



Universidad de San Carlos de Guatemala

Dirección General de Investigación

Programa Universitario de Investigación en Ciencias Básicas

INFORME FINAL

Dinámica temporal de la acumulación de agua, microclima y frecuencia de visita de vertebrados medianos y mayores en aguadas del Biotopo Universitario Naachtún Dos Lagunas, Petén.

Equipo de investigación

Manolo José García Vettorazzi

Vivian Roxana González Castillo

Andrea Leonor Aguilera Rodas

Personal Biotopos Petén: Agustín Caal Cajbón, Elvis Solís Montúfar, Erwin René Mayen, Marvin Adolfo Ochaeta, Renan Sotó Hernández, Saúl Castillo Hernández, Fredy Neftalí Bedoya, Darwin Aguirre Castillo, Luis Felipe Rodas, Jaime Fernando Gutiérrez, Juan José Romero, Héctor Arturo Palacios y Marvin Rosales Peche

Colaboradores: Gerber Daniel Guzmán Flores y Dana Ivette Rodríguez del Cid

Noviembre 2016

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES QUÍMICO BIOLÓGICAS (IIQB)

Centro de Datos para la Conservación del Centro de Estudios Conservacionistas (Cecon),
Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Programa para la Conservación del Tapir en Guatemala 2016 - Cecon y Fundación Defensores de la Naturaleza, del Programa Mundial para la Conservación de los Tapires del Grupo de Especialistas del Tapir de la IUCN y la Fondation Segré.

Consejo Nacional de Áreas Protegidas (Conap)

M.Sc. Gerardo Arroyo Catalán
Director General de Investigación

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar
Coordinador General de Programas

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar
Coordinador del Programa de Investigación

Lic. Manolo José García Vettorazzi
Coordinador del proyecto

Licda. Vivian Roxana González Castillo
Investigadora

Br. Andrea Leonor Aguilera Rodas
Auxiliar de investigación II

Partida Presupuestaria 4.8.63.4.04

Año de ejecución: 2016

Índice

Resumen.....	6
Palabras clave: cámaras-trampa, cambio climático, diversidad biológica, recursos hídricos, vida silvestre	6
Abstract	7
Key words: camera-traps, climate change, biodiversity, fresh water resources, wildlife.....	7
1. Introducción.....	7
2. Marco teórico y estado del arte	8
3. Materiales y métodos	13
3.1 Área de estudio	13
3.2 Registro de acumulación de agua y variables microclimáticas.....	15
3.3 Registro de visitas de vertebrados medianos y mayores a aguadas	16
3.4 Correlación entre variables climáticas, cantidad de agua, variables microclimáticas y frecuencia de visita de vertebrados medianos y mayores en aguadas.....	17
3.5 Socialización del estudio con personal del BPNDL	20
4.2 Registro de visitas de vertebrados medianos y mayores a aguadas.	24
4.6 Impacto esperado	36
5. Análisis y discusión de resultados	36
5.1 Registro de acumulación de agua y variables microclimáticas (temperatura y humedad).....	36
5.2 Registro de visitas de vertebrados medianos y mayores a aguadas	38
5.3 Correlaciones entre las variables climáticas y las especies de vertebrados.	40
6. Conclusiones	42
7. Referencias.....	44
8. Apéndices.....	¡Error! Marcador no definido.
9. Actividades de gestión, vinculación y divulgación.....	79
10. Orden de pago	80

Índice de Figuras

Figura 1. Mapa de área de estudio y ubicación de las cinco aguadas.....	14
Figura 2. Promedio semanal del radio estimado para las aguadas de estudio y valores relativos de la precipitación promedio registrada por la EMA Calakmul II.....	20
Figura 3. Promedio semanal de la estimación de agua acumulada en litros por aguada durante el período del estudio.....	21
Figura 4. Dinámica diaria de temperatura en cinco aguadas para el periodo del estudio.....	22
Figura 5. Dinámica diaria de humedad relativa.....	22
Figura 6. Promedio semanal de la temperatura (°C) en cada una de las aguadas en estudio y la estación meteorológica automática Calakmul II.....	23
Figura 7. Promedio semanal de la humedad relativa (%) en cada una de las aguadas en estudio y la estación meteorológica automática Calakmul II.....	24
Figura 8. Total de registros independientes en aguadas por especie de vertebrados medianos y menores.....	26
Figura 9. Frecuencia de presencia semanal por especie de vertebrados medianos y menores.....	27
Figura 10. Frecuencia de los registros independientes de vertebrados medianos y mayores en aguadas por hora del día.....	28
Figura 11. Duración promedio de las visitas de vertebrados medianos y mayores en aguadas.....	28
Figura 12. Frecuencia de los registros de vertebrados medianos y mayores en las aguadas en relación a la temperatura.....	31
Figura 13. Frecuencias de los registros de vertebrados medianos y mayores en las aguadas con relación a la humedad relativa.....	32
Figura 14. Número de especies de vertebrados medianos y mayores registradas en relación a la temperatura.....	32
Figura 15. Número de especies de vertebrados medianos y mayores registradas en relación a la humedad relativa.....	33
Figura 16. Duración promedio de las visitas de vertebrados medianos y mayores a las aguadas con respecto a la temperatura.....	34
Figura 17. Duración promedio de las visitas de vertebrados medianos y mayores a las aguadas con respecto a la humedad relativa.....	34

Índice de Tablas

Tabla 1. Coordenadas y altitud de las aguadas incluidas en el estudio.....	14
Tabla 2. Ángulos estimados de las aguadas, a partir de su radio para un período de 24 h posterior al registro de su llenado por precipitación.....	18
Tabla 3. Operacionalización de variables o unidades de análisis.....	18
Tabla 4. Especies de vertebrados medianos y mayores registrados por las cámaras automáticas en las aguadas de estudio.....	24
Tabla 5. Número de registros semanales de vertebrados medianos y mayores por aguada. ...	29
Tabla 6. Coeficientes de correlación entre la temperatura registrada por la EMA Calakmul II y los termohidrómetros en las aguadas.....	30
Tabla 7. Matriz de resultado mostrando los resultados esperados y los resultados obtenidos por objetivo.....	34

Dinámica temporal de la acumulación de agua, microclima y frecuencia de visita de vertebrados medianos y mayores en aguadas del Biotopo Universitario Naachtún Dos Lagunas, Petén

Resumen

La Reserva de Biosfera Maya en Guatemala, un territorio de gran importancia para la conservación de la diversidad biológica en Mesoamérica, ha sido catalogada de alta vulnerabilidad ante los potenciales efectos negativos del cambio climático sobre la diversidad biológica. La disponibilidad de agua es un factor relevante, especialmente en aquellos sitios donde el suelo cárstico dificulta la acumulación de agua superficial. Debido a esto, los cuerpos de agua estacionales denominados localmente aguadas son un recurso crítico para la supervivencia de especies amenazadas de vertebrados medianos y mayores, ya que son su principal fuente de agua durante la época seca. En el presente estudio, en cinco aguadas del Biotopo Dos Lagunas se documentó la temperatura y humedad, utilizando sensores automáticos, así como la disponibilidad de agua empleando una cámara automática instalada en la orilla del cuerpo de agua y orientada hacia el centro del mismo, programada para tomar una foto cada hora. Las visitas de vertebrados a las aguadas fueron documentadas utilizando una cámara automática instalada de manera perpendicular al borde de la aguada. Se presentó una variación de la temperatura y humedad relativa a lo largo de las semanas de estudio, con una temperatura promedio de $26.53 (\pm 3.65) ^\circ\text{C}$ y una humedad relativa promedio de $81.94 (\pm 17.11) \%$. Todas las aguadas en estudio se secaron entre las semanas 18 y 22. Fueron registradas un total de 22 especies de vertebrados medianos y mayores en las aguadas del estudio.

Palabras clave: cámara-trampa, cambio climático, diversidad biológica, recursos hídricos, Biotopo Dos Lagunas

Abstract

The Maya Biosphere Reserve in Guatemala, a territory of great importance for the conservation of biological diversity in Mesoamerica, has been classified as highly vulnerable to the potential negative effects of climate change on biodiversity. The availability of water is a relevant factor, especially in those places where karst soil hinders the accumulation of surface water. Because of this, seasonal water bodies locally known as *aguadas*, are a critical resource for the survival of threatened species of medium and large vertebrates, since they are the main source of water during the dry season. In the present study, in five *aguadas* of the Naachtún Dos Lagunas Biotopo, temperature and relative humidity were documented using dataloggers, as well the availability of water using a camera-trap installed at the edge of each *aguada*, oriented towards the center of the water body, and programmed to take a picture every hour. The visits of vertebrates to *aguadas* were documented using a camera-trap installed perpendicular to the water's edge. A variation of temperature and relative humidity was found throughout the study weeks, with an average temperature of $26.53 (\pm 3.65) ^\circ\text{C}$ and an average relative humidity of $81.94 (\pm 17.11) \%$. All the *aguadas* under study became dry between weeks 18 and 22. There were recorded a total of 22 species of medium and large vertebrates in the study sites.

Key words: camera-trap, climate change, biodiversity, fresh water resources, Dos Lagunas Biotopo

1. Introducción

La denominada Selva Maya ha sido identificada como un centro de importancia para la diversidad biológica a nivel mundial (The Nature Conservancy, 2006). Sin embargo presenta altas tasas de deforestación en años recientes (Hansen et al., 2013; Hodgon, Hughell, Ramos, & McNab, 2015). Así mismo, se ha identificado que presenta una elevada vulnerabilidad a los potenciales impactos negativos que se ha pronosticado tendrá el cambio climático sobre la diversidad biológica (Anderson et al., 2008). La poca disponibilidad de agua superficial en gran parte de este territorio determina que los cuerpos de agua estacionales denominados localmente *aguadas* como elementos naturales de relevancia para la conservación, ya que representan la principal fuente de agua para la sobrevivencia de vertebrados mediano y mayores durante la época seca (Aguilera-Rodas & García, 2016; González, 2015; Moreira-

Ramírez et al., 2016; Pérez-Cortez, Enríquez, Sima-Panti, Reyna-Hurtado, & Naranjo, 2012; Reyna-Hurtado, O´Farril, Simá, Andrade, Padilla & Sosa, 2010; Ruano-Fajardo et al., 2009; Sandoval-Serés, Reyna-Hurtado, Briceño-Méndez, & de la Cerda-Vega, 2016; Sima, Reyna, & Retana, 2008). Estos cuerpos de agua son formados por la acumulación de agua de lluvia, por lo que presentan una dinámica asociada a las temporadas seca y lluviosa, en la cual algunas aguadas pueden llegar a secarse por completo, mientras que otras permanecen a lo largo del año; sin embargo aún falta mayor documentación de las dinámicas asociadas a las aguadas (González, 2015). El Biotopo Naachtún Dos Lagunas, ubicado en el denominado corazón de la Selva Maya en el límite norte de Guatemala, es administrado por la Universidad de San Carlos (Usac) y sus principales metas son la conservación de la diversidad biológica y el fomento de la investigación científica. Por consiguiente es un área de estudio idónea para el desarrollo de estudios relacionados con recursos clave como las aguadas, que a su vez, contribuye en el fortalecimiento de su papel como entidad académica y como administrador de áreas protegidas. Los objetivos específicos de este estudio fueron: (i) Documentar la variación temporal en la acumulación de agua y variables microclimáticas (temperatura y humedad) en 5 aguadas durante el cambio de temporada seca a lluviosa del año 2016, (ii) Estimar la frecuencia de visita de vertebrados medianos y mayores en 5 aguadas seleccionadas durante el cambio de temporada seca a lluviosa del año 2016, y (iii) Estimar la correlación entre variables climáticas (temperatura y precipitación) cantidad de agua, variables microclimáticas y frecuencia de visita de vertebrados medianos y mayores en aguadas. En el documento se presenta el marco teórico y el estado de arte de la temática seguido por los materiales y métodos. A continuación se presentan los análisis y discusión de resultados, las conclusiones, referencias y apéndices.

2. Marco teórico y estado del arte

Humedales de Guatemala

En Guatemala existen al menos 252 humedales que pueden ser identificados a la escala 1:250,000, los cuales, de acuerdo a su naturaleza que pueden clasificarse como marino-costero, humedales pantanosos, lagos, lagunas, lagunetas, aguadas, ríos y arroyos (Dix y Fernández, 2001). Todos estos cuerpos de agua requieren de protección, investigación y manejo, dado que existen grandes vacíos de información y la mayoría de ellos presentan algún grado de degradación (Dix y Fernández, 2001).

Para la región de la RBM, se reporta la presencia de distintos cuerpos de agua que incluyen lagos, lagunas y aguadas (Reyes, Morales, Bustamante, Ruano y Monzón, 2009a; Reyes, Morales, Oliva y Dávila, 2009b).

Cuerpos de agua lenticos y cambio climático

De acuerdo a lo propuesto por Matthews (2010) los sistemas lenticos (lagos, lagunas, lagunetas y aguadas) son sensibles al cambio climático ocasionado por fuentes antropogénicas a través de cambios en la temperatura ambiental y el patrón de precipitación. El régimen hidrobiológico al que están sujetas está gobernado en su mayoría entre el balance entre la evaporación y la precipitación (Keeley & Zedler, 1998). Siendo esta última uno de los principales factores que afectan el encharcamiento dado un sustrato lentamente permeable y una depresión lo suficientemente profunda (Bauder, 2005). Los suelos encontrados en las aguadas o asociados a estas van desde suelos arenosos delgados y altamente erosionables hasta las arcillas pesadas e impermeables, donde el agua permanece en algunos sitios de forma permanente mientras que en otros el agua permanece sólo durante los meses más lluviosos (Lundell, 1937).

Como se mencionó, los cuerpos de agua alimentados por la lluvia son sensibles a las fluctuaciones climáticas que pueden llegar a alterar el ciclo del agua, los sistemas hidrológicos, los ecosistemas y de la misma forma afectar tanto a las especies como a los individuos a nivel local o global (Chamailié-James, Fritz, & Murindagomo, 2007; Kaeslin, Redmond, & Dudley, 2013). A medida que la temperatura promedio del planeta aumenta, los patrones de precipitación serán afectados en términos de la cantidad anual total, de la distribución estacional y de la regularidad de un año con otro, provocando eventos climatológicos extremos como sequía e inundaciones (Seppälä, Buck, & Katila, 2009) por lo que la disponibilidad de agua no está garantizada año con año (Reyna-Hurtado et al., 2010).

Cuerpos de agua y la vida silvestre

Esta disponibilidad de agua juega un rol importante para la fauna silvestre, ya que los cambios en esta disponibilidad inciden en la abundancia de especies de fauna silvestre (Kaeslin, Redmond, & Dudley, 2013) determinado sus patrones de distribución, movimiento, uso de hábitat, reproducción y su sobrevivencia (Ballard, Rosenstock, & de Vos, 1997)

Mandujano & Gallina (1995) argumentan que la actividad y el desplazamiento de la fauna durante la época seca es influenciado por la variación espacio –temporal de las fuentes de agua. Al progresar la época seca los cuerpos de agua se desecan forzando a los animales a congregarse en los pocos remanentes de agua en las que pueden obtener agua (Chamaillé-Jammes, Fritz, & Murindagomo, 2007) además de ser utilizados como refugios contra depredadores y parásitos, así como sitios de descanso y zonas abastecimiento durante las horas más calurosas, además de ser sitios claves para algunas especies (Naranjo, 2001; Galindo-Leal, 1999)

Aguadas en la Selva Maya

Las denominadas aguadas son sistemas lénticos, comunes en el sur de las tierras bajas mayas (Akpinar, 2011) que debido a las características y condiciones que presenta el terreno permiten que el agua de lluvia se acumule (Reyna- Hurtado et al., 2010). Estos pequeños humedales dispuestos de manera aleatoria dentro de un paisaje pueden variar en cuanto a sus tamaños, formas y profundidades (Smith & Verrill, 1998). Generalmente poseen una superficie de área mucho menor que los lagos y no poseen más de pocos metros de profundidad siendo más susceptibles a desecarse (Matthews, 2010). De acuerdo con Reyna-Hurtado y colaboradores (2010) el tamaño de las aguadas varía desde unos 100 m² hasta varias hectáreas de extensión, siendo la gran mayoría son menores a una hectárea. La aguadas son alimentadas por el agua de lluvia, y pueden ser permanentes, es decir que almacenan agua durante todo el año, mientras que otras son estacionales, ya que se secan durante la época seca (González, 2015; Reyna-Hurtado et al., 2010).

Algunas aguadas son de gran importancia como reservorio de agua para comunidades humanas (Rios, Espinosa, & Revollo, 2014). En la Reserva de Biosfera Calakmul en México, Domínguez y Folan (1996) estimaron que trece aguadas contenían un aproximado de 228,150,000 l de agua. Con base en su tamaño y capacidad, estos autores clasificaron las aguadas en esta reserva en aguadas grandes de uso público (105,000,000 l y 33,000,000 l), aguadas medianas de uso público (13,500,000 y 19,000,000 l), aguadas pequeñas de uso público (2,050,000 l y 9,800,000 l) y aguadas vecindales (1,250,000 l y 5,000,000 l). Excavaciones arqueológicas evidenciaron la colocación de lajas en el fondo como una manera de aumentar la capacidad de retener el agua de lluvia, revelando la importancia de las aguadas para las comunidades humanas desde épocas precolombinas (Domínguez & Folan, 1996).

Las aguadas y vida silvestre

Las aguadas son una fuente hidrológica importante que ayuda a mantener las poblaciones de fauna silvestre que las frecuenta, entre la que se incluyen especies de reptiles, aves y mamíferos (González, 2015; Reyna-Hurtado et al., 2010; Ruano-Fajardo et al., 2009; Simá, Retana, Reyna & Miranda, 2008; Simá, Reyna, & Retana, 2008). Especies como el jabalí de labio blanco (*Tayassu pecari*) y el tapir (*Tapirus bairdii*) presenta una alta asociación con las aguadas (González, 2015; Moreira, 2009; Moreira et al., 2016; Ruano-Fajardo et al., 2009). Los estudios realizados por Moreira (2009) y Moreira y colaboradores (2016) en los Parques Nacionales Mirador Río Azul y Laguna del Tigre, respectivamente, sobre el tamaño de grupo, frecuencia de visita y patrones de actividad de manadas de *T.pecari*, muestran que las aguadas tienen una gran importancia ecológica para esta especie, principalmente en la época seca cuando otras fuentes de agua son escasas. De manera similar, los patrones de movimientos y visita a las aguadas de *T.bairdii* parecen estar influenciados por la presencia y cantidad de agua en aguadas (Pérez-Cortez et al., 2012; Sandoval-Serés et al., 2016).

En el Biotopo Naachtún Dos Lagunas, González (2015) encontró una correlación significativa entre las frecuencias de visita de cuatro especies (*T.bairdii*, *Crax rubra*, *Leopardus pardalis* y *Tinamus mayor*) a las aguadas y la temperatura máxima promedio semanal. Moreira y colaboradores (2016) sugieren que temperaturas elevadas podrían estar relacionadas con una mayor frecuencia de visita a las aguadas por manadas de *T.pecari* en áreas húmedas de la Selva Maya. Pérez-Cortez y colaboradores (2012) reportaron una menor frecuencia de visita de *T.bairdii* y otras especies durante la temporada lluviosa. Ruano-Fajardo y colaboradores (2009) reportan que las aguadas son reservorios de agua que la fauna utiliza sobre todo durante la época seca cuando este recurso se hace escaso. De modo que, estos estudios muestran que existe una mayor dependencia a las aguadas por parte de las especies asociadas en los períodos de mayor temperatura, que a su vez coinciden con la temporada seca.

Así mismo, las aguadas presentan una alta diversidad de plantas acuáticas asociadas a las mismas, entre las que se incluyen especies estrictamente acuáticas, generalmente flotantes, así como especies de árboles y arbustos ubicados en las orillas de las mismas (González, 2015; Reyes et al., 2009a; Reyes et al., 2009b). En cuanto la composición de la vegetación circundante, para aguadas del Biotopo Naachtún Dos Lagunas, está representada por 39

especies de 18 familias y otras doce sin identificar, siendo más abundantes son pucté (*Bucida buceras*), palo de gusano (*Lonchocarpus guatemalensis*), canisté (*Pouteria campechiana*), zapotillo de hoja fina (*Pouteria reticulata*) y luín (*Ampelocera hottlei*) (González, 2015). En México, Simá y colaboradores (2008) también reportaron la presencia de *B.buceras* y *L.guatemalensis* entre las especies de árboles más abundantes en las aguadas.

Las aguadas y el cambio climático

En la Reserva de Biosfera Calakmul en México se reportó que las aguadas están pasando por un proceso de desecación que puede estar asociado con la disminución de la precipitación (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza & The Nature Conservancy, 2011; Rios, Espinosa & Revollo, 2014). La desecación de estos cuerpos de agua puede conllevar serios problemas para las comunidades humanas durante la temporada seca, incluyendo un aumento en la desigualdad social derivada del acceso restringido al agua, como un recurso fundamental para el desarrollo (Rios, Espinosa, & Revollo, 2014).

Dada la importancia de las aguadas para diversas especies de vertebrados medianos y mayores, la desecación de las mismas, podría tener consecuencias negativas para las poblaciones de las especies asociadas (Aguilera-Rodas & García, 2016; González, 2015; Moreira-Ramírez et al., 2016; Pérez-Cortez et al., 2012; Reyna-Hurtado et al., 2010; Ruano-Fajardo et al., 2009; Sandoval-Serés et al., 2016; Sima, Reyna y Retana, 2008). Estudios realizados en la Reserva de Biosfera Calakmul, sugieren que especies como *T.pecari* y *T.bairdii* podrían presentar cambios en sus patrones de movimientos en busca de fuentes de agua disponibles en otros territorios, representando esto en algunos casos el salir de las áreas protegidas hacia zonas urbanas y agrícolas, donde aumenta la vulnerabilidad a la cacería y otras amenazas (Reyna-Hurtado et al., 2010).

Estudios en aguadas de la Selva Maya relacionados con fauna silvestre

La mayoría de estudios en aguadas emplean cámaras automáticas, conocidas como trampas-cámara, las cuales utilizan sensores de movimiento para el registro de imágenes de aves y mamíferos de mediano a gran tamaño (Cadman & González-Talaván, 2014). En la Reserva de Biosfera de Calakmul en México, se han llevado estudios relacionados con las visitas de fauna silvestre a las aguadas, los cuales han enfocado principalmente en especies de ungulaodos altamente asociadas a cuerpos de agua como *T.pecari* y *T.bairdii* (Moreira et al.,

2016; Pérez-Cortez et al, 2012; Sandoval-Serés et al., 2016). También se incluye nestudios relacionados con el monitoreo de fauna en aguadas ubicadas en ampliaciones forestales (Simá et al., 2008; Simá, Reyna, & Retana, 2008).

En Guatemala, se han llevado a cabo estudios en zonas núcleo de la RBM. Ruano-Fajardo y colaboradores (2009) implementaron un estudio en el Parque Nacional Mirador Río Azul y Moreira y colaboradores (2016) en el Parque Nacional Laguna del Tigre. Estos estudios se enfocaron principalmente en las especies *T.pecari* y *T.bairdii*. En otra zona núcleo, el Biotopo Naachtún Dos Lagunas, en el año 2013 la Usac a través del Cecon, inició la realización de estudios sobre las especies de vertebrados asociados a aguadas en conjunto con la ONG *Wildlife Conservation Society* (WCS) (González, 2015). En este estudio, la autora concluye que durante la temporada seca, veinte especies de vertebrados terrestres medianos y mayores se encuentran asociadas a las aguadas, siendo los más frecuentes el jabalí (*T.pecari*), faisán (*C.rubra*), tapir (*T.bairdii*), mancolola (*T.major*), cabro colorado (*Mazama sp*), ocelote (*L. pardalis*), tepezcuintle (*Cuniculus paca*), puma (*Puma concolor*) y jaguar (*Panthera onca*). En los años 2014 y 2015 el Cecon continuó con la realización de estudios en aguadas del Biotopo.

A partir del interés común en la temática, en el año 2015 se llevó a cabo un taller para formulación de estrategias para el fortalecimiento de la investigación y el monitoreo en la Reserva de Biosfera Calakmul en México, el Parque Nacional Mirador Río Azul y el Biotopo Naachtún Dos Lagunas en Guatemala. En este taller se planteó la formulación un protocolo unificado y el desarrollo de actividades académicas participativos entre instituciones de ambos países con el apoyo de la cooperación de Alemania GIZ (Reyna-Hurtado, García, & García, 2015).

3. Materiales y métodos

3.1 Área de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en cinco aguadas ubicadas en el Biotopo Protegido Naachtún Dos Lagunas (BPNDL), zona núcleo de la RBM, localizado en el límite norte del municipio de Flores en el Departamento de Petén (Figura 1). Colinda al norte con México con la Reserva de Biosfera Calakmul, Quintana Roo y con el parque Mirador-Río Azul en sus

límites sur, este y oeste; con una extensión aproximada de 30,710 hectáreas (307.10 km²) (Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Ministerio de Cultura y Deportes-Dirección General del Patrimonio Cultural y Natural & Centro de Estudios Conservacionistas, 2010).

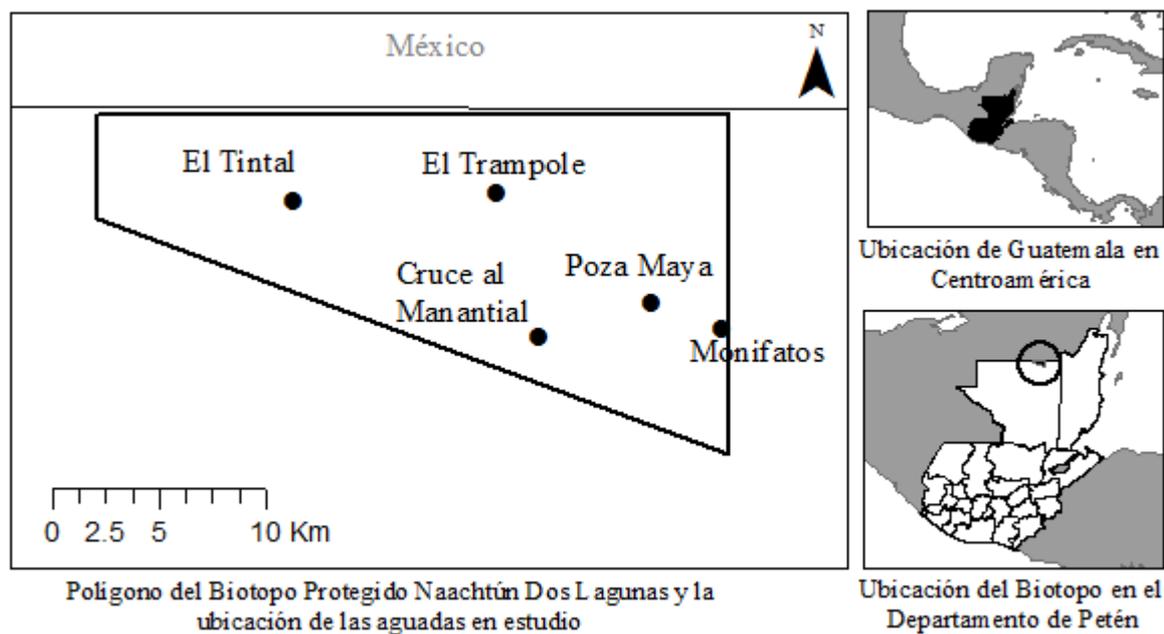


Figura 1. Mapa de área de estudio y ubicación de las cinco aguadas.

Las aguadas incluidas en el presente estudio fueron las denominadas Los Monifatos, El Trampoline, El Tintal, Poza Maya y otra sin nombre ubicada en el camino hacia el campamento chiclero El Manantial por lo que se le denominó Cruce al Manantial (Tabla 1). El estudio se llevó a cabo durante los meses de abril a agosto del año 2016, esto con el fin de registrar el cambio de la temporada seca a la lluviosa.

Tabla 1.

Coordenadas y altitud de las aguadas incluidas en el estudio

Aguada	Latitud N	Longitud O	Altitud (msnm)
Los Monifatos	17.7246833	89.50235	310
Cruce al Manantial	17.7207833	89.5795	265
El Trampoline	17.7817333	89.5978333	286

Poza Maya	17.7351833	89.5316833	339
El Tintal	17.7786667	89.68345	297

3.2 Registro de acumulación de agua y variables microclimáticas

Para el registro de la acumulación de agua se registró fotográficamente la cantidad de agua acumulada en cada una de las aguadas seleccionadas utilizando cámaras automáticas o cámaras-trampa marca Bushnell® modelo Trophycam 14MP *Intrussor No Glow*. En cada aguada se instaló una cámara, orientada hacia el centro del espejo de agua, a una altura aproximada de 1.80 m en un árbol ubicado en el margen. Las cámaras fueron programadas con una resolución de 14 Megapíxeles, 1 foto por evento de captura, 1 s de intervalo entre eventos de captura, con función de captura por el sensor activada las 24 h y la función *field scan* activada para tomar una foto cada hora de 05:00 a 18:00 h.

Con el fin de contar con una referencia espacial para la estimación de la cantidad de agua se colocó un lazo con marcas cada metro desde el centro de la aguada hacia la cámara y se activó la cámara para que tomara fotografías. Las imágenes obtenidas fueron examinadas con el fin de determinar para cada aguada la hora del día en que era posible apreciar con mayor claridad el contenido de agua acumulada. Posteriormente se realizó una compilación de todas las fotos de cada aguada a la hora seleccionada, las cuales fueron comparadas con la referencia espacial y en una hoja de cálculo electrónica se anotó la cantidad de agua estimada para cada día. A partir de estos datos se estimaron los promedios semanales de la cantidad de agua acumulada.

El registro de la temperatura y humedad relativa de cada aguada se llevó a cabo utilizando un sensor automático o termohigrómetro marca Onset modelo HOBOS Pro v2 U23-001 instalado a una altura de 1.7m en un árbol cercano a la cámara automática para facilitar la recuperación de los dispositivos en el campo. Los sensores fueron programados para activarse de manera simultánea y registrar las variables cada hora. Los datos colectados fueron descargados en archivos de texto utilizando los programas específicos para los sensores utilizados y posteriormente exportados a hojas de cálculo electrónicas para la estimación de los promedios semanales.

Las cámaras y sensores automáticos fueron instalados en el mes de abril en las aguadas Los Monifatos, El Trampole, El Tintal y Poza Maya, y en mayo para la aguada Cruce al manantial. Las cámaras automáticas estuvieron activas entre 139 y 148 días (aproximadamente 21 semanas) hasta que fueron removidos en el mes de agosto. Las cámaras instaladas en las aguadas El Trampole y Cruce al manantial funcionaron únicamente por 127 y 75 días respectivamente, posiblemente, debido a fallas durante el período de estudio. Los sensores automáticos estuvieron activos a lo largo de 20 semanas a partir del 07 de abril 2016, con excepción de la aguada Cruce al Manantial donde el sensor se activó a partir de 15 de mayo 2016.

3.3 Registro de visitas de vertebrados medianos y mayores a aguadas

Para el registro de vertebrados se utilizó una segunda cámara automática por aguada, del mismo modelo, e instalada a una altura aproximada de 40 cm, orientada hacia el margen de la aguada, programada con una resolución de 14MP, 1 foto por evento de captura, 1 s de intervalo entre eventos de captura, con la función de captura por el sensor activada las 24 h y la función *field scan* desactivada.

Para el análisis de datos también se incluyeron los registros de fauna provenientes de las cámaras instaladas para el registro de la acumulación de agua, tanto cuando fueron activadas por el sensor así como aquellas que fueron tomadas de manera automática cada hora. Las fotografías obtenidas fueron depuradas eliminando aquellas sin registros de fauna o que fueron activadas por el equipo de investigación durante la instalación y revisión de las mismas o por el movimiento de la vegetación por el viento.

Una vez depuradas las fotografías, se procesaron utilizando el programa Camera Base versión 1.7 (Tobler, 2015) para la generación de una base de datos con la siguiente información para cada fotografía: lugar, aguada, fecha, hora, estación o cámara, especie, sexo y número de individuos. Los datos fueron exportados a hojas de cálculo electrónicas donde se combinaron los registros de las cámaras instaladas en una misma aguada para determinar los eventos de captura independientes (imágenes de la misma especie separadas por un intervalo mayor a una hora, imágenes consecutivas de diferentes especies e imágenes de diferentes individuos (Tobler, Carrillo-Percestequi, Pitman, Mares, & Powell, 2008). Posteriormente se estimaron los promedios semanales de registros independientes por cada especie registrada de vertebrados mayores y medianos en cada una de las aguadas de estudio.

3.4 Correlación entre variables climáticas, cantidad de agua, variables microclimáticas y frecuencia de visita de vertebrados medianos y mayores en aguadas.

Se solicitaron los datos de temperatura, humedad relativa y precipitación a la Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional (CGSMN) de la Comisión Nacional del Agua de México (Conagua) correspondientes a la estación meteorológica automática (EMA) Calakmul II ubicada al norte del BPNDL para los meses de marzo a septiembre 2016. A partir de estos datos se estimaron los valores promedio semanales para las tres variables.

A partir de los datos de precipitación de la EMA Calakmul II y el registro fotográfico de las aguadas se procedió a estimar la cantidad de agua acumulada. Para esta estimación se asume que las aguadas poseen la forma de un cono invertido por lo que se utiliza la siguiente fórmula base:

$$V=(\pi r^2 \cdot h)/3$$

donde V= volumen, r= radio y h= altura (en este caso, la profundidad).

En el registro fotográfico se identificó el momento en el cual las aguadas que estaban secas acumularon agua en un período de 24 h. Utilizando el radio de la aguada medido en campo y el registro de la precipitación para el período de 24 h, se estimó el volumen de agua acumulada en el área de la aguada. Con este dato y el radio registrado en la fotografía, se estimó la profundidad de la aguada (altura), despejando este valor de la fórmula del cono invertido. Finalmente, con estos valores se calculó el ángulo que determinaría la pendiente de la aguada, utilizando la razón trigonométrica asociada a un triángulo rectángulo expresada por la tangente, la cual determina la relación entre el radio como cateto opuesto, y la profundidad (altura) como el cateto adyacente.

Este cálculo únicamente fue posible de realizar para las aguadas El Tintal y La Poza Maya por la visibilidad derivada de la ausencia de vegetación en el centro de las mismas. Para la aguada Monifatos, dada la presencia de vegetación en el centro de la aguada, se utilizó un período de 24 h con aumento visible del radio. Con base en el registro de la precipitación de la EMA Calakmul, se estimó el volumen de agua acumulada por el área de la aguada en el período de 24 h (Tabla 2). Con este volumen y los radios registrados en la fotografía, se despejó el valor del ángulo, partiendo de la ecuación donde el volumen en el tiempo dos

menos el volumen en el tiempo uno será el volumen estimado de agua acumulada para el período. En el caso de la aguada El Trampoline, dado que no fue posible estimar el radio por la falta de visibilidad, se utilizó el ángulo estimado para Monifatos por ser la más similar. Para el caso de la aguada El Tintal que acumuló agua con las primeras lluvias y volvió a secarse, se estimó la tasa de pérdida de agua, dividiendo el volumen estimado del agua acumulada por el número de días en los que se perdió toda el agua.

Tabla 2.

Ángulos estimados de las aguadas, a partir de su radio para un período de 24 h posterior al registro de su llenado por precipitación.

Aguada	Fecha (período de 24 h utilizado para los cálculos)	Radio medido en campo (m)	Ángulo estimado (grados)
El Tintal	24/06/2016	11.0	1.5656
Poza Maya	5/06/2016	13.7	1.5528
Los Monifatos	4/08/2016	21.0	1.5636
El Trampoline	--	23.8	1.5636

Una vez se contó con los valores para todas las variables (acumulación de agua, temperatura de la aguada, humedad relativa en la aguada, temperatura del aire, humedad relativa del aire, precipitación y frecuencia de visita de vertebrados a aguadas) se procedió a desarrollar análisis de correlación. Se estimaron los coeficientes de correlación de Pearson entre los valores de temperatura y humedad relativa de la EMA Calakmul II y las aguadas en estudio. Así mismo, se estimaron coeficientes de correlación de Spearman entre los valores de temperatura y humedad relativa y el número de registros de visita de vertebrados medianos y mayores a las aguadas. En la Tabla 3 se muestra la operacionalización de las variables para el estudio.

Tabla 3.

Operacionalización de variables o unidades de análisis.

Objetivo *	Variable	Definición teórica de la variable	Definición operativa	Técnica	Instrumento	Escala de medición
1	Acumulación de agua	Volumen aproximado de agua de lluvia acumulada en una aguada	Radio semanal promedio del espejo de agua	Registro fotográfico	Cámara automática	Metros (m)
1	Temperatura (microclima)	Temperatura relativa sobre la aguada	Promedio semanal	Sensor automático de temperatura	Microsensor	Grados Celsius (°C)
1	Humedad relativa (microclima)	Humedad relativa del aire sobre la aguada	Promedio semanal	Sensor automático de humedad	Microsensor	Porcentaje de humedad (%)
2	Visita de vertebrados medianos y mayores	Eventos de visita de vertebrados medianos (> 1 kg faisán, ocelote, etc) y mayores (> 5 kg jaguar, tapir, etc) a una aguada	Promedio semanal de la frecuencia de visita por especie	Fototrampeo	Cámara automática	Eventos de captura/ esfuerzo de muestreo
3	Temperatura	Temperatura relativa del aire	Promedio semanal	Sensor automático de temperatura	EMA CONAGUA	Grados Celsius (°C)
3	Humedad relativa	Humedad relativa del aire	Promedio semanal	Sensor automático de temperatura	EMA CONAGUA	Porcentaje de humedad (%)
3	Precipitación	Cantidad de agua de lluvia	Promedio semanal	Sensor automático de precipitación	EMA CONAGUA	(mm) milímetros

***Objetivo 1.** Documentar la variación temporal en la acumulación de agua y variables microclimáticas (temperatura y humedad) en 5 aguadas durante el cambio de temporada seca a lluviosa (marzo a julio) del 2016. **Objetivo 2.** Estimar la frecuencia de visita de vertebrados medianos y mayores en 5 aguadas seleccionadas durante el cambio de temporada seca a lluviosa (marzo a julio) del 2016. **Objetivo 3.** Estimar la correlación entre variables climáticas (temperatura y precipitación) cantidad de agua, variables microclimáticas y frecuencia de visita de vertebrados medianos y mayores en aguadas

3.5 Socialización del estudio con personal del BPNDL

El día 01 de marzo 2016 se llevó a cabo un taller de socialización del proyecto con la participación de 18 guarda recursos y técnicos del Cecon-Usac en el Biotopo Protegido Cerro Cahuí. El taller se realizó en conjunto con el Programa para la Conservación del Tapir de Guatemala e incluyó la presentación de los estudios a realizarse por parte del CDC del Cecon en Biotopos de Petén para el año 2016, así como la capacitación de los participantes en el uso de cámaras automáticas (Apéndice 1).

4. Resultados

4.1 Registro de acumulación de agua y variables microclimáticas (temperatura y humedad)

Se obtuvieron un total de 7,620 fotografías de las cuales se seleccionaron 635 para ser incluidas en el procesamiento. A partir de esta información se generó una base de datos con un total de 635 registros de los radios diarios estimados para las 5 aguadas de estudio, de los cuales corresponden a El Tintal con 139 días, Los Monifatos con 146, la Poza Maya con 148, El Trampoline con 127 y Cruce al manantial con 75 (Figura 2).

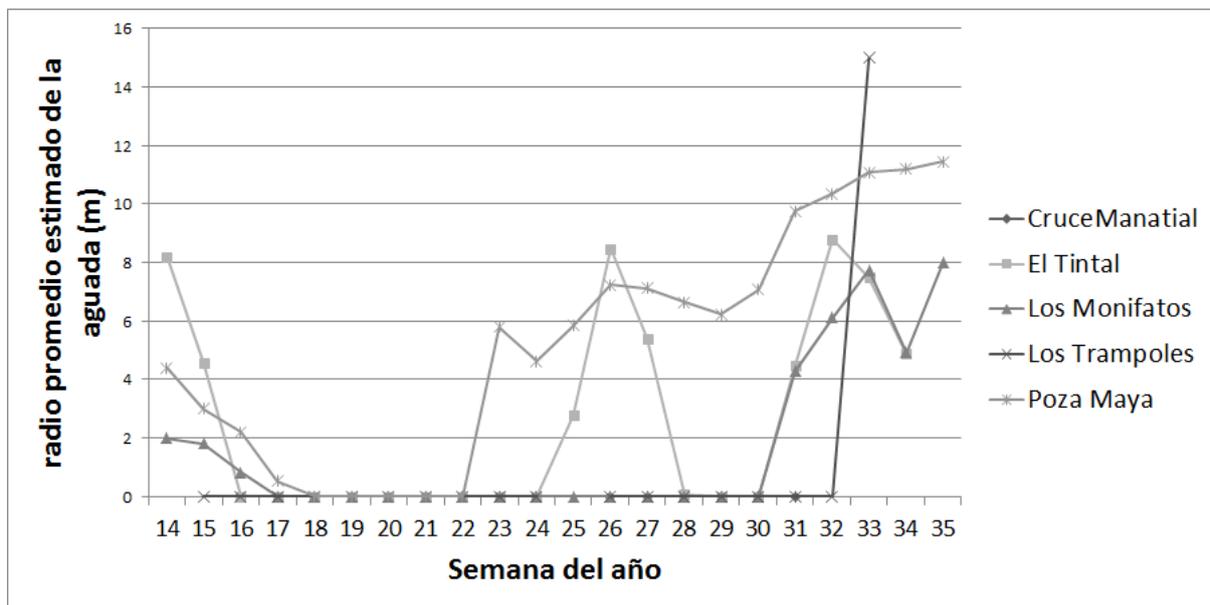


Figura 2. Promedio semanal del radio estimado para las aguadas de estudio y valores relativos de la precipitación promedio registrada por la EMA Calakmul II.

Empleando los ángulos de inclinación para cada aguada se estimó el promedio de la cantidad de agua acumulada para cada aguada por semana (Figura 3). La dinámica de acumulación de agua es similar entre las aguadas al momento de vaciarse y, en determinados eventos, al aumentar el volumen. Es posible notar que durante las semanas 18 a la 22, las aguadas del

estudio permanecieron completamente secas a lo largo de 5 semanas (de abril a junio). La aguada Poza Maya es la que presenta una mayor acumulación de agua y retención de la misma. La aguada El Tintal presenta un patrón bastante dinámico al inicio de la temporada lluviosa cuando presentó acumulación de agua y posteriormente se vació nuevamente. Para esta aguada se estimó una tasa de evaporación de 342.12 litros por día. La aguada Los Monifatos aparentemente demoró varias semanas más en comenzar a llenarse posterior al inicio de las lluvias. Para la aguada El Trampoline únicamente fue posible registrar la acumulación de agua en los últimos tres días que funcionó el equipo, registrando la mayor acumulación de agua.

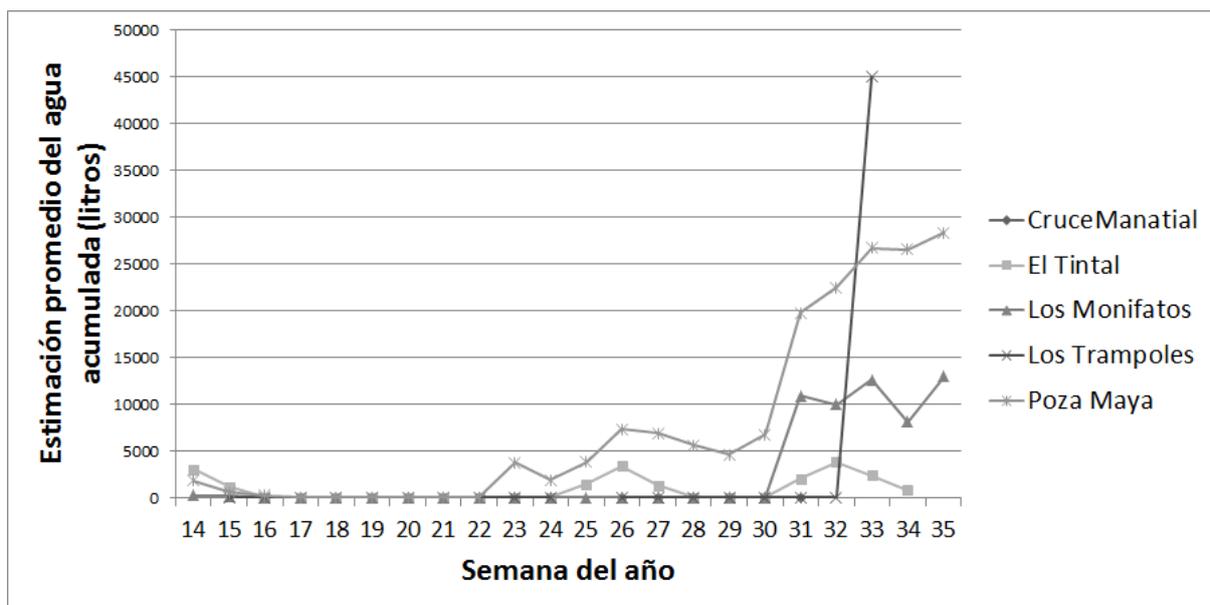


Figura 3. Promedio semanal de la estimación de agua acumulada en litros por aguada durante el período del estudio.

Con respecto a las variables climáticas, se obtuvieron un total de 16,248 mediciones que corresponden a 2,520 para el Cruce al Manantial y 3,432 para cada una de las otras aguadas. Los valores obtenidos de ambas variables son muy similares para las 5 aguadas a lo largo del período de estudio.

Con respecto a la dinámica diaria de la temperatura y la humedad relativa, a partir del total de datos registrados por los sensores, puede evidenciarse que existe un aumento gradual en la temperatura promedio a partir de la hora más fresca entre las 05:00 y 06:00 h, alcanzando su máximo entre las 12:00 y 14:00 h, cuando vuelve a descender gradualmente nuevamente a la hora más fresca (Figura 4).

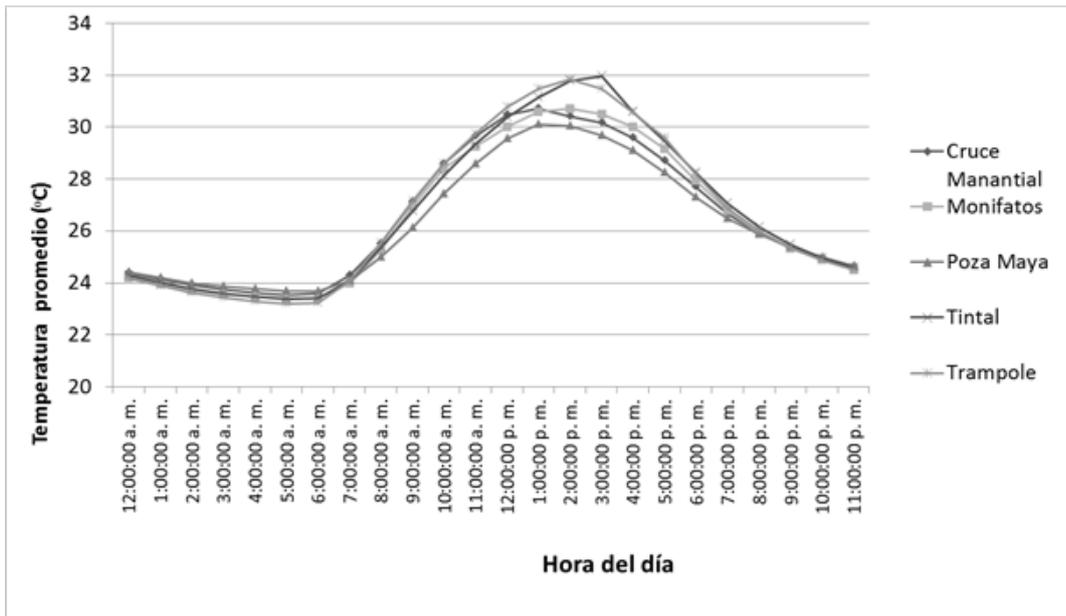


Figura 4. Dinámica diaria de temperatura en cinco aguadas para el periodo del estudio.

La humedad relativa presentó un patrón inverso en el cual entre las 5:00 y 7:00 h se alcanza la mayor humedad relativa, la cual desciende gradualmente alcanzando su mínimo entre las 13:00 y 15:00 h para aumentar nuevamente (Figura 5).

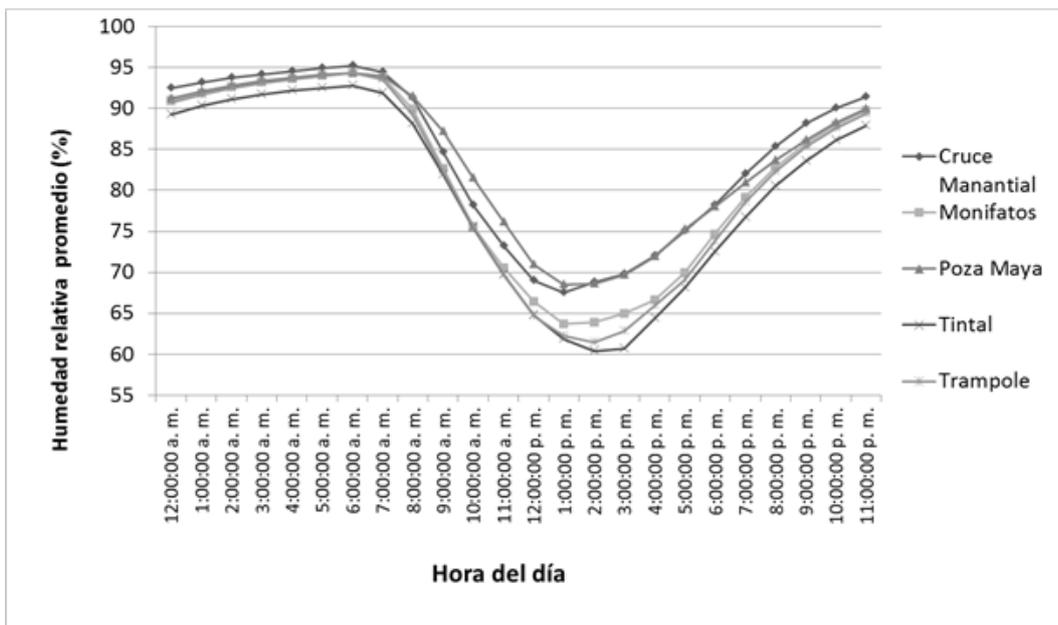


Figura 5. Dinámica diaria de humedad relativa en cinco aguadas para el periodo del estudio.

En cuanto a los patrones a lo largo de las semanas, con respecto a la temperatura, durante las primeras semanas se alcanzan las máximas temperaturas promedio las cuales fueron cercanas

a los 30 °C. A partir de la semana 25, las temperaturas promedio descienden en un rango entre 24 y 27 °C (Figura 6). A pesar que los valores de temperatura son muy similares en las aguadas, puede notarse que durante las semanas más cálidas (21 y 22) del período del estudio las aguadas Cruce al Manantial, El Tintal y El Trampoline alcanzaron temperaturas mayores con respecto a las aguadas Los Monifatos y Poza Maya, siendo esta última la que presenta en la mayoría de las semanas un promedio menor de temperatura con respecto a las demás. Así mismo, puede notarse que la temperatura ambiental registrada por la EMA Calakmul II es ligeramente mayor a la de las aguadas.

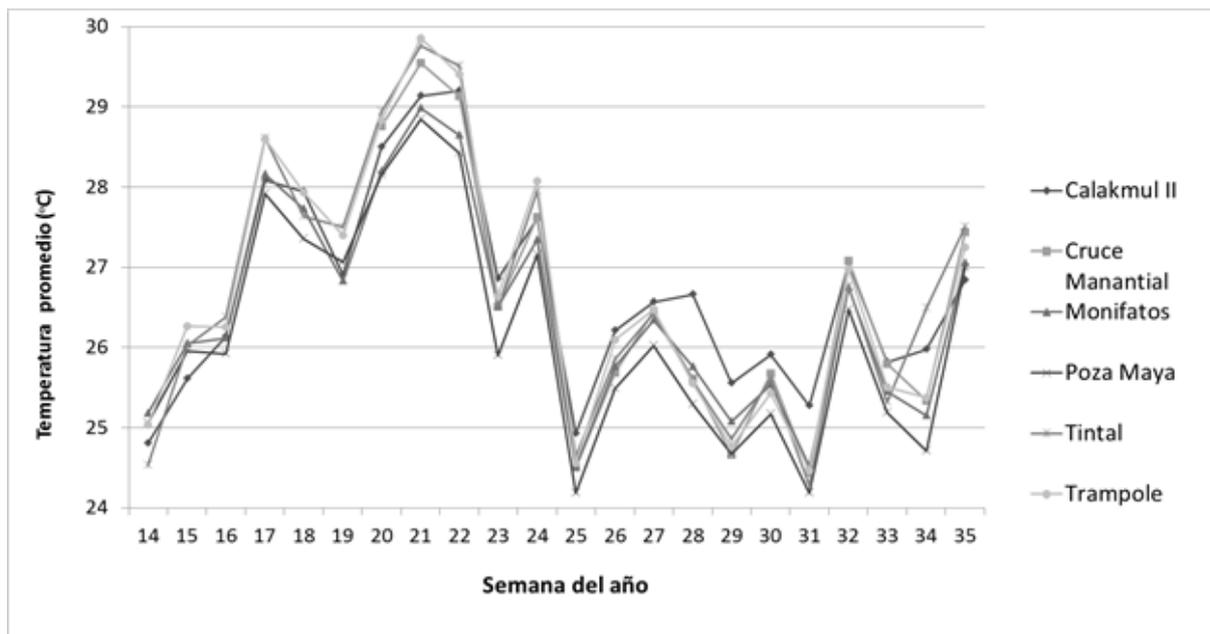


Figura 6. Promedio semanal de la temperatura (°C) en cada una de las aguadas en estudio y la estación meteorológica automática Calakmul II.

Con respecto a la humedad relativa puede observarse un patrón similar para todas las aguadas, sin embargo es notorio que la Poza Maya presenta valores promedio mayores que las otras aguadas, especialmente a partir de la semana 25 (Figura 7). Durante las semanas más secas (de la 18 a la 22), la aguada El Tintal presentó los valores promedio más bajo de humedad relativa. Así mismo, la humedad relativa ambiental registrada por la EMA Calakmul II presenta valores promedio menores que las aguadas.

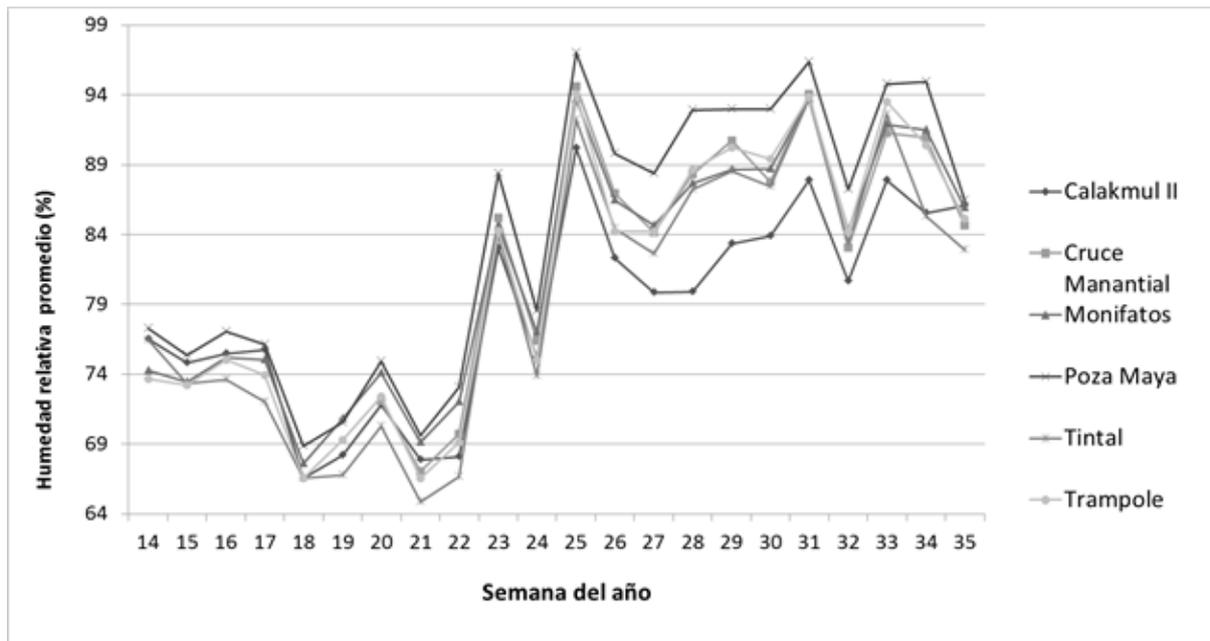


Figura 7. Promedio semanal de la humedad relativa (%) en cada una de las aguadas en estudio y la estación meteorológica automática Calakmul II.

4.2 Registro de visitas de vertebrados medianos y mayores a aguadas.

Se obtuvieron un total de 16,800 fotografías de vertebrados en las 5 aguadas de estudio que corresponden a un total de 27 especies de vertebrados de las cuales 22 son vertebrados medianos y mayores con 6 especies de aves y 16 especies de mamíferos (Tabla 4). Entre las especies registradas pero con una masa corporal menor a los 1,000 gr se encuentra *Cairina moschata* Linnaeus, 1758 (pato real) y *Philander opossum* Linnaeus, 1758 (Tacuacín cuatro ojos).

Tabla 4.

Especies de vertebrados medianos y mayores registrados por las cámaras automáticas en las aguadas de estudio.

Clase	Orden	Familia	Especie	Nombre común
Aves	Tinamiformes	Tinamidae	<i>Tinamus major</i>	Mancolola
	Accitripiformes	Accitripidae	<i>Buteogallus urubitinga</i>	Águila negra mayor

			<i>Spizaetus ornatus</i>	Águila de penacho
			<i>Spizaetus tyrannus</i>	Águila tirana
Galliformes	Cracidae		<i>Crax rubra</i>	Faisán o pajuil
			<i>Penelope purpurascens</i>	Cojolita o pava
		Phasianidae	<i>Meleagris ocellata</i>	Pavo ocelado
Mammalia	Rodentia	Cuniculidae	<i>Cuniculus paca</i>	Tepezcuintle
		Dasyproctidae	<i>Dasyprocta punctata</i>	Cotuza o sereque
	Didelphimorphia	Didelphidae	<i>Didelphis sp.</i>	Tacuacín
	Carnivora	Mustelidae	<i>Conepatus semistriatus</i>	Zorillo
			<i>Eira barbara</i>	Cabeza de viejo o perico ligero
		Felidae	<i>Leopardus pardalis</i>	Ocelote
			<i>Panthera onca</i>	Jaguar o tigre
			<i>Puma concolor</i>	Puma o león
		Procyonidae	<i>Nasua narica</i>	Pizote
		Canidae	<i>Urocyon cinereoargenteus</i>	Zorra gris o gato de monte
	Artiodactyla	Cervidae	<i>Odocoileus virginianus</i>	Venado cola blanca
			<i>Mazama temama</i>	Cabro colorado
		Tayassuidae	<i>Pecari tajacu</i>	Jabalí labio

				blanco
			<i>Tayassu pecari</i>	Coche de monte o de collar
Perissodactyla	Tapiridae		<i>Tapirus bairdii</i>	Tapir o danto

A partir de las fotografías obtenidas se determinaron un total de 1,106 eventos de captura independientes. La especie que presentó un mayor número de registros fue *Crax rubra* Linnaeus, 1758 (faisán), seguido por *Odocoileus virginianus* Zimmermann, 1780 (venado cola blanca), *Tapirus bairdii* Gill, 1865 (danto o tapir), *Dasyprocta punctata* Gray, 1842 (cotuza), *Nasua narica* Linnaeus, 1766 (pizote) y *Puma concolor* Linnaeus, 1771 (puma o león) (Figura 8).

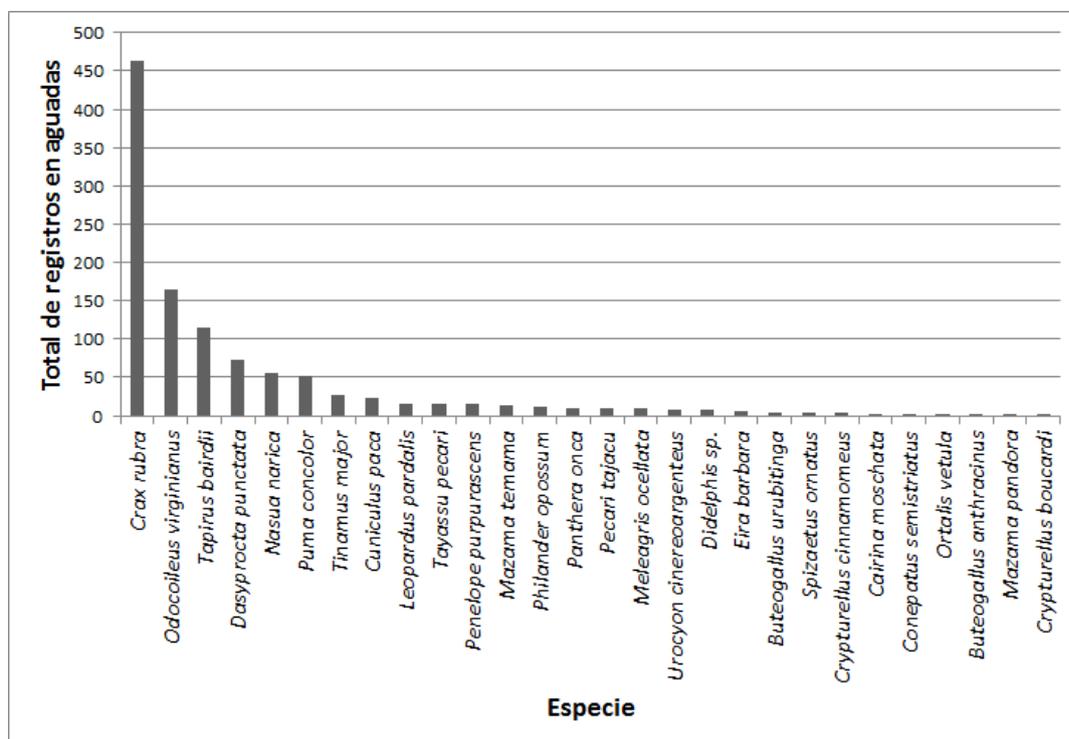


Figura 8. Total de registros independientes en aguadas por especie de vertebrados medianos y menores.

En cuanto a la frecuencia semanal de presencia de las especies en las aguadas fueron *O.virginianus* (venado cola blanca), *C.rubra* (faisán), *T.bairdii* (danto o tapir), *D.punctata* (cotuza), y *P.concolor* (puma o león) las que presentaron una mayor frecuencia (Figura 9). Las dos primeras especies estuvieron presentes las 21 semanas del muestreo.

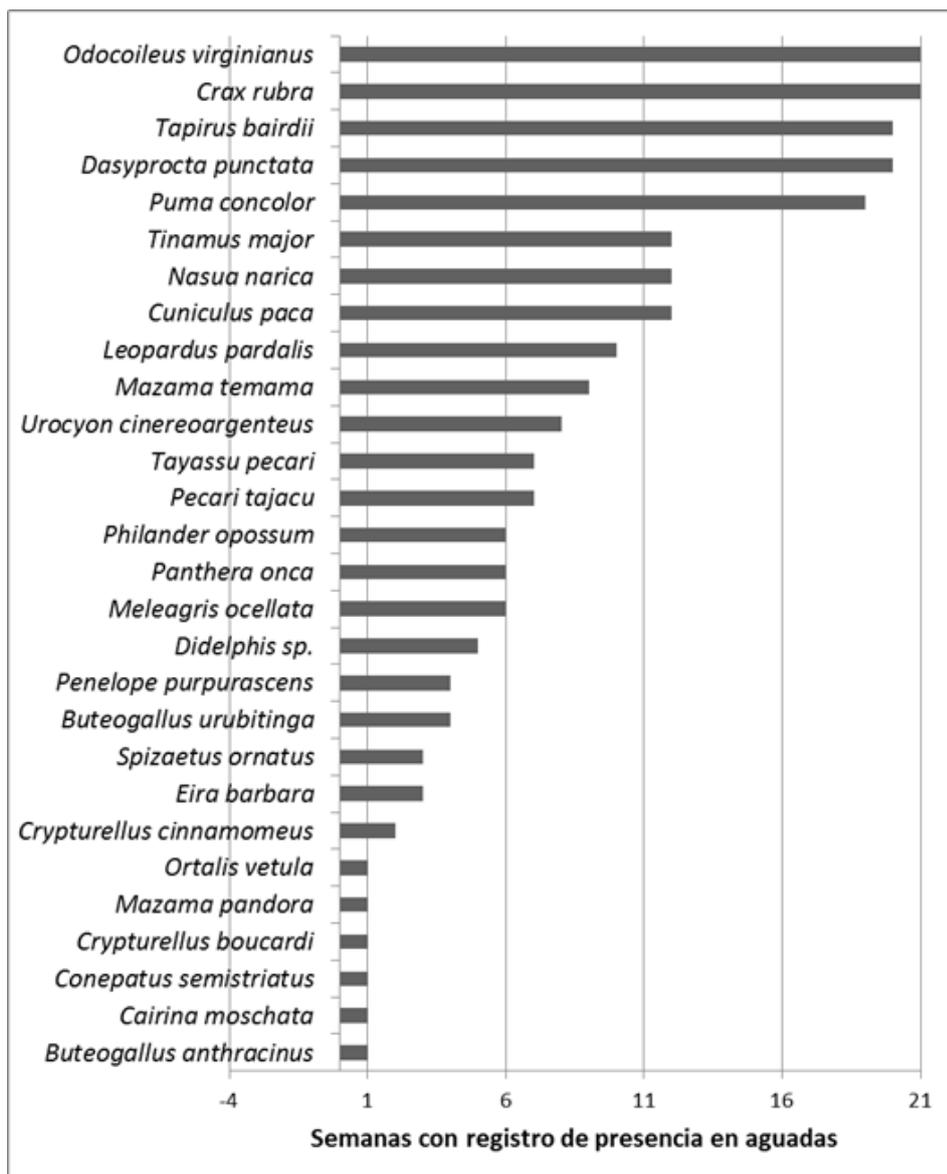


Figura 9. Frecuencia de presencia semanal por especie de vertebrados medianos y menores.

Con respecto a los horarios de actividad, se puede notar que entre las 05:00 y 08:00 h ocurre la mayor actividad, la cual disminuye gradualmente con poca actividad nocturna con respecto a la diurna (Figura 10). Se presenta un leve incremento de la actividad a las 17:00 h.

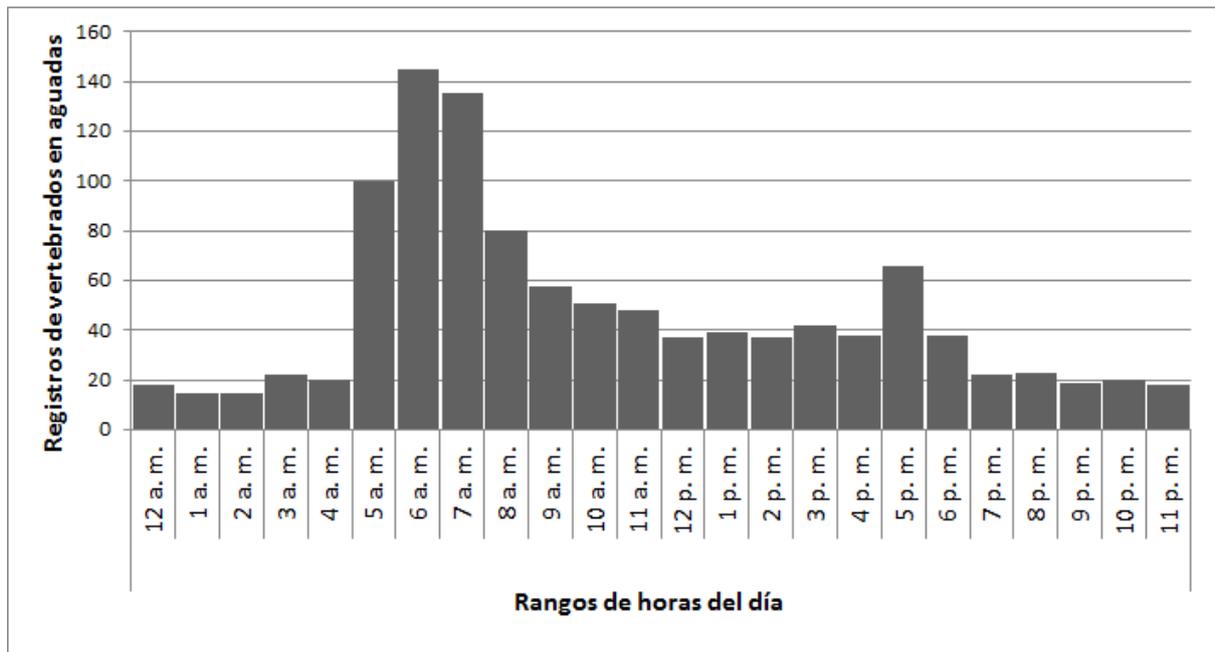


Figura 10. Frecuencia de los registros independientes de vertebrados medianos y mayores en aguadas por hora del día.

En cuanto a la duración promedio de las visitas, *Tayassu pecari* Link, 1795 (jabalí), *Leopardus pardalis* Linnaeus, 1758 (ocelote), *Cuniculus paca* Linnaeus, 1766 (tepezcuintle) y *O. virginianus* (venado cola blanca) presentan los mayores valores entre dos h y una hora y media (Figura 11).

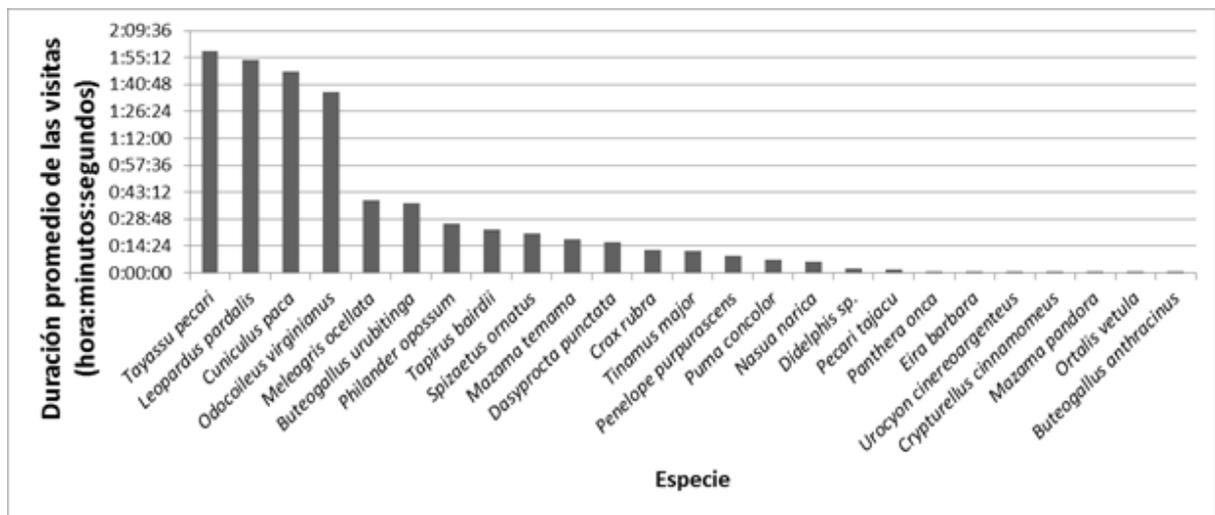


Figura 11. Duración promedio de las visitas de vertebrados medianos y mayores en aguadas.

Se tabularon los registros independientes correspondientes a cada una de las aguadas por semana del año (Tabla 5). La aguada que presentó un mayor número de registros fue la Poza Maya con un total de 409.

Tabla 5.

Número de registros semanales de vertebrados medianos y mayores por aguada.

Semana	Aguada Cruce al Manantial	Aguada El Tintal	Aguada Los Monifatos	Aguada Los Trampoles	Aguada Poza Maya
15	--	16	13	11	58
16	--	7	26	14	34
17	--	4	15	15	55
18	--	6	26	18	73
19	9	8	41	20	44
20	7		9	13	36
21	7	7	2	36	55
22	9	4	19	32	39
23	10	23	3	14	0
24	3	13	2	19	7
25	5	13	5	18	4
26	6	9	2	14	4
Total	56	110	163	224	409

4.3 Correlación entre variables climáticas, cantidad de agua, variables microclimáticas y frecuencia de visita de vertebrados medianos y mayores en aguadas

4.3.1 Correlaciones entre variables climáticas (EMA Calakmul II) y microclimáticas (termohigrómetros)

Se estimaron los coeficientes de correlación entre los valores promedio diarios de temperatura de la EMA y los valores en las aguadas, así como entre las aguadas (Tabla 6). La EMA presentó una correlación promedio de 0.8638 (± 0.02). Para la humedad relativa se presentó una tendencia similar con una correlación promedio de 0.8425 (± 0.02).

Tabla 6.

Coefficientes de correlación entre la temperatura registrada por la EMA Calakmul II y los termohidrómetros en las aguadas.

Aguada/ aguada	Calakmul II	Cruce Manantial	Monifatos	Poza Maya	Tintal	Trampole
Calakmul II	1					
Cruce Manantial	0.8676759	1				
Monifatos	0.8681748	0.9757962	1			
Poza Maya	0.8350361	0.9727969	0.9828038	1		
Tintal	0.8689330	0.9697312	0.9515146	0.9454597	1	
Trampole	0.8792934	0.9833933	0.9730301	0.9699023	0.9722623	1

4.3.2 Correlación entre las variables climáticas y la visita de vertebrados a las aguadas

Los análisis exploratorios efectuados a los datos reflejan patrones en las visitas de vertebrados medianos y mayores a las aguas en relación a la temperatura y la humedad relativa. En la Figura 12 se muestran las frecuencias de los registros por temperatura notándose claramente que el mayor número de registros independientes ocurre en el rango de 25 a 26°C, disminuyendo su número al disminuir o aumentar la temperatura.

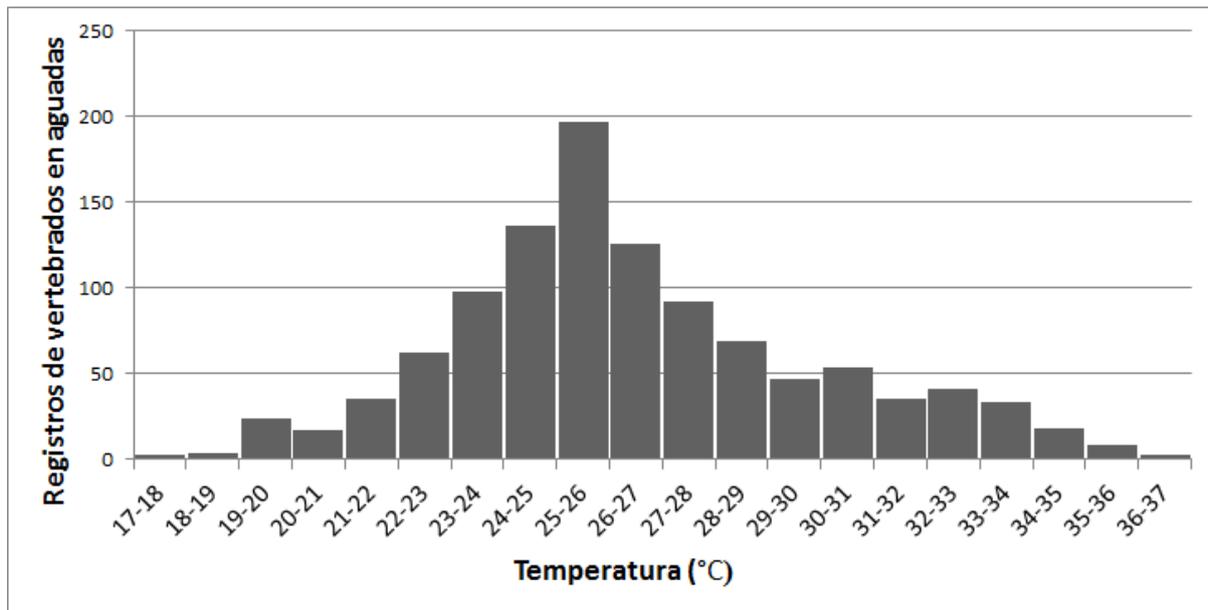


Figura 12. Frecuencia de los registros de vertebrados medianos y mayores en las aguadas en relación a la temperatura.

Con base en el análisis exploratorio, se estimaron dos coeficientes de correlación de Spearman, uno para los rangos de temperaturas de 17 a 26 grados y otro de los rangos de 26 a 37. Para el primer rango, de 17 a 26 grados, se estimó un coeficiente de correlación entre la temperatura y el número de registros vertebrados de 0.963, siendo significativo en el nivel 0.01. Para el rango de 26 a 37 grados, se estimó un coeficiente de -0.919 , siendo también significativo en el nivel 0.01.

Con respecto a la humedad relativa, de manera similar, en una gráfica de frecuencias de los registros puede notarse un comportamiento exponencial, en el cual la mayor actividad ocurre con una humedad relativa entre el 90 y 95%, disminuyendo conforme se reduce el porcentaje de humedad relativa (Figura 13). Se estimó un coeficiente de correlación de Spearman entre la humedad relativa y el número de registros de 0.946, siendo significativo al nivel 0.01.

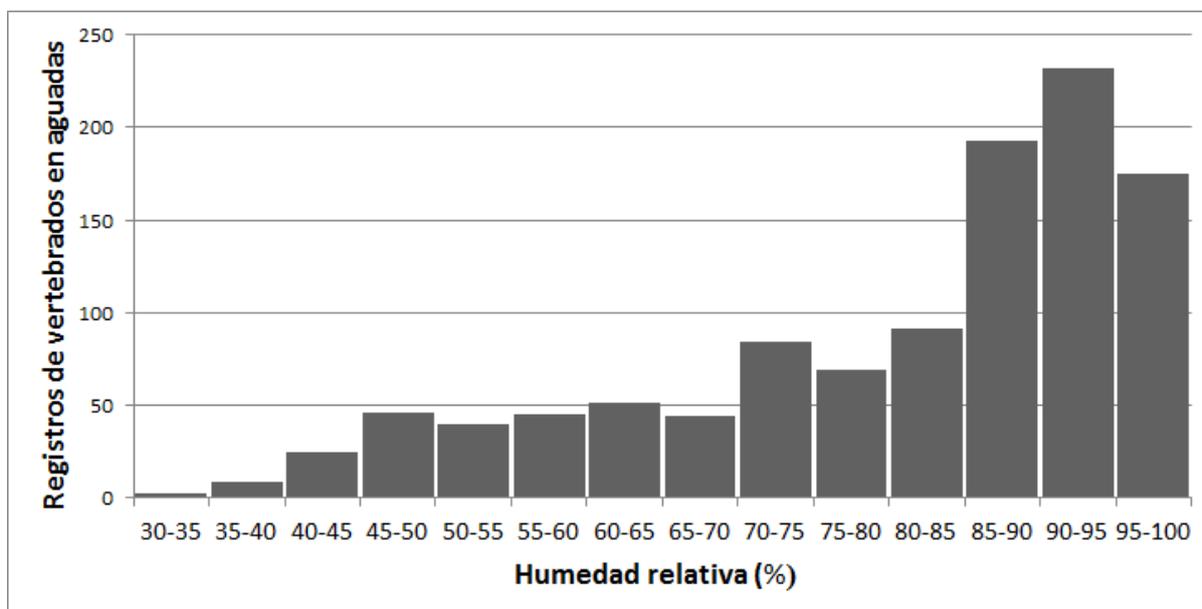


Figura 13. Frecuencias de los registros de vertebrados medianos y mayores en las aguadas con relación a la humedad relativa.

4.3.3 Relaciones entre el número de especies y la duración promedio de las visitas con variable climáticas.

Al relacionar la temperatura con el número de especies registradas se observa un patrón similar al número de registros, en el cual en el rango de 25 a 26°C se registró el mayor número de especies (Figura 14).

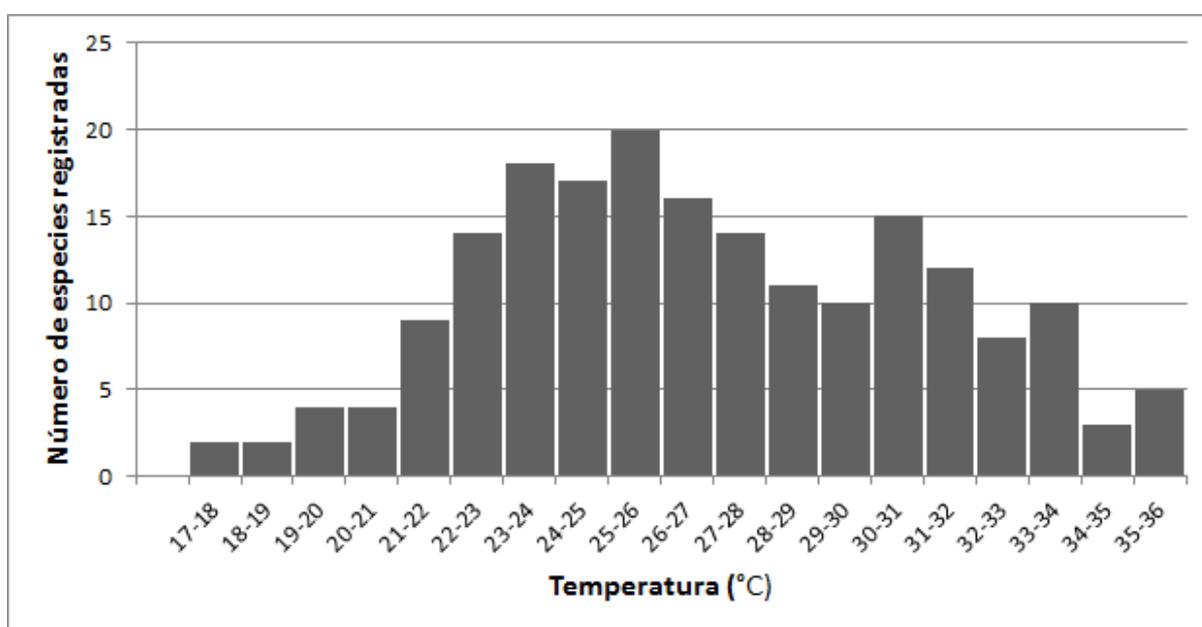


Figura 14. Número de especies de vertebrados medianos y mayores registradas en relación a la temperatura.

Así mismo, para la humedad relativa también se presenta un patrón similar al número de registros en el cual se registró un mayor número de especies cuando la humedad relativa también fue mayor (Figura 15).

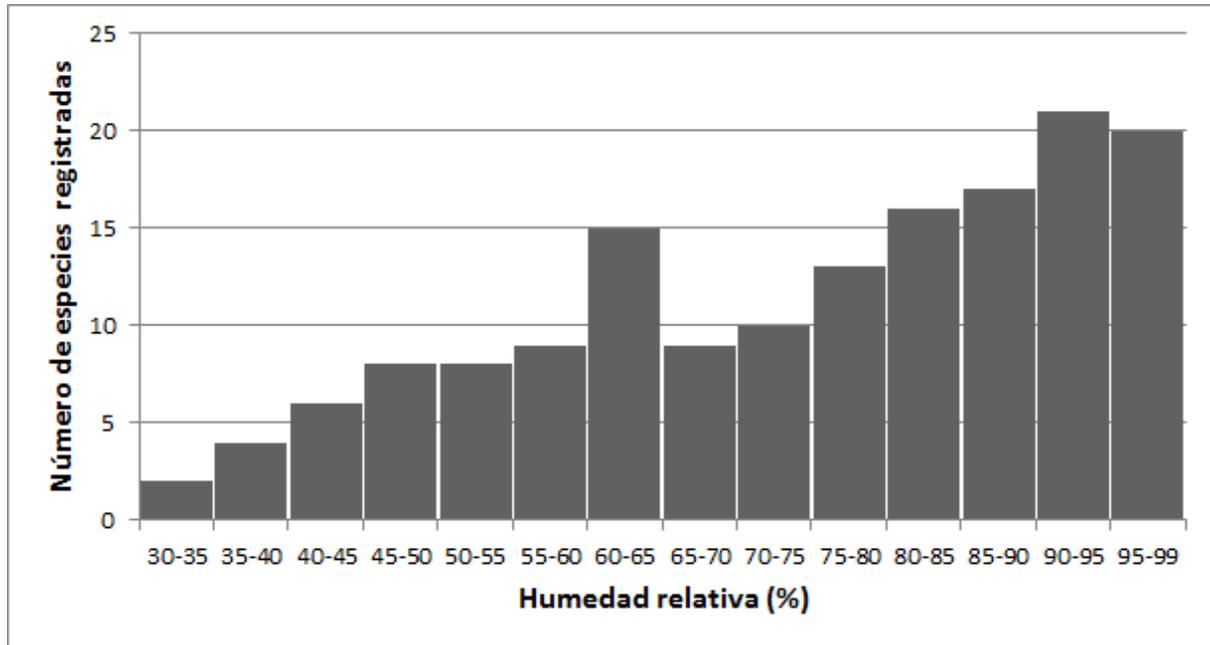


Figura 15. Número de especies de vertebrados medianos y mayores registradas en relación a la humedad relativa.

Con respecto a la duración promedio de los eventos de captura y su relación con la temperatura y la humedad relativa se presentan patrones similares, en los cuales la mayor duración ocurre en el rango de 24 a 25°C (Figura 16) y cuando existe a la humedad relativa más alta (Figura 17).

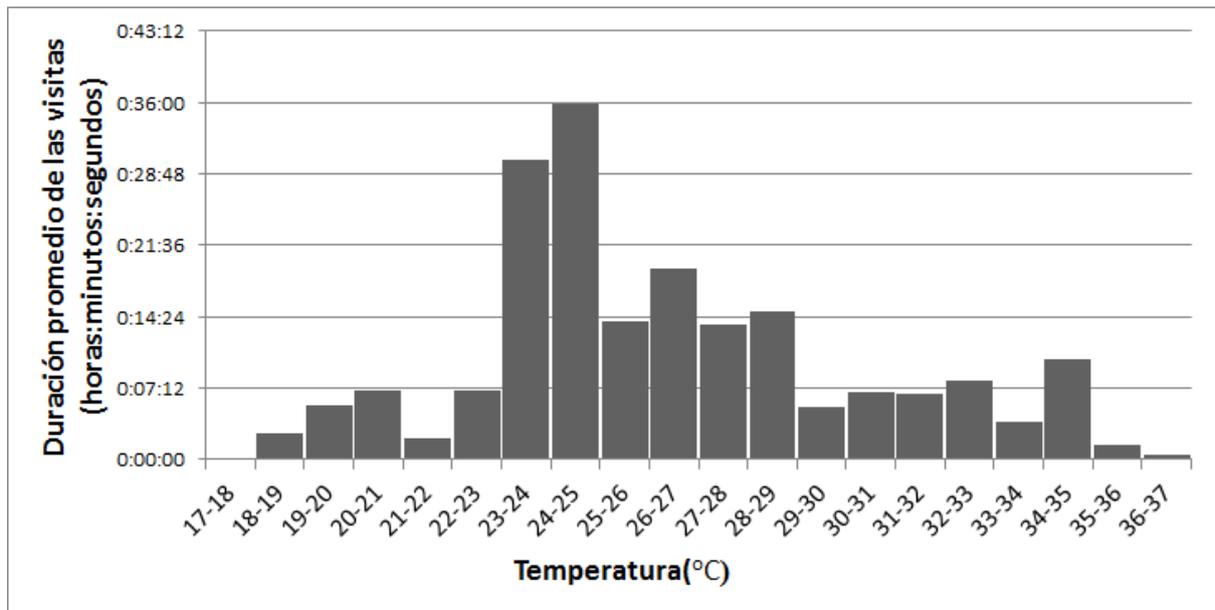


Figura 16. Duración promedio de las visitas de vertebrados medianos y mayores a las aguadas con respecto a la temperatura.

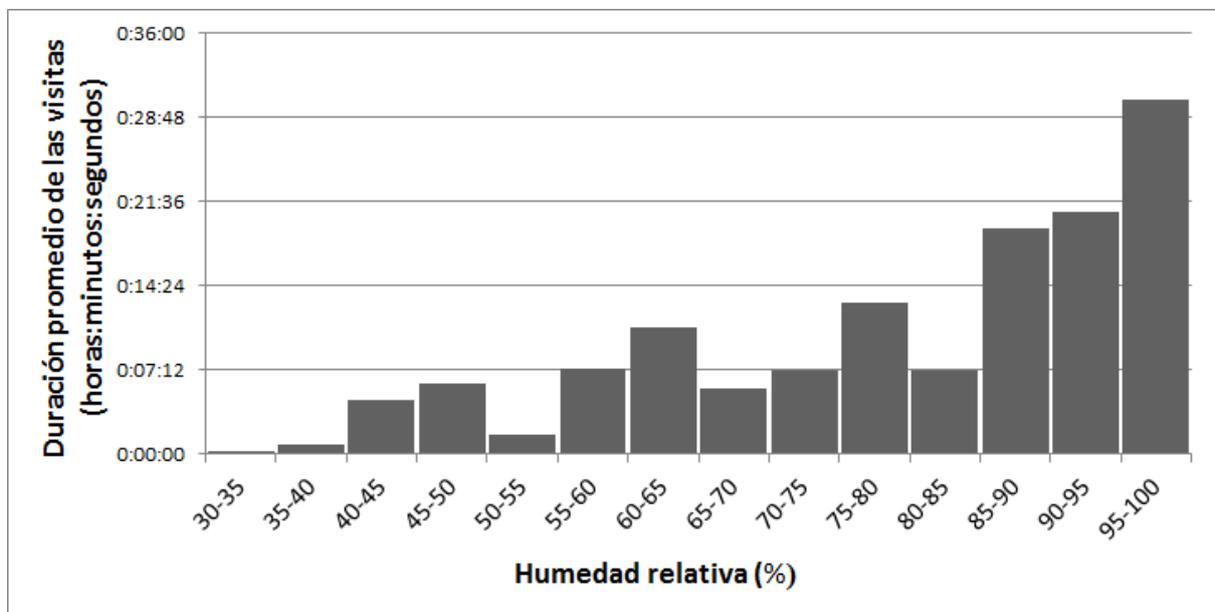


Figura 17. Duración promedio de las visitas de vertebrados medianos y mayores a las aguadas con respecto a la humedad relativa.

4.4 Matriz de resultados

A continuación se presenta la matriz de resultados donde se incluyen los resultados esperados y los resultados obtenidos por objetivo (Tabla 7).

Tabla 7.

Matriz de resultado mostrando los resultados esperados y los resultados obtenidos por objetivo.

Objetivo	Resultado esperado	Resultado obtenido
1	1 Taller de presentación para 12 guarda recursos y personal técnico de la Usac ejecutado	Realización de taller de presentación el 01/marzo/2016 con 18 participantes en el Biotopo Cerro Cahuí.
	1 Base de datos con los datos recopilados durante el estudio con los siguientes campos (aguada, temperatura y humedad relativa, radio de aguada y semana del año)	Base de datos con 390 registros de radios de las aguadas de estudio.
	1 compilación de archivos digitales de fotografías de las aguadas de estudio.	Compilación con 4 fotografías de cada aguada.
2	1 Base de datos con los datos recopilados durante el estudio con los siguientes campos (aguada, especie, frecuencia de visita y semana del año).	-Base de datos con 5,306 registros de especies.
	1 compilación de archivos digitales de las mejores fotografías de vertebrados obtenidas en el estudio.	Compilación con 10 mejores fotografías de vertebrados.
3	Coefficiente de correlación entre los datos de temperatura y precipitación tomados por la EMA Calakmul II de Conagua de México y los datos obtenidos en el estudio.	Matriz con los coeficientes de correlación entre los datos de temperatura y humedad de la EMA

4.6 Impacto esperado

A partir de este estudio llevó a cabo el registro de la dinámica de acumulación de agua y variables microclimáticas en aguadas durante el cambio de la estación seca a la estación húmeda, siendo un aporte al conocimiento regional de las aguadas en la Selva Maya. Esta información es de relevancia ya que estos humedales son vitales para la supervivencia de varias especies durante la época seca y en algunos casos, también comunidades humanas se abastecen de estos cuerpos de agua.

En este estudio se empleó un método innovador para el registro de las aguadas, el cual consiste en la instalación de una cámara a una altura de 1.5m con la función *field scan* activada. A partir de los resultados obtenidos, se pudo constatar que con esta metodología se aumenta el número de registros de vertebrados. Esto se debe a que en algunas ocasiones, al momento de tomar la fotografía en la hora en punto, fueron captados vertebrados al otro lado de la aguada o en otras ubicaciones que norá un análisis con mayor detalle de este aspecto, con un insumo para la actualización y mejora del protocolo binacional de monitoreo de vertebrados en aguadas establecido para México y Guatemala en el año 2015.

Al contar con información sobre las relaciones entre las visitas de vertebrados a aguadas y variables climáticas se puede determinar los rangos preferidos por las especies, así como determinar períodos críticos para su supervivencia. Esta información puede ser incorporada a sistemas de monitoreo ambiental y de diversidad biológica en la RBM y otros sitios de la Selva Maya. La incorporación en los sistemas de monitoreo representa un avance en la ciencia que beneficia directamente a los administradores de las distintas zonas de la RBM.

5. Análisis y discusión de resultados

5.1 Registro de acumulación de agua y variables microclimáticas (temperatura y humedad)

La acumulación de agua y su duración en cuerpos de agua estacionales son determinadas por el balance hídrico entre las tasas de precipitación que los abastecen y la tasa de evapotranspiración con diferentes niveles de filtración (Zedler, 1987; Keeley & Zedler, 1998). De modo que, para este estudio se puede inferir que las aguadas se abastecen con agua de lluvia que cae directamente sobre estas, así como la escorrentía desde áreas de aledañas debido a factores geomorfológicos, como ocurre con otros cuerpos de agua estacionales

(Zedler, 1987). Así mismo, se puede inferir que el agua se acumulada se pierde por factores como el uso por los vertebrados (consumo y regulación de la temperatura corporal), la evapotranspiración por la vegetación acuática y circundante, la evaporación por incidencia solar directa y la infiltración en el suelo.

Cambios estacionales en el régimen de las lluvias, así como del clima y la humedad relativa, ocasionan variaciones del balance hídrico de las aguadas, que determina a su vez, la acumulación de agua o la pérdida de la misma. Estos patrones estacionales conllevan al establecimiento de estadios como los observados por Zedler (1987) en las pozas estacionales en California, Estados Unidos. Este autor describió al menos cuatro estadios en un año, iniciando con la germinación de semillas latentes y el crecimiento de plantas perennes, seguida de una fase acuática o inundable, para después disminuir el nivel del agua, finalizando con una fase de sequía. En este estudio, se registró la disminución del nivel del agua hasta secarse, para entrar a un estadio de sequía de la semana 18 a la 22, y posteriormente, con las lluvias dio inicio un estadio inundable, derivado de la acumulación de agua de lluvia.

Las diferencias en los patrones de acumulación y desecación de cada una de las aguadas pueden estar influenciadas por la topografía, ya que las áreas de captación más extensas podrían prolongar la duración de la fase de inundación y acortar la fase de desecación (Keeley & Zedler, 1998). La permeabilidad del sustrato es otro factor con influencia sobre el balance hídrico de cada aguada, donde suelos con niveles más altos de arcillas pueden favorecer la acumulación de agua (Bauder, 2005; Keeley & Zedler, 1998; Wahl, 2007). La cubierta vegetal circundante también pueden tener influencia en los patrones de desecación, ya que, factores asociados a su estructura como la radiación solar directa, la temperatura, humedad relativa y velocidad del viento determinan las tasas de evaporación del agua. Las aguadas Poza Maya y Los Monifatos ubicadas en bosque alto, de acuerdo a González (2015), presentaron temperaturas promedio menores y mayor humedad relativa promedio en relación con las otras aguadas lo que conduce a tasas menores de evaporación, mientras que El Trampoline y El Tintal ubicadas en bosque bajo presentaron los valores contrarios de temperatura y humedad relativa, lo que indica a su vez, mayores tasas de evaporación.

Derivado de los patrones climáticos y las particularidades de cada aguada, estas pueden presentar diferentes tamaños y formas, y por consiguiente diferentes profundidades y

volúmenes, por lo que el tamaño o forma en un tiempo en específico no es representativo más que para esa época. En este sentido, es importante el monitoreo de los niveles del agua a través de varios años, ya que la poza pudiese llegar a tener un tamaño durante una época muy lluviosa mientras que durante los años secos mantener un tamaño menor (Zedler, 1987). Akpınar (2011) indica en su clasificación de aguadas que considera permanentes, si bien se caracterizan por su aislamiento del subsuelo debido a la acumulación de materia orgánica, es en realidad su profundidad lo que determina que acumulen agua de manera no efímera. Por lo tanto, el monitoreo de estos cuerpos de agua puede llegar a registrar el desecamiento de aguadas consideradas permanentes en estudios previos.

Adicionalmente, fenómenos meteorológicos estocásticos intensos que afectan el régimen de precipitación como los huracanes tienen influencia sobre la acumulación de agua en las aguadas. Durante el período de estudio aconteció el Huracán Earl, un sistema fuerte de baja presión formado en el mar Caribe que luego alcanzó la categoría de tormenta tropical afectando los periodos de inundación, que de acuerdo al registro fotográfico, ocasionó el incremento en el volumen de agua en las aguadas del 03 al 04 de agosto del 2016 (Hanes & Stromberg, 1998; Instituto Nacional de Sismología Vulcanología Meteorología e Hidrografía, 2016).

Winter y colaboradores (2001) argumentan que la variación anual de los niveles de agua en una poza se presume como un reflejo en la variación del clima, en especial de la precipitación. En su estudio, el nivel de agua semanal en todas las pozas fue positivamente correlacionado con la precipitación de esa semana mientras que no se correlacionan con la precipitación de la semana anterior. Esto está en concordancia con el presente estudio ya que con el aumento de la precipitación fue evidente el incremento de los radios de las aguadas.

5.2 Registro de visitas de vertebrados medianos y mayores a aguadas

En cuanto a las especies registradas, estudios previos en el área de estudio han reportado números similares de especies de vertebrados medianos y mayores asociados a las aguadas (20 especies) (González, 2015; Ruano-Fajardo et al., 2009). Las especies registradas coinciden con estudios realizados en aguadas en la Selva Maya, en los cuales se reporta entre las especies con mayor asociación a las aguadas a *T.pecari* (jabalí), *C.rubra* (faisán), *M.ocellata* (pavo ocelado), *P.onca* (jaguar) y *T.bairdii* (tapir) (González, 2015; Moreira-Ramírez et al., 2016; Pérez-Cortés et al., 2012; Ruano-Fajardo et al., 2009; Sandoval-Serés et

al., 2016). En cuanto a las especies con un mayor número de registros como *C. rubra* (faisán), también ha sido reportado para la región de Calakmul como una de las especies más abundantes y por lo tanto considerada como una de las especies que dependen primordialmente de este recurso hídrico (Simá, Reyna & Retana, 2008). Las especies *Didelphis* sp. y *Eira barbara* Linnaeus, 1758 se suman al listado de especies asociadas a las aguadas del BPNDL ya que no fueron reportadas previamente.

González (2015) estimó que la curva de acumulación de especies en aguadas del BPNDL utilizando cámaras automáticas se estabilizó en 100 días, por lo que se espera que el presente estudio haya cubierto el total de especies esperadas dado el esfuerzo de muestreo empleado. Tres necesidades fundamentales para la fauna silvestre, comida agua y refugio siendo el agua considerada elemental para las poblaciones silvestres (Rosenstock, Ballard & Devos, 1999). En el caso de *O. virginianus* (venado cola blanca), la segunda especie con un mayor número de registros en este estudio, es con frecuencia asociado a la disponibilidad de fuentes de agua externa, siendo un importante componente de su hábitat (Short, 1986; Fullbright & Ortega-S, 2007). Mandujano y Gallina (1995) sugieren que los individuos que sean capaces de localizar más rápidamente las fuentes de agua durante la época seca podrían beneficiarse incrementando sus posibilidades de sobrevivencia. Grovenburg y colaboradores (2011) sugieren que los venados prefieren áreas con agua permanente durante las sequías siendo las hembras las que seleccionan estos sitios debido a que el agua libre es esencial para cumplir con los requisitos de lactancia, es de importancia hacer mención que durante todo el estudio se documentaron registros de crías de venado. Cuando la disponibilidad de agua libre es escasa *O. virginiannus* (venado cola blanca) satisface sus necesidades aprovechando otras fuentes como son el rocío y la contenida en la vegetación y los frutos (Mandujano y Gallina, 1995).

Para *T. bairdii* (tapir), la tercer especie en cuanto a registros de visita a aguadas en este estudio, existe un fuerte dependencia por este recurso hídrico, el cual influye en sus desplazamientos a sitios con aguadas a pesar de tener que recorrer grandes distancias (Martínez-Kú, Escalona-Segura & Vargas-Contreras, 2008; Reyna-Hurtado et al., 2016). Los tapires visitan las aguadas con mayor frecuencia durante la época seca, siendo las aguadas con mayor abundancia de agua las más visitadas por lo tanto, las aguadas son el factor fundamental para la presencia y abundancia de tapires en la región de Calakmul (Sandoval-Serés et al., 2016).

Un grupo importante de vertebrados que se ha registrado en las aguadas son las aves rapaces. González (2015) reporta 6 especies de la familia Accipitridae y 1 especie de la familia Falconidae. En un estudio más detallado en este grupo, Aguilera-Rodas & García (2016) confirman 13 especies de aves rapaces que frecuentan aguadas del Biotopo Protegido Dos Lagunas, 7 especies de Accipitridae, 3 especies de Falconidae, 2 especies de la familia Cathartidae y 1 especie de rapaz nocturna de la familia Stringidae. De todas estas especies, las que han obtenido mayor frecuencia de registros en años anteriores han sido *B. urubitinga*, *S. ornatus* y *S. tyrannus*, apareciendo también en este estudio, lo que podría indicar alguna relación de estas especies con las aguadas.

5.3 Correlaciones entre las variables climáticas y las especies de vertebrados.

Los estudios de Ruano-Fajardo et al. (2009) y González (2015) reportaron una mayor actividad de vertebrados durante las primeras h de la mañana, disminuyendo en las primeras h de la tarde. Este patrón parece coincidir con el aumento de la temperatura y disminución de la humedad relativa que se presenta en las aguadas por lo que las especies parecen estar evitando las condiciones adversas de calor y poca humedad que se presentan en las primeras h de la tarde.

Este aumento en la frecuencia de visita durante las primeras h del día, está en concordancia con las h que presentan un mayor porcentaje de humedad relativa, esto podría ser explicado porque durante estas h la acumulación de rocío alcanza su máximo y especies como *O. virginianus* (venado cola blanca) ajustan su actividad a estas h con el fin de aprovechar al máximo esta fuente (Mandrujano & Gallina, 1995). Medici (2010) encontró que los tapires de tierras bajas (*Tapirus terrestris*) en la Mata Atlántica de Brasil, presentaban patrones de actividad reduciendo la actividad en las h más cálidas para activarse en el atardecer.

González (2015) expresó la relación entre la actividad de vertebrados con la temperatura a través de un modelo lineal generalizado de segundo grado, en el cual se presenta una mayor actividad en un rango de temperaturas semanales máximas promedio entre los 36 y 39°C. Este patrón coincide con la distribución de las frecuencias de los registros con respecto a la temperatura, en el cual existe una temperatura umbral a partir de la cual disminuye la actividad. De modo que las temperatura máxima promedio umbral descrita por González (2015) de 38°C podría coincidir con los 25°C reportados en el presente estudio.

Así mismo, estudios realizados encontraron que el radio de la aguada y por lo tanto la capacidad de acumulación de agua es un factor determinante en la presencia de determinadas especies, siendo mayor la riqueza de especies cuanto mayor es el perímetro (González, 2015; Pérez-Cortes et al., 2012).

6. Conclusiones

Las aguadas presentaron una variación temporal en la acumulación de agua, temperatura y humedad relativa a lo largo de las semanas de estudio.

De la semana 14 a la 17, la cantidad de agua acumulada en las aguadas disminuyó gradualmente hasta que se secaron totalmente en la semana 18, manteniéndose así hasta la semana 22 (de abril a junio). Con el inicio de las lluvias inicia nuevamente la acumulación de agua de lluvia, pudiendo mantenerse con agua o secarse nuevamente dependiendo de la aguada hasta la semana 35.

La acumulación estimada varía entre 5,000 y 45,000 litros de agua, siendo la aguada El Trampoline es la que presenta la mayor acumulación. Para la aguada El Tintal se estimó una tasa de evapotranspiración de 342.12 litros por día.

Las aguadas presentaron una variación de la temperatura y humedad relativa promedio a lo largo del día, iniciando con temperaturas promedio de 22 a 24 grados hasta las 06:00 de la mañana, cuando se da un aumento gradual, alcanzando el máximo entre 30 y 32 grados entre las 14:00 y 15:00 h, para disminuir nuevamente de manera gradual. La humedad relativa presenta un patrón inverso alcanzando los valores máximos entre 90 y 99% a las 06:00 h y los valores mínimos entre 60 y 70% a las 14:00 h.

Se presentó una variación de la temperatura y humedad relativa a lo largo de las semanas de estudio, alcanzando los valores máximos de temperatura promedio en los rangos de 28 a 30 grados en la semana 22 y los valores más bajo de humedad relativa en los rangos de 64 a 70% en la semana 21.

Se registró un total de 22 especies de vertebrados medianos y mayores asociados a las aguadas en estudio. La especie que presentó un mayor número de registros fue *Crax rubra* (faisán), seguido por *Odocoileus virginianus* (venado cola blanca), *Tapirus bairdii* (danto o tapir), *Dasyprocta punctata* (cotuza), *Nasua narica* (pizote) y *Puma concolor* (puma o león).

La mayor actividad en las aguadas ocurre entre las 05:00 y 08:00 h, disminuye gradualmente, con poca actividad nocturna. Las mayores duraciones de visita promedio registradas corresponden a *Tayassu pecari* (jabalí), *Leopardus pardalis* (ocelote), *Cuniculus paca*

(tepezcuintle) y *O. virginianus* (venado cola blanca), con una duración entre dos h y una hora y media.

Se estimó una correlación promedio de 0.8638 (± 0.02) entre la temperatura registrada por la EMA Calakmul II y los sensores automáticos instalados en las aguadas. Para la humedad relativa la correlación promedio fue de 0.8425 (± 0.02).

Se estimaron coeficientes de correlación de Spearman entre las temperaturas y los registros de visita de vertebrados a las aguadas. Para el rango entre 17 a 26 grados se estimó un coeficiente de correlación de 0.963, siendo significativo en el nivel 0.01, y para el rango de 26 a 37 grados se estimó un coeficiente de -0.919, siendo también significativo en el nivel 0.01.

Se estimó un coeficiente de correlación de Spearman entre la humedad relativa y el número de registros de 0.946, siendo significativo al nivel 0.01.

7. Referencias

- Anderson, E. R., Cherrington, E. A., Flores, A. I., Pérez, J. B., Carrillo, R., y E. Sempris. (2008). *Potential impacts of climate change on biodiversity in Central America, Mexico and Dominican Republic*. Ciudad de Panamá, Panamá: Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe & Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional.
- Aguilera-Rodas, A., & García, M. (2016). Registro de aves rapaces en humedales estacionales del Biotopo Naachtún Dos Lagunas, Guatemala. Póster presentado en la IV Conferencia de Rapaces Neotropicales & II Simposio de Búhos Neotropicales, La Fortuna, Costa Rica.
- Akpinar, E. (2011). *Aguadas: A significant aspect of the southern Maya lowlands water management system* (Tesis doctoral). Universidad de Cincinnati, Ohio, Estados Unidos.
- Bauder, E. (2005). The effects of an unpredictable precipitation regime on vernal pool hydrology. *Freshwater Biology*. 50(12), 2129-2135. doi:10.1111/j.1365-2427.2005.01471.x
- Ballard, W., Rosenstock, S., & de Vos, J. (1997). The effects of artificial water developments on ungulates and large carnivores in the Southwest En R. Pearlman. (Ed), *Proceedings of a symposium on environmental, economic and legal issues related to rangeland water developments* (pp 64-105). Arizona, Estados Unidos: Center for Law, Science and Technology.
- Backlund, P., Janetos, A., & Schimel, D. (2008). *The effects of Climate Change on Agriculture, Land Resources, Water Resources and Biodiversity in the United States*. A Report by the US Climate Change Science Program. Washington, Estados Unidos.
- Cadman, M., & González-Talaván, A. (Eds). (2014). *Publishing Camera Traps Data, a Best Practice Guide*. Copenhagen: Global Biodiversity Information Facility.
- Chamailé-Jammes, S., Fritz, H., & Murindagomo, F. (2007). Climate driven fluctuations in surface –water availability and the buffering role of artificial pumping in an African savanna: Potential implication for herbivore dynamics. *Austral Ecology* 32(7), 740-748 doi: 10.1111/j.1442-9993.2007.01761.x
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza & The Nature Conservancy. (2011). *Programa de adaptación al cambio*

- climático en áreas naturales protegidas del complejo de la Selva Maya*. México: Autor.
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas; Ministerio de Cultura y Deportes -Dirección General del Patrimonio Cultural y Natural & Centro de Estudios Conservacionistas. (2010). *Plan maestro 2009-2013. Parque Nacional Mirador Río Azul y Biotopo Protegido Naachtún- Dos Lagunas*. Guatemala: Autor.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza & The Nature Conservancy. (2011). *Programa de adaptación al cambio climático en áreas naturales protegidas del complejo de la Selva Maya*. México: Autor.
- Dix, M., & Fernández, J. F. (Eds) (2001). *Inventario de los humedales de Guatemala. San José, Costa Rica*: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza-Mesoamérica, Consejo Nacional de Áreas Protegidas y Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Domínguez, M. del R., & Folan, W. J. (1996) Calakmul, México: Aguadas, bajos, precipitación y asentamiento en el Petén Campechano. En Laporte, J.P. & Escobedo, H. (Eds). *IX Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 1995*. Guatemala: Museo Nacional de Arqueología y Etnología.
- Fullbright, T., & Ortega-S, A. (2007). *Ecología y manejo de venado de cola blanca*. Estados Unidos: Texas A&M University Press.
- Galindo-Leal, C. (1999). *La gran región de Calakmul, Campeche. Prioridades biológicas de conservación y propuesta de modificación de la Reserva de la Biosfera* (Reporte Final). México: World Wildlife Fund.
- González, V. R. (2015). *Vertebrados medianos y mayores asociados a las aguadas del Biotopo Protegido Naachtún - Dos Lagunas, Petén* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Guatemala.
- Grovenburg, T., Swanson, C., Jacques, C., Klaver, R., Brinkman, T., Burris, B. ... Jenks, J. (2011). Survival of White-tailed deer neonates in Minnesota and South Dakota. *Journal of Wildlife Management* 75(1), 212-220. doi: 10.1002/jwmg.20
- Hanes, T., & Stromberg, L. (1998). Hydrology of vernal pools on non-volcanic soils in the Sacramento Valley. En C. Witham, E. Bauder, D. Belk, W. Ferren & R. Ornduff (Eds.), *Ecology, Conservation, and Management of Vernal Pool Ecosystems* –

- Proceedings from a 1996 Conference* (pp. 38-49). Sacramento, Estados Unidos: California Native Plant Society.
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Thau, D., ... Townshend, J. R. G. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*, 342(6160), 850-853.
- Hodgon, B. D., Hughell, D., Ramos, V. H., & McNab, R. B. (2015). *Tendencias en la deforestación de la Reserva de Biosfera Maya, Guatemala 2000-2013*. Guatemala: Rainforest Alliance, Wildlife Conservation Society y Consejo Nacional de Áreas Protegidas.
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. (2016). Avance de la Tormenta Earl. (Informe preliminar, emisión 4 agosto 2016). Recuperado de www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/Informe_preliminar__tormenta_earl.pdf
- Kaeslin, E., Redmond, I., & Dudley, N. (Eds.). (2013). *La fauna silvestre en un clima cambiante*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Karanth, U., & Nichols J. (1998). Estimation of tiger densities in India using photographic captures and recaptures. *Ecology*, 79(8), 2852-2862. doi: 10.2307/176521
- Keeley, J., & Zedler, P. (1998). Characterization and global distribution of vernal pools. En C. Witham, E. Bauder, D. Belk, W. Ferren & R. Ornduff (Eds.), *Ecology, Conservation, and Management of Vernal Pool Ecosystems – Proceedings from a 1996 Conference* (pp. 1-14). Sacramento, Estados Unidos: California Native Plant Society.
- Lundell, C. L. (1937). *The Vegetation of the Peten*. Washington, D.C: Carnegie Institution of Washington.
- Mandujano, S., & Galina, S. (1995). Disponibilidad de agua para el venado de cola blanca en un bosque tropical caducifolio de México. *Vida Silvestre Neotropical* 4(2), 107-118.
- Matthews, J. (2010). Anthropogenic climate change impacts on ponds: a thermal mass perspective. *BioRisk*, 5, 193-209. doi: 10.3897/biorisk.5.849
- Martínez-Kú, D., Escalona-Segura, G., & Vargas-Contreras, J. (2008). Importancia de las aguadas para los mamíferos de talla mediana y grande en Calakmul, Campeche, México. En: Lorenzo, C., Espinoza, E., & Ortega, J. (Eds.). *Avances en el Estudio de los Mamíferos de México II* (pp.449-468). México: Asociación Mexicana de Mastozoología.

- Medici, E.P. (2010). *Assessing the viability of lowland tapir populations in a fragmented landscape* (Tesis de doctorado). University of Kent, Durrell Institute of Conservation and Ecology, Reino Unido.
- Moreira, J. (2009). *Patrones diarios de actividad, composición, tamaño y abundancia relativa de manadas de jabalí *Tayassu pecari* (Link, 1795) en el Parque Nacional Mirador-Río Azul, Petén, Guatemala* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Guatemala.
- Moreira-Ramírez, J. F., Reyna-Hurtado, R., Hidalgo-Mihart, M., Naranjo, E., Ribeiro, M. C., García-Anleu, R. ... Ponce-Santizo, G. (2016). Importancia de las aguadas para el pecarí de labios blancos (*Tayassu pecari*) en la Selva Maya, Guatemala. *Therya*, 7(1), 51-64. doi: 10.12933/therya-16-344
- Naranjo, E. (2001). El tapir en México. *Biodiversitas*. 36, 9-11.
- Pérez-Cortez, S., Enríquez, P. L., Sima-Panti, D., Reyna-Hurtado, R., & Naranjo, E. J. (2012). Influencia de la disponibilidad de agua en la presencia y abundancia de *Tapirus bairdii* en la selva de Calakmul, Campeche, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 83, 753-761. doi:10.7550/rmb.25095
- Reyes, E. M., Morales, J. E., Bustamante, M., Ruano, E. G., & Monzón, V. E. (2009a). *Los cuerpos de agua de la región Maya Tikal-Yaxhá: importancia de la vegetación acuática asociada, su conservación y el valor desde el uso humano* (Informe final Proyecto Fodecyt 25-2008). Guatemala: Secretaria Nacional de Ciencia y Tecnología y Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Reyes, E. M., Morales, J. E., Oliva, B. E., & Dávila, C. V. (2009b). *Los cuerpos de agua de la región Maya Tikal -Yaxhá: importancia de la vegetación acuática asociada, calidad de agua y conservación* (Informe final Proyecto Digi). Guatemala: Dirección General de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Reyna-Hurtado, R., O'Farril, G., Simá, D., Andrade, M., Padilla, A., & Sosa, L. (2010). Las aguadas de Calakmul: Reservorios de vida silvestre y de la riqueza natural de México. *Biodiversitas*, 93, 1-6.
- Reyna-Hurtado, R., García, R., & García, M. (2015). *Protocolo de monitoreo de vertebrados en cuerpos de agua de la selva maya* (Documento técnico). Guatemala: Instituto para la Cooperación Alemán, El Colegio de la Frontera Sur, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, The Wildlife Conservation Society, Universidad de San Carlos de Guatemala y Consejo Nacional de Áreas Protegidas.

- Reyna-Hurtado, R., Sanvicente-López, M., Pérez-Flores, J., Carrillo-Reyna, N., & Calmé, S. (2016). Insights into the multiannual home range of a Baird's tapir (*Tapirus bairdii*) in the Maya Forest. *Therya*, 7(2), 271-276.
- Rios, A. A., Espinosa, D. M., & Revollo, D. A. (2014). Presente y futuro de las aguadas de Calakmul, México: Análisis de la conducta de los habitantes frente al cambio climático. *Summary for decision makers* (70), 1-2.
- Ruano-Fajardo, G., Moreira, J., García, R., McNab, R. B., Ponce-Santizo, G., Méndez, V., & Córdova, F. (2009). *Monitoreo de manadas de jabalí y dantos que visitan las aguadas de la región Este del Parque Nacional Mirador Río Azul* (Documento técnico). Guatemala: Wildlife Conservation Society, Usaid, Conap y Cecon.
- Sandoval-Serés, E., Reyna-Hurtado, R., Briceño-Méndez, M., & de-la-Cerda-Vega, R. (2016). Uso de aguadas y abundancia relativa de *Tapirus bairdii* en la región de Calakmul, Campeche, México. *Therya*, 7(1), 39-50. doi: 10.12933/therya-16-349
- Seppälä, R., Buck, A., & Katila, P. (Eds). (2009). Adaptation of forests and people to climate change: a global assessment report. *IUFRO World Series*, (22) 1-224.
- Simá, P. D., Retana, O., Reyna, R., & Miranda, J. (2008). Detección de fauna silvestre mediante el sistema de fototrampeo en dos ampliaciones forestales de la Reserva de la Biosfera de Calakmul, Campeche, México (Estudio Preliminar). México: Reserva de Biosfera Calakmul, ProNatura Península de Yucatán, The Nature Conservancy, Universidad Autónoma de Campeche & Universidad de Florida.
- Simá, P., Reyna, R. & Retana, O. (2008). *Caracterización de fauna silvestre asociada a aguadas en cuatro ampliaciones forestales en la Reserva de Biosfera Calakmul, Campeche, México*. (Documento técnico). México: ProNatura Península de Yucatán, The Nature Conservancy, Reserva de Biosfera Calakmul, Universidad de Florida & Universidad Autónoma de Campeche.
- Smith, D., & Verrill, W. (1998). Vernal Pool-soil landform relationships in the Central Valley, California. En: W. Witham, E. Bauder, D. Belk, W. Ferren & R. Ornduff. (Eds.), *Ecology, Conservation and Management of Vernal Pool Ecosystems- Proceedings from a 1996 Conference* (pp. 15-23). Sacramento, Estados Unidos: California Native Plant Society.
- Short, H. (1986). Habitat suitability index models: White-tailed deer in the Gulf of Mexico and South Atlantic Coastal Plains. *U.S. Fish and Wildlife Service Biological Report* 82(10.123).

- The Nature Conservancy. (2006). *Una visión para el futuro, una agenda para hoy: Plan Ecorregional de las Selvas Maya, Zoque y Olmeca*. En F. Secaira, M. Paiz & G. Hernández (Eds.). (Documento técnico). San José, Costa Rica: Autor.
- Tobler, M., Carrillo-Percastegui, S., Leite Pitman, R., Mares, R., & Powell, G. (2008). An evaluation of camera traps for inventorying large-and medium-sized terrestrial rainforest mammals. *Animal Conservation* 11, 169-178.
- Tobler, M. (2013). *Camera Base, User Guide. Version 1.7*. Disponible en [http://www.atrrium-biodiversity.org/tools/camerabase/files/CameraBase Doc1. 6.pdf](http://www.atrrium-biodiversity.org/tools/camerabase/files/CameraBase%20Doc1.6.pdf)
- Wahl, D., Schreiner, T., Byrne, R., & Hansen, R. (2007). A Paleoecological Record from a Late Classic Maya Reservoir in the North Peten. *Latin American Antiquity*, 18 (2), 212-222.
- Winter, T., Rosenberry, D., Buso, D., & Merk, D. (2001). Water source to four U.S. Wetlands: Implications for wetland management. *Wetlands*, 21(4), 462-473.
- Zedler, P. (1987). *The ecology of southern California Vernal Pools: A community profile* (Reporte Biológico No. 85). Estados Unidos: Fish and Wildlife Service.

8. Apéndices

Apéndice 1. Fotografías selectas del trabajo de campo para revisiones mensuales de sensores y cámaras automáticas.



Fotografía 1. Investigadora Vivian González durante la revisión del equipo en el mes de julio.



Fotografía 2. Vivian González y Guarda recurso Darwin Castillo durante la revisión en campo en el mes de julio.



Fotografía 3. Estudiante Gerber González y Guarda recurso Agustín Caal durante la revisión en campo en el mes de julio.

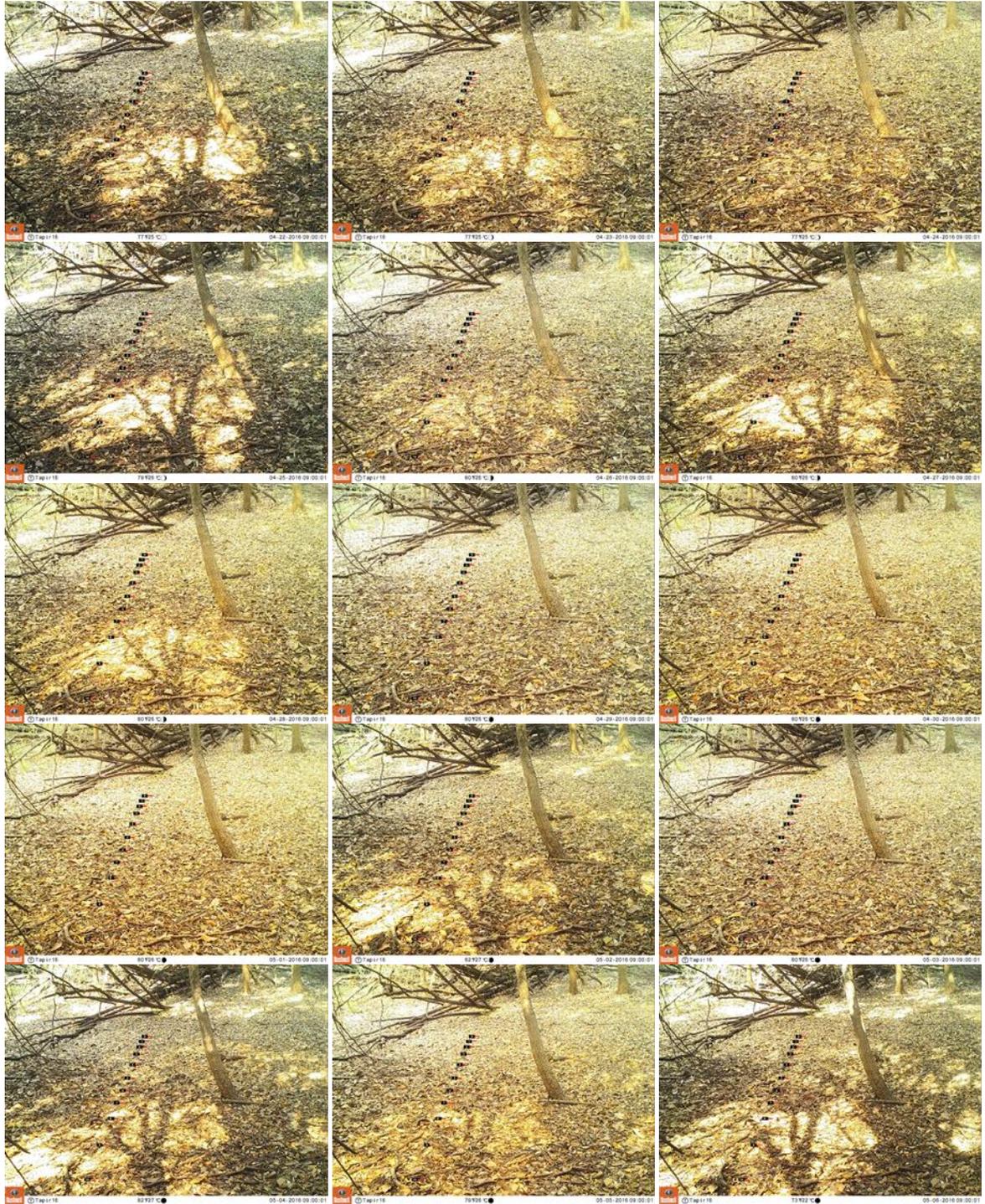


Fotografía 4. Personal del CECON colaborando durante la revisión en campo en el mes de mayo.

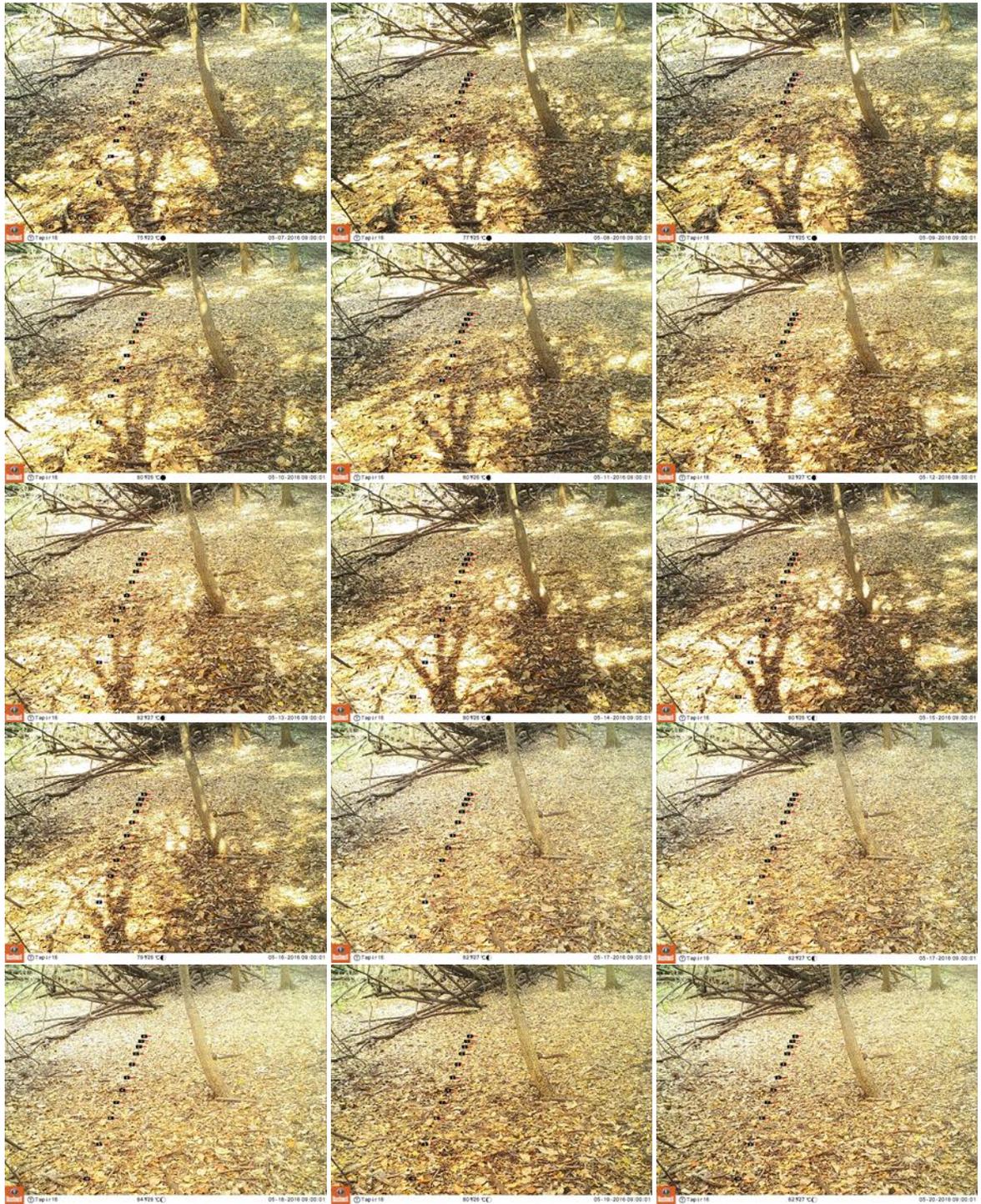
Apéndice 2. Fotografías registrando la dinámica de acumulación de agua en la aguada El Tintal, desde el 7 de abril hasta el 3 de julio de 2016.



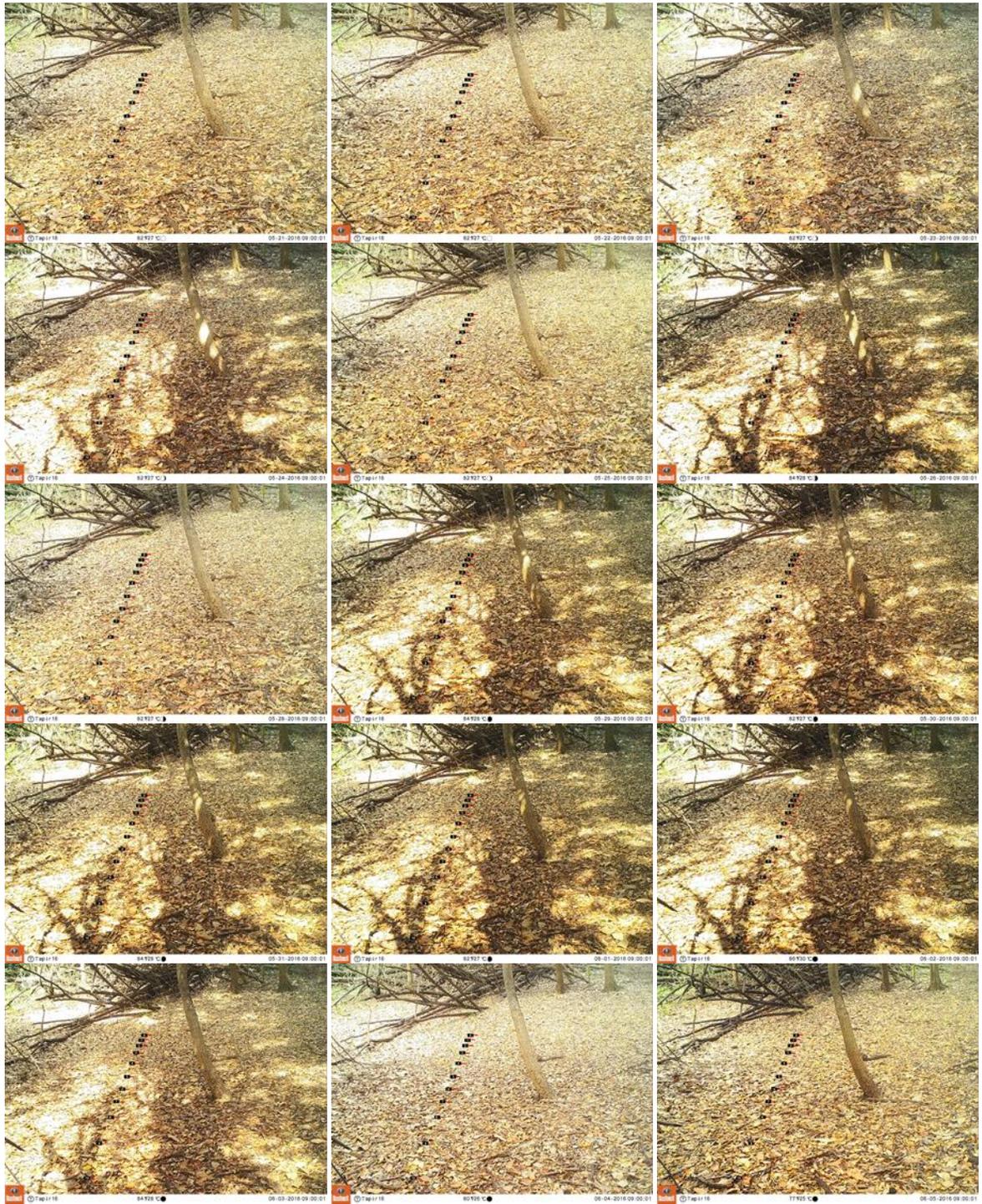
Continúa Apéndice 2.



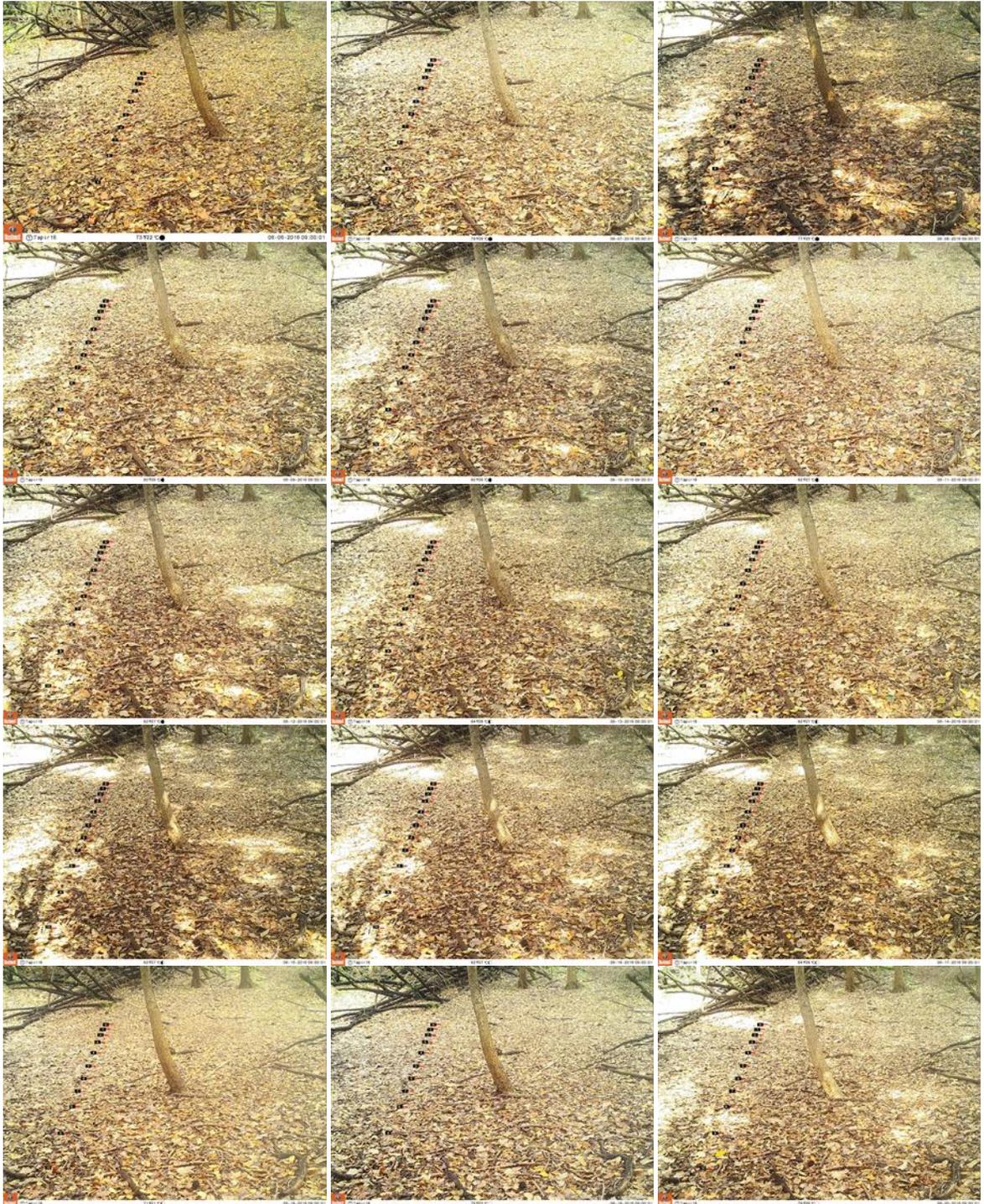
Continúa Apéndice 2.



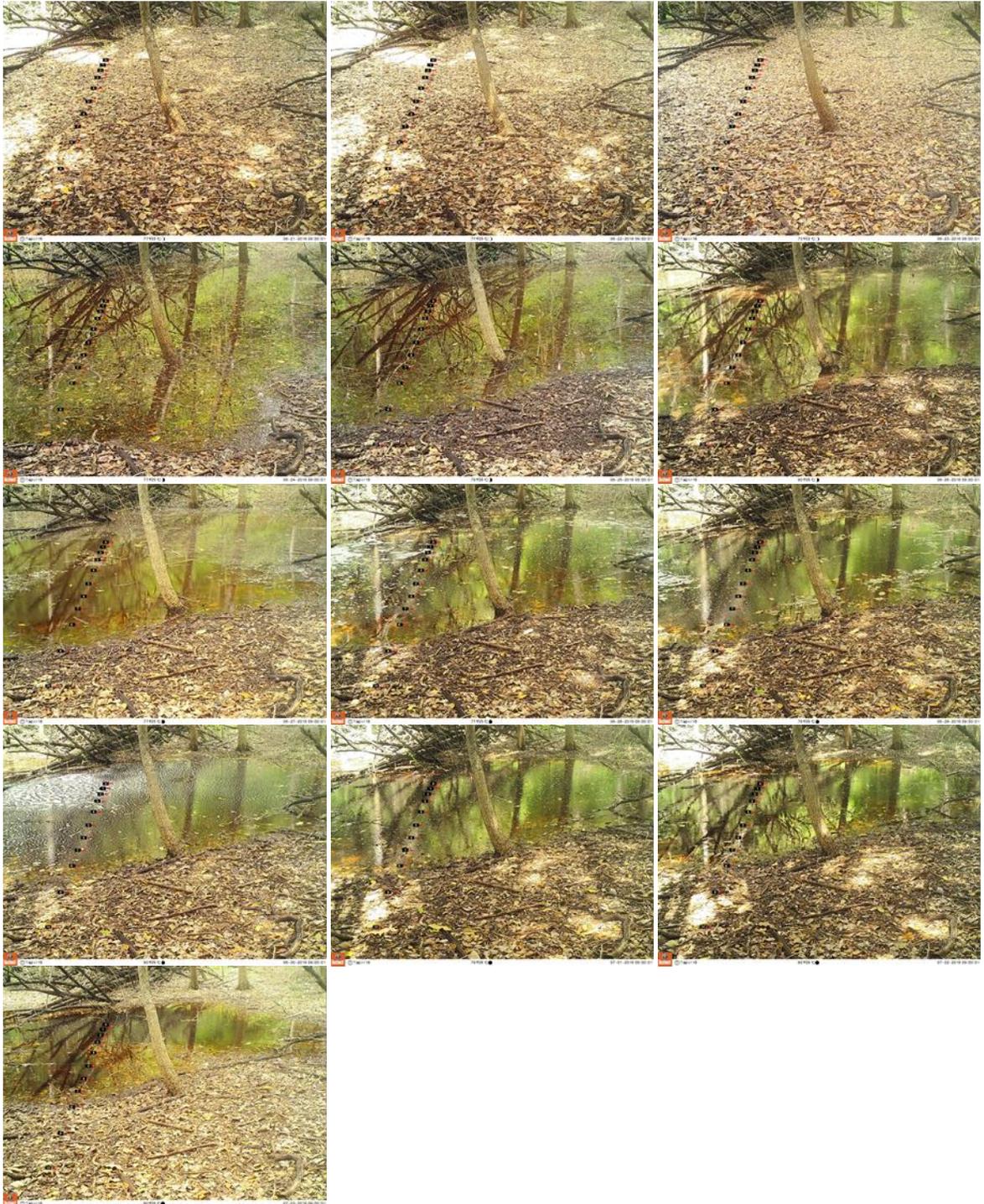
Continúa Apéndice 2.



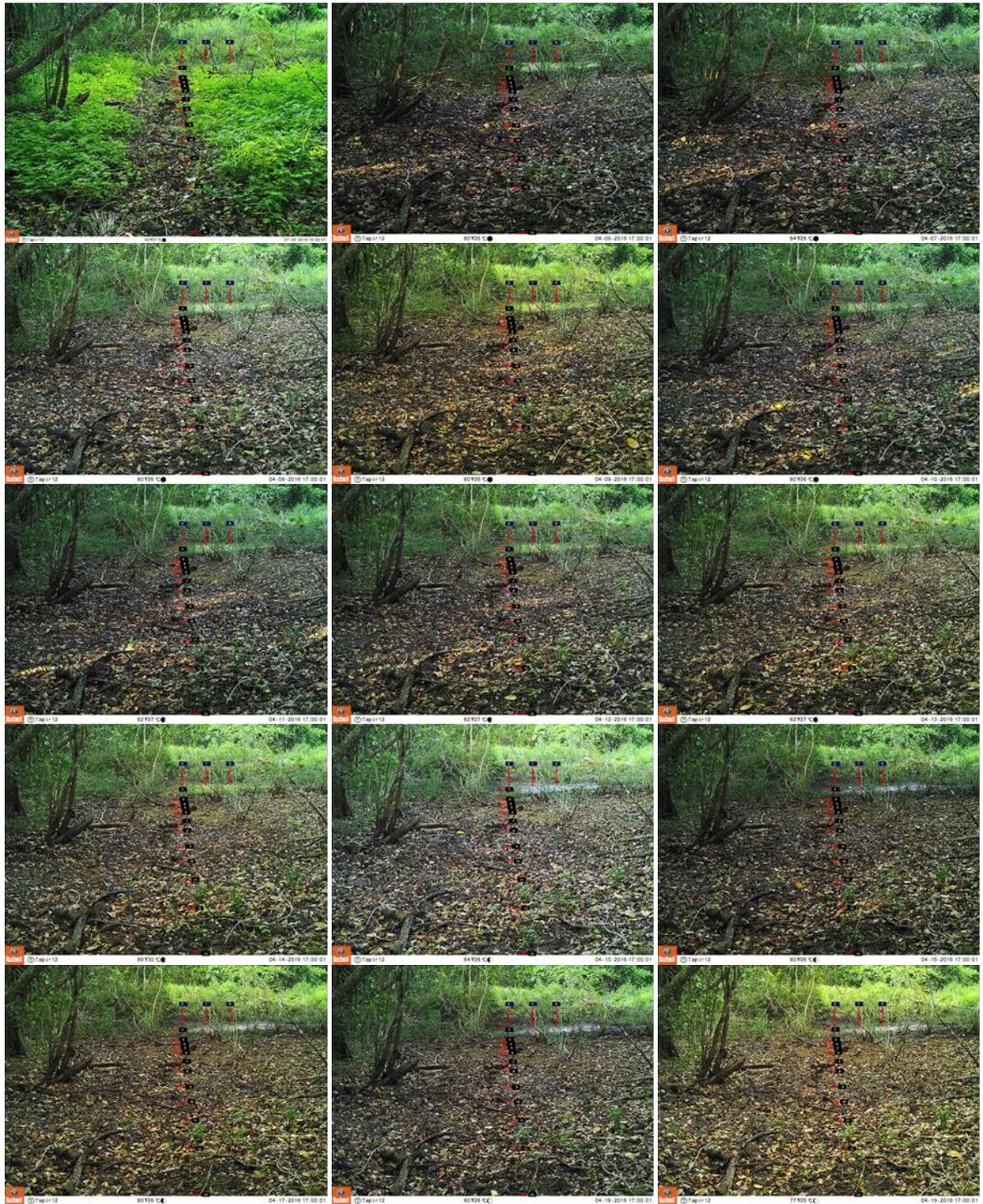
Continúa Apéndice 2.



Continúa Apéndice 2.



Apéndice 3. Fotografías registrando la dinámica de acumulación de agua en la aguada Monifatos, desde el 5 de abril hasta el 4 de julio de 2016.



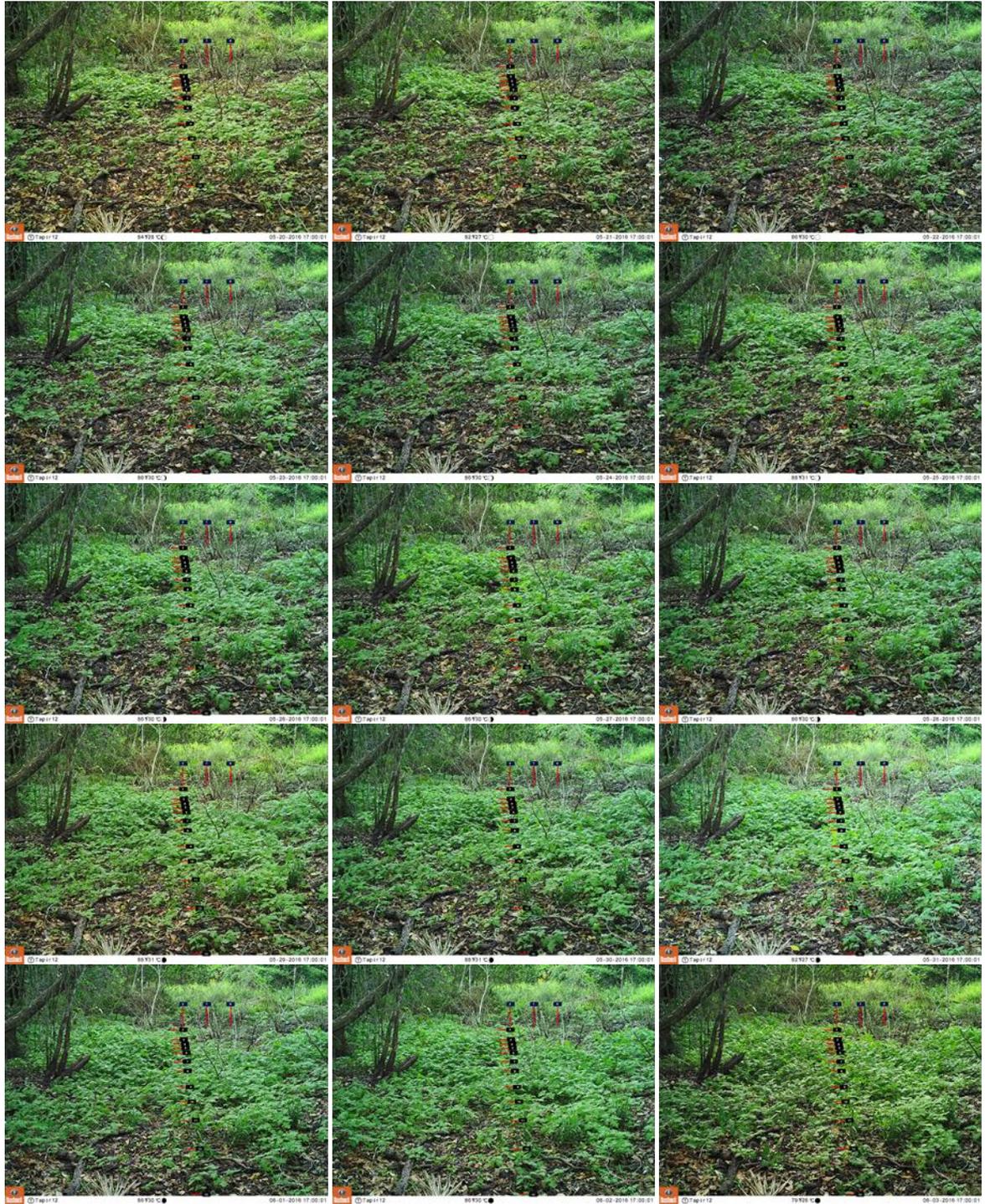
Continúa Apéndice 3



Continúa Apéndice 3



Continúa Apéndice 3



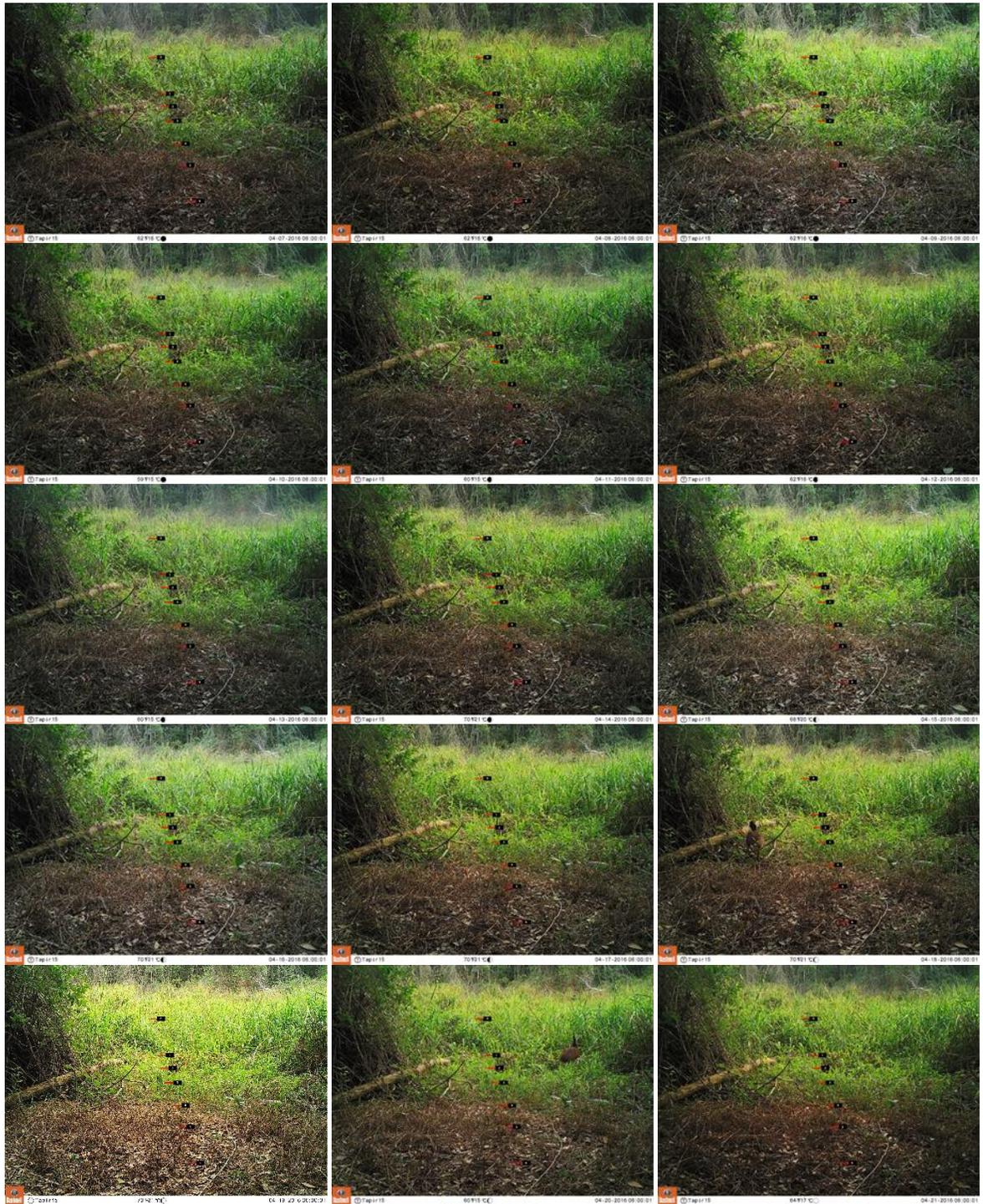
Continúa Apéndice 3



Continúa Apéndice 3



Apéndice 4. Fotografías registrando la dinámica de acumulación de agua en la aguada Trampoline, desde el 7 de abril hasta el 4 de julio de 2016.



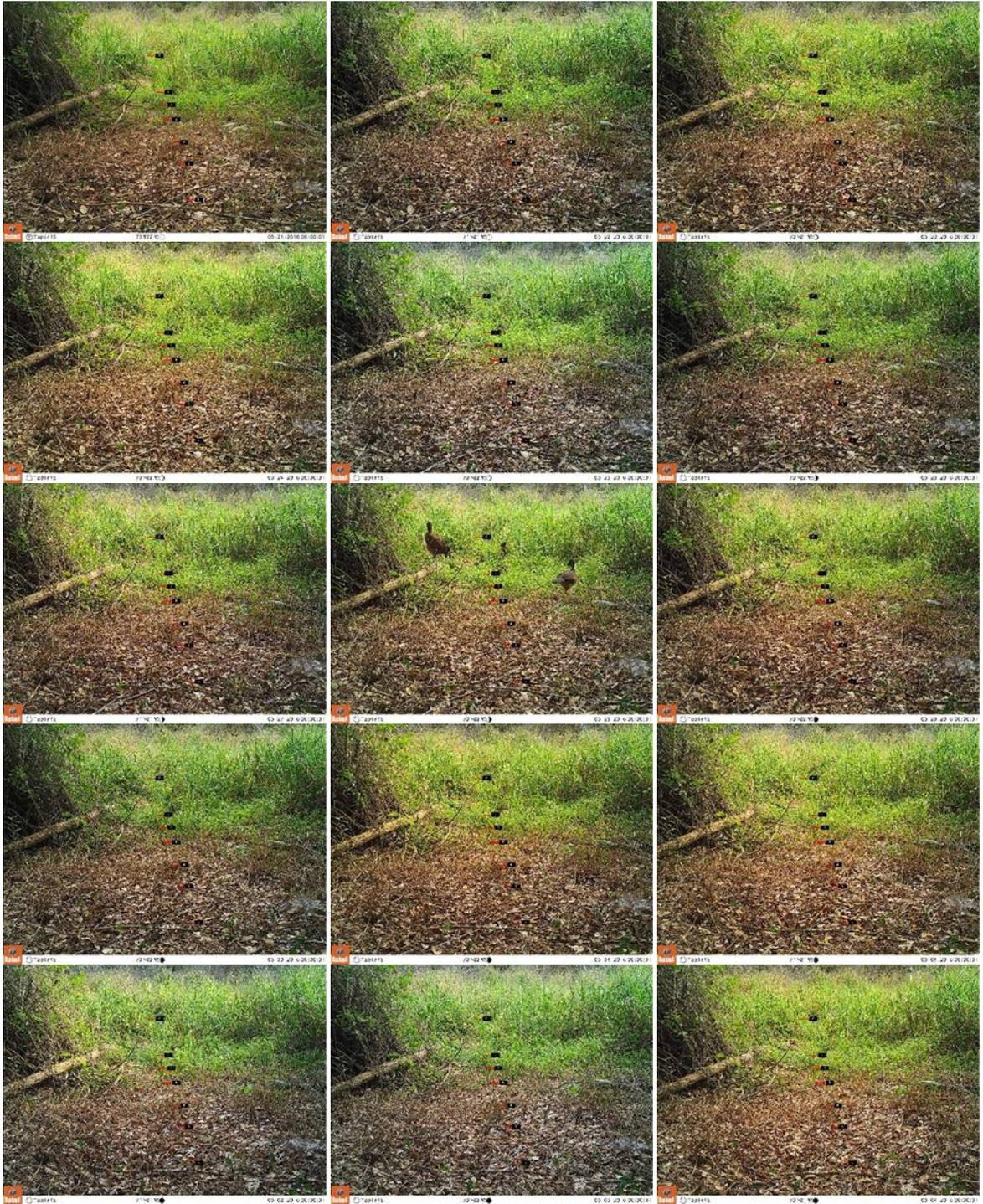
Continúa Apéndice 4.



Continúa Apéndice 4.



Continúa Apéndice 4.



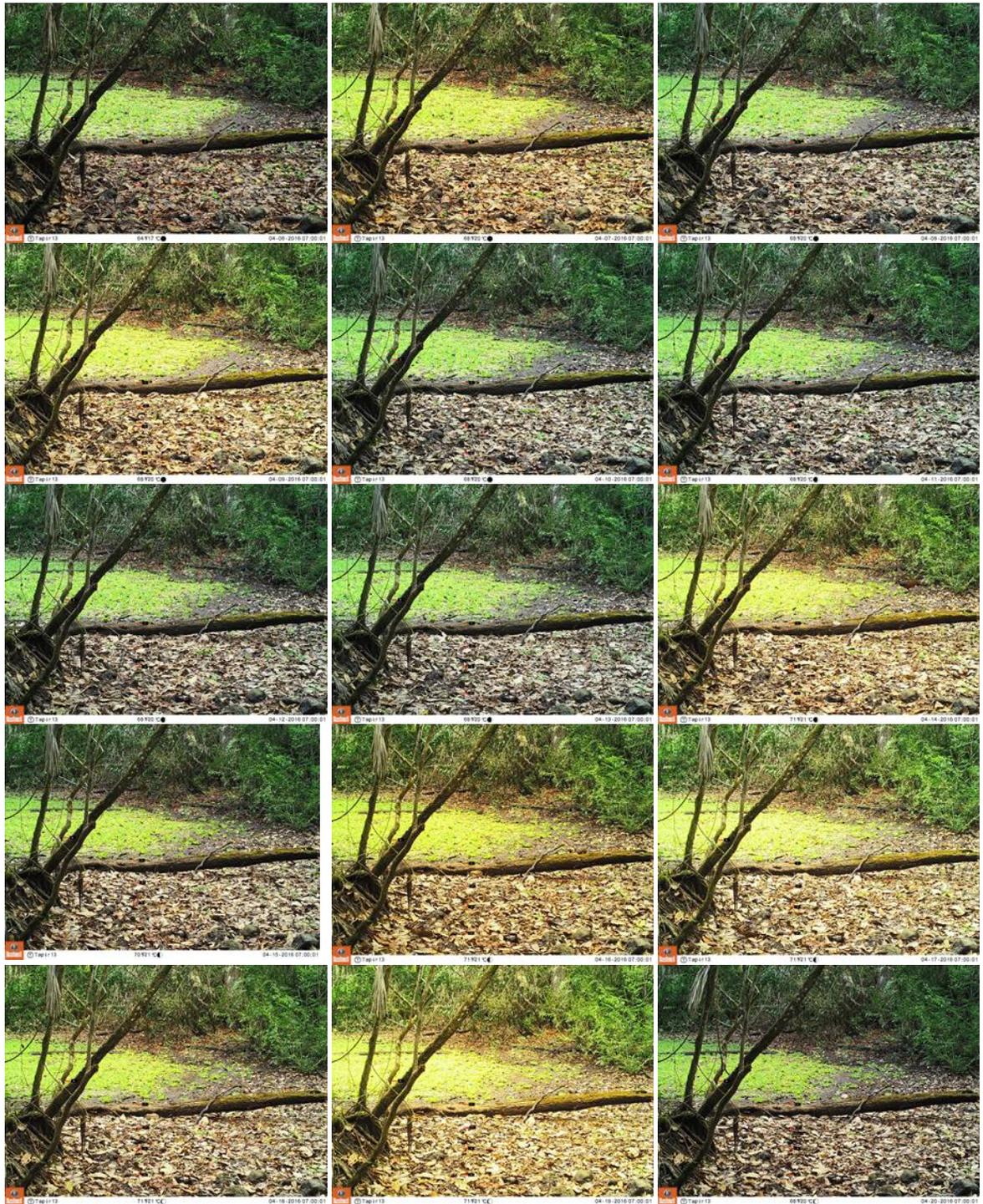
Continúa Apéndice 4.



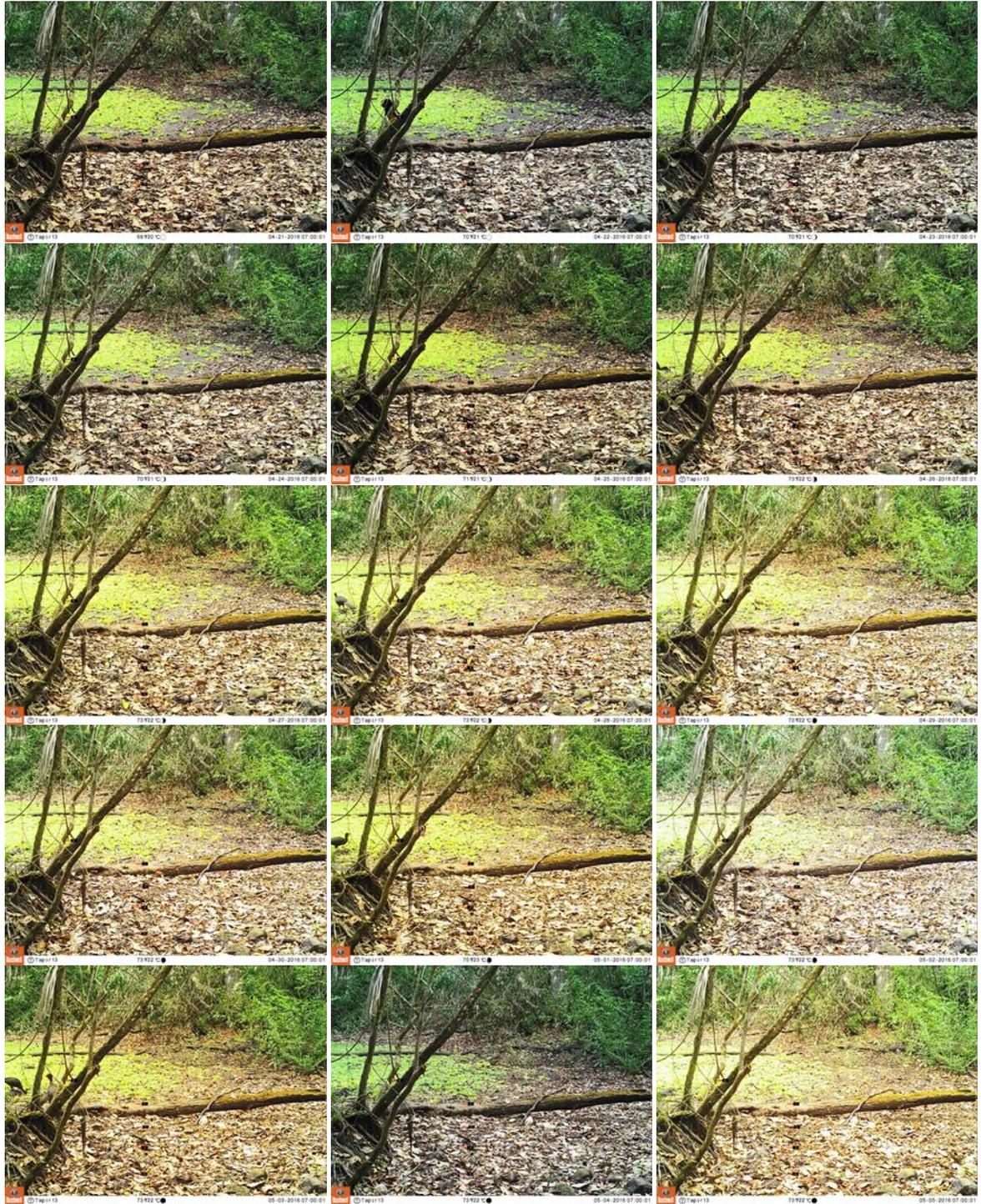
Continúa Apéndice 4.



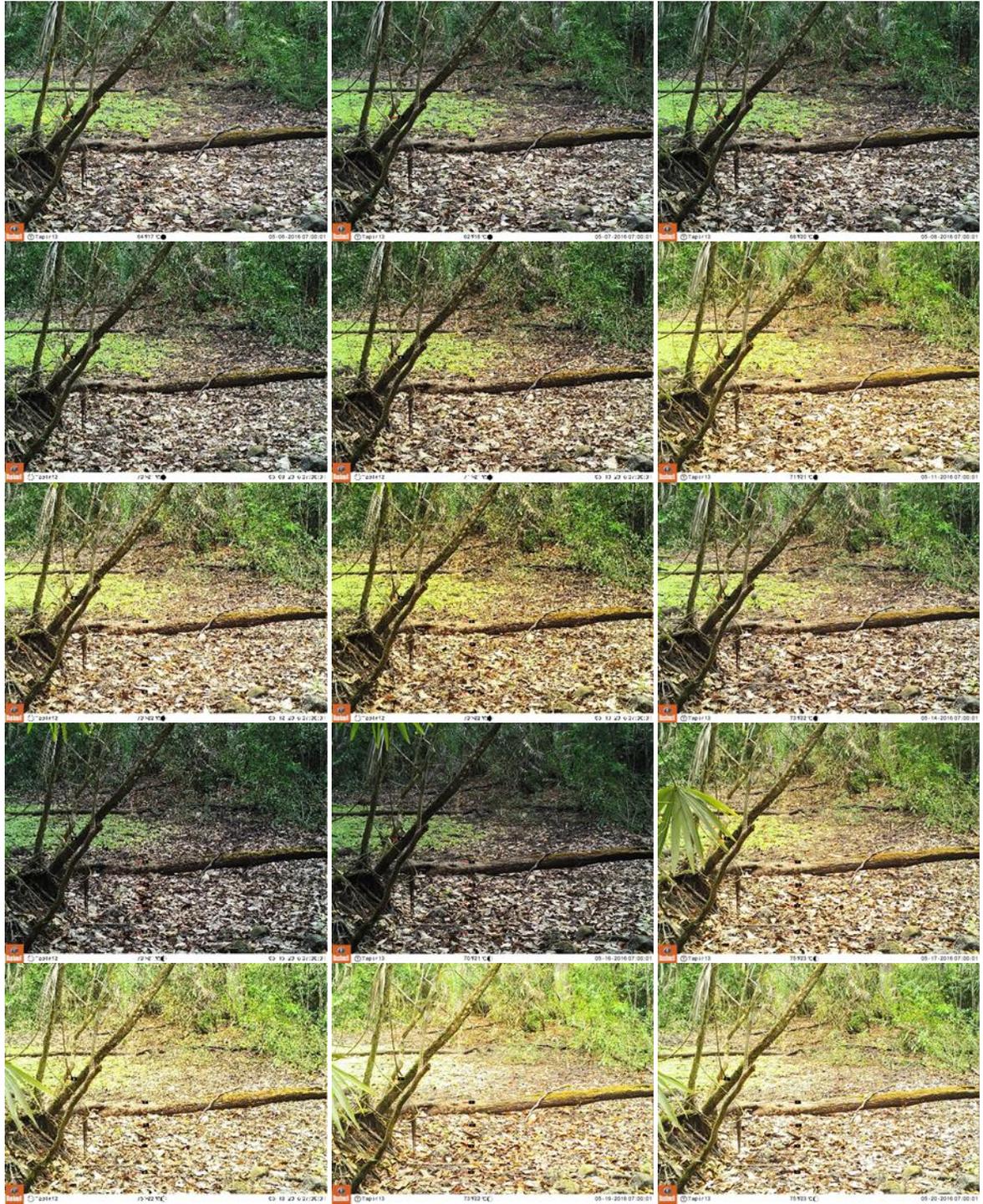
Apéndice 5. Fotografías registrando la dinámica de acumulación de agua en la aguada Poza Maya, desde el 6 de abril de 2016 hasta el 5 de julio de 2016.



Continúa Apéndice 5



Continúa Apéndice 5



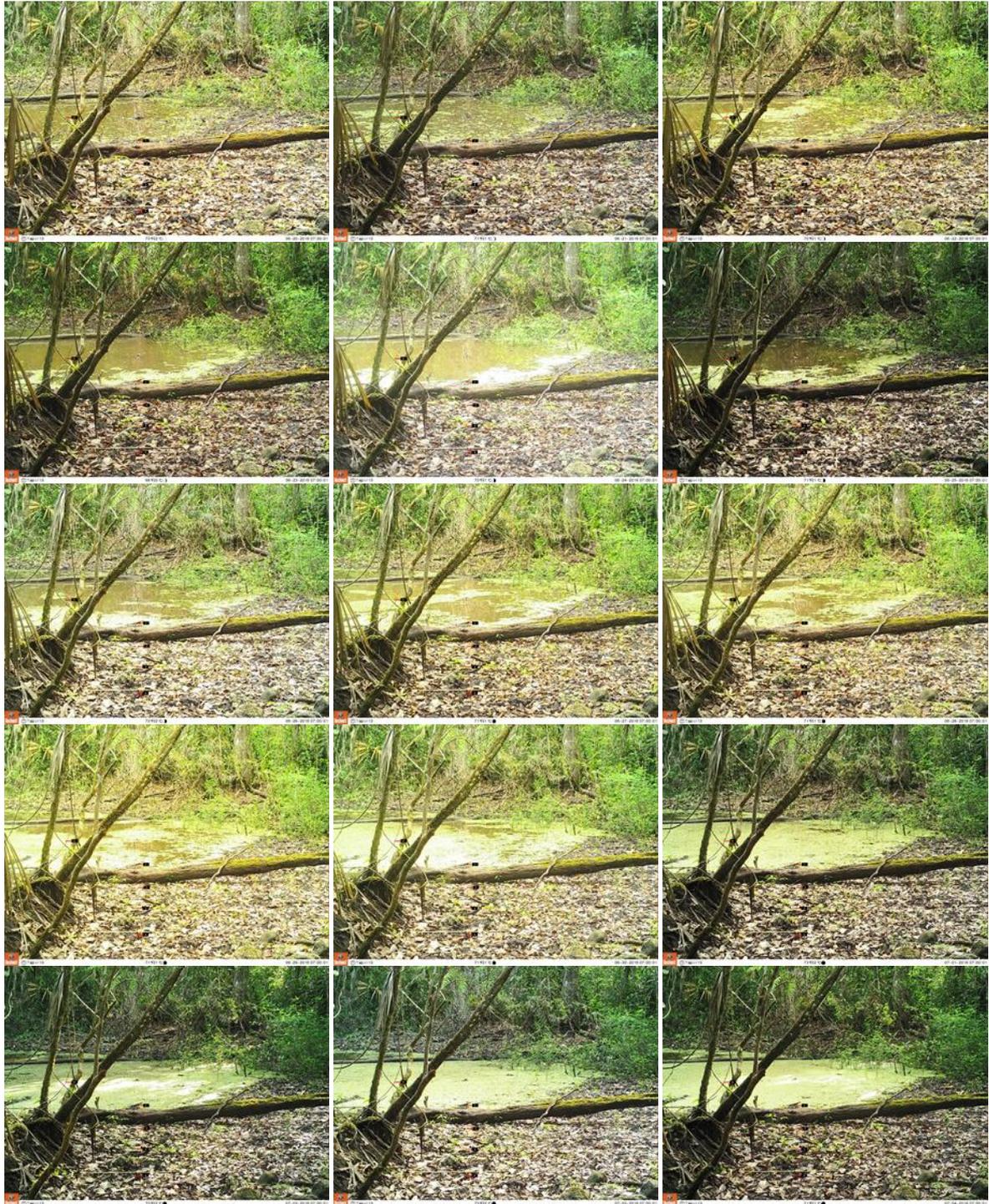
Continúa Apéndice 5



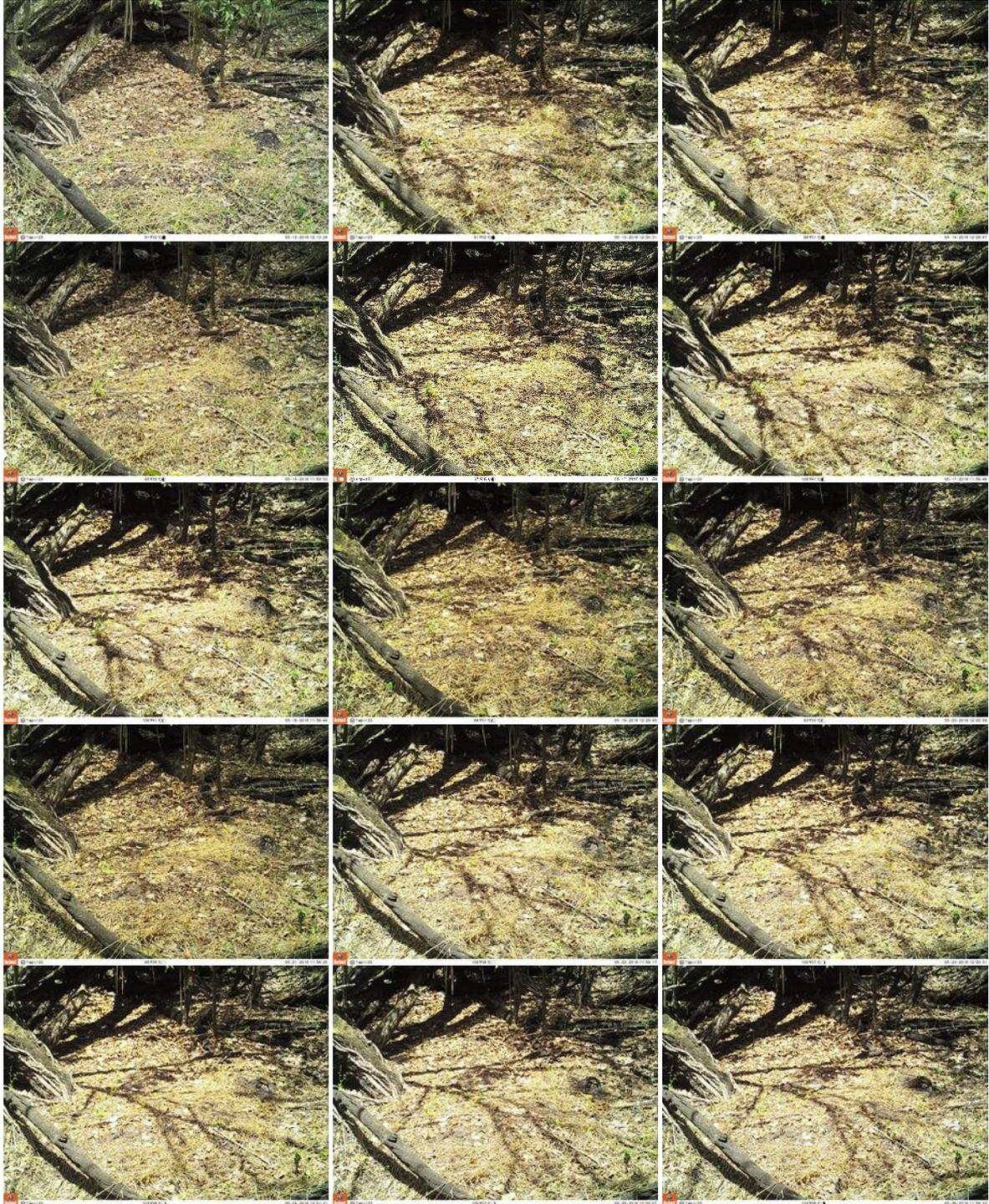
Continúa Apéndice 5



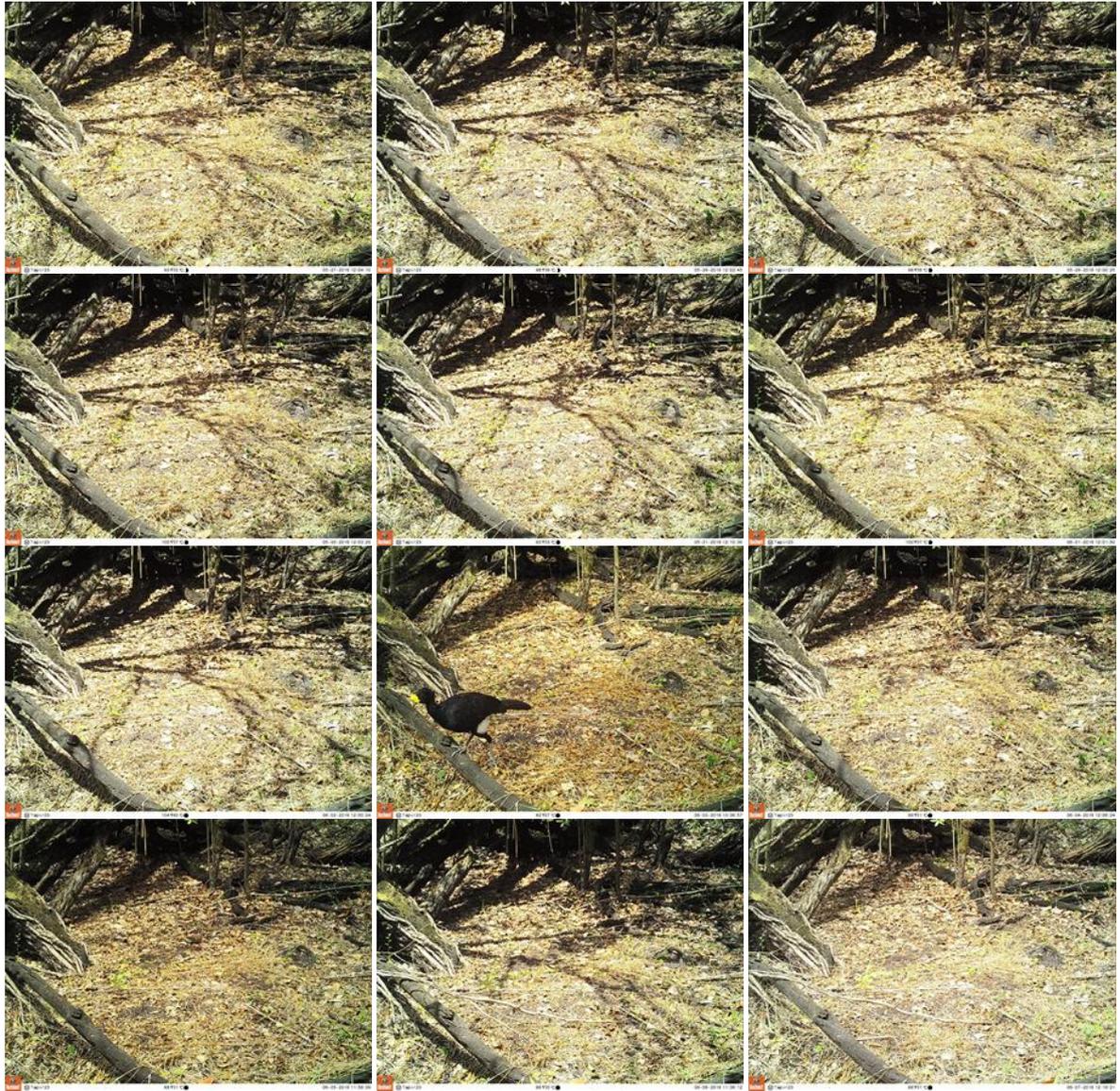
Continúa Apéndice 5



Apéndice 6. Fotografías registrando la aguada Cruce al Manantial, desde el 12 de mayo hasta el 7 de julio de 2016.



Continúa Apéndice 6.



Apéndice 9. Listados de participantes del taller con personal CECON-USAC.



Taller "Conservación del danto en la Reserva de Biosfera Maya: métodos para el estudio y registro de fauna silvestre"
Biotopo Cerro Cahul, El Remate, Petén.
01 de marzo de 2016

N.	NOMBRE	INSTITUCIÓN	CORREO ELECTRÓNICO	TELÉFONO	FIRMA
1	Susan Pabbi Nojarro	CECON-USAC		31225788	[Firma]
2	José Luis Rodas	CECON-USAC		46433607	[Firma]
3	Melvin Dalva Fabian Ramirez	CECON-USAC	melvinfabian@gmail.com	49766706	[Firma]
4	David Orlando Meléndez Guzmán	CECON-USAC		20716299	[Firma]
5	Ernesto Ramirez	CECON-USAC		51648262	[Firma]
6	Aguilón Saal e	CECON-USAC		49315874	[Firma]
7	Manlin Noé García Felipe	CECON-USAC	MINGARCIA@CECON.USAC	44897214	[Firma]
8	Medio Chico capt	CECON-USAC		46235574	[Firma]
9	Adrián Alejandro Morales G.	CECON-USAC		50071474	[Firma]
10	Raquel Alejandra Sosa González	CECON-USAC	raquelsosa@cecon.usac	47479777	[Firma]



Taller "Conservación del danto en la Reserva de Biosfera Maya: métodos para el estudio y registro de fauna silvestre"
Biotopo Cerro Cahul, El Remate, Petén.
01 de marzo de 2016

N.	NOMBRE	INSTITUCIÓN	CORREO ELECTRÓNICO	TELÉFONO	FIRMA
11	Ceballos Enrique Cool Tzul	CECON-USAC		49321909	[Firma]
12	Ceballos Roberto Hernández Rosendo	CECON-USAC		40394440	[Firma]
13	Sofino Mateo Zúñiga	CECON-USAC			[Firma]
14	Abraham Valdez López	CECON-USAC	cecon@cecon.usac	44416594	[Firma]
15	Saúl Castillo H	CECON-USAC		410688350	[Firma]
16	César Tzul Sánchez	DEFENSORES			[Firma]
17	César Augusto Amisté Alvar	DEFENSORES		4628462	[Firma]
18	Dominio Aguirre Castillo	CECON-USAC		44147543	[Firma]
19	Michael Angel Herrera Hernández	CONAP		4627638	[Firma]
20	Susan J. Roseann Zetina	CECON-USAC	jjroseann@cecon.usac	5577462	[Firma]
21	Luis Felipe Rodas Pérez	CECON-USAC	lrodasp@cecon.usac	5580-9609	[Firma]
22	Raquel Leonardo	FON		26102910	[Firma]



Taller "Conservación del danto en la Reserva de Biosfera Maya: métodos para el estudio y registro de fauna silvestre"
Biotopo Cerro Cahul, El Remate, Petén.
01 de marzo de 2016

N.	NOMBRE	INSTITUCIÓN	CORREO ELECTRÓNICO	TELÉFONO	FIRMA
1	Andrés Aguirre	CECON	andres@cecon.usac	5000 8843	[Firma]
2	Wilson González Castillo	CECON	wgonzalez@cecon.usac	40542417	[Firma]
3	Manolo García	CECON	garcia.manolo@cecon.usac	55528113	[Firma]
4					
5					
6					
7					

Apéndice 10. Fotografías del taller con personal CECON-USAC



Fotografía 5. Coordinador Manolo García durante la presentación del proyecto.



Fotografía 6. Investigadora Vivian González explicando el funcionamiento de las cámara-trampa



Fotografía 7. Auxiliar Andrea Aguilera durante el taller.



Fotografía 8. Raquel Leonardo de la Fundación Defensores de la Naturaleza.



Fotografía 9. Personal del CECON-USAC durante el taller.



Fotografía 10. Participantes en la actividad práctica.

Apéndice 11. Fotografías de las 27 especies de fauna registradas en el estudio.

11.1 Aves



Fotografía 11. Mancolola (*Tinamus major*).



Fotografía 12. Aguililla negra (*Buteogallus urubitinga*).



Fotografía 13. Águila de penacho (*Spizaetus ornatus*).



Fotografía 14. Grupo de faisanes o pajuiles (*Crax rubra*) macho y hembra.



Fotografía 15. Dos cojolititas (*Penelope purpurascens*).



Fotografía 16. Pavo ocelado (*Meleagris ocellata*).

Continúa Apéndice 11

11.2 Mamíferos



Fotografía 17. Tepezcuintle (*Cuniculus paca*).



Fotografía 18. Cotuja (*Dasyprocta punctata*).



Fotografía 19. Tacuacín (*Didelphis* sp.).



Fotografía 20. Tacuacín cuatro ojos (*Philander opossum*).



Fotografía 21. Zorrillo (*Conepatus semistriatus*).



Fotografía 22. Cabeza de viejo o perico ligero (*Eira barbara*).

Continúa Apéndice 11



Fotografía 23. Ocelote (*Leopardus pardalis*).



Fotografía 24. Jaguar o tigre (*Panthera onca*).



Fotografía 25. Puma o león (*Puma concolor*).



Fotografía 26. Pizote (*Nasua narica*).



Fotografía 27. Zorra gris o gato de monte (*Urocyon cinereoargenteus*).



Fotografía 28. Madre y cría de venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*).

Continúa Apéndice 11



Fotografía 29. Cabro colorado (*Mazama temama*).



Fotografía 30. Manada de jabalís (*Tayassu pecari*).



Fotografía 31. Coche de monte (*Pecari tajacu*).



Fotografía 32. Pareja de tapires o dantos (*Tapirus bairdii*).

Apéndice 12. Dos de las mantas divulgativas del proyecto y de sus resultados.

Proyecto DIGI 4.04
 Dinámica temporal de la acumulación de agua, microclima y frecuencia de visita de vertebrados en aguadas del Biotopo Universitario Naachtún Dos Lagunas



El CECON-USAC con el cofinanciamiento de la DIGI-USAC, desarrolló en el año 2016 un estudio en aguadas del Biotopo para conocer la dinámica acumulación de agua, el microclima y la visita de vertebrados.



Cámara automática



Sensor automático

Se utilizaron cámaras automáticas para el registro fotográfico de la disminución o aumento en la cantidad de agua, así como las visitas de vertebrados. La temperatura y humedad relativa se registraron con sensores automáticos. Se tomaron datos de abril a agosto en 5 aguadas.



Diseño de manta informativa del proyecto.

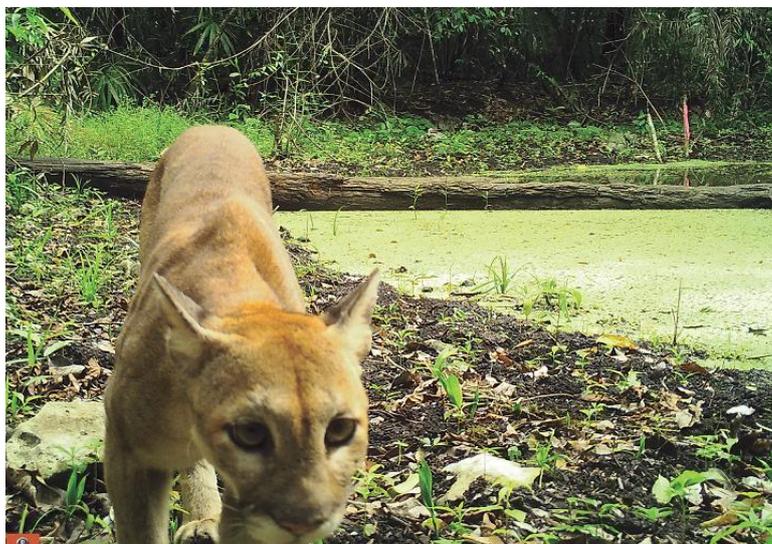
Resultados Proyecto DIGI 4.04
Dinámica de la acumulación de agua en aguadas



Registro fotográfico del espejo de agua de la aguada El Tintal. Se inició el día 07 de abril 2016. La aguada disminuyó gradualmente hasta secarse completamente el 17 de abril. Permaneció seca por más de 2 meses hasta el 24 de junio. Volvió a secarse el 09 de julio por la ausencia de lluvias. Del 03 al 05 de agosto se acumula agua por lluvias asociadas al Huracán Earl. Nuevamente disminuye el nivel hasta casi secarse el 23 de agosto cuando finalizó el registro.



Diseño de manta presentando resultados.



Puma o león americano

Puma concolor
 Linnaeus, 1771

Biotopo Protegido Naachtún Dos Lagunas
 06/julio/2016 09:05am

Diseño de manta divulgativa de las especies asociadas a las aguadas.

9. Actividades de gestión, vinculación y divulgación

La participación en el proyecto de los estudiantes Andrea Aguilera y Dana Rodríguez (EPS-Escuela de Biología Usac) y Gerber Guzmán (EDC-Escuela de Biología Usac) quienes realizan sus prácticas respectivas en el Cecon, permite la vinculación a través de actividades de docencia, servicio e investigación.

Con respecto a las actividades de investigación, ambos estudiantes realizan sus investigaciones con temas relacionados con el proyecto, incluyendo la utilización de datos colectados en el presente año por el proyecto. La estudiante Andrea Aguilera desarrolló el estudio titulado “Patrones de actividad de aves rapaces durante la época seca en aguadas del Biotopo Protegido Naachtún-Dos Lagunas, Petén, Guatemala” y el estudiante Gerber Guzmán realiza el estudio “Documentación de la frecuencia de aparición de crías de ungulados (Ungulata: MAMMALIA) durante la época seca en distintas aguadas en el Biotopo Protegido Naachtún-Dos Lagunas”. Para la participación de los estudiantes en el proyecto se llevaron a cabo actividades de docencia para la capacitación en el uso de cámaras automáticas, procesamiento de imágenes en el programa CameraBase y uso de sensores automáticos de temperatura y humedad relativa. En la capacitación en el uso de cámaras automáticas también participó personal del Centro de Datos para la Conservación (CDC) del Cecon.

Así mismo, la capacitación brindada a personal de campo y técnicos de Cecon durante el taller realizado el 1 de marzo en el Biotopo Cerro Cahuí forma parte de actividades de docencia del proyecto. Por otra parte, la participación directa en el proyecto del personal del Biotopo Naachtún Dos Lagunas permite la vinculación entre distintas unidades del Cecon, con el fin de fortalecer el manejo de las áreas administradas por la Usac. Otro vínculo importante del proyecto es con el Programa mundial para la conservación de tapires de la Fundación Segré y el Grupo de Especialistas del Tapir de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (Uicn) (<http://www.fondationsegre.org/fondation-segre-world-tapir-conservation-program/>) a través del Programa para la Conservación del Tapir en Guatemala el cual es implementado para el 2016 por el Cecon y la Fundación Defensores de la Naturaleza. En conjunto con este programa se desarrolló el taller con personal de Cecon del 01 de marzo en el Biotopo Cerro Cahuí. Así mismo, el Programa

cubrió los gastos de campo para ambos proyectos ya que hay traslape en algunas áreas de muestreo en el Biotopo Naachtún Dos Lagunas.

10. Orden de pago

Listado de todos los integrantes del equipo de investigación

Contratados por contraparte y colaboradores	
Manolo José García Vettorazzi	Agustín Caal Cajbón
Vivian Roxana González Castillo	Elvis Solís Montúfar
Andrea Leonor Aguilera Rodas	Erwin René Mayen
Gerber Daniel Guzmán Flores	Marvin Adolfo Ochaeta
Dana Ivette Rodríguez del Cid	Renan Sotó Hernández
Saúl Castillo Hernández	Fredy Neftalí Bedoya
Darwin Aguirre Castillo	Luis Felipe Rodas
Jaime Fernando Gutiérrez	Juan José Romero
Héctor Arturo Palacios	Marvin Rosales Peche

Contratados por la Dirección General de Investigación

Nombre	Categoría	Registro de personal	Pago	
			SI	NO
Manolo José García Vettorazzi	Coordinador	20020921	X	
Vivian Roxana González Castillo	Investigadora	20131476	X	
Andrea Leonor Aguilera Rodas	Auxiliar II	20140180	X	

Nombre	Firma
Manolo José García Vettorazzi	
Vivian Roxana González Castillo	
Andrea Leonor Aguilera Rodas	

Manolo José García Vettorazzi
 Coordinador(a) proyecto de investigación

Vo.Bo. Ing. Agr. MARN. Julio Rufino Salazar
 Coordinador(a) Programa Universitario de Investigación.

Vo.Bo. Ing. Agr. MARN. Julio Rufino Salazar
 Coordinador General de Programas.