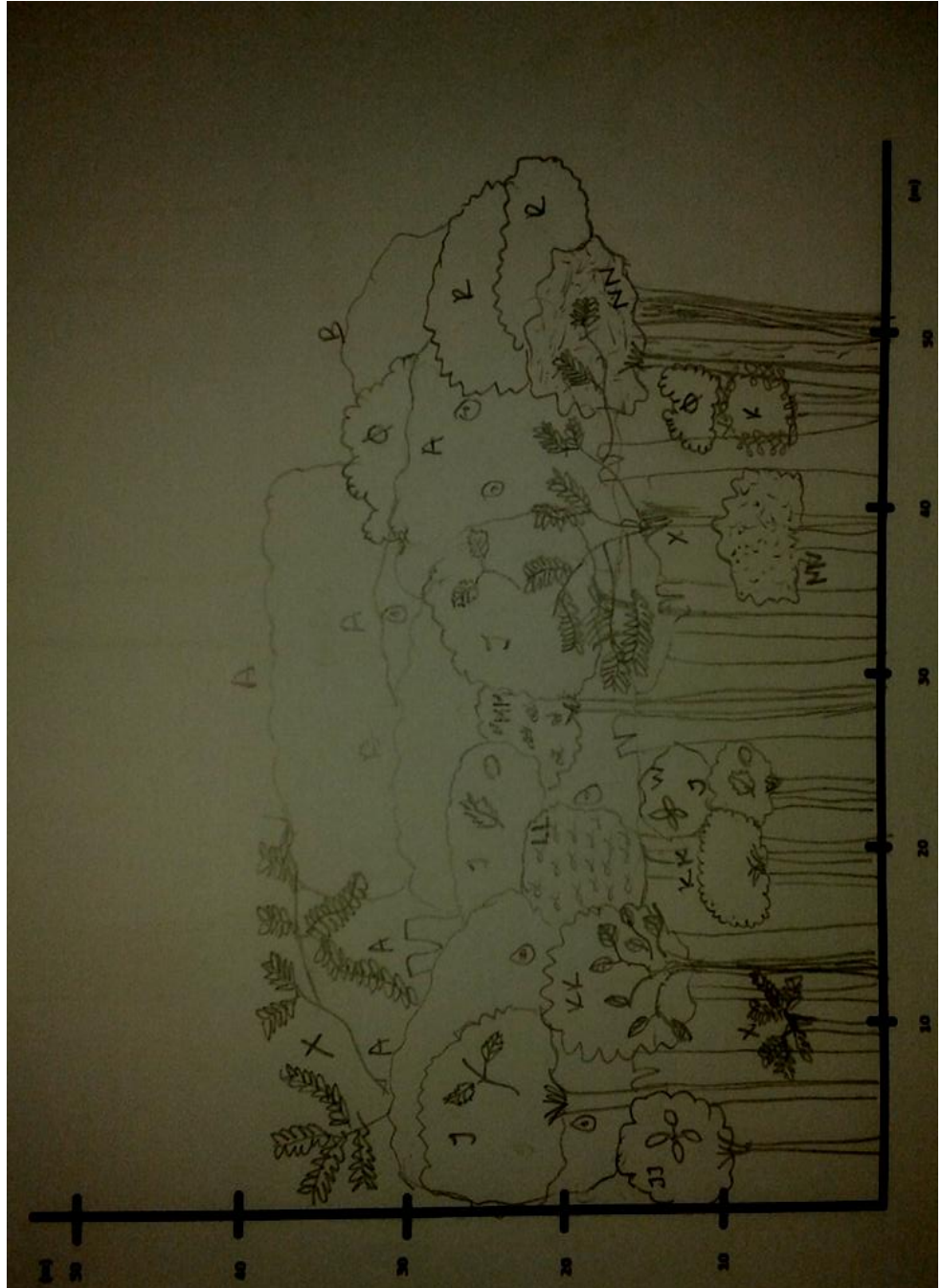


Anexo 21. Perfil forestal de Parche 5



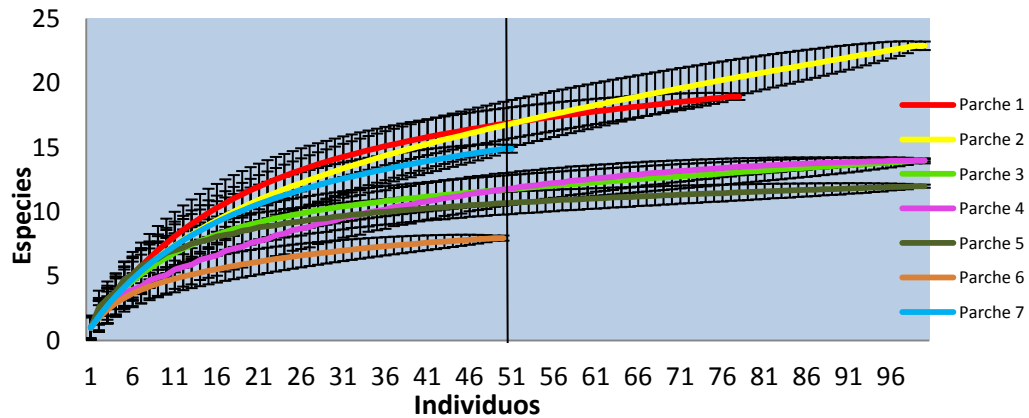


Anexo 23. Perfil forestal de Parche 7



## E. Curvas de rarefacción y de acumulación de especies

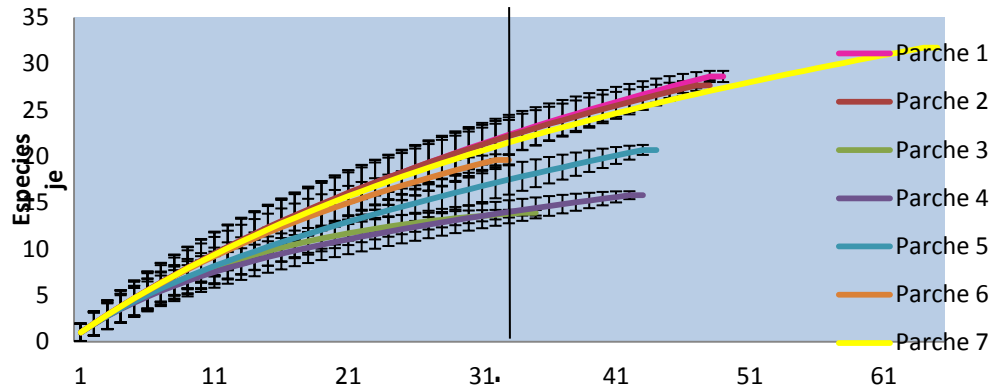
Anexo 24. Curvas de rarefacción para árboles en siete parches evaluados



Anexo 25. Estimación de riqueza de árboles con rarefacción en 50 individuos

Parches	Estimación finita	Error estándar
Parche 1	16.82	1.225
Parche 2	16.71	1.836
Parche 3	11.72	1.105
Parche 4	11.74	1.269
Parche 5	10.66	0.8772
Parche 6	7.96	0.1991
Parche 7	14.9	0.3113

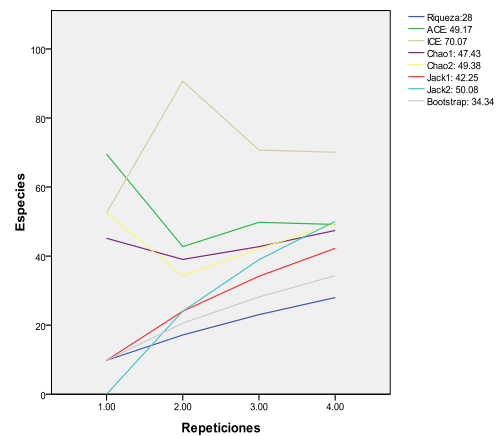
Anexo 26. Curvas de rarefacción para aves en siete parches evaluados



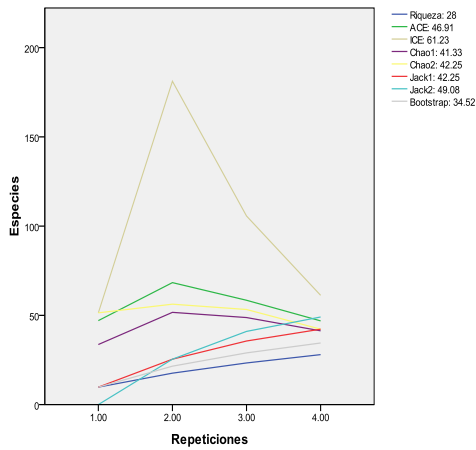
Anexo 27. Estimación de riqueza de aves con rarefacción en 33 individuos

Parches	Estimación finita	Error estándar
Parche 1	21.55	2.425
Parche 2	22.2	2.026
Parche 3	13.82	0.4144
Parche 4	14.02	1.241
Parche 5	17.5	1.627
Parche 6	19.63	0.5972
Parche 7	21.51	2.425

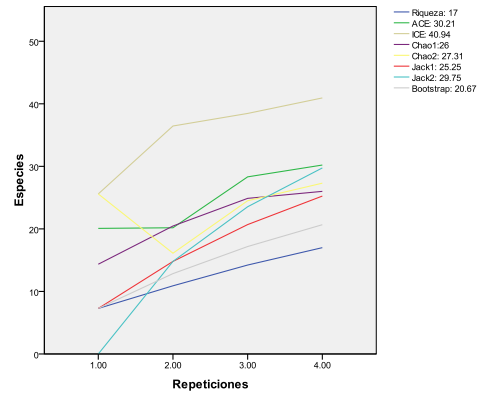
Anexo 28. Curvas de acumulación de riqueza de aves según estimadores no paramétricos de Parche 1



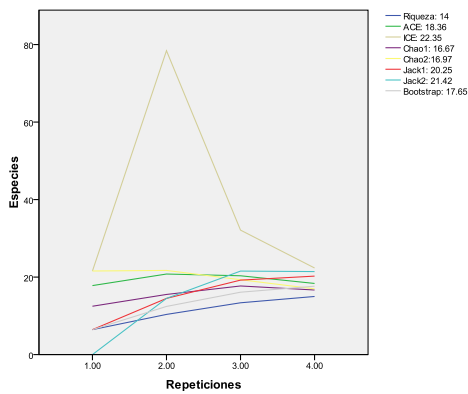
Anexo 29. Curvas de acumulación de riqueza de aves según estimadores no paramétricos de parche 2



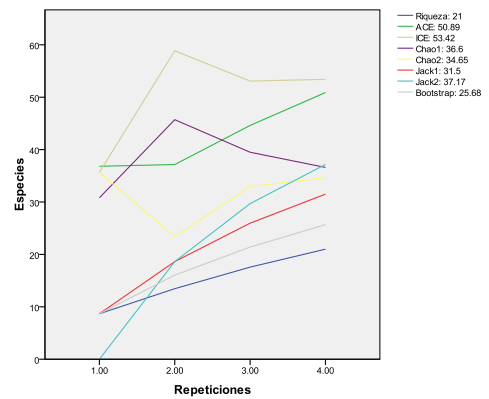
Anexo 31. Curvas de acumulación de riqueza de aves según estimadores no paramétricos de Parche 4



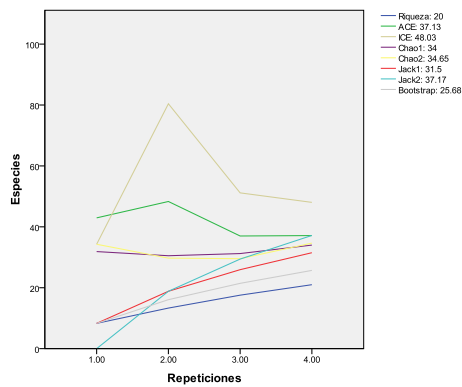
Anexo 30. Curvas de acumulación de riqueza de aves según estimadores no paramétricos de Parche 3



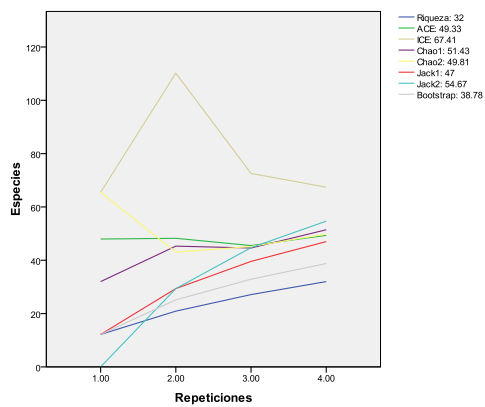
Anexo 32. Curvas de acumulación de riqueza de aves según estimadores no paramétricos de Parche 5



Anexo 33. Curvas de acumulación de riqueza de aves según estimadores no paramétricos de Parche 6



Anexo 34. Curvas de acumulación de riqueza de aves según estimadores no paramétricos de Parche 7



## F. Incidencia de aves en parches

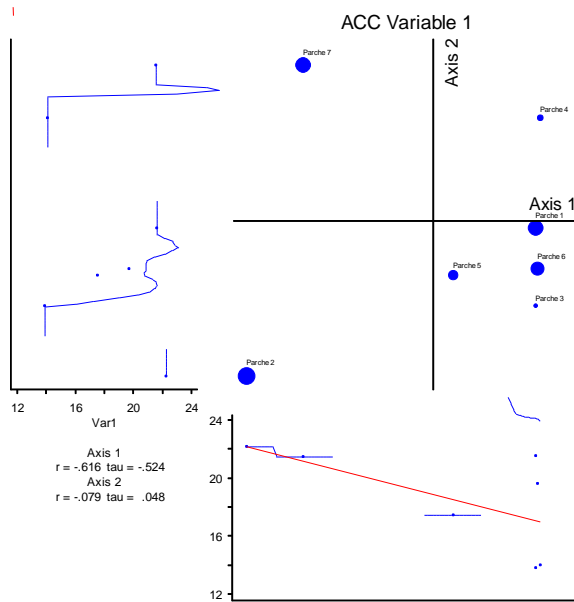
Anexo 35. Listado de especies e incidencia de aves (de 317 individuos) en los 7 parches

No.	Especies	Parche 1	Parche 2	Parche 3	Parche 4	Parche 5	Parche 6	Parche 7
1	Highland guan	X	X	X	X	0	0	X
2	Buffy-crowned wood-patridge	X	X	X	X	0	X	X
3	Singing quail	X	X	0	0	X	0	X
4	White-winged dove	0	0	0	0	0	0	X
5	Common ground-dove	0	0	0	0	0	0	X
6	Maroon-chested ground-dove	X	0	0	X	0	0	0
7	White-faced quail dove	X	X	X	X	X	0	X
8	Yellow-billed cuckoo	0	X	0	0	0	0	0
9	Black billed cuckoo	0	X	0	0	0	X	0
10	Cuculidae	0	X	0	0	0	0	0
11	Unspotted whet owl	0	X	0	0	0	0	0
12	Whip-poor-will	0	0	0	0	X	0	0
13	White-eared hummingbird	X	0	X	0	0	X	0
14	Trochilidae	X	X	X	X	X	X	X
15	Elegant trogon	0	X	0	0	0	0	X
16	Collared trogon	0	X	0	0	0	0	X
17	Mountain trogon	X	0	0	0	X	X	0
18	Blue-throated motmot	X	0	0	X	X	0	0
19	Emerald toucanet	X	X	0	0	X	X	X
20	Acorn woodpecker	X	0	0	X	X	X	X
21	Golden Fronted Woodpecker	0	0	0	X	0	0	0
22	Hairy woodpecker	0	0	0	0	0	0	X
23	Golden Olive woodpecker	0	0	0	0	0	X	0
24	Noerthern flicker	0	0	0	0	0	0	X
25	Rudy-foilage gleaner	0	X	0	0	0	0	0
26	Eastern wood pewee	X	0	0	0	0	0	X
27	Least Flycatcher	0	X	0	0	0	0	0
28	Pine flycatcher	0	0	0	0	0	0	X
29	Dusky-capped flycatcher	X	X	0	0	X	X	X
30	Tyrannidae	0	X	0	0	0	0	0
31	Bell's Vireo	0	0	0	0	0	0	X

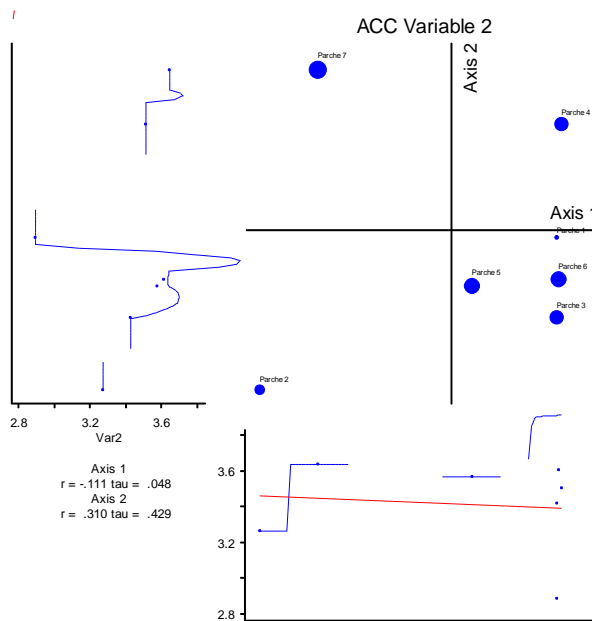
32	Hutton's vireo	X	0	0	0	0	0	0
33	Warbling vireo	0	0	0	0	0	0	X
34	Philadelphia vireo	X	0	0	0	0	0	0
35	Vireonidae	0	0	0	0	0	X	0
36	Vireonidae: Chinchibulín	X	0	0	0	0	0	0
37	Steller's jay	0	0	0	0	0	X	0
38	Bushy-crested jay	0	X	0	X	0	X	X
39	Black-throated jay	0	X	0	0	X	0	X
40	Unicolored jay	0	0	0	0	0	0	X
41	Black-capped swallow	0	X	0	0	X	0	X
42	Band-backed wren	0	0	0	X	0	X	0
43	Rufous browed wren	X	X	X	0	X	X	0
44	Golden crowned kinglet	0	0	0	X	X	0	X
45	Brown-backed Solitaire	X	X	X	X	X	X	X
46	Black thrush	X	0	0	0	0	0	0
47	Clay-colored robin	X	X	X	0	X	0	0
48	Rufous-collared thrush	0	0	X	X	X	X	0
49	Blue and white mockingbird	X	0	0	0	0	0	0
50	Grey-silky Flycatcher	0	X	0	X	X	0	X
51	Crescent chested warbler	X	X	X	0	X	X	X
52	Yellow warbler	0	X	0	0	0	0	0
53	Townsend's warbler	0	0	0	0	0	0	X
54	Yellow-throated warbler	X	0	0	0	0	0	0
55	Grace's warbler	0	0	0	0	0	0	X
56	Wilson's warbler	0	0	X	0	0	X	X
57	Canada warbler	X	0	0	0	0	0	0
58	Painted redstart	0	X	0	0	0	0	0
59	Slate-throated redstart	X	0	0	X	0	0	X
60	Yellow warbler	X	0	X	X	X	X	0
61	Golden-crowned warbler	0	0	0	0	X	0	0
62	Hepatic tanager	X	0	0	0	0	X	X
63	Flammed-colored tanager	0	0	X	0	0	0	0
64	Thraupidae	0	X	0	0	0	0	0
65	Chestnut-capped brushfinch	X	0	X	0	0	0	0
66	Rusty sparrow	X	0	0	0	0	0	0
67	Emberizidae	0	X	0	0	0	0	0
68	Rose-breasted grobeak	0	0	0	0	0	0	X
69	Blue grosbeak	0	0	0	0	X	0	0

## G. Diagramas de características evaluadas en los siete parches

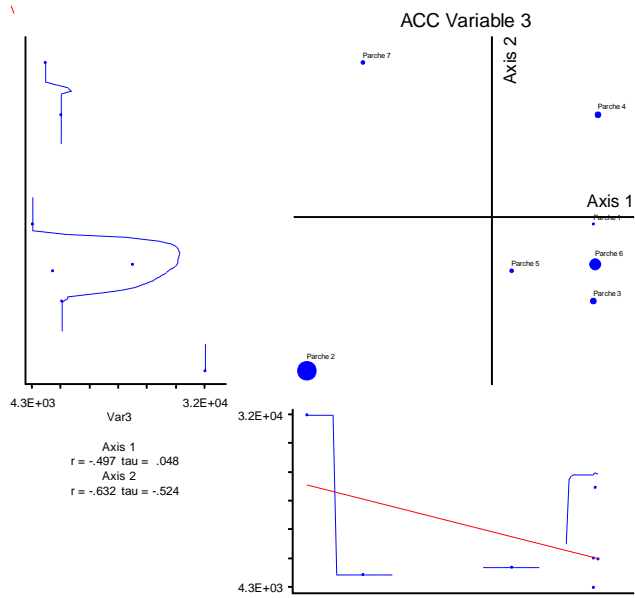
Anexo 36. Diagrama de ACC de variable1: Riqueza de aves



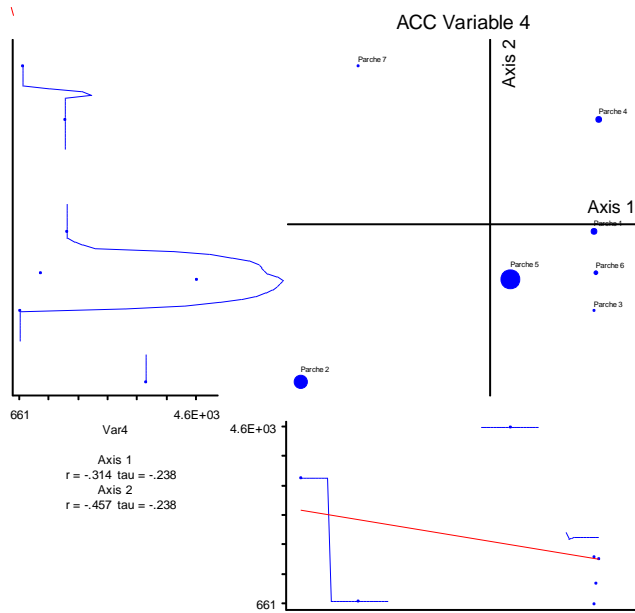
Anexo 37. Diagrama de ACC de variable 2: Diversidad de Shannon de aves



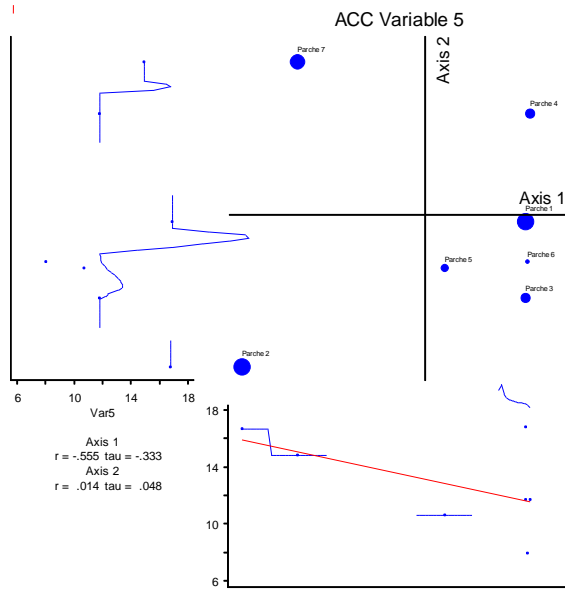
Anexo 38. Diagrama de ACC de variable 3: Área de parche



Anexo 39. Diagrama de ACC de variable 4: Índice de proximidad



Anexo 40. Diagrama de ACC de variable 5: Riqueza arbórea



Anexo 41. Diagrama de ACC de variable 6: Dimensión fractal

