



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA  
CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO  
AMBIENTE**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE  
INGENIERO GEÓGRAFO Y DEL MEDIO AMBIENTE**

**TEMA: “DETERMINACIÓN DE ÁREAS DE INFLUENCIA DE  
ESPECIES VULNERABLES REGISTRADAS EN LAS  
CÁMARAS TRAMPA UBICADAS EN LA ESTACIÓN  
CIENTÍFICA YASUNÍ A TRAVÉS DE MODELOS  
GEOESTADÍSTICOS Y DE MÁXIMA ENTROPÍA”**

**AUTOR: QUISHPE IZA, IRENE PATRICIA**

**DIRECTOR: ING. SINDE GONZÁLEZ, IZAR**

**SANGOLQUÍ**

**2017**



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE**

### **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, ***“DETERMINACIÓN DE ÁREAS DE INFLUENCIA DE ESPECIES VULNERABLES REGISTRADAS EN LAS CÁMARAS TRAMPA UBICADAS EN LA ESTACIÓN CIENTÍFICA YASUNÍ A TRAVÉS DE MODELOS GEOESTADÍSTICOS Y DE MÁXIMA ENTROPÍA”*** realizado por la señorita ***IRENE PATRICIA QUISHPE IZA***, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a la señorita ***IRENE PATRICIA QUISHPE IZA*** para que lo sustente públicamente.

**Sangolquí, 10 de febrero del 2017**

Atentamente,

Una firma manuscrita en tinta azul que parece ser la del director, Ing. Izar Sinde González.

Director

Ing. Izar Sinde González, Mg.  
Director



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **IRENE PATRICIA QUISHPE IZA**, con cédula de identidad N° 1722706585 declaro que este trabajo de titulación **“DETERMINACIÓN DE ÁREAS DE INFLUENCIA DE ESPECIES VULNERABLES REGISTRADAS EN LAS CÁMARAS TRAMPA UBICADAS EN LA ESTACIÓN CIENTÍFICA YASUNÍ A TRAVÉS DE MODELOS GEOESTADÍSTICOS Y DE MÁXIMA ENTROPÍA”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente, declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

**Sangolquí, 10 de febrero del 2017**

**Irene Patricia Quishpe Iza**  
C.C. 1722706585



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE**

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **IRENE PATRICIA QUISHPE IZA**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE publicar en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“DETERMINACIÓN DE ÁREAS DE INFLUENCIA DE ESPECIES VULNERABLES REGISTRADAS EN LAS CÁMARAS TRAMPA UBICADAS EN LA ESTACIÓN CIENTÍFICA YASUNÍ A TRAVÉS DE MODELOS GEOESTADÍSTICOS Y DE MÁXIMA ENTROPÍA”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

**Sangolquí, 10 de febrero del 2017**

A handwritten signature in blue ink, which appears to read 'Irene Quishpe', is positioned above the printed name.

**Irene Patricia Quishpe Iza**  
C.C. 1722706585

## DEDICATORIA

*A Dios por ser la fuerza que me mueve y guía en el largo camino de la vida*

*A mi mami Mercedes por guiarme, escucharme y apoyarme siempre para conseguir mis metas, con sus consejos nunca me ha dejado caer, siempre me enseñó a levantarme y luchar por lo que quiero, es el pilar fundamental de mi vida sin ella no habría logrado nada.*

*A mis herman@s Mauricio y Ximena, cuñad@s Sonia y Napo por estar siempre pendientes de mí y a mis sobrin@s Sebastián, Martín y Sofía que con sus travesuras y risas han alegrado mi vida.*

*Irene Q.*

## AGRADECIMIENTOS

*En primer lugar agradecer a Dios por guiarme y llenarme de bendiciones durante esta etapa de mi vida.*

*A toda mi familia, por el apoyo y confianza, en especial a mi madre por la paciencia que ha tenido en este largo proceso de formación académica, una y mil veces gracias mami.*

*A mi tutor, Ing. Izar Sinde González, quien con su conocimiento y paciencia contribuyó a la culminación del presente trabajo y con mi formación para convertirme en una profesional, el cual fue un aporte invaluable. Más que mi tutor un amigo, gracias Ing.*

*También quiero expresar mis más sinceros agradecimientos al Ing. César Leiva, por su asesoramiento y participación activa, en la elaboración de este proyecto.*

*Agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE en especial a todos y cada uno de los docentes de la Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente, que contribuyeron con mi formación académica, en el transcurso de la carrera compartiendo sus conocimientos anécdotas y experiencias.*

*A mis amig@s, que han sido parte de todo este camino llamado vida, gracias por todos los momentos compartidos, en especial a todas las personas que me han brindado su amistad sincera desde el cole, su amistad es incomparable.*

*Todos los datos de esta publicación fueron proporcionados por Tropical Ecology Assessment and Monitoring (TEAM) Network, una colaboración entre Conservation International, Smithsonian Institution, Wildlife Conservation Society y parcialmente financiados por estas instituciones, la Fundación Gordon y Betty Moore, y Otros donantes, a los cuales les estoy totalmente agradecida.*

*Irene Q.*

*Nunca sabes de quien vas a necesitar...*

*por eso lleva una vida en paz..*

*Irenilla*

*“La tierra proporciona lo suficiente para satisfacer las necesidades de cada hombre,*

*pero no la codicia de cada hombre”*

*Gandhi*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....	iii
AUTORIZACIÓN .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTOS .....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
RESUMEN .....	xv
ABSTRACT .....	xvi
CAPÍTULO I .....	1
1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Definición del problema .....	3
1.3. Justificación .....	3
1.4. Descripción del Área de Estudio .....	5
1.5. Objetivos .....	6
1.5.1. Objetivo General .....	6
1.5.2. Objetivos Específicos .....	6
1.6. Metas .....	6
CAPÍTULO II .....	8
2.1. Áreas Protegidas .....	8
2.1.1. Categorías de manejo de áreas protegidas .....	8
2.2. Lista Roja de la UICN .....	10
2.2.1. Categorías de la Lista Roja de la UICN .....	10
2.3. Características de las especies en estudio .....	13

2.3.1.	<i>Tapirus terrestris</i> .....	13
2.3.2.	<i>Tayassu pecari</i> .....	16
2.4.	Cámaras Trampa .....	20
2.4.1.	Tipos de cámaras trampa .....	21
2.5.	Sistemas de Información Geográfica.....	23
2.5.1.	Análisis Espacial.....	23
2.5.2.	Técnicas de Análisis Espacial .....	23
2.6.	Máxima Entropía.....	25
2.6.1.	Ventajas y Desventajas .....	27
2.7.	Geoestadística.....	28
2.7.1.	Análisis exploratorio .....	30
2.7.2.	Análisis estructural .....	31
2.7.3.	Las predicciones (kriging o simulaciones) .....	36
CAPÍTULO III .....		41
3.1.	Obtención y Estructuración de la información.....	41
3.1.1.	Depuración de la base de datos .....	42
3.2.	Aplicación del Modelo de Máxima Entropía .....	45
3.2.1.	Preparación entrada de dataos .....	46
3.2.2.	Modelado con Maxent .....	52
3.2.3.	Evaluación del modelo .....	55
3.3.	Análisis Geoestadístico.....	58
3.3.1.	Índice de Abundancia Relativa (IAR).....	58
3.3.2.	Recopilación y Validación de los datos .....	63
3.3.3.	Análisis Exploratorio .....	65
3.3.4.	Análisis Estructural .....	67
3.3.5.	Predicciones .....	71
3.3.6.	Validación del modelo .....	73
3.4.	Normalización .....	75
3.5.	Contrastación de la geoestadística y modelo de Máxima Entropía .....	76

3.6. Determinación de áreas de influencia.....	76
CAPÍTULO IV.....	77
4.1. Resultados.....	77
4.2. Análisis y Discusión .....	83
CAPÍTULO V.....	85
5.1. Conclusiones .....	85
5.2. Recomendaciones .....	86
REFERENCIAS .....	87

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Modelos Teóricos del Semivariograma.....	33
Tabla 2. Tipos de predictores Kriging y sus propiedades. ....	37
Tabla 3. Número de especies por año .....	44
Tabla 4. Cálculo para el tamaño de pixel adecuado .....	45
Tabla 5. Registros de presencias del <i>Tapirus terrestris</i> .....	46
Tabla 6. Registros de presencia del <i>Tayassu pecari</i> .....	48
Tabla 7. Variables eliminadas según la tabla de aportaciones y la prueba Jackknife .....	53
Tabla 8. Registros del Índice de Abundancia Relativa del <i>Tapirus terrestris</i> .....	60
Tabla 9. Registros del Índice de Abundancia Relativa del <i>Tayassu pecari</i> .....	61
Tabla 10. Resumen estadístico del IAR.....	65
Tabla 11. Parámetros de Estructura Básica .....	69
Tabla 12. Error de verificación del modelo - <i>Tapirus terrestris</i> .....	74
Tabla 13. Error de verificación del modelo - <i>Tayassu pecari</i> .....	75

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la Estación Científica Yasuní.....	5
Figura 2. Estructura de las categorías .....	11
Figura 3. <i>Tapirus terrestris</i> .....	14
Figura 4. <i>Tayassu pecari</i> .....	17
Figura 5. <i>Tayassu pecari</i> - Comercializados en el mercado de Pompeya ...	20
Figura 6. Componente de una cámara trampa .....	20
Figura 7. Cámara trampa - Sistema activo .....	21
Figura 8. Cámara trampa - Sistema pasivo .....	22
Figura 9. Herramientas técnicas para el análisis espacial .....	24
Figura 10. Parámetros del Semivariograma .....	32
Figura 11. Proceso de recolección de datos TEAM .....	42
Figura 12. Depuración de los datos .....	43
Figura 13. Formato de datos Maxent .....	49
Figura 14. Tabla de aportaciones de las variables bioclimáticas – <i>Tapirus terrestris</i> .....	53
Figura 15. Prueba Jackknife - <i>Tapirus terrestris</i> .....	54
Figura 16. Tabla de aportaciones de las variables bioclimáticas - <i>Tayassu pecari</i> .....	54
Figura 17. Prueba Jackknife - <i>Tayassu pecari</i> .....	55
Figura 18. Curva de característica operativa Relativa (ROC) - <i>Tapirus terrestris</i> .....	56
Figura 19. Curva de característica operativa Relativa (ROC) - <i>Tayassu pecari</i> .....	57
Figura 20. Modelo Maxent - <i>Tapirus terrestris</i> .....	57
Figura 21. Modelo Maxent - <i>Tayassu pecari</i> .....	58
Figura 22. Diagrama de Caja preliminar .....	64
Figura 23. Histograma del IAR.....	66
Figura 24. Diagrama de Caja del IAR .....	66

Figura 25. Gráfico de dispersión - <i>Tapirus terrestris</i> .....	67
Figura 26. Gráfico de dispersión - <i>Tayassu pecari</i> .....	67
Figura 27. Variograma Experimental .....	68
Figura 28. Variograma Teórico .....	69
Figura 29. Histograma de Error de la Validación Cruzada.....	71
Figura 30. Predicción Kriging - <i>Tapirus terrestris</i> .....	72
Figura 31. Predicción Kriging - <i>Tayassu pecari</i> .....	72
Figura 32. Mapa de puntos del Modelamiento y Validación - <i>Tapirus terrestris</i> .....	73
Figura 33. Mapa de puntos del Modelamiento y Validación - <i>Tayassu pecari</i> .....	74
Figura 34. Mapa del modelo de Maxent - <i>Tapirus terrestris</i> .....	78
Figura 35. Mapa del modelo de Maxent - <i>Tayassu pecari</i> .....	78
Figura 36. Mapa del modelo Geoestadístico - <i>Tapirus terrestris</i> .....	79
Figura 37. Mapa de modelo Geoestadístico - <i>Tayassu pecari</i> .....	80
Figura 38. Mapa de Correlación - <i>Tapirus terrestris</i> .....	81
Figura 39. Mapa de Correlación - <i>Tayassu pecari</i> .....	81
Figura 40. Mapa de Áreas de Influencia - <i>Tapirus terrestris</i> .....	82
Figura 41. Mapa de Áreas de Influencia - <i>Tayassu pecari</i> .....	82

## ACRÓNIMOS Y SIGLAS

PUCE	Pontificia Universidad Católica del Ecuador
TEAM	<i>Tropical Ecology Assessment &amp; Monitoring Network</i>
UICN	Unión Internacional Para la Conservación de la Naturaleza

## RESUMEN

En la actualidad el ser humano es considerado una amenaza para la biodiversidad debido a la deforestación, la caza ilegal, la prospección petrolera y la expansión agrícola, cuya consecuencia es la alteración del equilibrio ecológico causando la extinción de las especies. Es por ello que en este estudio se pretende determinar las áreas de influencia de las especies *Tapirus terrestris* y *Tayassu pecari* en el Estación Científica Yasuní, que según la UICN se encuentran en estado de vulnerabilidad. Para ello se aplicaron modelos geoestadísticos y de máxima entropía que se generaron a partir de los índices de abundancia relativa y de las presencias respectivamente; estas variables se obtuvieron de los registros anuales de las cámaras trampa ubicadas en el área de estudio. Como resultado se obtuvieron mapas de probabilidad de aparición con los dos modelos, en los que se estudió su correlación para determinar áreas de influencia y lugares donde se presentan anomalías de presencia. Se pudo concluir que la Estación Científica Yasuní es una superficie óptima para que se desarrollen las diferentes especies vulnerables en estudio, debido a que las áreas de influencia obtenidas en su gran mayoría tienen condiciones óptimas.

### PALABRAS CLAVES

- **MÁXIMA ENTROPÍA**
- **GEOESTADÍSTICA**
- **CORRELACIÓN**
- **ÁREAS DE INFLUENCIA**

## ABSTRACT

At present the human being is considered a threat to biodiversity due to deforestation, illegal hunting, oil prospection and agricultural expansion, whose consequence is the disruption of the ecological balance, that produce extinction of the species. The main objective of this study is to determine the areas of influence of the species *Tapirus terrestris* and *Tayassu pecari* in the Yasuní Scientific Station, that according to the IUCN are vulnerability. To get this geostatistical and maximum entropy model were applied; both has been generated from the relative abundance index and the presences respectively, these variables were obtained from the annual records of camera trap located in the area of study. Maps of probability of occurrence were obtained with both models and study its correlation was possible. Thanks to that it was possible to identify areas of influence and places where there are abnormalities of presence. In conclusion it is demonstrated that the Yasuní Scientific Station is an optimal area for development of the species in the study, due to the fact that the areas of influence obtained in the majority of them have optimum conditions.

## KEYWORDS

- **MAXIMUM ENTROPY**
- **GEOSTATISTICS**
- **CORRELATION**
- **AREAS OF INFLUENCE**

# CAPÍTULO I

## ASPECTOS GENERALES

### 1.1. Antecedentes

Desde tiempos inmemorables, la necesidad del hombre lo ha llevado a capturar o matar de forma selectiva la fauna silvestre con la finalidad de proteger, vestir o proveer de alimento a los suyos y mantener el entorno libre de especies perjudiciales (Fey, 1982).

Uno de los principales logros del siglo XX ha sido la creación de 30 000 áreas protegidas que se encuentran distribuidas por todo el mundo, ocupando un área de 12.8 millones de km<sup>2</sup>, lo que corresponde al 9.5% de la superficie terrestre, superando la superficie total de China e India (UICN, 2000).

La Reserva de la Biosfera Yasuní, con una superficie de 2.7 millones de hectáreas se encuentra conformada por El Parque Nacional Yasuní, la Reserva Étnica Waorani y la Zona Intangible Tagaeri-Taromenane, la cual en 1989 fue designada por la UNESCO como Reserva de la Biosfera. De estas áreas protegidas, el Parque Nacional Yasuní presume de contar aproximadamente con un 37% del total de la reserva, constituyéndose en el área protegida más grande del Ecuador continental. En ella se han obtenido registros de flora y fauna nunca antes evidenciados en otras áreas

protegidas, este recinto además constituye el hogar de las etnias Kichwa, Shuar y de comunidades de colonos no-nativos (MAE), (WCS, s.f.).

El Parque Nacional Yasuní es un bosque húmedo tropical que alberga una impresionante biodiversidad a nivel mundial. Registra unas 1 300 especies de árboles, 610 especies de aves entre las que destaca el águila arpía (*Harpia harpyja*), más de 268 especies de peces, como 13 especies de primates y, por lo menos, 200 especies de mamíferos, dentro de los cuales se puede mencionar al tapir de tierras bajas (*Tapirus terrestris*), guanguana (*Tayassu pecari*), jaguar (*Panthera onca*), perro venadero (*Speothos venaticus*), perro de monte o de orejas cortas (*Atelocynus microtis*) (WCS, s.f.).

De acuerdo con Banda (2012) con los registros de las cámaras trampa analizó los datos colectados de mamíferos y aves terrestres para identificar la estructura de la comunidad mencionada así como documentar el uso de los saladeros. Este estudio muestra diferencias significativas en las tasas de eficiencia de las cámaras colocadas en senderos, versus las cámaras colocadas en los saladeros. Los resultados muestran que las cámaras trampa son útiles para ejecutar esfuerzos de monitoreo e investigación ecológica y biológica a largo plazo. Por último se evidenciaron diferencias significativas entre la riqueza de especies documentada para el año 2005 versus el año 2006. Esta investigación se llevó a cabo en la Estación de Biodiversidad Tiputini en la provincia de Orellana, bosque de tierras bajas de la Amazonía ecuatoriana.

Por otro lado Hermes (2004) corroboró la presencia, estimó la abundancia relativa, analizó la distribución espacial de los sitios de ocurrencia e identificó individuos como son el jaguar (*Panthera onca*), puma (*Puma concolor*) y ocelote (*Leopardus pardalis*) en el Parque Nacional Laguna Lachuá. Los lugares de ocurrencia se obtuvieron de las cámaras

trampa y rastros detectados en las veredas del área de estudio en el periodo de diciembre 2002 a octubre 2003.

## **1.2. Definición del problema**

En la actualidad, la causa de la extinción de algunas especies es la desaparición o perturbación de los hábitats característicos de las especies, debido a la deforestación, expansión de la frontera agrícola, asentamientos humanos, la caza ilegal de que son objeto para el comercio de sus pieles. Todo esto trae como consecuencia la alteración del equilibrio ecológico. Adicionalmente, se ha comprobado que las actividades asociadas a la prospección petrolera, en especial la apertura de carreteras, contribuyen a la pérdida de hábitat natural y al aumento de los problemas de fragmentación de hábitats. Estas acciones pueden fácilmente impactar en la dinámica poblacional de diferentes especies de depredadores, dispersores de semillas y de herbívoros nativos, generando efectos cascada que afectan a la calidad y extensión del ecosistema boscoso.

## **1.3. Justificación**

La pérdida de fauna tiene graves repercusiones en los ecosistemas, sobre todo en lo referente a las cadenas tróficas y alimenticias. En la mayoría de casos de especies desaparecidas no se tenía suficiente información, es decir, no se sabe acerca del papel que desempeñaban en los diferentes ecosistemas en que participaban (Fey, 1982).

El Parque Nacional Yasuní es el área protegida más grande del Ecuador continental, dicho Parque está completamente desprotegido, y enfrenta innumerables amenazas como son: la invasión de colonos indígenas y mestizos, la caza y la pesca ilegal, la cacería de subsistencia no sustentable además de la construcción de carreteras, la extracción ilegal de madera y la extracción de petróleo. El manejo y mitigación de estas amenazas es

sumamente difícil, especialmente porque su intensidad y distribución en el paisaje son heterogéneas, y dinámicas en el tiempo (Zapata, et al., 2006).

El monitoreo por cámaras trampa para registros de la diversidad biológica no es un tema reciente, este monitoreo permite que los investigadores minimicen sus salidas de campo, lo que reduce costos en el estudio y que además es clave para especies que pueden estresarse con facilidad, es decir, ha servido principalmente para estudios etológicos en varias especies y como registro de especies crípticas (Yasuda & Kawakami, 2002 y Cutler & Swann, 1999).

Dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas está el Objetivo 15 donde se propone proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar los bosques de forma sostenible, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y poner freno a la pérdida de la diversidad biológica.

Durango (2011) expresa que es importante realizar estudios demográficos de las especies para saber qué está pasando con estas poblaciones y las presiones a las que se encuentran sometidas. Estos factores que pueden influir en el cambio del comportamiento de las especies son posibles amenazas para la continuidad de las poblaciones silvestres. Para solventar la problemática anterior, se deberían proponer alternativas para la conservación de las comunidades silvestres. Además, el manejo adecuado y la conservación de las especies dependen de la disponibilidad de información sobre sus poblaciones, por ello es importante estudiar aspectos como la abundancia relativa, que en los mamíferos es un indicador de la situación poblacional y su evaluación en diferentes tiempos o espacios que evidencien su posible variación espacial y temporal (Monroy, et al., 2011).

#### 1.4. Descripción del Área de Estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en los alrededores de la Estación Científica Yasuní que está dentro del Parque Nacional Yasuní. Este parque se encuentra entre las provincias de Orellana y Pastaza, consta de 10 227.36 km<sup>2</sup> y fue creado en 1979. Se encuentra junto a la Reserva Étnica Huorani de 6 800 km<sup>2</sup> (MAE, s.f.), (TEAM, s.f.).

La Estación Científica Yasuní fue creada y es administrada por la Facultad de Biología de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE) después de una concesión por el Estado ecuatoriano en 1994. Está situada en el norte del Parque Nacional Yasuní, entre los ríos Tiputini y Tivacuno, en el Cantón Francisco de Orellana, cuenta con un ecosistema de Bosque siempreverde de Tierras Bajas de la Amazonia, tiene un área aproximada de 220 km<sup>2</sup>, (Ver Figura 1).



Figura 1. Ubicación de la Estación Científica Yasuní

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo General**

Determinar las áreas de influencia de las especies vulnerables que habitan en la zona de estudio ubicada en el Parque Nacional Yasuní, por medio de estudios geoestadísticos de los registros de las cámaras trampa y del modelo de máxima entropía.

### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- Depurar la base de datos de las especies registradas por las cámaras trampa, entregada por Tropical Ecology Assessment & Monitoring Network (TEAM)
- Determinar la distribución de las especies mediante el modelo de Máxima Entropía.
- Realizar el estudio geoestadístico de las diferentes especies vulnerables presentes en la base de datos.
- Contrastar los datos geoestadísticos con el modelo de Máxima Entropía de cada especie para determinar áreas de influencia en los cuales el desarrollo del ciclo vital de las especies en vulnerabilidad sea más favorable.

## **1.6. Metas**

- Obtener una base de datos espacial de las especies registradas con las cámaras trampa.
- Realizar cartografía temática del hábitat de las especies a partir del modelo de Máxima Entropía.
- Generar mapas geoestadísticos de la probabilidad de distribución de las especies capturadas con las cámaras trampa.

- Utilizar técnicas de análisis espacial que integren los mapas geoestadísticos y mapas de Máxima Entropía.
- Generar mapas temáticos de las especies capturadas por las cámaras trampa.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Áreas Protegidas**

La Unión Internacional Para la Conservación de la Naturaleza (UICN) define área protegida a “un espacio geográfico claramente definido, reconocido, dedicado y gestionado por medios legales y otros medios eficaces para lograr la conservación a largo plazo de la naturaleza y de los valores culturales y los servicios de los ecosistemas asociados” (Dudley, 2008).

##### **2.1.1. Categorías de manejo de áreas protegidas**

La UICN define a las áreas protegidas en 6 categorías las cuales tienen sus respectivos objetivos que son:

- **Categoría I: Protección estricta**

*Ia. Reserva Natural Estricta*

Objetivo: Conservar estrictamente la biodiversidad de las áreas naturales a escala global, nacional, regional de la degradación o destrucción de cualquier impacto por presencia humana.

*Ib. Área Natural Silvestre*

Objetivo: Proteger la integridad ecológica a largo plazo de áreas no modificadas o ligeramente modificadas por las actividades antrópicas significativas o permanentes, con el fin de preservar su condición natural para futuras generaciones.

- **Categoría II: Conservación y protección del ecosistema**

*Parque Nacional*

Objetivo: Proteger la biodiversidad natural o casi natural a gran escala con especies y ecosistemas propios, permitiendo promover la educación, la ciencia, el turismo y el uso recreativo.

- **Categoría III: Conservación de los rasgos naturales**

*Monumento Natural*

Objetivo: Proteger la biodiversidad de áreas reservadas con rasgos naturales específicos sobresalientes y los hábitats asociados a ellos, como puede ser un accidente geográfico, una montaña submarina, una caverna submarina, una característica geológica como una caverna, o una característica viva como un manglar antiguo.

- **Categoría IV: Conservación mediante manejo activo**

*Área de manejo de hábitats / especies*

Objetivo: Mantener, restaurar y conservar áreas para proteger especies o hábitats en las cuales se pueda abordar las necesidades de las mismas para lo cual se requiere intervenciones activas habituales pero esto no es un requisito de la categoría.

- **Categoría V: Conservación de paisajes terrestres y marinos y recreación**

*Paisaje terrestre y marino protegido*

Objetivo: Proteger y mantener los paisajes terrestres y/o marinos importantes y la conservación de la naturaleza y otros valores asociados, donde la interacción del ser humano y el medio ambiente han provocado con el tiempo rasgos distintivos con indicadores de orden ecológico, biológico, cultural y estético; en el cual salvaguardar la integridad de esta interacción es vital.

- **Categoría VI: Uso sostenible de los recursos naturales**

*Área protegida manejada*

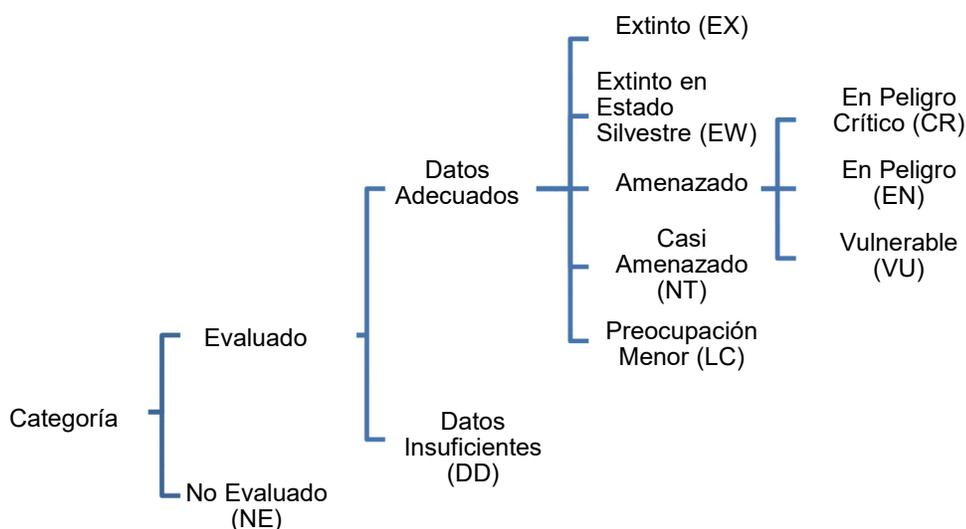
Objetivo: Conservar ecosistemas naturales junto con los valores culturales usando los recursos naturales de forma sostenible, en donde la conservación y el uso sostenible se benefician mutuamente. Regularmente son áreas extensas que tienen gran parte de la superficie en condiciones naturales.

## **2.2. Lista Roja de la UICN**

La Unión Internacional Para la Conservación de la Naturaleza (UICN) tiene el inventario mundial más completo del estado de conservación de la flora y fauna llamado la Lista Roja de la UICN, la cual permite alertar el estado de la biodiversidad (UICN, s.f.).

### **2.2.1. Categorías de la Lista Roja de la UICN**

Las Categorías de la Lista Roja de la UICN, tienen un sistema para facilitar la clasificación de especies en alto riesgo de extinción (Ver Figura 2).



**Figura 2. Estructura de las categorías**

Fuente: (UICN, 2000)

La Comisión de Supervivencia de Especies UICN define a cada Categoría de la Lista Roja de la UICN en su versión 3.1 de la siguiente manera (UICN, 2000):

- **Extinto (EX)**

Un taxón está Extinto cuando al realizar estudios adecuados no queda ninguna duda que ha desaparecido por completo, es decir no quedan ningún ejemplar ni en libertad ni en cautiverio. Los estudios se deben efectuar en los hábitats conocidos realizando una exploración exhaustiva en períodos de tiempo apropiados al ciclo de vida y formas de vida de la especie.

- **Extinto en Estado Silvestre(EW)**

Un taxón está Extinto en Estado Silvestre cuando solo existen ejemplares en cautiverio y en estado libre se han extinguido. Se dice que una especie está Extinto en Estado Silvestre después de efectuar estudios

en los hábitats conocidos realizando una exploración exhaustiva en períodos de tiempo apropiados al ciclo de vida y formas de vida de la especie.

- **En Peligro Crítico (CR)**

Un taxón está En Peligro Crítico cuando cuyas posibilidades de existencia en estado silvestres corre un riesgo extremadamente alto. Esta categoría está dentro del grupo de especies amenazadas.

- **En Peligro (EN)**

Un taxón está En Peligro cuando enfrenta un riesgo muy alto de extinción en estado silvestre, es decir que pueden desaparecer los ejemplares. Esta categoría está dentro del grupo de especies amenazadas.

- **Vulnerable (VU)**

Un taxón es Vulnerable cuando enfrenta un riesgo alto de extinción en estado silvestre y existe la posibilidad de que pase a ser considerada una especie en peligro de extinción. Esta categoría está dentro del grupo de especies amenazadas.

- **Casi Amenazado (NT)**

Un taxón está Casi Amenazado cuando al ser evaluado de acuerdo a los criterios establecidos por IUCN y no satisface actualmente los criterios para ser categorizado dentro del grupo de especies amenazadas (Ver Figura 2), pero está próximo a satisfacer dichos criterios.

- **Preocupación Menor (LC)**

Un taxón se considera de Preocupación Menor cuando al ser evaluado de acuerdo a los criterios establecidos por IUCN y no cumple ninguno de los

criterios para ser categorizado dentro del grupo de especies amenazadas (Ver Figura 2) o Casi Amenazadas. Se incluyen en esta categoría especies abundantes y de amplia distribución.

- **Datos Insuficientes (DD)**

Un taxón se denomina con Datos Insuficientes cuando no se dispone de información adecuada para evaluar su riesgo de extinción dentro de una categoría concreta. Un especie puede estar bien estudiada y tener información de su biología, pero escasea de datos adecuados sobre su distribución y/o distribución.

- **No Evaluado (NE)**

Un taxón se denomina No Evaluado cuando no ha sido incluido en ninguna de las categorías en relación con los criterios establecidos por la UICN.

### **2.3. Características de las especies en estudio**

Según la UICN las especies *Tapirus terrestris* y *Tayassu pecari* están en estado vulnerable y según la Lista Roja del Ecuador se encuentran en estado de conservación “en peligro”, por tal motivo serán las especies en estudio.

#### **2.3.1. *Tapirus terrestris***

**Nombre Científico:** *Tapirus terrestris*

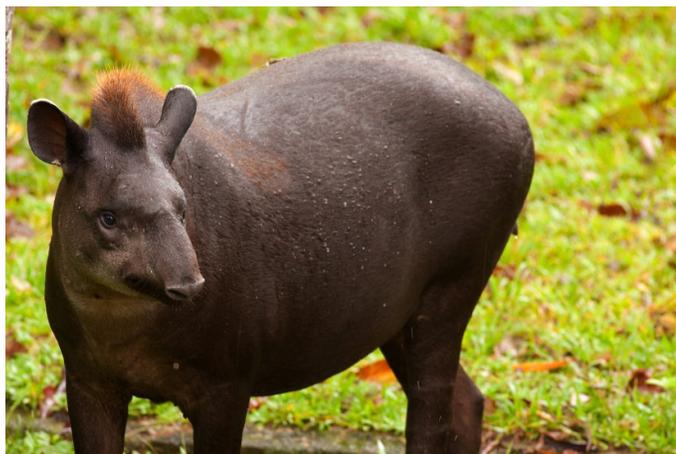
**Autor de la Especie:** (Linnaeus, 1758)

**Nombres Comunes:**

- **Español:** Anta Brasileña, Danta, Danta Amazónica, Gran Bestia, Tapir Brasileño
- **Francés:** Tapir D'Amérique, Tapir Terrestre
- **Inglés:** Lowland Tapir, Brazilian Tapir, South American Tapir

**Estatus de conservación:**

- **Lista Roja UICN:** Vulnerable
- **Lista Roja Ecuador:** En peligro (Tirira, 2011)



**Figura 3. *Tapirus terrestris***

Fuente: Santiago R. Ron (Vallejo & Boada, 2017)

El tapir de las tierras bajas, *Tapirus terrestris* (Ver Figura 3), se distribuye desde el norte de Colombia hasta el sur de Brasil, norte de Argentina y Paraguay, es la especie más ampliamente distribuida del género (Arias, Palacio, & Muñoz, 2009). Esta especie es registrada por lo general en bosques de tierras bajas desde los 1 200 a 1 500 msnm, aunque se han reportado en altitudes superiores a los 2000 msnm (Racero & Arias, 2015). Es una especie de hábitos nocturnos y solitaria excepto las hembras con crías o durante la época de apareamiento. Pueden ser agresivos en defensa de su cría o cuando son sorprendidos en su hábitat. Habitan bosques húmedos y pantanos, tierras arbustivas secas y húmedas y pastizales.

Los tapires tienen densidad alta en los bosques amazónicos que contienen dos características cruciales: Aguajales y saladeros. Los Aguajales son pantanos de palma que típicamente varían entre 0.1 ha a más de 100 ha y están dominados por la palmera *Mauritia flexuosa*. Los frutos de esta palma son un alimento fundamental para los tapires, especialmente durante la estación seca. De hecho, los tapires son los principales dispersores de semillas de esta palma, lo que indica la estrecha relación evolutiva entre ambas especies. Además, estos lugares tienen arroyos entrantes o pequeños ríos que también pueden ser cruciales para otros requerimientos ecológicos del tapir incluyendo termorregulación. Los saladeros son sistemas acuáticos más pequeños. Algunos mamíferos, visitan con frecuencia los saladeros para aliviar las deficiencias de minerales. Los cazadores, conociendo la afición del tapir por la sal, esperan en esos lugares porque su éxito se incrementa dramáticamente (Nevada, et al., 2008).

Es un animal mayormente herbívoro, se alimenta de brotes o ramas tiernas y frutos de arbustos o árboles de tierra o pantanos. En las heces de esta especie se han registrado 122 especies de plantas correspondientes a 68 géneros y 33 familias en Perú y se estima que podría consumir aún más. Son selectivos en las semillas que consumen y las dispersan largas distancias. En Perú se registra que consume un 66% de hojas y fibras y un 33% de frutos. Se ha encontrado que varias especies de semillas tanto pequeñas como grandes en las heces del tapir no podrían ser transportadas por ninguna otra especie, por lo que el tapir es muy importante en la dinámica y paisaje de los bosques. Pueden cambiar su dieta de frugívora a herbívora cuando los frutos son escasos, es decir, su dieta depende de la disponibilidad de recursos en cada estación (Vallejo & Boada, 2017).

Su visión en general es mala mientras que su sentido del olfato es agudo. La hembra puede estar receptiva cada dos meses. Pone una sola cría

por época reproductiva, en muy raros casos puede tener dos crías. La gestación tiene una duración de 385 a 412 días y alcanza la madurez sexual a los dos años de edad. Se estima que los animales silvestres se reproducen a partir de los cuatro hasta los 20 años de edad. En cautiverio la longevidad máxima que se ha registrado es de 35 años. Existen datos de individuos que se mueven hasta 10,3 km en línea recta. Los tapires son excelentes corredores, escaladores y nadadores. Se adaptan a los cambios temporales de los bosques y pueden soportar ciertos niveles de intervención (Vallejo & Boada, 2017).

Son depredados principalmente por jaguares o pumas; y cazados por el hombre por su carne. En general, son más propensos a verse afectados por la caza durante el largo período de gestación y al nacimiento de una sola cría. Que su tasa de reproducción sea muy baja impide que pueda repoblar rápidamente las áreas impactadas. Además, las principales amenazas a la especie incluyen, la pérdida de hábitat a través de la deforestación y la competencia con el ganado doméstico (Nevada, et al., 2008).

### **2.3.2. *Tayassu pecari***

**Nombre Científico:** *Tayassu pecari*

**Autor de la Especie:** (Link, 1758)

**Nombres Comunes:**

- **Español:** Cariblanco, Chancho de Monte, Pecari de Labios Blanco
- **Francés:** Pécarí à lèvres blanches
- **Inglés:** White-lipped Peccary

**Estatus de conservación:**

- **Lista Roja UICN:** Vulnerable
- **Lista Roja Ecuador:** En peligro (Tirira, 2011)



**Figura 4. *Tayassu pecari***

Fuente: (Hernández, Moreira, & Reyna, 2016)

El *Tayassu pecari* (Ver Figura 4), sólo habita en el continente Americano, desde el sudeste de México, a través de América Central hasta el norte de Argentina y el sur de Brasil. Su distribución está restringida a bosques tropicales húmedos, sin embargo, puede ser visto en bosques secos tropicales, zonas xerófilas y manglares costeros. Es un animal que depende mucho del agua, por lo cual tiende a frecuentar zonas con cuerpos de agua. En Ecuador se distribuye en la Costa, Amazonía y estribaciones de los Andes entre 0 a 1.600 metros de altitud (Hernández, Moreira, & Reyna, 2016).

El pecarí de labios blancos es quizá una especie poco estudiada; aproximadamente en la década de 1980 nació el interés por este animal. Es una especie de hábitos diurnos (ocasionalmente en la noche). Es principalmente frugívoro, pero su dieta también incluye tallos, hojas, raíces, flores y materia animal como caracoles, milpiés, lombrices, otros

invertebrados y pequeños vertebrados que son un suplemento alimenticio en su dieta. En un análisis estomacal de 27 individuos, se encontró evidencia de 49 especies, tanto vegetales como animales, que forman parte de su alimentación. En Costa Rica se registraron un total de 57 especies de plantas principalmente frutos. La dieta difiere entre los meses, la temporada y el hábitat donde residen. Cumplen un rol importante en el mantenimiento y la diversidad botánica de los bosques tropicales. Además es un buen nadador, puede cruzar grandes ríos con relativa facilidad (Vallejo & Boada, 2017)

Los pecaríes son animales sociales ya que viven en grupos o manadas, llegan a formar grupos numerosos de más de mil individuos, pero comúnmente se observan grupos de entre 10 y 300 individuos. Se conocemos que un grupo de pecaríes de labios blancos necesita más de 100 km<sup>2</sup> para vivir. Existen varias teorías sobre los beneficios que obtienen los pecaríes labios blancos al vivir en grupos como es menor gasto de energía al buscar alimento y la defensa en grupo frente a depredadores como los jaguares, esto ocasiona que durante una cacería se aniquilen muchos individuos, ya que la manada no huye sino que se queda a defender al grupo, conducta contraria a la de otros animales que forman manadas, como el tejón o el pecarí de collar (*Pecari tajacu*) que huyen al detectar el mínimo peligro (Hernández, Moreira, & Reyna, 2016)

Alcanza la madurez sexual entre el primer y el segundo año de edad, las hembras probablemente alcanzan esta madurez a los 18 meses, puede llegar a vivir hasta 13 años en vida silvestre. El periodo de gestación es de 156 -162 días, la hembra pare de una a tres crías, más comúnmente gemelos. La reproducción puede darse durante todo el año. Los grupos familiares tienen un macho dominante quien no permite el ingreso de otros machos. Las hembras rechazan el ingreso de más hembras a la manada (Vallejo & Boada, 2017)

Se alimenta de 144 especies de plantas pertenecientes a 36 familias a través de su área de distribución. La especie desempeña un papel importante como presa para grandes felinos, los ingenieros del ecosistema, y en la función y estructura de los bosques neotropicales como un importante predador y dispersor de semillas. La deforestación generalizada y continuada y la presión de la caza intensa son las principales causas de la disminución y extinción de muchas poblaciones. Otro factor es su abundancia ya que el pecarí de labios blancos tiene hábitos especializados, es decir, requiere ambientes bien conservados para vivir y reproducirse dado que es muy sensible a la perturbación del hábitat (Keuroghlian, et al., 2013)

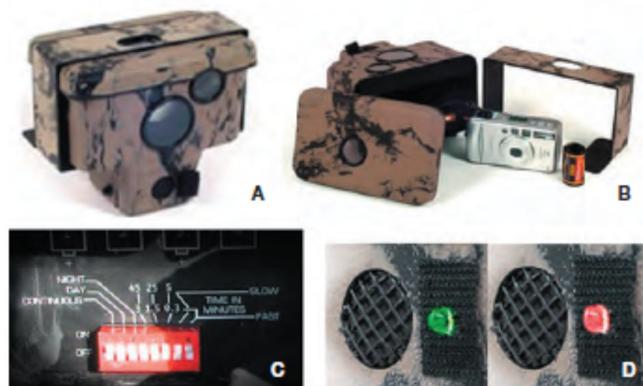
Un claro ejemplo de la caza indiscriminada contra el *Tayassu pecari* en el Ecuador fue cuando un grupo de más de 30 individuos intentó cruzar el río Napo, cerca de la comunidad de Pompeya, precisamente en un día sábado cuando las comunidades desarrollan la feria semanal en la que funciona un mercado de carne silvestre y de animales vivos. Las personas que se encontraban en el lugar se dieron cuenta del acontecimiento y salieron tras los pecaríes que fueron fácilmente cazados desde las canoas mientras nadaban en el río (Ver Figura 5). Al menos seis ejemplares adultos fueron capturados, faenados, y vendidos inmediatamente en el mismo mercado de Pompeya (Torres, et al., 2009)



**Figura 5. *Tayassu pecari* - Comercializados en el mercado de Pompeya**  
Fuente: R. Cueva (Torres, et al., 2009)

#### 2.4. Cámaras Trampa

Son dispositivos compuestos con un sistema detector de movimiento y/o calor (SDMC) que está conectado al disparo de una cámara convencional. El SDMC envía una señal a la cámara para que el obturador dispare y tome la foto cuando detecta algún movimiento o cambio de temperatura en el ambiente, esto provocado por algún animal u objeto que cruza el área de acción del detector, (Ver Figura 6) (Chávez, et al., 2013).



**Figura 6. Componente de una cámara trampa**  
(A) Dispositivo completo; (B) Elementos de la trampa-cámara; (C) Controlador del sensor detector de movimiento y/o calor; (D) Forma del sensor en su modo de prueba (rojo) y en su modo de activado (verde).

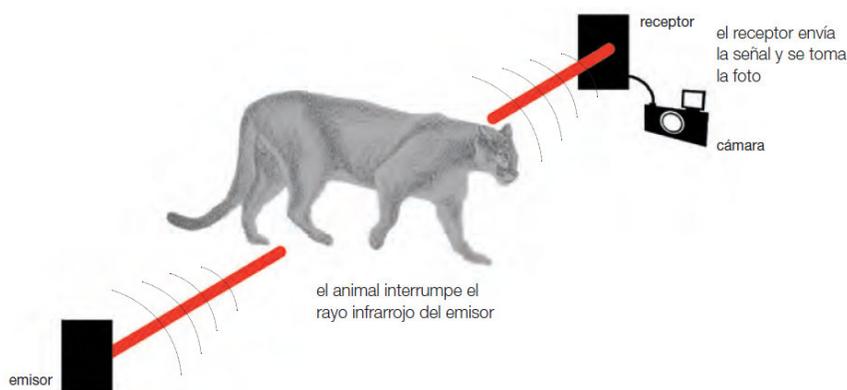
Fuente: (fotos de [www.camtraker.com](http://www.camtraker.com).)

### 2.4.1. Tipos de cámaras trampa

Actualmente existen dos tipos de cámaras trampa, según su sistema de activación (Chávez, et al., 2013):

- **Sistema activo**

Está formado por tres elementos, la cámara, el emisor y el receptor. Su funcionamiento se lleva a cabo de la siguiente manera: la cámara de rollo o digital se conecta al receptor, que recibe un rayo infrarrojo generado permanentemente por un emisor que se encuentra colocado a una distancia de acuerdo a las necesidades de la investigación. Si el rayo es interrumpido por algún animal, se genera una señal que activa el obturador y captura la foto, (Ver Figura 7).



**Figura 7. Cámara trampa - Sistema activo**

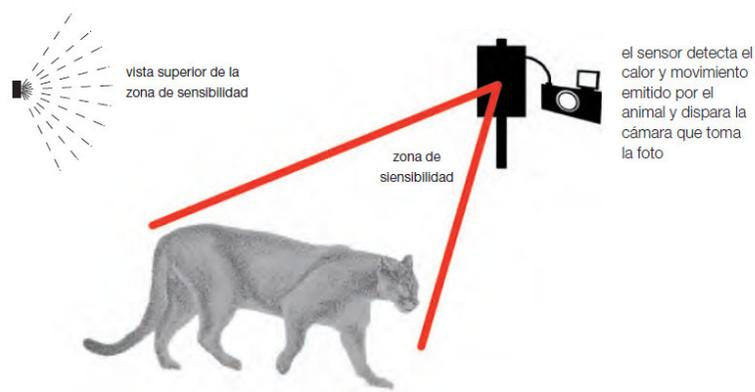
Fuente: (H. Barcéñas)

Este tipo de sensor tiene algunas ventajas, entre ellas que toma fotos de excelente calidad en casi todos los ecosistemas y que además solamente se activa cuando el rayo infrarrojo es interrumpido y no por cambios en la temperatura ambiente ni por el movimiento de plantas aledañas. Como

desventajas tiene que sus elementos se venden por separado, lo que incrementa sus costos, además de que los cables que conectan todos estos elementos están expuestos a daños por roedores. Se debe tomar en cuenta que se necesita mayor conocimiento del equipo y se requiere más tiempo para su instalación.

- **Sistema pasivo**

Este sistema, que está incluido dentro de la misma unidad junto a la cámara, es el más utilizado en el mercado. En este sistema el sensor (receptor) detecta el movimiento y el calor generado por el animal u objeto que esté dentro del área llamada como “zona de sensibilidad” (Ver Figura 8), que está determinada por el tamaño y forma del sensor y estos a su vez varían de acuerdo a la marca y modelo.



**Figura 8. Cámara trampa - Sistema pasivo**  
Fuente: (H. Barcéñas)

Una de las ventajas de este sistema es que todos los elementos (cámara y sensor) están integrados en una sola unidad, además tienen costos menores que equipos con sistema activo y son resistentes al agua.

## **2.5. Sistemas de Información Geográfica**

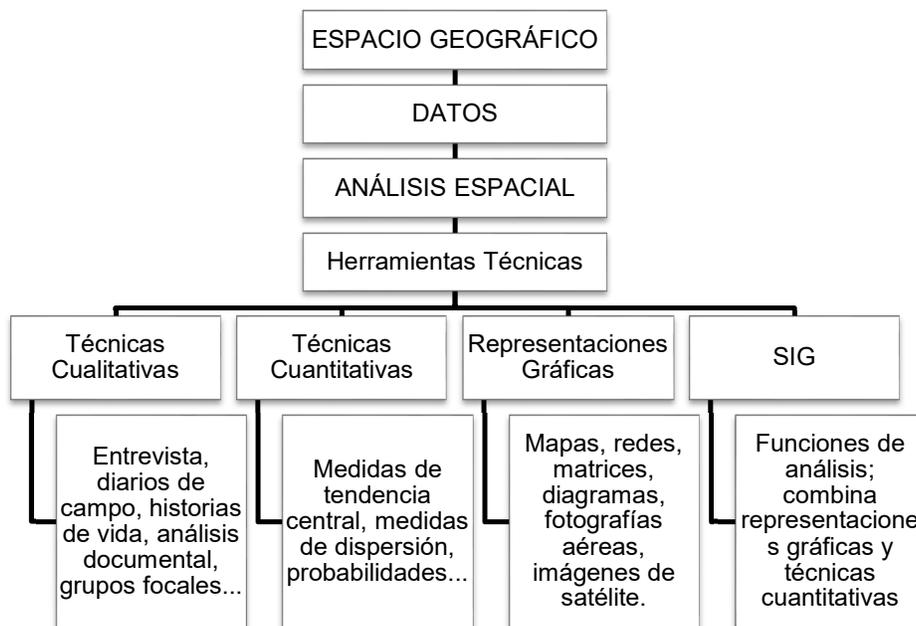
Un Sistema de Información Geográfica (SIG) Es un conjunto de métodos, herramientas, actividades que actúan coordinada y sistemáticamente para recolectar, capturar, almacenar, manipular, analizar, modelar datos georreferenciados con el fin de ayudar a resolver problemas y a la toma de decisiones. Es una integración de hardware, software, datos, métodos y recursos humanos. Un SIG es una herramienta que permite combinar información gráfica (mapas) y alfanumérica (estadística, datos) para obtener una información derivada del espacio (Domínguez, 2000).

### **2.5.1. Análisis Espacial**

El Análisis Espacial se compone de “una serie de técnicas matemáticas y estadísticas aplicadas a los datos distribuidos sobre el espacio geográfico” (Fuenzalida, et al., 2015). Además es un momento en el proceso de investigación en el que se relacionan una serie de métodos que buscan separar, procesar, clasificar y presentar cada capa temática de la base de datos con criterios cartográficos, al estudio cuantitativo y cualitativo de los fenómenos en estudio, todo esto con el fin de ayudar en la búsqueda de soluciones de un problema, y en función de las herramientas que utilice el investigador (Madrid & Ortiz, 2005)

### **2.5.2. Técnicas de Análisis Espacial**

Madrid & Ortiz, (2005) clasifican a las herramientas o técnicas utilizadas en el análisis espacial en cuatro grupos (Ver Figura 9).



**Figura 9. Herramientas técnicas para el análisis espacial**

Fuente: (Madrid & Ortiz, 2005)

Domínguez Bravo (2000) dice que las principales herramientas de análisis espacial en un SIG son superposición, delimitación de áreas de influencia, análisis de vecindad, análisis de redes y los modelos del terreno, todo esto permite que un SIG tenga la capacidad de modelización y prospectiva.

- **Superposición**

Permite realizar el solapamiento de capas de información con métodos matriciales o vectoriales para obtener capas nuevas de información derivadas del cálculo entre las anteriores. Es considerada como la herramienta básica para el análisis espacial.

- **Áreas de influencia**

Se entiende como áreas de influencia aquellas que a partir de una entidad espacial y de acuerdo a una o más variables define una nueva

entidad en el espacio, que suelen ser del estilo de círculos o coronas (donuts), corredores (Buffer), o figuras regulares y/o irregulares con referencia al polígono de origen.

- **Análisis de vecindad**

Son técnicas que permiten, mediante la aplicación de diferentes algoritmos, conocer cómo se relaciona un objeto geográfico con su entorno y viceversa. Algunos ejemplos claros es que permite saber la distancia entre un foco de contaminación y cualquier punto de la zona de estudio o el número de fuentes de contaminación que hay alrededor de un poblado a cierta distancia. Son habituales en los sistemas raster.

- **Modelos digitales de elevación**

Los Modelos Digitales de Elevación (MDE) es una herramienta clásica y el nombre puede variar de acuerdo a la técnica utilizada para el levantamiento o la variable a representar. Hay que recordar que la variable Z no es necesariamente la altura (es común representar accesibilidad, contaminación, caudales, etc), además lo que se obtiene en un modelo interpolado a partir de datos georreferenciados, y los resultados obtenidos están sujetos a ajustes de acuerdo a los criterios de calidad que tiene el proyecto. Tiene como ventaja que se pueden realizar perfiles o cortes.

## **2.6. Máxima Entropía**

Máxima Entropía es un concepto derivado de la teoría de la información y que nos dice que tan aleatorio es algo, es algo un poco anti-intuitivo pero cuando todos los elementos de un conjunto son equiprobables, su entropía es máxima, o sea la máxima es igual al evento más probable (Martínez N. , 2016)

El principio de Máxima Entropía se puede definir como (Liras, 2008):

*Entropía = cantidad de información contenida por un sistema*

*Máxima entropía = distribución más extendida, cercana a uniforme*

Entonces se puede decir que el método de Máxima Entropía para estimar una distribución desconocida: determina lo que se conoce (restricciones) entre las predicciones que se ajustan a las restricciones y se favorece la que tiene máxima entropía. Las restricciones están impuestas por los valores de las variables ambientales en las localidades conocidas de la especie.

Maxent es un método de inteligencia artificial que emplea el principio de máxima entropía para calcular la distribución geográfica más probable para una especie (Pando & Peñas, 2007). La idea de Maxent es estimar la probabilidad de ocurrencia de una especie mediante la búsqueda de la distribución de probabilidad de máxima entropía (es decir, lo más uniforme posible) (Phillips, Andersonb, & Schapired, 2006). Utiliza un algoritmo que requiere datos de presencia y ausencia de la especie, se apega a la cantidad de variables utilizadas en torno a la siguiente relación:

$$P(y = 1|z) = \frac{f_1(z)P(y = 0)}{f(z)}$$

En este contexto se establece la distribución potencial que uniformemente se acople a la realidad de la distribución real de la especie en base a las variables climáticas, esta probabilidad de máxima entropía determina el valor del pixel en la que puede encontrarse la especie. (Yáñez, Vaca, & Lobo, 2015). La relación de probabilidad de máxima entropía es:

$$\max_{\alpha, \beta} \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \ln \left( f \left( z_i e^{g(z_i)} \right) \right) - \sum_{j=1}^n \lambda_j |\beta_j|$$

En resumen se puede decir que Maxent empieza ajustando los datos a partir de una distribución uniforme, que va modificando hasta una distribución de Máxima Entropía. El modelo se basa en ajustar los parámetros de la distribución final (Liras, 2008).

### 2.6.1. Ventajas y Desventajas

Phillips (2006) da conocer una lista de ventajas y desventajas del software Maxent.

#### **Ventajas:**

- Se requieren sólo datos de presencia, junto con la información ambiental.
- Se pueden utilizar datos tanto continuos como categóricos, puede incorporar las interacciones entre las diferentes variables.
- Algoritmos determinísticos eficientes han sido desarrollados para converger a la distribución de probabilidad óptima (máxima entropía).
- La distribución de probabilidad Maxent tiene una definición matemática concisa, y es por lo tanto susceptible de análisis.
- Comportamiento determinista (repetible).
- Exacto (se ajusta a los datos)

#### **Desventajas:**

- No es tan maduro como un método estadístico GLM o GAM, por lo que hay un menor número de directrices para su uso en general, y un menor número de métodos para estimar la cantidad de error en una predicción.

- Se utiliza un modelo exponencial para probabilidades, que no está inherentemente limitado por arriba y pueden dar grandes valores pronosticados para las condiciones ambientales fuera de la gama presente en el área de estudio.
- Se requiere software especial, ya que Maxent no está disponible en paquetes estadísticos estándar.

## 2.7. Geoestadística

El padre de la geoestadística es Georges Matheron desde 1962, él definió a esta rama de la estadística aplicada como “la aplicación del formalismo de las funciones aleatorias al reconocimiento y estimación de fenómenos naturales”. Formalizó y generalizó matemáticamente un conjunto de técnicas desarrolladas por Krige (1941) que explotaba la correlación espacial para hacer predicciones en la evaluación de reservas de las minas de oro en Sudáfrica (Díaz, 2002).

El prefijo “*geo*” alude a las ciencias de la tierra y el término “estadística” se refiere al uso de herramientas estadísticas y probabilísticas. Es decir la geoestadística toma en cuenta las dependencias entre observaciones disponibles, considerando que están ubicadas en el espacio. Se especializa en el análisis y la modelación de la variabilidad espacial (Emery, 2007).

En contraposición con la estadística clásica, los valores no se consideran independientes, por el contrario se suponen de manera implícita que están correlacionados unos con otros, es decir que existe una dependencia espacial. Intuitivamente esto indica que mientras más cercanos estén situados dos puntos están más correlacionados y mientras más separados hay menos relación entre estos (Díaz, 2002). La geoestadística permite predecir (estimar), es decir conociendo la variable en una serie de puntos se

puede dar la predicción de su valor en otros, además obtiene la medida de incertidumbre asociada a ella (Funes, 2004).

**Variable regionalizada:** variable medida en el espacio de forma que presente una estructura de correlación. De manera más formal se puede definir como un proceso estocástico con dominio contenido en un espacio euclidiano d-dimensional  $R^d$ ,  $\{Z(x): x \in D \subset R^d\}$ . Recuérdese que un proceso estocástico es una colección de variables aleatorias indexadas; esto es, para cada  $x$  en el conjunto de índices  $D$ ,  $Z(x)$  es una variable aleatoria (Giraldo, 2007).

**Estacionariedad:** la variable regionalizada es estacionaria si su función de distribución conjunta es invariante respecto a cualquier traslación del vector  $h$  o lo que es lo mismo, la función de distribución del vector aleatorio (Giraldo, 2007):

$$\vec{Z}(x) = [Z(x_1), Z(x_2), \dots \dots Z(x_n)]^T$$

es idéntica a la del vector :

$$\vec{Z}(x) = [Z(x_1 + h), Z(x_2 + h), \dots \dots Z(x_n + h)]^T, \text{ para cualquier } h$$

Es decir la estacionariedad es un proceso invariante cuando hay un cambio de su posición espacial.

**Anisotropía:** propiedad de un proceso espacial o datos en los que la dependencia espacial (autocorrelación) cambia con la distancia y la dirección entre dos ubicaciones (ESRI, 2003).

**Isotropía:** propiedad de un proceso natural o datos donde la dependencia espacial (autocorrelación) cambia solamente con la distancia entre dos ubicaciones (las direcciones no son importantes) (ESRI, 2003).

Según Díaz (2002) un análisis geoestadístico está compuesto por tres etapas:

- Análisis exploratorio de los datos
- Análisis estructural
- Las predicciones (kriging o simulaciones)

### 2.7.1. Análisis exploratorio

La geoestadística busca estudiar una o varias variables regionalizadas a través de una toma de muestras. Previo a utilizar este método es conveniente realizar un estudio exploratorio de los datos disponibles, que tiene como objetivo analizar mediante herramientas estadísticas simples la cantidad, la calidad y la ubicación de los datos. Definir la(s) zona(s) de estudio, es decir dividir en sub-zonas, puede ser relevante si uno observa cambios abruptos en la distribución espacial de valores, o si la geología del fenómeno lo indica y además puede anticipar dificultades o problemas que puedan surgir en la fase de estimación local por ejemplo, presencia de valores atípicos (Emery, 2007).

Los análisis de la distribución estadística de los datos más utilizados son:

- **Estadística descriptiva:** son las medidas de tendencia como la media, moda, etc y medidas de dispersión como la desviación estándar, varianza, etc.
- **Histograma:** representa gráficamente las frecuencias de ocurrencia en función del valor. Divide al rango de datos en intervalos iguales, no toma en cuenta su localización espacial.
- **Diagrama de cajas (box plot):** sirve para identificar valores atípicos "outliers", Ahora, cabe destacar que un dato atípico no es forzosamente falso y nunca debe ser eliminado sin razón, a veces

representan la información más interesante de la variable en estudio. Además resume algunas características de la distribución con la dispersión y simetría

### 2.7.2. Análisis estructural

El segundo paso para el desarrollo del estudio geoestadístico es el análisis estructural, que consiste en estimar y modelar una función que refleje la correlación espacial de la variable regionalizada que en dependencia de las características de estacionaridad del fenómeno se modelará la función de covarianzas o la de semivarianzas (Díaz, 2002).

Por su importancia generalmente se estudia la función semivarianza que permite el cálculo y modelación del semivariograma experimental y teórico para determinar el comportamiento de la variable sobre una superficie determinada, con esto se obtiene la influencia de los datos a ciertas distancias, es decir la dependencia espacial.

- **Variograma y Semivariograma**

El variograma es una función llamada  $2\gamma(h)$ , utiliza la definición teórica de la varianza en términos de valor esperado de una variable aleatoria. Su ecuación es:

$$2\gamma(h) = V[Z(x+h) - Z(x)]$$

El semivariograma es la mitad del variograma, se conoce como la función de semivarianza y caracteriza las propiedades de dependencia espacial del proceso, esta función se estima por el método de momentos a través del semivariograma experimental. Se ecuación es:

$$\gamma(h) = \frac{\sum_{i=1}^n [Z(x+h) - Z(x)]^2}{2n}$$

Donde:

$Z(x)$ : valor de la variable en un sitio  $x$

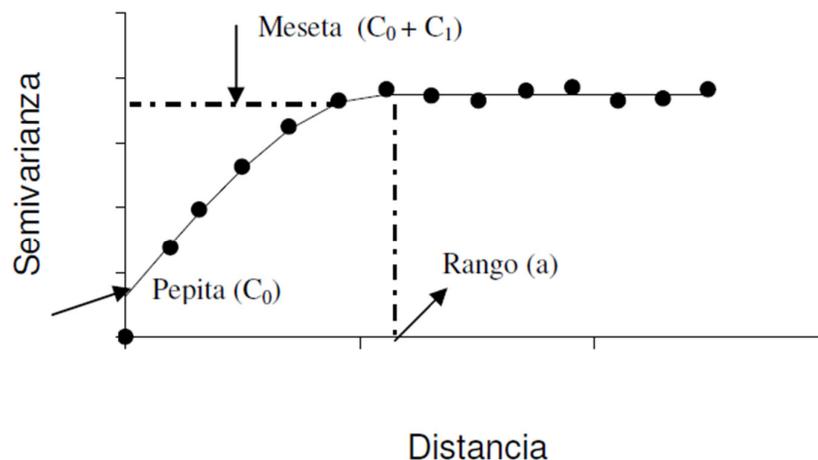
$Z(x + h)$ : valor muestral separado del valor anterior por una distancia  $h$

$n$ : número de parejas que se encuentran separadas por dicha distancia

La función de semivarianza se obtiene para varias distancias  $h$ , pero en la práctica, debido a la irregularidad en el muestreo y por ende en las distancias entre los puntos de muestreo, se toman intervalos de distancia  $\{[0,h],[h,2h],[2h,3h],\dots\}$ . El semivariograma experimental tiene distancias promedio entre parejas de sitios en cada intervalo es decir no tiene una distancia  $h$  específica. El número de parejas de puntos  $n$  de los intervalos no es constante (Giraldo, 2007).

- **Características del Semivariograma**

Todos los semivariogramas tienen 3 parámetros o elementos en común, que son analizados para cada estudio (Ver Figura 10).



**Figura 10. Parámetros del Semivariograma**  
Fuente: (Giraldo, 2007)

**Pepita o Nugget ( $C_0$ ):** representa una discontinuidad puntual del semivariograma en el origen. Puede deberse a errores de medición de la variable, una pobre precisión analítica o a la escala de la misma. Puede en ocasiones ser un indicativo de que parte de la estructura espacial se concentra a distancias inferiores a las observadas. También es conocido como efecto pepita.

**Meseta o Sill ( $C$ ):** cota superior del semivariograma donde el modelo se estabiliza. También puede definirse como el límite del semivariograma cuando la distancia  $h$  tiende a infinito. La meseta puede ser o no finita. La meseta de un semivariograma puede ser expresado como la varianza de la muestra.

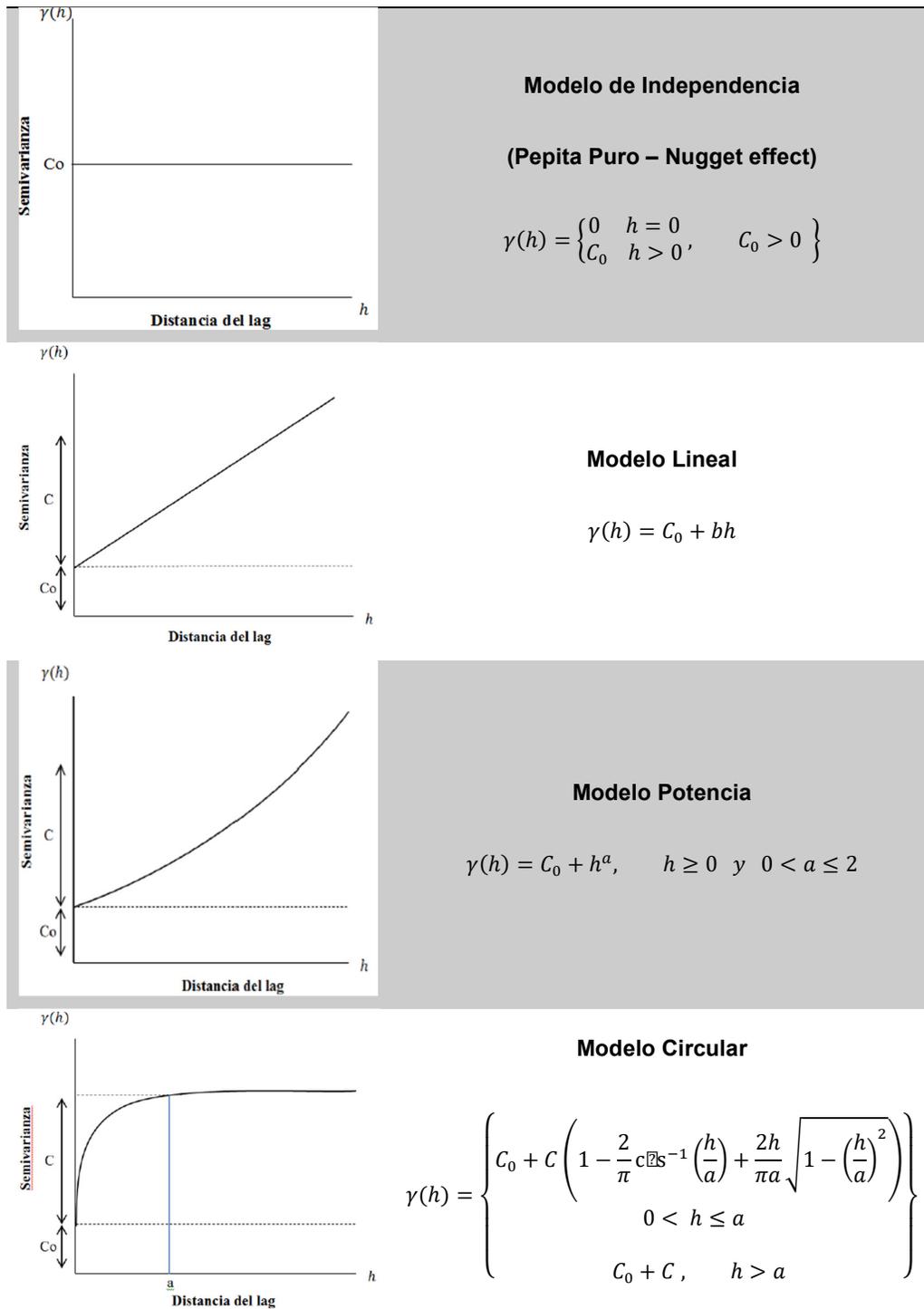
**Rango o Alcance ( $h$ ):** distancia a partir de la cual dos observaciones son independientes, donde se estabiliza la semivarianza. Es decir la distancia dentro de la cual existe correlación espacial. Además, el rango se interpreta como la zona de influencia. El rango no siempre aparece de manera explícita en la fórmula del semivariograma.

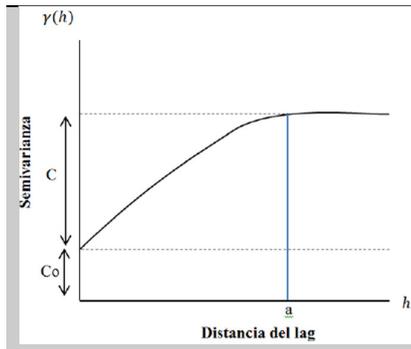
- **Modelos Teóricos del Semivariograma**

El modelamiento con semivariogramas se puede decir que es el paso más importante en la geoestadística, porque determina qué modelo estadístico se ajusta mejor al comportamiento de los datos. A continuación se observan algunos de los modelos básicos de semivariograma más utilizados (Ver Tabla 1).

**Tabla 1.**  
**Modelos Teóricos del Semivariograma**

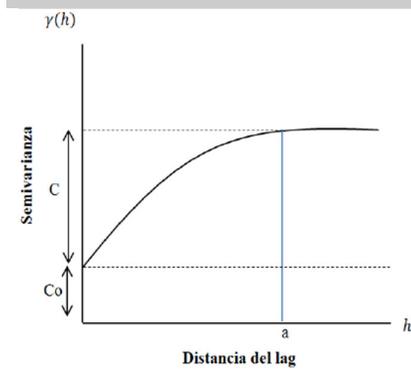
SEMIVARIOGRAMA	MODELO
----------------	--------





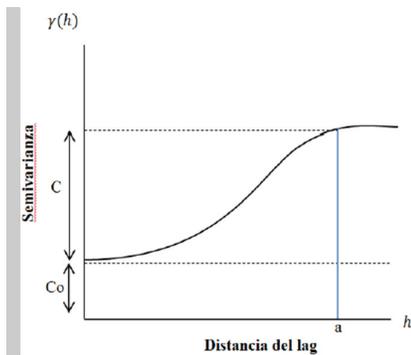
**Modelo Esférico**

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C \left( \frac{3}{2} \left( \frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right); & h \leq a \\ C_0 + C; & h > a \end{cases}$$



**Modelo Exponencial**

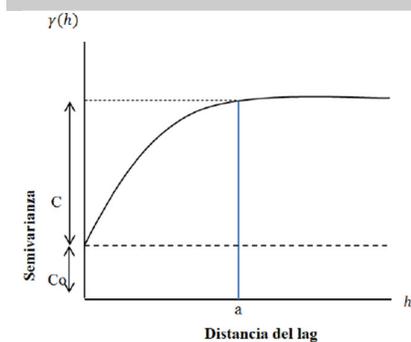
$$\gamma(h) = C_0 + C \left( 1 - e^{-\frac{3h}{a}} \right)$$



Continúa

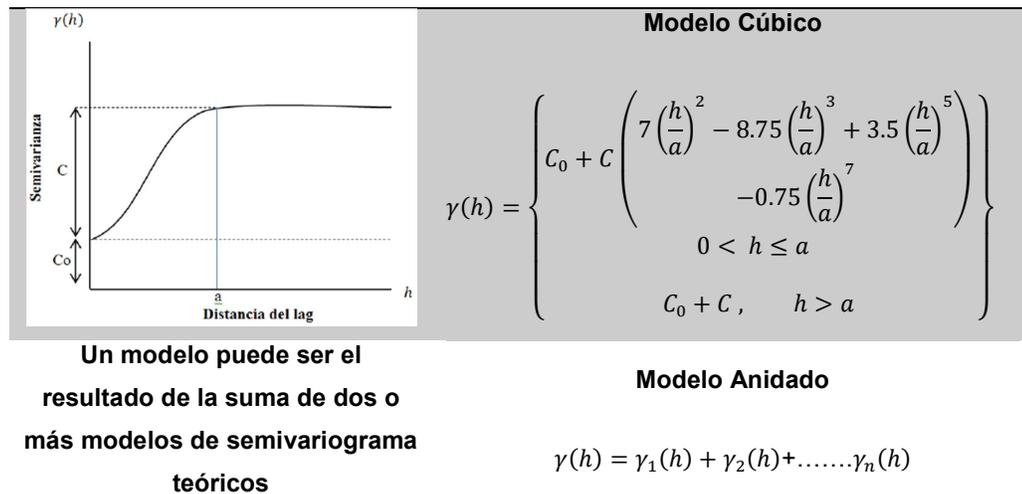
**Modelo Gaussiano**

$$\gamma(h) = C_0 + C \left( 1 - e^{-\frac{h^2}{a^2}} \right)$$



**Modelo Cuadrático**

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C \left( 2 \left( \frac{h}{a} \right) - \left( \frac{h}{a} \right)^2, & h \leq a \right) \\ C_0 + C, & h > a \end{cases}$$



Fuente: (Guajala & Zambrano, 2016)

### 2.7.3. Las predicciones (kriging o simulaciones)

En geoestadística el método de estimación espacial que se usa es el Kriging, es conocido como el mejor predictor lineal insesgado (*BLUE: Best Linear Unbiased Predictor*), lo cual lo determina como un método de estimación superior a los tradicionales. Kriging es óptimo en el sentido de que es insesgado y de varianza mínima. Este es el método de interpolación de datos dispersos para procesos espaciales aleatorios (Oliver, 2010).

Según Díaz (2002) el kriging es un método de estimación local que ofrece el mejor estimador lineal insesgado de una variable desconocida en estudio. La limitación a la clase de estimadores lineales es bastante natural ya que esto significa que solamente se requiere el conocimiento del momento de segundo orden de la función aleatoria (la covarianza o el variograma) y que en general en la práctica es posible inferir a partir de una realización de la misma.

Kriging es una técnica de interpolación probabilística que ha destacado sobre muchas de las deficiencias de los modelos matemáticos (determinísticos), toma en cuenta la forma en que varía un fenómeno en el

espacio a través del variograma (Martínez & Morillo, 2015). Es decir que a partir de información conocida de una variable, medida en ciertas ubicaciones, estima el valor en otras ubicaciones de la zona de estudio en donde se desconoce o se carece del muestreo usualmente en una malla. En la Tabla 2 se menciona los tipos de Kriging y algunas de sus propiedades

**Tabla 2.**  
**Tipos de predictores Kriging y sus propiedades.**

TIPO DE PREDICTOR	NOMBRE	PROPIEDADES
LINEAL	Simple	Son óptimos si hay normalidad multivariada. Independiente de la distribución son los mejores predictores linealmente insesgados.
	Ordinario	
	Universal	
NO LINEAL	Indicador	Son predictores óptimo
	Probabilístico	
	Lognormal,	
	TransGaussiano, Disyuntivo	

Fuente: (Giraldo, 2007)

- **Características generales del Kriging**

Guajala & Zambrano (2016) resumen las características del Kriging en:

El concepto de distancia euclidiana es usado en los métodos tradicionales y en ocasiones la arbitrariedad para el cálculo de los pesos que se aplica para cada variable muestral, a diferencia del kriging que analiza la distancia y la geometría de la localización de las muestras.

Para la interpolación, mediante técnicas de geoestadística, se pueden estimar valores puntuales o en bloques, así como incorporar información secundaria que esté relacionada con la variable principal (ecuaciones de transformación de la variable, vecindad de búsqueda).

El kriging minimiza la varianza del error esperado (diferencia entre el valor real y el predicho). Además Kriging a diferencia de los métodos de interpolación tradicionales sí estima la varianza en todos los puntos del modelamiento.

El método kriging no asegura la mejor predicción posible, sino más bien permite evitar un error sistemático.

- **Kriging Ordinario**

El Kriging ordinario es el más utilizado, parte del supuesto de que se desconoce la media. Se considera que la variable aleatoria  $Z$ , ha sido medida en los puntos de muestreo  $x_i, i = 1, 2, 3 \dots \dots N$ . Utilizando esta información el Kriging ordinario propone que la variable puede predecirse como una combinación lineal de las  $n$  variables aleatorias de la siguiente manera:

$$\hat{Z}(x_0) = \lambda_1 Z(x_1) + \lambda_2 Z(x_2) + \lambda_3 Z(x_3) + \dots + \lambda_n Z(x_n)$$

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

Donde:

$n$ : usualmente representa los puntos de dato dentro de la vecindad local

$\lambda_i$ : representa los pesos o ponderaciones de los valores originales

Para asegurar que la predicción sea insesgada la suma de los pesos debe ser igual a uno.

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

El error esperado es:

$$E[\{\hat{Z}(x_0) - Z(x_0)\}] = 0$$

La varianza de predicción es:

$$\begin{aligned} \text{var}[\hat{Z}(x_0)] &= E[\{\hat{Z}(x_0) - Z(x_0)\}^2] \\ &= 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(x_i, x_0) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \gamma(x_i, x_j) \end{aligned}$$

Donde:

$\gamma(x_i, x_0)$ : es la semivarianza entre el  $i$ -ésimo punto de muestreo y el punto objetivo  $x_0$

$\gamma(x_i, x_j)$ : es la semivarianza de  $Z$  entre los puntos  $x_i$  y  $x_j$

Las semivarianzas se derivan del modelo de variograma porque las semivarianzas experimentales son discretas y a distancias limitadas (Leiva, 2014).

- **Validación Cruzada**

Existen diferentes métodos para evaluar la bondad de ajuste del modelo de semivariograma elegido con respecto a los datos muestrales y por ende de las predicciones hechas con kriging. El método más utilizado es la validación cruzada

Este método consiste en excluir la observación de uno de los  $n$  puntos muestrales y con los  $n-1$  valores restantes y el modelo de semivariograma escogido predecir por Kriging el valor de la variables en estudio en la ubicación del punto que no se tomó en cuenta. Se dice que si el modelo de semivarianza escogido describe la estructura de autocorrelación espacial de una amañera correcta, la diferencia entre el valor predicho y el observado debe ser mínima. Este procedimiento es repetitivo con cada uno de los puntos muestrales, obteniendo al final un conjunto de  $n$  errores de predicción (Giraldo, 2007).

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

#### 3.1. Obtención y Estructuración de la información

Los datos utilizados en el presente proyecto fueron obtenidos directamente de la Red *Tropical Ecology Assessment & Monitoring Network* (TEAM), *Early warning system for Nature*, que dispone de una base de datos de los registros de las 30 cámaras trampa ubicadas en los alrededores de la Estación Científica Yasuní que está dentro del Parque Nacional Yasuní, durante el periodo 2011 – 2015.

Tropical Ecology Assessment & Monitoring Network es un programa que se dedica al seguimiento de las tendencias a largo plazo en la biodiversidad. Los ecosistemas tropicales son los lugares biológicamente más ricos del planeta es por eso que TEAM trabaja en 16 localizaciones de bosques tropicales de África, Asia y América Latina, apoyando a un grupo de científicos comprometidos con metodologías estandarizadas de recolección de datos para cuantificar cómo los animales y las plantas responden a presiones tales como el cambio climático y la invasión antrópica (TEAM, s.f.).



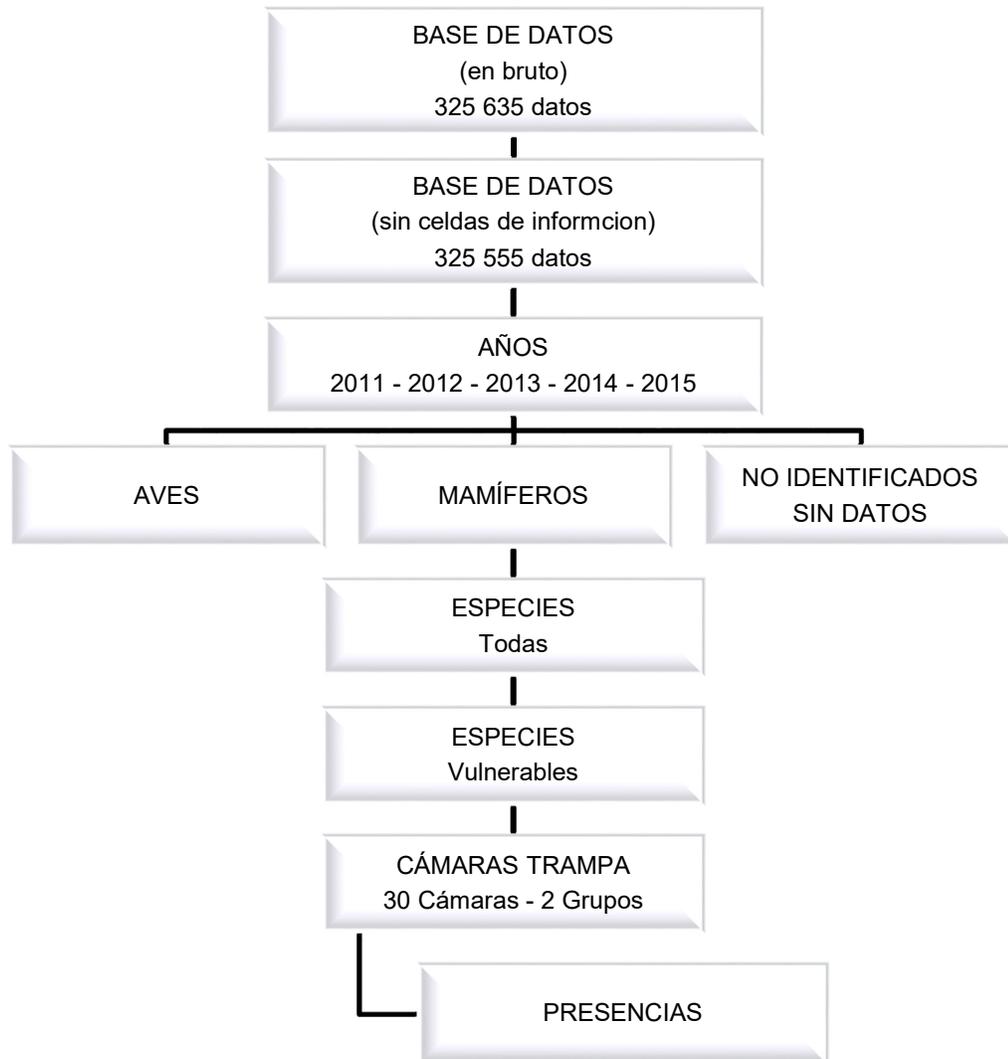
**Figura 11. Proceso de recolección de datos TEAM**

Fuente: (TEAM, s.f.)

La Red TEAM está recopilando datos (Ver Figura 11), para ayudar a comprender el impacto del cambio climático en la salud de los ecosistemas. Los datos que están a disposición del público, se recogen casi en tiempo real lo que permite tener acceso a un sistema de alerta temprana para la naturaleza (*Early warning system for Nature*) (TEAM, s.f.).

### 3.1.1. Depuración de la base de datos

El proceso de depuración de la base de datos fue realizado de forma exhaustiva para cada especie de mamíferos registrada (Ver Figura 12). En un principio se obtuvo una base de datos en bruto de 325 635 registros. Esta base de datos fue depurada eliminando inicialmente los datos informativos respecto al programa TEAM. De esa forma quedaron 325 555 registros. Está conformada netamente por datos del registro de aves, mamíferos, especies no identificadas y/o sin datos.



**Figura 12. Depuración de los datos**

La base de datos tiene registros desde el año 2011 hasta el año 2015. Los datos fueron filtrados por año, para luego dividir en aves, mamíferos, no identificados y/o sin datos (Ver Tabla 3).

**Tabla 3.**  
**Número de especies por año**

<b>AÑO</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
<b>MAMÍFEROS</b>	31	29	29	27	28
<b>SIN IDENTIFICAR</b>	0	0	3	5	4
<b>AVES</b>	No se dividió por especies				

De todos los mamíferos registrados se revisó cuales están en la Lista Roja de la UICN como especies vulnerables. Se encontró que el *Tapirus terrestris* (tapir, tapir de tierras bajas, tapir brasileño, tapir amazónico, sudamericana tapir, danta, anta,) y el *Tayassu pecari* (pecarí de labios blancos, pecarí barbiblanco, guanguana, manao, katí) son parte del citado grupo.

Una muestra del programa TEAM con cámara trampa se compone de 60 - 90 puntos georreferenciados, distribuidos en dos o tres conjuntos de cámaras trampa (en función de las particulares sitio). En cada punto se deja la cámara trampa a lo largo de un período de 30 días, una vez al año, durante la temporada seca y sin cebo (se utiliza para atraer a los animales a los puntos). Lo ideal sería que las muestras a tomar en todos los puntos (60 – 90) se llevaran a cabo de manera simultánea; sin embargo, esto está impedido por las limitaciones logísticas y el costo (TEAM, 2011). La Estación Científica Yasuní cuenta con 60 puntos de muestreo georreferenciados, divididos en dos grupos de 30 cámaras trampa cada uno.

Cada matriz de cámaras trampa contiene de 20 a 30 cámaras trampa, lo que supone una densidad de una trampa por cada 2 km<sup>2</sup> aproximadamente. Cada matriz se muestrea secuencialmente, no simultáneamente; sin embargo, en todas las matrices deben tomarse muestras dentro de la misma estación seca. Esto significa que la primera serie de cámaras trampa se despliega y se mantiene en el campo por 30 días. Inmediatamente después,

las cámaras trampa son recogidas, las baterías y las tarjetas de memoria son reemplazadas, y las cámaras trampa revisadas se trasladan de inmediato a la segunda matriz, para permanecer allí durante 30 días y así se continua el proceso (TEAM, 2011). Como en la Estación Científica Yasuní se cuenta con dos grupos de puntos se realiza dicho proceso dos veces al año.

TEAM en su Protocolo de Monitoreo de Vertebrados Terrestres indica todas las ubicaciones de las cámaras trampa usando un Datum: WGS84 formato de grados decimales. En el protocolo también indica y explica los diferentes atributos que tiene el archivo de datos (TEAM, 2011).

Para determinar el tamaño de pixel adecuado se utiliza la regla “El tamaño de pixel de la grilla debe estar relacionado de alguna manera a la densidad de los puntos de los datos. Como regla general, la separación de los nodos de la red debe ser 1/2 a 1/3 de la distancia media de los pares de puntos más cercanos” (Meijerink, et al., 1994).

Al aplicar dicha regla se obtiene que el tamaño de pixel adecuado es de 300m x 300m (Ver Tabla 4). Con este tamaño de pixel se trabajó todo el proyecto.

**Tabla 4.**  
**Cálculo para el tamaño de pixel adecuado**

<b>DISTANCIA</b>	<b>1/2</b>	<b>1/3</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>
923.397	461.698	307.799	384.749

### **3.2. Aplicación del Modelo de Máxima Entropía**

Se ha utilizado el software Maximum Entropy Species Distribution Modeling, Versión 3.3.3k (Maxent) que se basa en el principio de máxima entropía para el modelado de la distribución geográfica de las especies. Este software toma como entrada un conjunto de capas o variables ambientales

(como la altitud, precipitación, etc.), un conjunto de datos georreferenciados de la presencia de la especie y genera un modelo de la distribución del taxón (Phillips, Miroslov, & Schapire, 2004). Además es un software libre de fácil acceso.

### 3.2.1. Preparación entrada de datos

Maxent trabaja con tres insumos y/o requisitos previos que son: registros de la presencia de las especies, variables ambientales y el lugar geográfico de interés.

- **Registro de presencias de la especie**

Los registros de ocurrencia o presencia de las especies se obtuvieron de las cámaras trampa donde se han registrado apariciones del taxón, quedando como resultado 55 datos para el *Tapirus terrestris* y 53 del *Tayassu pecari*, es decir en 5 y 7 cámaras trampa respectivamente nunca se tuvo presencia de la especie (Ver Tabla 5 y Tabla 6).

**Tabla 5.**  
Registros de presencias del *Tapirus terrestris*

#	CÁMARAS	COORDENADAS		APARICIONES					Total
		Unit_ID	Latitud	Longitud	2011	2012	2013	2014	
1	CTYAS101	-0.60928	-76.457982	1	0	0	2	0	3
2	CTYAS102	-0.623824	-76.456834	0	0	1	0	0	1
3	CTYAS103	-0.623464	-76.445022	0	0	0	0	1	1
4	CTYAS104	-0.622538	-76.434611	0	3	0	0	0	3
5	CTYAS105	-0.636219	-76.507915	0	3	6	14	2	25
6	CTYAS106	-0.636659	-76.495573	0	1	0	0	0	1
7	CTYAS107	-0.6361	-76.483357	0	0	0	1	0	1
8	CTYAS108	-0.635276	-76.470858	0	0	0	1	1	2
9	CTYAS109	-0.634817	-76.444512	0	2	0	1	1	4
10	CTYAS110	-0.636076	-76.432181	0	0	0	1	0	1
11	CTYAS111	-0.635749	-76.420786	2	2	0	1	0	5
12	CTYAS112	-0.648392	-76.506745	1	0	0	2	0	3
13	CTYAS113	-0.649024	-76.494426	0	0	0	0	0	0
14	CTYAS114	-0.64842	-76.48121	0	0	0	1	1	2

Continúa 

15	CTYAS115	-0.648232	-76.468885	0	0	1	0	1	2
16	CTYAS116	-0.648322	-76.444033	0	0	0	1	0	1
17	CTYAS117	-0.65222	-76.433778	0	9	7	0	0	16
18	CTYAS118	-0.661005	-76.507406	0	0	1	0	0	1
19	CTYAS119	-0.660049	-76.494922	0	5	1	4	0	10
20	CTYAS120	-0.659113	-76.481315	1	0	1	5	0	7
21	CTYAS121	-0.65985	-76.470195	0	1	1	1	1	4
22	CTYAS122	-0.659825	-76.457522	1	2	4	0	1	8
23	CTYAS123	-0.660487	-76.4326	0	2	0	0	0	2
24	CTYAS124	-0.674142	-76.507514	0	0	1	2	1	4
25	CTYAS125	-0.673762	-76.494238	2	0	1	1	5	9
26	CTYAS126	-0.67262	-76.482138	0	0	1	1	0	2
27	CTYAS127	-0.674314	-76.469729	0	0	0	0	0	0
28	CTYAS128	-0.674411	-76.457441	0	0	0	0	0	0
29	CTYAS129	-0.6752	-76.445268	0	0	1	1	0	2
30	CTYAS130	-0.674465	-76.432153	0	10	3	5	0	18
31	CTYAS201	-0.673456	-76.358041	0	0	2	1	0	3
32	CTYAS202	-0.685166	-76.357617	0	0	2	0	0	2
33	CTYAS203	-0.699563	-76.357748	0	2	0	3	1	6
34	CTYAS204	-0.685212	-76.457384	0	0	1	0	0	1
35	CTYAS205	-0.699679	-76.483294	2	2	0	0	0	4
36	CTYAS206	-0.711906	-76.483389	0	0	0	0	0	0
37	CTYAS207	-0.672267	-76.419716	2	0	4	3	2	11
38	CTYAS208	-0.67248	-76.407687	1	0	1	2	0	4
39	CTYAS209	-0.712299	-76.470057	0	2	0	2	0	4
40	CTYAS210	-0.712355	-76.457238	0	0	1	1	1	3
41	CTYAS211	-0.698377	-76.443939	0	0	0	2	1	3
42	CTYAS212	-0.712047	-76.44554	0	0	0	0	1	1
43	CTYAS213	-0.724479	-76.443982	0	2	0	1	1	4
44	CTYAS214	-0.69885	-76.431369	0	0	1	0	0	1
45	CTYAS215	-0.711567	-76.431233	3	0	0	2	2	7
46	CTYAS216	-0.724313	-76.431201	2	3	0	0	4	9
47	CTYAS217	-0.711363	-76.418537	0	3	0	0	1	4
48	CTYAS218	-0.723726	-76.418744	0	0	1	2	1	4
49	CTYAS219	-0.698764	-76.405981	1	1	0	1	0	3
50	CTYAS220	-0.710827	-76.406565	0	0	1	0	0	1
51	CTYAS221	-0.711322	-76.370747	2	3	1	4	0	10
52	CTYAS222	-0.68665	-76.393688	0	0	0	6	4	10
53	CTYAS223	-0.698363	-76.39375	1	0	0	1	0	2
54	CTYAS224	-0.711977	-76.393549	1	1	0	4	2	8
55	CTYAS225	-0.724354	-76.393501	1	1	0	0	3	5
56	CTYAS226	-0.685948	-76.380986	0	0	0	0	0	0
57	CTYAS227	-0.698535	-76.380814	0	1	1	1	1	4
58	CTYAS228	-0.711472	-76.380993	0	0	1	0	1	2
59	CTYAS229	-0.686135	-76.368129	3	2	0	0	1	6
60	CTYAS230	-0.698942	-76.368455	0	3	1	2	0	6

**Tabla 6.**  
Registros de presencia del *Tayassu pecari*

#	CÁMARAS Unit_ID	COORDENADAS		APARICIONES					Total
		Latitud	Longitud	2011	2012	2013	2014	2015	
1	CTYAS101	-0.60928	-76.457982	0	0	0	0	1	1
2	CTYAS102	-0.623824	-76.456834	0	0	0	0	2	2
3	CTYAS103	-0.623464	-76.445022	0	0	0	1	0	1
4	CTYAS104	-0.622538	-76.434611	0	1	0	0	0	1
5	CTYAS105	-0.636219	-76.507915	0	0	0	1	1	2
6	CTYAS106	-0.636659	-76.495573	0	0	0	0	0	0
7	CTYAS107	-0.6361	-76.483357	0	0	0	0	0	0
8	CTYAS108	-0.635276	-76.470858	0	0	0	1	2	3
9	CTYAS109	-0.634817	-76.444512	1	2	1	1	0	5
10	CTYAS110	-0.636076	-76.432181	0	0	0	0	2	2
11	CTYAS111	-0.635749	-76.420786	0	0	1	1	0	2
12	CTYAS112	-0.648392	-76.506745	1	1	0	2	0	4
13	CTYAS113	-0.649024	-76.494426	0	1	0	1	1	3
14	CTYAS114	-0.64842	-76.48121	0	0	0	0	2	2
15	CTYAS115	-0.648232	-76.468885	0	0	0	1	1	2
16	CTYAS116	-0.648322	-76.444033	0	0	0	0	0	0
17	CTYAS117	-0.65222	-76.433778	0	0	0	0	1	1
18	CTYAS118	-0.661005	-76.507406	0	0	1	3	0	4
19	CTYAS119	-0.660049	-76.494922	1	1	0	0	0	2
20	CTYAS120	-0.659113	-76.481315	1	0	0	2	0	3
21	CTYAS121	-0.65985	-76.470195	0	0	0	0	0	0
22	CTYAS122	-0.659825	-76.457522	1	0	0	0	0	1
23	CTYAS123	-0.660487	-76.4326	2	0	0	0	1	3
24	CTYAS124	-0.674142	-76.507514	0	0	1	1	0	2
25	CTYAS125	-0.673762	-76.494238	1	0	0	3	0	4
26	CTYAS126	-0.67262	-76.482138	0	1	2	2	1	6
27	CTYAS127	-0.674314	-76.469729	0	0	0	0	1	1
28	CTYAS128	-0.674411	-76.457441	0	0	0	0	0	0
29	CTYAS129	-0.6752	-76.445268	2	0	0	0	0	2
30	CTYAS130	-0.674465	-76.432153	1	0	0	0	0	1
31	CTYAS201	-0.673456	-76.358041	2	5	1	7	1	16
32	CTYAS202	-0.685166	-76.357617	0	0	0	0	0	0
33	CTYAS203	-0.699563	-76.357748	2	2	2	1	0	7
34	CTYAS204	-0.685212	-76.457384	0	6	0	1	0	7
35	CTYAS205	-0.699679	-76.483294	2	0	0	0	0	2
36	CTYAS206	-0.711906	-76.483389	0	0	1	2	0	3
37	CTYAS207	-0.672267	-76.419716	0	0	0	0	1	1
38	CTYAS208	-0.67248	-76.407687	0	0	0	0	0	0
39	CTYAS209	-0.712299	-76.470057	1	0	3	5	3	12
40	CTYAS210	-0.712355	-76.457238	0	0	1	0	1	2
41	CTYAS211	-0.698377	-76.443939	0	0	3	1	0	4
42	CTYAS212	-0.712047	-76.44554	0	0	1	0	3	4

Continúa



43	CTYAS213	-0.724479	-76.443982	0	0	0	0	2	2
44	CTYAS214	-0.69885	-76.431369	0	0	2	0	0	2
45	CTYAS215	-0.711567	-76.431233	1	0	7	0	0	8
46	CTYAS216	-0.724313	-76.431201	0	1	3	1	0	5
47	CTYAS217	-0.711363	-76.418537	0	1	1	0	1	3
48	CTYAS218	-0.723726	-76.418744	0	0	0	3	2	5
49	CTYAS219	-0.698764	-76.405981	2	0	0	0	0	2
50	CTYAS220	-0.710827	-76.406565	0	0	2	1	0	3
51	CTYAS221	-0.711322	-76.370747	5	0	4	1	2	12
52	CTYAS222	-0.68665	-76.393688	1	0	3	4	0	8
53	CTYAS223	-0.698363	-76.39375	0	0	2	0	0	2
54	CTYAS224	-0.711977	-76.393549	1	4	2	2	7	16
55	CTYAS225	-0.724354	-76.393501	3	5	3	7	1	19
56	CTYAS226	-0.685948	-76.380986	0	0	3	0	0	3
57	CTYAS227	-0.698535	-76.380814	1	2	2	5	1	11
58	CTYAS228	-0.711472	-76.380993	0	2	1	0	4	7
59	CTYAS229	-0.686135	-76.368129	0	3	0	0	0	3
60	CTYAS230	-0.698942	-76.368455	0	1	2	0	2	5

Los datos se guardan en formato .csv separado por comas y según las especificaciones que requiere el software Maxent para su correcto funcionamiento (Ver Figura 13) (Phillips S. , 2005).

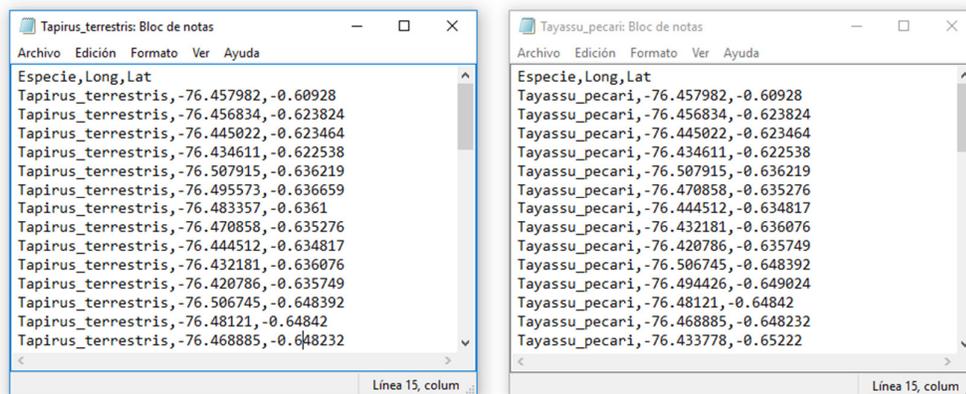


Figura 13. Formato de datos Maxent

- **Variables ambientales**

Se utilizaron variables bioclimáticas derivadas de valores mensuales de precipitación y temperatura que se han obtenido de *Bioclim / WorldClim - Global Climate Data*, Free climate data for ecological modeling and GIS. Las variables bioclimáticas representan las tendencias anuales (temperatura media anual, precipitación anual) estacionalidad (rango anual de temperatura y precipitación) y la limitación o el extremo de los factores ambientales (la temperatura del mes más frío y el más cálido, y la precipitación de la humedad y las cuartas partes secas). Un cuarto es un período de tres meses (1/4 de año) (WorldClim, s.f.).

WorldClim permite descargar libremente sus capas digitales a una resolución de 30 segundos de arco, 1km<sup>2</sup> aproximadamente. Sus datos son generados mediante la interpolación de datos climáticos de estaciones meteorológicas. Esta base de datos consiste en registros de precipitación de 47 554 lugares, la temperatura de 24 542 localidades, y la temperatura mínima y máxima para 14 835 localidades en el periodo que comprende de 1950 a 2000 (WorldClim, s.f.).

#### **Variables climáticas - Bioclim**

- BIO1: Temperatura media anual
- BIO2: Rango de temperatura media mensual (temperatura máxima - temperatura mínima)
- BIO3: Isotermalidad (relación entre la temperatura media mensual y el rango de temperatura anual multiplicado por cien)  
(BIO2 / Bio7) (\* 100)
- BIO4: Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar de la temperatura media anual multiplicada por cien)
- BIO5: Temperatura máxima del mes más caliente

- BIO6: Temperatura mínima del mes más frío
- BIO7: Rango anual de temperatura (temperatura máxima del mes más caliente restada de la temperatura mínima del mes más frío)  
(BIO5-BIO6)
- BIO8: Temperatura media del trimestre más húmedo
- BIO9: Temperatura media del trimestre más seco
- BIO10: Temperatura media del trimestre más caliente
- BIO11: Temperatura media del trimestre más frío
- BIO12: Precipitación anual
- BIO13: Precipitación del mes más húmedo
- BIO14: Precipitación del mes más seco
- BIO15: Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación)
- BIO16: Precipitación del trimestre más húmedo
- BIO17: Precipitación del trimestre más seco
- BIO18: Precipitación del trimestre más caliente
- BIO19: Precipitación del trimestre más frío

Según Iturralde (2010) se utilizan solo las variables climáticas porque se desea saber el nicho fundamental de la especie y no el nicho específico. En estos modelos no se toman en cuenta las interacciones entre especies como competencia o depredación, sino solamente los requerimientos ambientales de la especie.

Las 19 variables climáticas deben tener los mismos límites geográficos y tamaños de celda (300m x 300m en este caso), además se ha realizado la conversión de los ficheros tipo raster a tipo grid con extensión .asc, único tipo de fichero reconocido por Maxent (Phillips S. , 2005).

### 3.2.2. Modelado con Maxent

Para poder modelar adecuadamente en Maxent se deben tener en cuenta algunas opciones que brinda el software como son: *Create response curve* (crea curvas que muestran la forma en la predicción, cambia a medida que cada variable ambiental es modificada), *Make picture of prediction* (hace una imagen de las predicciones), *Do jackknife to measure variable importance* (mide la importancia de las variables), *Output format: Logistic* (formato de salida: logistic, da probabilidades entre 0 y 1) y *Output File Types* (las extensiones de salida para los raster pueden ser .asc, mxe, grd, bil), (Phillips, et al.,2006).

Para evaluar cuantitativamente los modelos se dividen en dos grupos los datos, el 75% para el entrenamiento (*Training data*) y el 25% para la prueba (*Test data*) (Echarri, Tambussi, & Acosta, 2009 e Ibarra, et al., 2012).

El número de repeticiones para modelar cada especie según (Ortíz, Restrepo, & Páez, 2014) es de 10 veces con la opción de replicado de validación cruzada (*Crossvalidate*) esta investigación tiene 44 localidades de ocurrencia. Por otra parte Iturralde (2010) sugiere realizar cuatro repeticiones para especies que tengan de 31 a 99 registros con el 25% para evaluar el modelo y con el método de replicación de *bootstrapping* (*Replicated run type*). Finalmente el método de replicación que se ha seleccionado es el de validación cruzada (*Replicated run type: Crossvalidate*).

- **Selección de las variables de importancia**

Para saber que variables aportan más al modelo se realiza el análisis de Jackknife, se ejecuta el modelo con una sola variable a la vez y se mide el ajuste respecto al modelo completo. También se ejecuta el modelo excluyendo una variable y corre con las variables restantes, se compara la

ganancia que tiene con todas las variables y la ganancia que tiene sin la variable que fue excluida del modelo. La variable que al ser excluida del modelo afecte en forma considerable a la eficiencia de este, será considerada una variable de importancia (Itla, 2012). Adicionalmente se toma en cuenta la tabla de aportaciones que facilita Maxent (Ver Tabla 7).

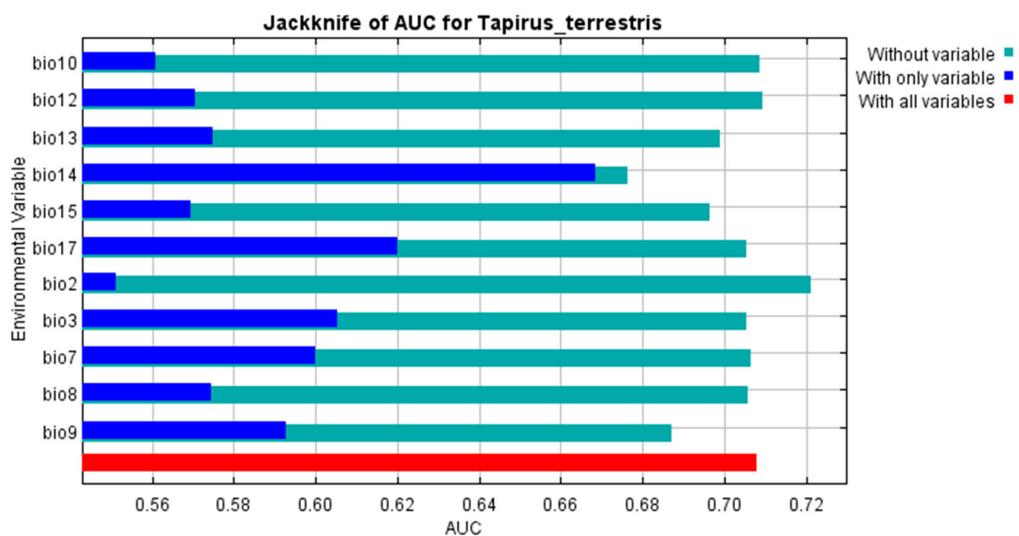
**Tabla 7.**  
**Variables eliminadas según la tabla de aportaciones y la prueba Jackknife**

	<i>Tapirus terrestris</i>	<i>Tayassu pecari</i>
<b>Tabla de aportaciones</b>	1, 5, 6, 11, 16, 18, 19	1, 5, 6, 10, 12, 16, 17, 19
<b>Jackknife</b>	1, 4, 6,	8

Las figuras incluidas a continuación (Ver Figura 14, Figura 15, Figura 16, Figura 17) son el resultado de ejecutar Maxent con los datos de presencia de las especies en estudio. Se muestra la tabla de aportaciones de las variables consideradas importantes para el modelo, la prueba Jackknife y finalmente el modelo que arroja Maxent.

<b>Variable</b>	<b>Percent contribution</b>	<b>Permutation importance</b>
bio3	34.5	31.7
bio15	17.9	6.8
bio14	13.5	15.5
bio2	8.8	11
bio17	5.9	5.5
bio9	5.4	11.2
bio7	5.3	1.8
bio10	4.3	3.3
bio13	2.5	8.8
bio8	1	3.3
bio12	0.9	1.2

**Figura 14.** Tabla de aportaciones de las variables bioclimáticas - *Tapirus terrestris*



**Figura 15. Prueba Jackknife - *Tapirus terrestris***

Variable	Percent contribution	Permutation importance
bio14	33.1	25.2
bio3	29.8	37.3
bio13	17.5	3.6
bio15	13.1	9.1
bio2	4.2	2.5
bio9	1.3	9.5
bio7	0.7	9.5
bio11	0.2	0.1
bio18	0.1	3.2
bio4	0	0

**Figura 16. Tabla de aportaciones de las variables bioclimáticas - *Tayassu pecari***

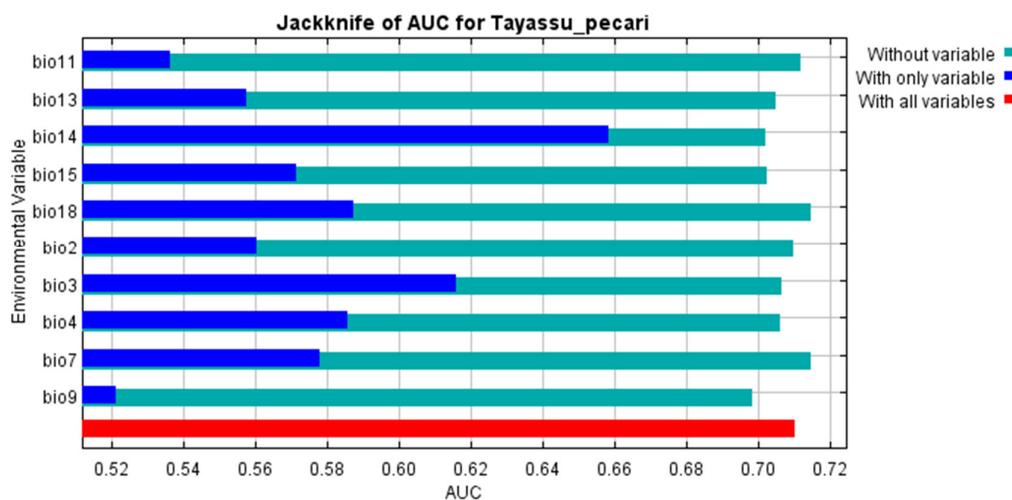


Figura 17. Prueba Jackknife - *Tayassu pecari*

### 3.2.3. Evaluación del modelo

Los modelos estadísticos obtenidos con Maxent se evalúan mediante los parámetros del Área bajo la curva (AUC: *Area Under the Curve*) de la curva de Característica Operativa Relativa (ROC: *Receiver Operating Characteristics*). Se analiza el AUC para observar la capacidad de predicción de cada modelo. Se genera una salida gráfica en la que se puede observar la capacidad de discriminación de una presencia (*sensitividad / Sensitivity, 1-Omission Rate*) vs la capacidad de discriminación de una ausencia (*especificidad / 1-Specificity, Fractional Predicted Area*) (Phillips & Dudík, 2008).

El AUC se puede interpretar como la mayor probabilidad de que un punto de presencia seleccionado aleatoriamente esté ubicado en una celda del raster con un alto valor de probabilidad para la presencia del taxón, que un punto generado aleatoriamente. Los valores de AUC pueden estar entre 0.5 y 1. Un valor de 0.5 significa que el modelo no tiene valor discriminante (es equivalente a una clasificación al azar) y un valor de 1 indica que el modelo

ha separado presencias de ausencias con un ajuste perfecto, es decir sin errores (Phillips et al, 2006; Felicísimo, Muñoz, Villalba, & Mateo, 2011).

Sweets (1988) recomienda la siguiente interpretación para AUC para los modelos generados: Excelente si el  $AUC > 0.90$ ; Buena si  $0.80 < AUC < 0.90$ ; Aceptable si  $0.70 < AUC < 0.80$ ; Mala si  $0.60 < AUC < 0.70$ ; No válida si  $0.50 < AUC < 0.60$ .

Según lo expresado por Sweets (1988), en las Figura 18 y Figura 19 se puede observar que los modelos tienen un valor del Área bajo la curva aceptable, y en las Figura 20 y Figura 21 se puede ver el raster generado por los modelos ejecutados en Maxent, para las dos especies.

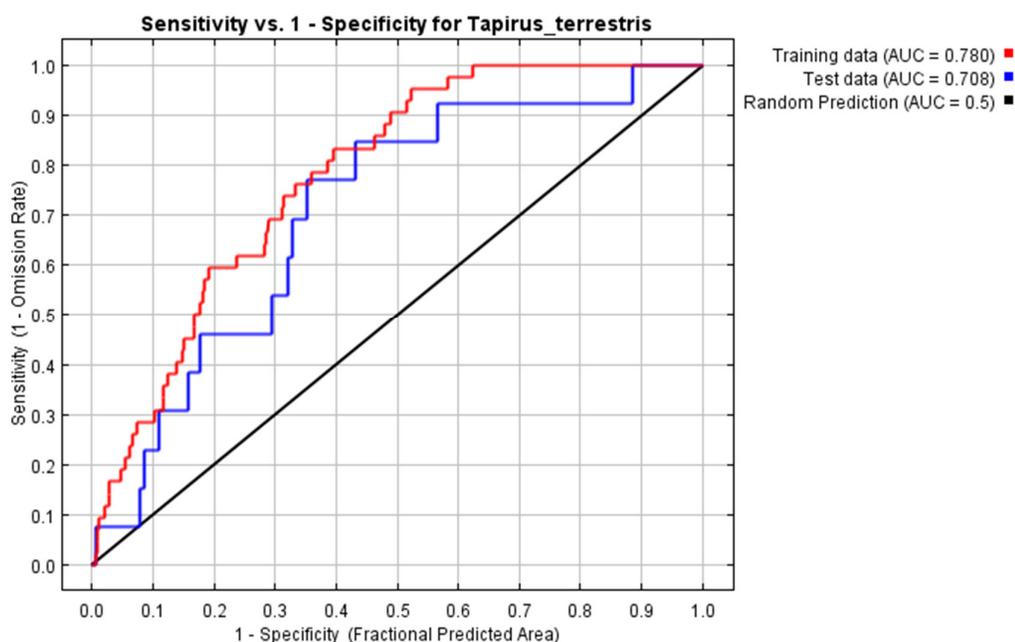
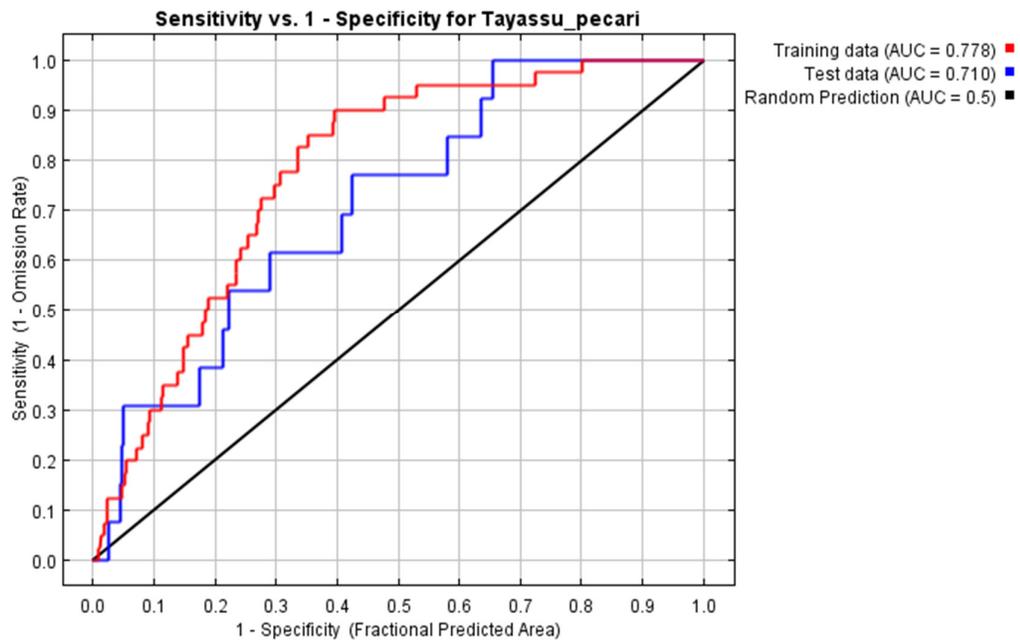
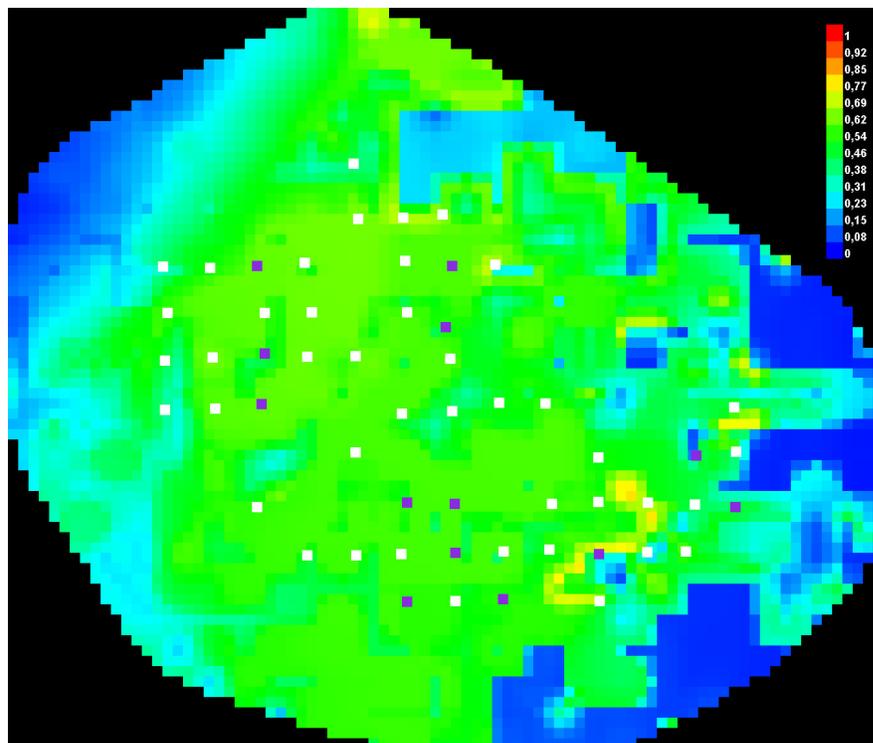


Figura 18. Curva de característica operativa Relativa (ROC) - *Tapirus terrestris*



**Figura 19. Curva de característica operativa Relativa (ROC) - *Tayassu pecari***



**Figura 20. Modelo Maxent - *Tapirus terrestris***

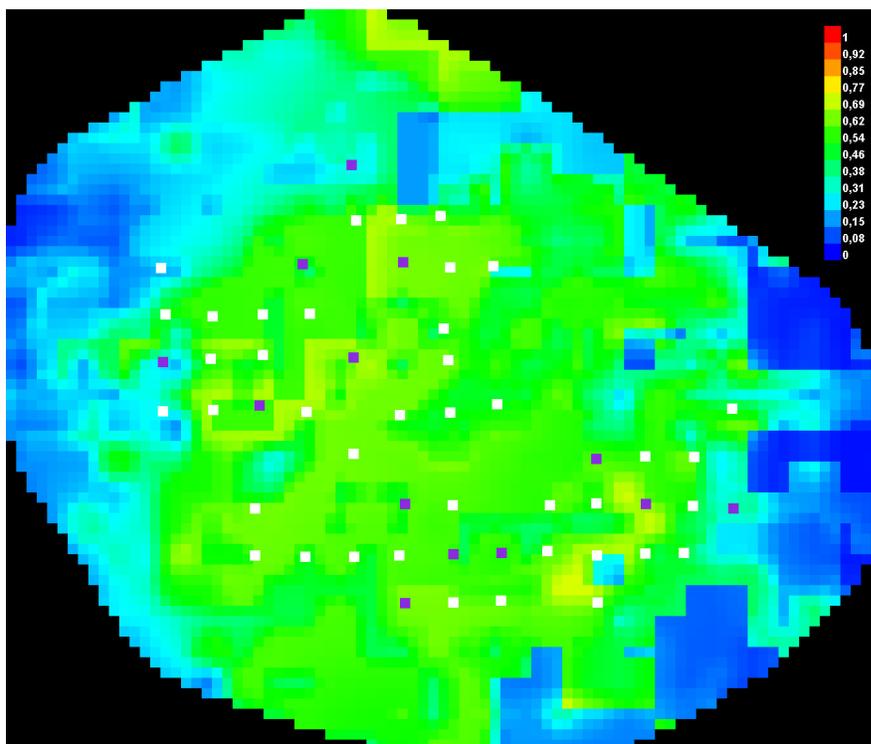


Figura 21. Modelo Maxent - *Tayassu pecari*

### 3.3. Análisis Geoestadístico

Para la realización del análisis geoestadístico, se ha utilizado el software RStudio con el paquete RGeostats y sus diferentes funciones. A lo largo de los siguientes apéndices se irán indicando las aportaciones al estudio del citado paquete.

#### 3.3.1. Índice de Abundancia Relativa (IAR)

La variable presencia y ausencia es una variable discreta y en geoestadística se necesita de variables continuas, por ende se debe generar Índice de abundancia relativa para poder aplicar geoestadística.

El muestreo con trampas cámaras permite, tras una adecuada depuración de la base de datos, la posibilidad de estimar la abundancia

relativa de las especies, sobre todo en aquellas áreas donde los animales son difíciles de observar. Los datos obtenidos serán usados para generar un índice de abundancia relativa en términos del número de fotografías tomadas por esfuerzo de muestreo (Chávez, et al., 2013).

$$IAR = \frac{N}{EM} * 100$$

Donde:

*N*: número total de fotografías independientes

*EM*: esfuerzo de muestreo

Se define como esfuerzo de muestreo a los días que la cámara estaba funcionando por el número de cámaras utilizadas sin tomar en cuenta los días que se coloca y retira el equipo. Para los registros de números de fotografías se tomó en cuenta una sola captura por día, es decir, todos los registros de la especie en un mismo día fueron considerados como una sola aparición (Carrillo, Reyna, & Schmook, 2015).

El IAR es el número de apariciones sobre el esfuerzo de muestreo por cada 100 días, lo que indica una probabilidad (Ver Tabla 8 y Tabla 9), por tanto se puede aplicar geoestadística en el Software Rstudios con el paquete RGeostats.

**Tabla 8.**  
**Registros del Índice de Abundancia Relativa del *Tapirus terrestris***  
**CÁMARA COORDENADAS**

#	Unit_ID	Latitud	Longitud	IAR
1	CTYAS101	-0.60928	-76.457982	4.167
2	CTYAS102	-0.623824	-76.456834	2.857
3	CTYAS103	-0.623464	-76.445022	2.703
4	CTYAS104	-0.622538	-76.434611	9.091
5	CTYAS105	-0.636219	-76.507915	15.723
6	CTYAS106	-0.636659	-76.495573	14.286
7	CTYAS107	-0.6361	-76.483357	2.381
8	CTYAS108	-0.635276	-76.470858	2.381
9	CTYAS109	-0.634817	-76.444512	3.279
10	CTYAS110	-0.636076	-76.432181	2.500
11	CTYAS111	-0.635749	-76.420786	4.310
12	CTYAS112	-0.648392	-76.506745	4.110
13	CTYAS113	-0.649024	-76.494426	0.000
14	CTYAS114	-0.64842	-76.48121	2.410
15	CTYAS115	-0.648232	-76.468885	2.500
16	CTYAS116	-0.648322	-76.444033	2.439
17	CTYAS117	-0.65222	-76.433778	19.512
18	CTYAS118	-0.661005	-76.507406	2.941
19	CTYAS119	-0.660049	-76.494922	8.475
20	CTYAS120	-0.659113	-76.481315	6.481
21	CTYAS121	-0.65985	-76.470195	2.500
22	CTYAS122	-0.659825	-76.457522	5.556
23	CTYAS123	-0.660487	-76.4326	5.000
24	CTYAS124	-0.674142	-76.507514	3.448
25	CTYAS125	-0.673762	-76.494238	6.207
26	CTYAS126	-0.67262	-76.482138	3.846
27	CTYAS127	-0.674314	-76.469729	0.000
28	CTYAS128	-0.674411	-76.457441	0.000
29	CTYAS129	-0.6752	-76.445268	2.703
30	CTYAS130	-0.674465	-76.432153	15.385
31	CTYAS201	-0.673456	-76.358041	5.556
32	CTYAS202	-0.685166	-76.357617	4.082
33	CTYAS203	-0.699563	-76.357748	6.818
34	CTYAS204	-0.685212	-76.457384	2.083
35	CTYAS205	-0.699679	-76.483294	6.250
36	CTYAS206	-0.711906	-76.483389	0.000
37	CTYAS207	-0.672267	-76.419716	6.286
38	CTYAS208	-0.67248	-76.407687	3.279
39	CTYAS209	-0.712299	-76.470057	5.063
40	CTYAS210	-0.712355	-76.457238	2.326
41	CTYAS211	-0.698377	-76.443939	3.846
42	CTYAS212	-0.712047	-76.44554	2.500
43	CTYAS213	-0.724479	-76.443982	3.478
44	CTYAS214	-0.69885	-76.431369	2.041
45	CTYAS215	-0.711567	-76.431233	6.604

Continúa



46	CTYAS216	-0.724313	-76.431201	8.411
47	CTYAS217	-0.711363	-76.418537	5.195
48	CTYAS218	-0.723726	-76.418744	3.175
49	CTYAS219	-0.698764	-76.405981	2.727
50	CTYAS220	-0.710827	-76.406565	1.961
51	CTYAS221	-0.711322	-76.370747	6.494
52	CTYAS222	-0.68665	-76.393688	13.514
53	CTYAS223	-0.698363	-76.39375	2.985
54	CTYAS224	-0.711977	-76.393549	5.333
55	CTYAS225	-0.724354	-76.393501	4.167
56	CTYAS226	-0.685948	-76.380986	0.000
57	CTYAS227	-0.698535	-76.380814	2.326
58	CTYAS228	-0.711472	-76.380993	2.273
59	CTYAS229	-0.686135	-76.368129	4.762
60	CTYAS230	-0.698942	-76.368455	6.000

**Tabla 9.**  
**Registros del Índice de Abundancia Relativa del *Tayassu pecari***

CÁMARA		COORDENADAS		
#	Unit_ID	Latitud	Longitud	IAR
1	CTYAS101	-0.60928	-76.457982	2.439
2	CTYAS102	-0.623824	-76.456834	5.000
3	CTYAS103	-0.623464	-76.445022	2.273
4	CTYAS104	-0.622538	-76.434611	3.030
5	CTYAS105	-0.636219	-76.507915	2.410
6	CTYAS106	-0.636659	-76.495573	0.000
7	CTYAS107	-0.6361	-76.483357	0.000
8	CTYAS108	-0.635276	-76.470858	3.571
9	CTYAS109	-0.634817	-76.444512	3.247
10	CTYAS110	-0.636076	-76.432181	5.128
11	CTYAS111	-0.635749	-76.420786	3.448
12	CTYAS112	-0.648392	-76.506745	3.478
13	CTYAS113	-0.649024	-76.494426	2.752
14	CTYAS114	-0.64842	-76.48121	4.878
15	CTYAS115	-0.648232	-76.468885	2.410
16	CTYAS116	-0.648322	-76.444033	0.000
17	CTYAS117	-0.65222	-76.433778	3.030
18	CTYAS118	-0.661005	-76.507406	5.263
19	CTYAS119	-0.660049	-76.494922	2.778
20	CTYAS120	-0.659113	-76.481315	4.054
21	CTYAS121	-0.65985	-76.470195	0.000
22	CTYAS122	-0.659825	-76.457522	3.333
23	CTYAS123	-0.660487	-76.4326	4.286

Continúa 

24	CTYAS124	-0.674142	-76.507514	2.667
25	CTYAS125	-0.673762	-76.494238	5.556
26	CTYAS126	-0.67262	-76.482138	4.412
27	CTYAS127	-0.674314	-76.469729	2.439
28	CTYAS128	-0.674411	-76.457441	0.000
29	CTYAS129	-0.6752	-76.445268	6.667
30	CTYAS130	-0.674465	-76.432153	4.545
31	CTYAS201	-0.673456	-76.358041	9.581
32	CTYAS202	-0.685166	-76.357617	0.000
33	CTYAS203	-0.699563	-76.357748	4.516
34	CTYAS204	-0.685212	-76.457384	8.974
35	CTYAS205	-0.699679	-76.483294	6.667
36	CTYAS206	-0.711906	-76.483389	4.225
37	CTYAS207	-0.672267	-76.419716	2.273
38	CTYAS208	-0.67248	-76.407687	0.000
39	CTYAS209	-0.712299	-76.470057	7.500
40	CTYAS210	-0.712355	-76.457238	2.222
41	CTYAS211	-0.698377	-76.443939	6.154
42	CTYAS212	-0.712047	-76.44554	5.882
43	CTYAS213	-0.724479	-76.443982	5.000
44	CTYAS214	-0.69885	-76.431369	4.082
45	CTYAS215	-0.711567	-76.431233	10.127
46	CTYAS216	-0.724313	-76.431201	4.132
47	CTYAS217	-0.711363	-76.418537	2.344
48	CTYAS218	-0.723726	-76.418744	6.667
49	CTYAS219	-0.698764	-76.405981	6.667
50	CTYAS220	-0.710827	-76.406565	3.333
51	CTYAS221	-0.711322	-76.370747	7.643
52	CTYAS222	-0.68665	-76.393688	6.957
53	CTYAS223	-0.698363	-76.39375	4.082
54	CTYAS224	-0.711977	-76.393549	8.040
55	CTYAS225	-0.724354	-76.393501	9.223
56	CTYAS226	-0.685948	-76.380986	6.122
57	CTYAS227	-0.698535	-76.380814	5.446
58	CTYAS228	-0.711472	-76.380993	5.512
59	CTYAS229	-0.686135	-76.368129	6.522
60	CTYAS230	-0.698942	-76.368455	4.854

### 3.3.2. Recopilación y Validación de los datos

Los datos objeto de estudio se han obtenido de las cámaras trampa ubicadas en la Estación Científica Yasuní. El período de toma de datos corresponde a los años 2011 al 2015. Todos estos datos han sido depurados conjuntamente con los datos utilizados para el modelo de Máxima Entropía, véase Sección 3.1.

Oliver (2010) menciona que para realizar un modelo geoestadístico es importante tener una cantidad considerable de datos. Esa aseveración es un limitante para este estudio, por no tener la cantidad de datos que la bibliografía recomienda como mínimos. Se cuenta con 55 datos para el *Tapirus terrestris* y con 53 datos para el *Tayassu pecari*.

Para comenzar con el análisis geoestadístico, se realiza una base de datos en donde aparecen reflejados el código de la cámara trampa, sus coordenadas y el IAR, para cada especie.

Para conocer el comportamiento de los datos se realizó el diagrama de caja. Con este se pueden identificar datos atípicos en la muestra. De esa forma se pudo apreciar que para el *Tapirus terrestris* existen 5 datos atípicos y para el *Tayassu pecari* no se registran datos atípicos (Ver Figura 22).

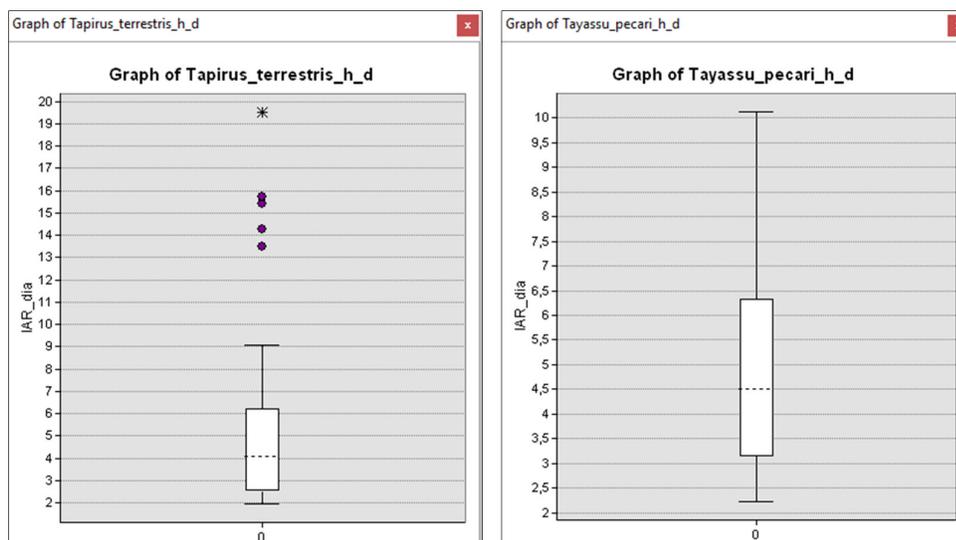


Figura 22. Diagrama de Caja preliminar

Para los datos atípicos de *Tapirus terrestris* se hizo una revisión exhaustiva de la base de datos en bruto y se repitió todo el proceso de depuración, para ver si se encontraba algún error. Como resultado de esta nueva depuración, se evidenció que no hay error alguno en el cálculo del índice de abundancia relativa, es decir no se puede achacar, la existencia de valores atípicos a un error humano o sistemático. De esto se puede concluir que en dichos puntos puede existir algún condicionante externo que aumente la frecuencia de aparición de las especies, tales condicionantes podrían ser la presencia de aguajales o saladeros, lugares preferidos por la especie. Es por este motivo que se decide no eliminar ninguno de los datos atípicos para no afectar al modelo final.

Los datos de las especies fueron divididos en dos grupos, como recomienda Díaz (2002), con el fin de validar el modelo. Cada base de datos fue dividida en el 90% y el 10%. El primer grupo se tomará para realizar el modelo y el segundo para validarlo. Las bases quedan conformadas, finalmente, por 50 y 48 datos para el *Tapirus terrestris* y *Tayassu pecari* respectivamente.

### 3.3.3. Análisis Exploratorio

Se realiza el análisis exploratorio de los datos con el fin de observar cual es la normalidad de los datos y su comportamiento estadístico. En la Tabla 10 se muestra el resumen estadístico de los valores del índice de abundancia relativa (IAR) de las dos especies en estudio.

Tabla 10.  
Resumen estadístico del IAR

	<i>Tapirus terrestris</i>	<i>Tayassu pecari</i>
<b>n</b>	50	48
<b>Media</b>	5.385	4.824
<b>Moda</b>	2.500	6.667
<b>Mínimo</b>	1.961	2.222
<b>Q<sub>1</sub></b>	2.551	3.030
<b>Q<sub>2</sub> = Mediana</b>	4.138	4.531
<b>Q<sub>3</sub></b>	6.277	6.130
<b>Máximo</b>	19.512	10.127
<b>Desviación estándar</b>	3.964	2.088
<b>Varianza de la muestra</b>	15.711	4.361
<b>Coefficiente de variación</b>	0.736	0.433
<b>Coefficiente de asimetría</b>	1.976	0.775
<b>Curtosis</b>	3.693	0.058
<b>Rango</b>	17.551	7.904
<b>Rango intercuartílico = Q<sub>3</sub> - Q<sub>1</sub></b>	3.726	3.099

Se evidencia claramente que se tiene coeficientes de variación relativamente altos específicamente para el *Tapirus terrestris*. Eso se puede achacar a la presencia de datos atípicos, por lo general en toda la estadística descriptiva presenta valores poco aceptables, mientras que para la especie *Tayassu pecari* tiene valores aceptables en cuanto a su estadística.

En los histogramas (Ver Figura 23) se refleja que se tiene una distribución asimétrica positiva sesgada a la derecha, además los datos

están muy concentrados en la media, siendo una curva muy apuntada, es decir es una distribución leptocúrtica.

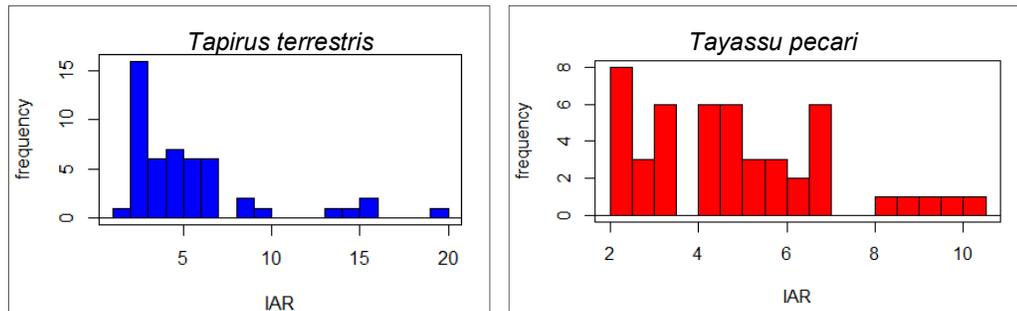


Figura 23. Histograma del IAR

Los diagramas de caja (Ver Figura 24) reflejan claramente que se conserva los valores atípicos encontrados en el análisis y validación de los datos.

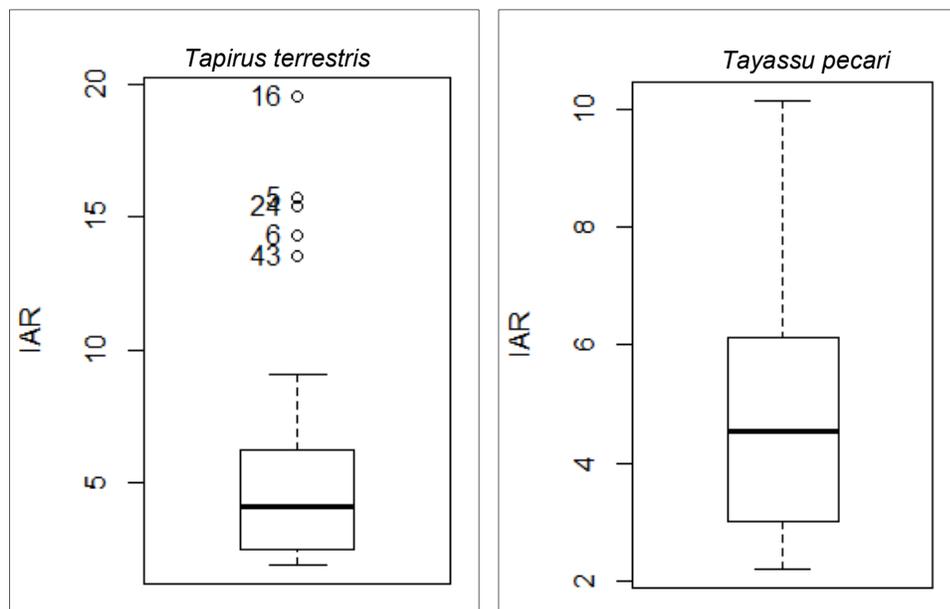
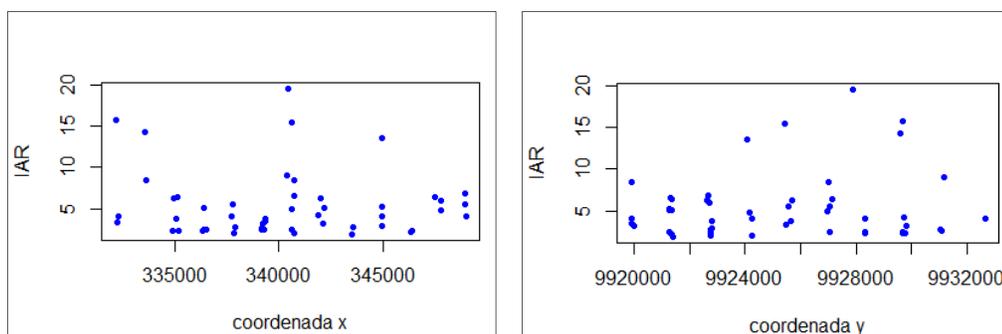
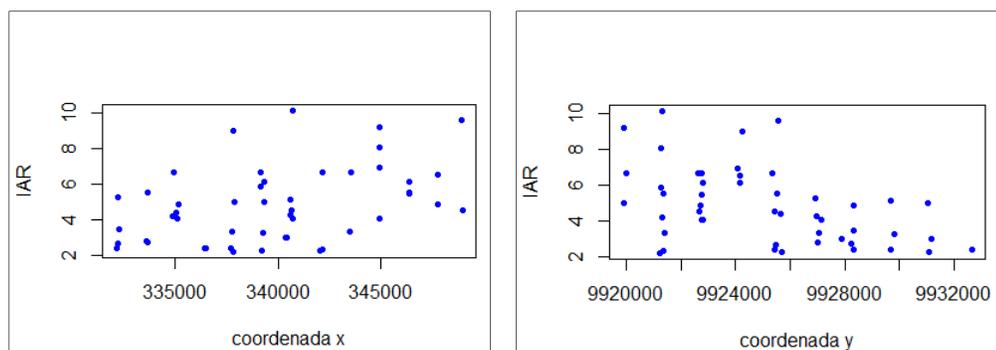


Figura 24. Diagrama de Caja del IAR

En los gráficos de dispersión (Ver Figura 25) se evidencia claramente la presencia de valores anómalos para *Tapirus terrestris*, mientras que en los gráficos de dispersión (Ver Figura 26) del *Tayassu pecari* no lo presenta.



**Figura 25. Gráfico de dispersión -*Tapirus terrestris***



**Figura 26. Gráfico de dispersión -*Tayassu pecari***

### 3.3.4. Análisis Estructural

- **Variograma experimental**

Con los 50 y 48 datos de ambas especies, se construyó el variograma experimental bajo el supuesto de isotropía. Previamente se obtienen la distancia de paso (lag), número de pasos (número de lags) y tolerancia en distancia. Para las dos especies en estudio estos valores fueron:

- a. Tamaño del lag: 1 050 m
- b. Número de lag: 10
- c. Tolerancia en distancia: 525 m

Se calcula el variograma experimental por medio del software R y el paquete RGeostats. La función utilizada fue *vario.calc* (Ver Figura 27).

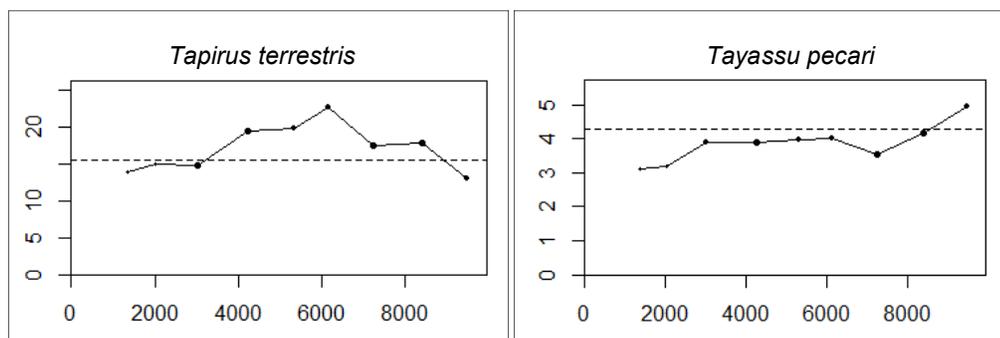


Figura 27. Variograma Experimental

Se observa que el variograma para cada especie tiene características diferentes que se describen a continuación:

#### *Tapirus terrestris*

- a. Presenta efecto pepita (nugget effect)
- b. No se identifica claramente el rango (alcance)

#### *Tayassu pecari*

- a. No hay presencia de efecto pepita (nugget effect)
- b. Meseta (sill) aproximado de 4
- c. Rango (alcance) aproximado de 6000 m

- **Variograma Teórico**

La importancia del variograma teórico reside en que este permite realizar la predicción. Es importante tener claro que el variograma experimental se calcula a partir de los datos y el variograma teórico corresponde a una ecuación que se ajusta al variograma experimental.

La función utilizada para generar el variograma experimental fue model.auto. Esta función ajusta automáticamente el variograma experimental a partir de varias opciones de variogramas teóricos (Ver Figura 28).

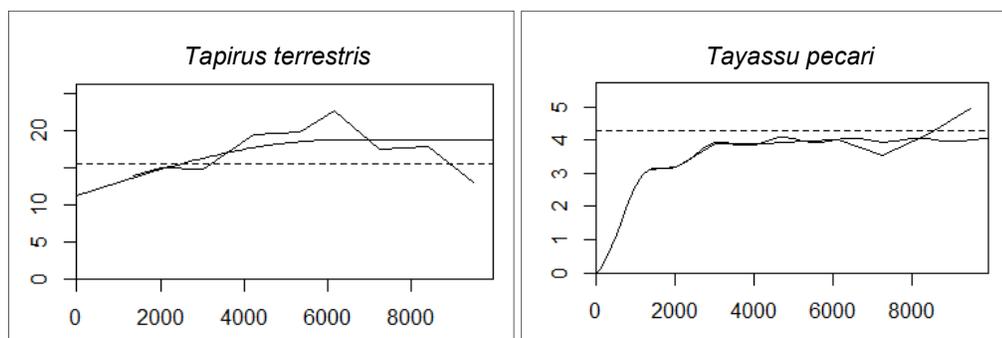


Figura 28. Variograma Teórico

Las opciones de variogramas teóricos (estructuras básicas autorizadas) a considerar para el ajuste del modelo fueron: efecto pepita, exponencial, esférico, Gaussiano, cúbico y cardinal Sine. Se eligieron estos variogramas por observar cierta similitud con el variograma teórico. Como resultado se obtiene el modelo teórico que mejor se ajusta es un modelo anidado es decir la unión de dos o más estructuras. En la Tabla 11 se observa como están conformados los modelos anidados, tanto las estructuras básicas utilizadas como sus parámetros.

Tabla 11.  
Parámetros de Estructura Básica

ESPECIE	ESTRUCTURAS BÁSICAS	PARÁMETROS	
		Meseta (sill)	Rango (alcance)
<i>Tapirus terrestris</i>	Nugget Effect	11.2	9479

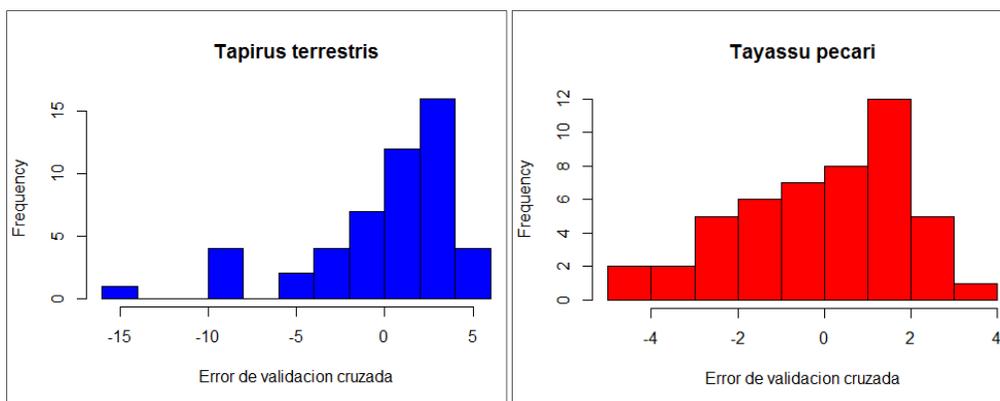
	Esférico	7.43	6234
	Gaussiano	1.36	9711
<b><i>Tayassu pecari</i></b>	Cúbico	0.758	1524
	Cardinal Sine	2.26	5308

- **Validación cruzada**

Según Leiva (2014) para la validación cruzada se debe definir la vecindad de búsqueda que indica la estrategia de selección de muestras para predecir el valor del dato del objetivo. Para la validación cruzada de las dos especies se eligieron los siguientes parámetros:

- Vecindad:** móvil
- Mínimo de muestras en vecindad:** 8 muestras
- Máximo de muestras en vecindad:** 16 muestras
- Definición de sectores:** Si
- Número de sectores:** 8 (octantes)
- Máximo número de muestra por sectores:** 2
- Máxima distancia de búsqueda:** 6000 m.

La función utilizada para la validación cruzada fue *xvalid*. Esta función genera dos variables: el error de la validación cruzada para el modelo, y el error normalizado de la validación cruzada. El primero de ellos es representado a través de un histograma (Ver Figura 29).



**Figura 29. Histograma de Error de la Validación Cruzada**

En el histograma se puede observar que la mayor parte del error para el *Tapirus terrestris* se encuentra en el rango de [-5; 5] mientras que para el *Tayassu pecari* su rango de error es de [-2; 2] En unidades de índice de abundancia relativa (IAR), es decir tienen un rango de error de 5 y 2 apariciones por cada 100 días respectivamente.

### 3.3.5. Predicciones

Finalmente se ha realizado la predicción a través de la función Kriging del paquete RGeostats. En esa función se debe definir inicialmente la grilla con el número de filas y columnas (85\*72 que se obtiene del modelo de maxent) las coordenadas (327 950, 9 915 650 es la coordenada inferior izquierda de donde empieza a interpolar) y el tamaño de la celda (300m), el tamaño de la celda fue determinado en la sección 3.1.1.

El resultado de la predicción es una malla regular en la que cada nodo almacena los valores de predicción correspondientes a su posición y la respectiva desviación estándar del error de predicción. El formato de salida de la predicción es .asc. Antes de realizar la exportación de los datos a formato .asc para ser tratado en un SIG, la herramienta R permite realizar una visualización de la predicción (Ver Figura 30 y Figura 31).

### Estimation - Moving Neighborhood

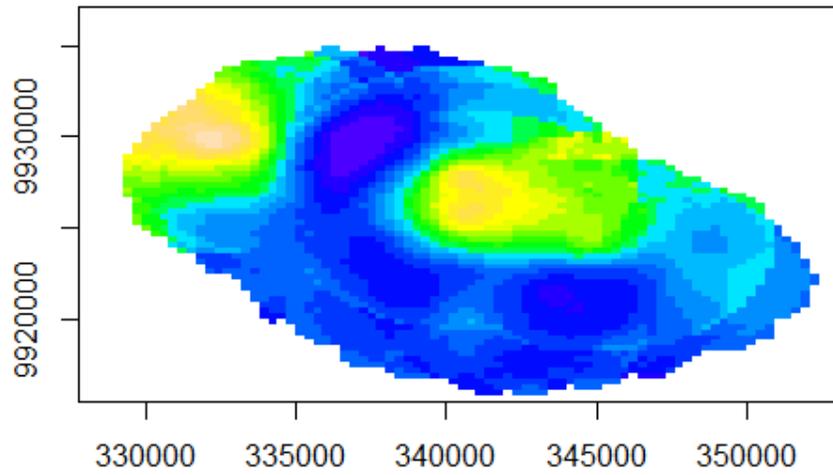


Figura 30. Predicción Kriging - *Tapirus terrestris*

### Estimation - Moving Neighborhood

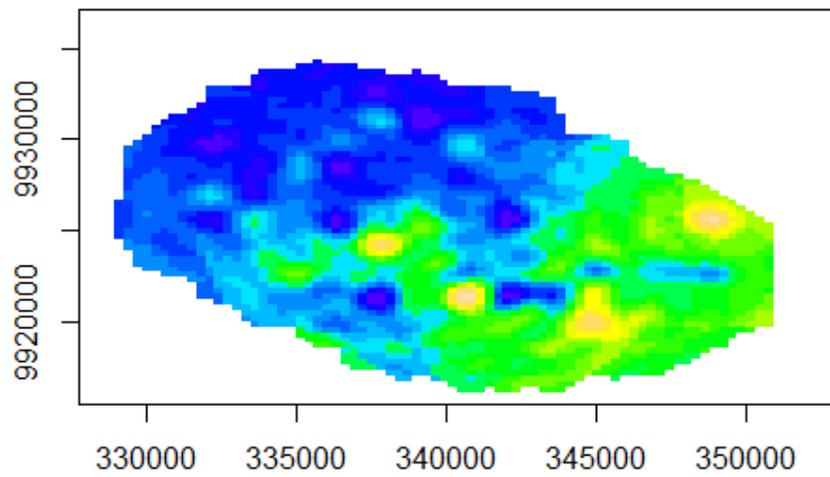


Figura 31. Predicción Kriging - *Tayassu pecari*

Para la implementación del código utilizado en el software R y de esa forma obtener la predicción del presente estudio se emplearon como guía los script desarrollados en (Leiva, 2014 y Guajala & Zambrano, 2016).

### 3.3.6. Validación del modelo

Como se mencionó en la sección 3.3.2 se separaron el 10% de los datos, es decir 5 valores por especie, para validar los diferentes modelos. Los datos seleccionados al azar para cada especie aparecen representados en las Figura 32 y Figura 33.

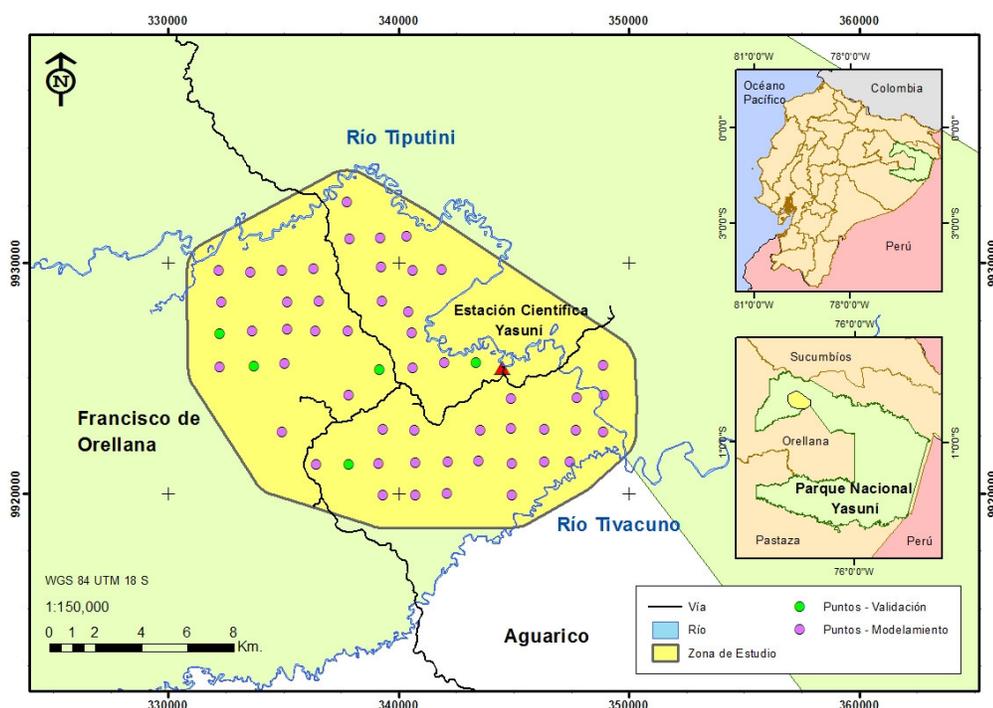


Figura 32. Mapa de puntos del Modelamiento y Validación - *Tapirus terrestris*

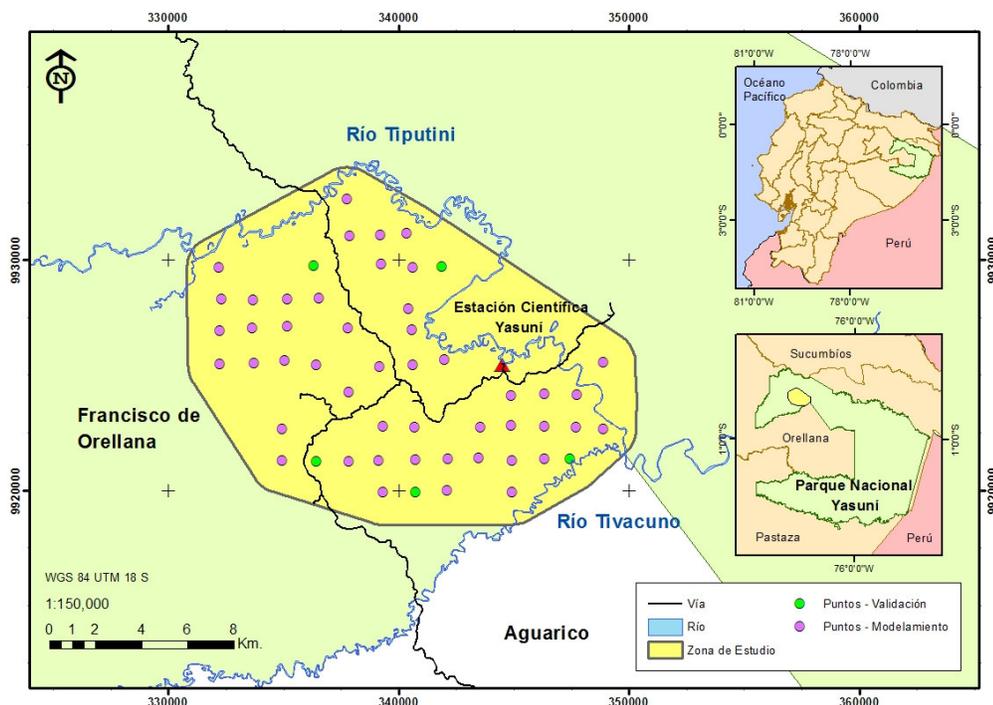


Figura 33. Mapa de puntos del Modelamiento y Validación - *Tayassu pecari*

Se realiza la obtención de los valores de la predicción de los puntos de validación en los raster generados en RStudios, mediante la herramienta Sample de ArcGis. Para obtener el error se realiza la resta del valor real menos el valor de la predicción en los puntos de validación (Ver Tabla 12 y Tabla 13).

Tabla 12.  
Error de verificación del modelo - *Tapirus terrestris*

CÁMARA	IAR	PREDICCIÓN	ERROR
CTYAS118	2.941	6.527	3.585
CTYAS125	6.207	5.231	0.976
CTYAS129	2.703	6.338	3.635
CTYAS208	3.279	7.467	4.188
CTYAS210	2.326	4.298	1.972
		<b>PROMEDIO</b>	<b>2.872</b>

**Tabla 13.**  
**Error de verificación del modelo - *Tayassu pecari***

CÁMARA	IAR	PREDICCIÓN	ERROR
CTYAS108	3.571	4.243	0.672
CTYAS111	3.448	3.848	0.400
CTYAS209	7.500	4.328	3.172
CTYAS216	4.132	6.185	2.053
CTYAS221	7.643	5.596	2.047
		<b>PROMEDIO</b>	<b>1.669</b>

Se puede observar que los valores de error tanto para el *Tapirus terrestris* como para el *Tayassu pecari* están en el margen de error pronosticados anteriormente en la validación cruzada.

### 3.4. Normalización

La Normalización de datos fue realizada con el fin de descartar problemas de cálculo originados por las diferentes escalas y/o unidades empleadas en la matriz de decisión. No siempre es indispensable, pero si es esencial en la mayoría de los métodos compensatorios. Tiene como objetivo obtener escalas comparables, lo que permitirá realizar comparaciones intra-atributos así como inter-atributos. Los valores normalizados no tienen unidades de dimensión (Molero & Rodriguez, 2007).

Barba & Romero (1987) proponen para normalizar los valores obtenidos la siguiente ecuación:

$$X_n = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$

Donde:

$X_n$ : variable normalizada

$X_i$ : variable

$X_{min}$ ,  $X_{max}$ : representan los valores mínimos y máximos respectivamente

### **3.5. Contratación de la geoestadística y modelo de Máxima Entropía**

Para contrastar los dos modelos fueron aplicadas técnicas de álgebra de mapas con los dos raster normalizados. Con el fin de obtener la correlación de los modelos. Estas operaciones fueron realizadas mediante la herramienta Raster Calculator del Software ArcGis 10.2. Se realiza una resta de raster con valor absoluto para poder generar áreas con alta media y baja correlación.

### **3.6. Determinación de áreas de influencia**

Para determinar las áreas de influencia fueron aplicadas técnicas de álgebra de mapas entre los raster de los dos modelos normalizados. Estas operaciones fueron realizadas mediante la herramienta Raster Calculator del Software ArcGis 10.2. Se realiza la operación suma de raster para obtener y clasificar las áreas de influencia en malas, regulares y buenas.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1. Resultados

Todos los raster obtenidos tanto de Maxent como de RStudio se llevaron a un SIG (ArcGis 10.2), para poder ser mapeados y poder representar el IAR y la probabilidad de aparición de cada especie según cada modelo.

Se observa que la probabilidad de presencia del *Tapirus terrestris* va de [0.03; 0.77], mientras el *Tayassu pecari* va de [0.03; 0.71] (Ver Figura 34 y Figura 35) según el modelo de MAXENT. En dichas figuras se refleja que ambas especies requieren de variables ambientales similares para su supervivencia porque sus áreas de presencia son muy similares.

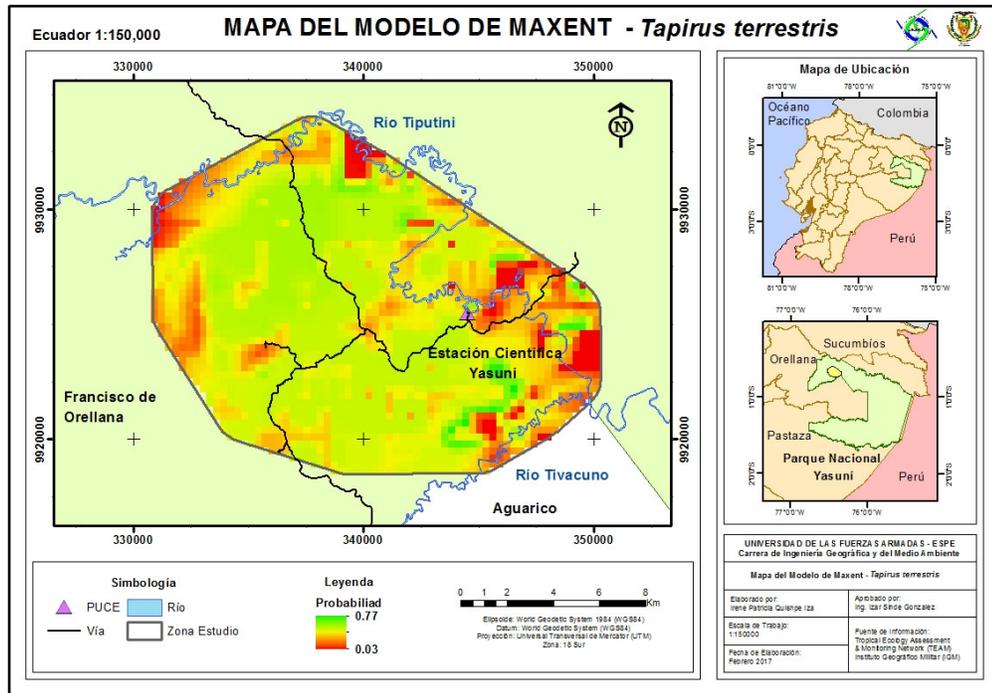


Figura 34. Mapa del modelo de Maxent - *Tapirus terrestris*

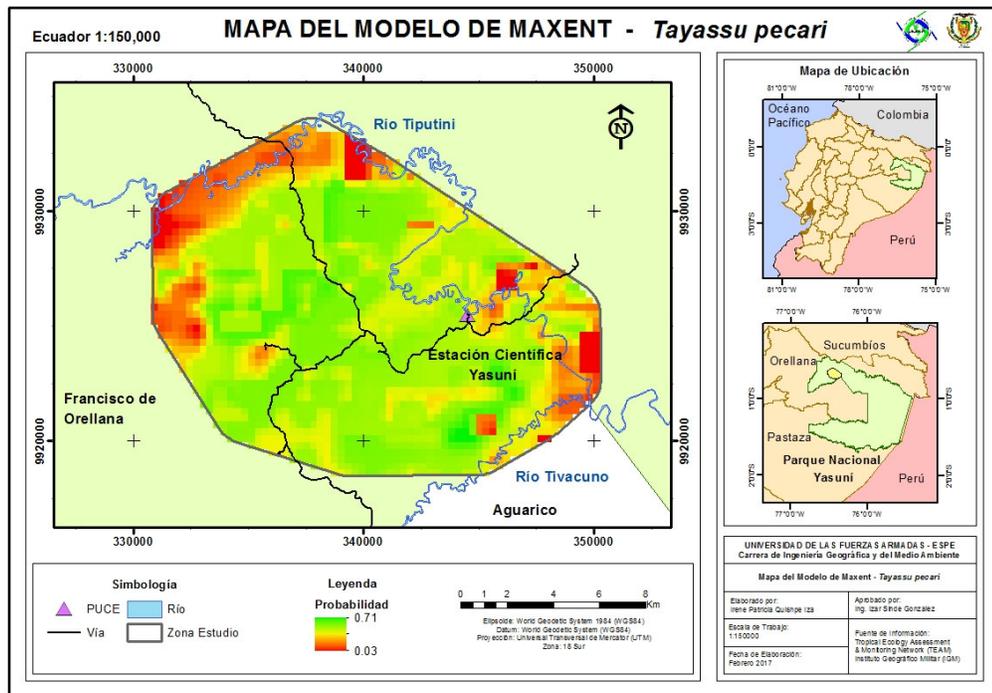


Figura 35. Mapa del modelo de Maxent - *Tayassu pecari*

En los modelos geoestadísticos predichos para ambas especies se aprecian las zonas de Índice de abundancia relativa más y menos marcados (Ver Figura 36 y Figura 37)

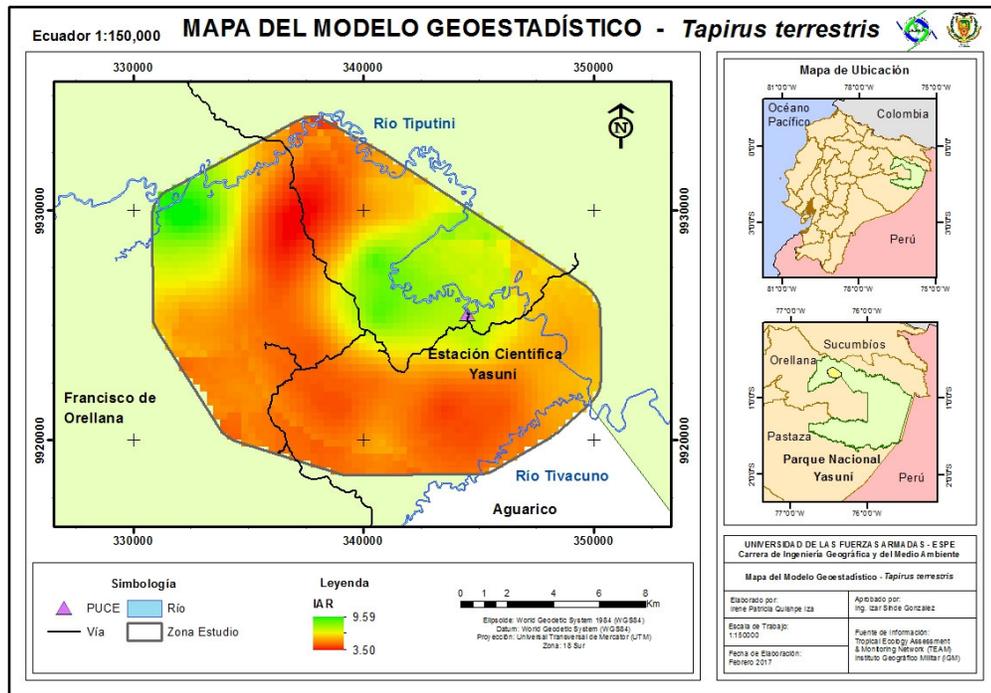
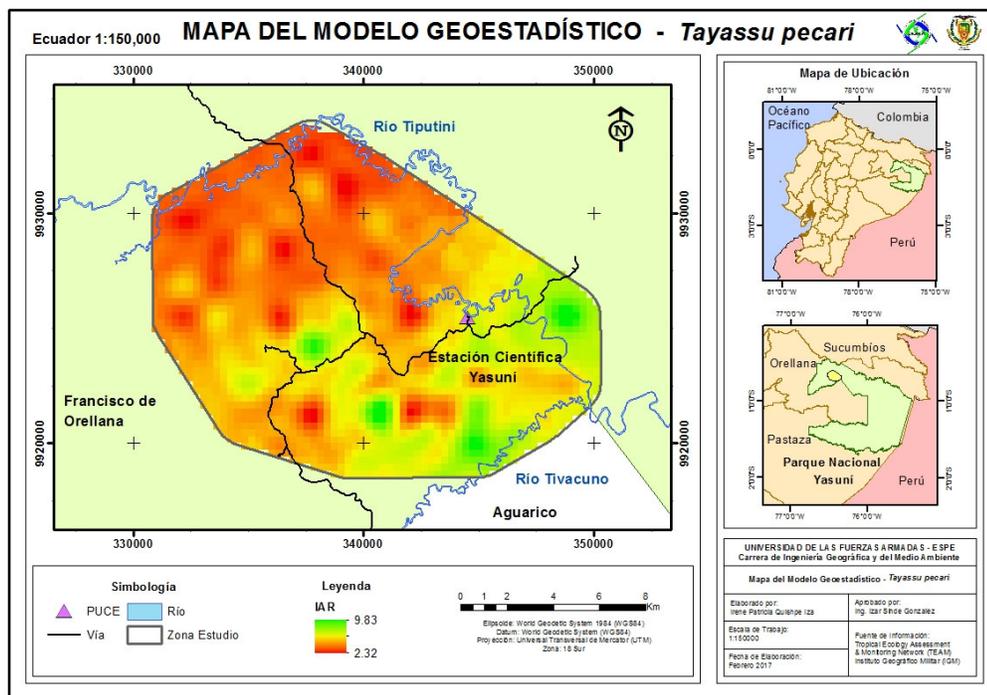


Figura 36. Mapa del modelo Geoestadístico - *Tapirus terrestris*



**Figura 37. Mapa de modelo Geoestadístico - *Tayassu pecari***

Con estos archivos raster, correctamente normalizados, ya está en disposición de hacer el análisis de correlación y determinar las áreas de influencia de las especies.

La escala de medición utilizada para representar los valores de correlación y de áreas de influencia es la escala de intervalos, estableciendo rangos en función de los cuantiles. De esta forma se obtienen zonas buenas, regulares y malas tanto de correlación entre modelos como de áreas óptimas o áreas de influencia de las dos especies.

En las Figura 38 y Figura 39 se observa que existe correlación de media a alta en la zona de estudio tanto para el *Tapirus terrestris* y *Tayassu pecari*, y se evidencia que existen pocas zonas con correlación baja para las dos especies.

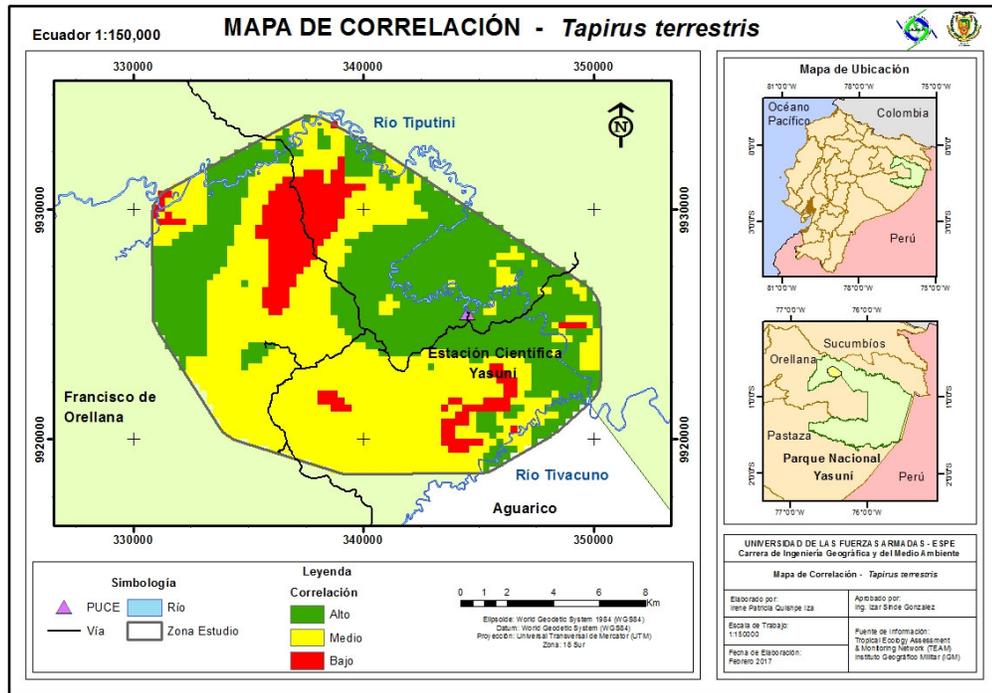


Figura 38. Mapa de Correlación - Tapirus terrestris

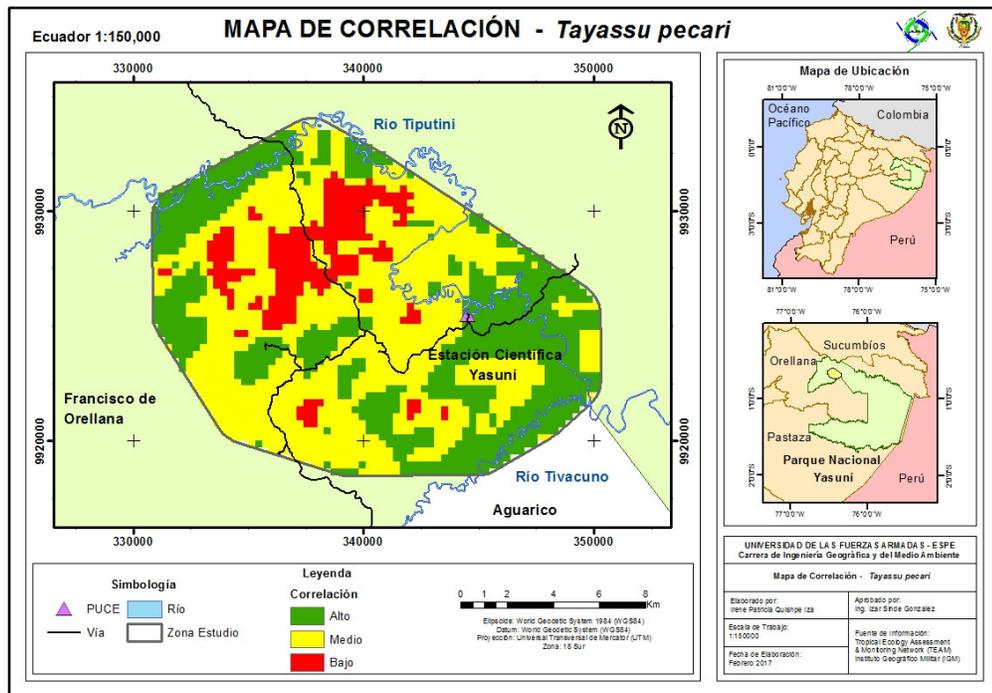


Figura 39. Mapa de Correlación - Tayassu pecari

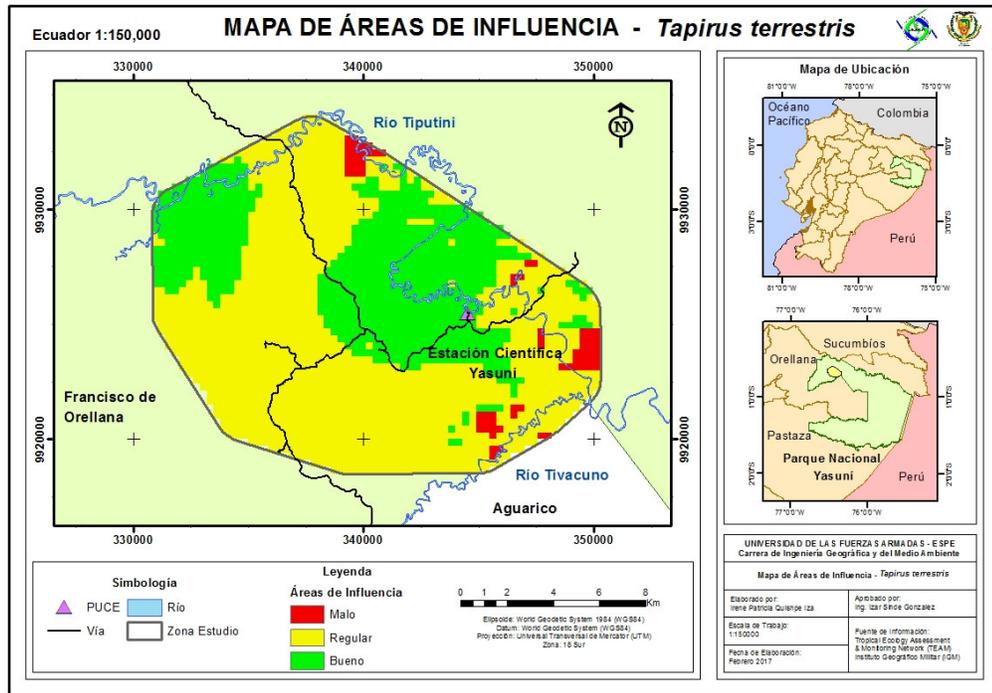


Figura 40. Mapa de Áreas de Influencia - *Tapirus terrestris*

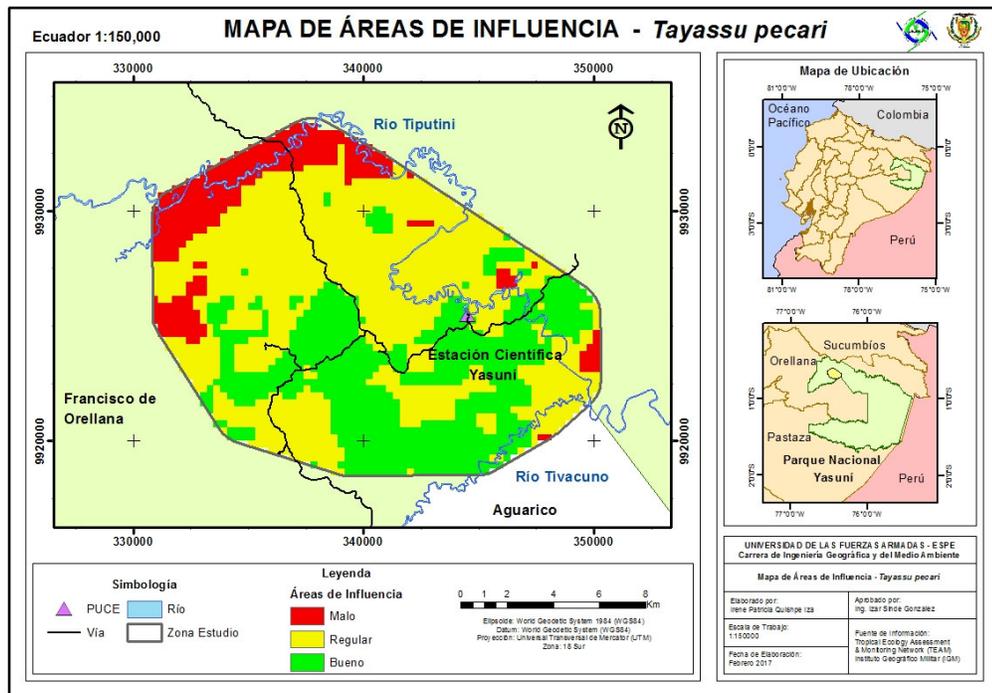


Figura 41. Mapa de Áreas de Influencia - *Tayassu pecari*

En las Figura 40 y Figura 41 se observa que existen áreas de influencia de regular a buena en la zona de estudio tanto para el *Tapirus terrestris* y *Tayassu pecari*, y se evidencia que existen pocas zonas de influencia malas para las dos especies.

#### **4.2. Análisis y Discusión**

A través de los raster de correlación de datos se puede evidenciar que la parte central de la zona de estudio es la que menos correlación muestra entre los modelos de máxima entropía y geoestadística. Es decir son zonas donde las variables climáticas son adecuadas, pero las especies intentan evitar, lo que puede ser debido a actividad antrópica, o al contrario, zonas por las que las especies sienten una mayor atracción pero en cambio las variables climáticas no son las óptimas.

Contrariamente se puede observar que la zona sur del parque muestra una correlación alta entre los modelos, es decir, son zonas donde las variables ambientales son buenas y además la presencia de animales es alta.

Se evidencia claramente que las áreas de influencia de las especies en estudio van de bueno a regular, lo que indica que la Estación Científica Yasuní es una superficie óptima para que se desarrolle las diferentes especies en estudio (Ver Figura 40 y Figura 41).

En un estudio realizado por (Iturralde, 2010), se obtuvo un modelo de máxima entropía excelente para el *Tapirus Terrestris*. La evaluación del Área Bajo la Curva (AUC) fue buena en comparación al nuestro que es aceptable, esto se debe a la gran diferencia en el tamaño del área de estudio ya que dicha investigación se realizó a nivel de países, entre los que constan Ecuador, Perú y Colombia. Debe considerarse adicionalmente que el número de presencias fue de 55 datos al igual que en este estudio. Además

predice que para el 2080 el *Tapirus terrestris* será una especie en peligro crítico

El presente estudio concuerda con los resultados obtenidos por Durango (2011) en el cual confirman el gran aporte que dan las cámaras trampa en especial para estudios relacionados con mamíferos medianos, al reducir costos y al dar información de especies que son difíciles de ser detectadas en observaciones directas en la localidad, algunas consideradas en peligro. Con dichos datos se pueden realizar más análisis como en este caso para aplicar geoestadística y así obtener áreas de influencia de las especies. Además aportan con información útil sobre la abundancia, los patrones diarios de actividad y el estado de conservación de las especies. Cabe recalcar que Durango estudió cinco especies entre las cuales están el *Tapirus terrestris* y el *Tayassu pecari*.

La geoestadística es una herramienta utilizada en otros estudios como lo es en un inventario forestal en el cual indica que las estimaciones realizadas mediante métodos geoestadísticos proporcionan estimaciones locales fiables, fundamentadas en el uso de la estructura de variabilidad espacial (variograma). (Olmo, 2005). Es decir este método de predicción es cada vez más utilizado en varios ámbitos de investigación para el análisis de datos espaciales.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

Se evidencia claramente que los datos de índice de abundancia relativa no son los adecuados para el análisis geoestadístico por tener varias falencias e irrumpir en algunas reglas de la geoestadística como son:

- a. tener un coeficiente de variación alto
- b. tener efecto pepita en uno de los modelos
- c. tener valores atípicos que afectan al modelo drásticamente.
- d. contar con un número insuficiente de datos.

El área de estudio al tener un área aproximada de 220 km<sup>2</sup> es pequeña para un estudio con la herramienta Maxent, ya que estudios relacionados abarcan territorios grandes como países o la unión de algunos de ellos.

Las áreas de influencia de las especies dentro de la zona de estudio son en su mayoría buena y regular. Estas son zonas en las que se podría crear un régimen de protección especial para las especies. De esta manera se podría favorecer su desarrollo y garantizar su supervivencia a amenazas antrópicas y naturales.

## **5.2. Recomendaciones**

Para poder comprobar la bondad de los modelos sería recomendable llevar a cabo en el lugar de estudio una toma de muestras exhaustiva para verificar si los resultados propuestos son correctos.

Se recomienda revisar en campo la ubicación de las cámaras que tienen un mayor índice de abundancia relativa, para obtener una causalidad a la mayor presencia de animales en dichos lugares. Esta abundancia anómala se puede deber a la existencia de salares o aguajales en dichas zonas las hace atractivas a las especies objeto de estudio.

Para poder obtener mejores resultados en el modelo geoestadístico se recomienda tener más datos para así disminuir el rango de error.

## REFERENCIAS

- Arias, A., Palacio, J., & Muñoz, J. (2009). Nuevos registros de distribución y oferta de hábitat de la danta colombiana (*Tapirus terrestris colombianus*) en las tierras bajas del norte de la Cordillera Central (Colombia). *Mastozoología neotropical*, 16(1), 19-26.
- Banda, G. (2012). *Macrofauna en el Bosque Húmedo Tropical: Análisis preliminar de diversidad basado en los registros del sistema de trampas cámara en la Estación de Biodiversidad Tiputini*. Quito, Ecuador.
- Barba, & Romero. (1987). Panorámica actual de la decisión multicriterio discreta. *Investigaciones Económicas*, 279-308.
- Carrillo, N., Reyna, R., & Schmook, B. (Marzo de 2015). Abundancia relativa y selección de hábitat de *Tapirus bairdii* en las reservas de Calakmul y Balam Kú, Campeche, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86(1), 202–207.
- Chávez, C., de la Torre, A., Bárcenas, H., Medellín, R., Zarza, H., & Ceballos, G. (2013). *Manual de fototrampeo para estudio de fauna silvestre, el jaguar en México como estudio de caso* (Primera ed.). México, D.F.: Rosalba Becerra.
- Cruz, B. (2012). *Macrofauna en el Bosque Húmedo Tropical: Análisis preliminar de diversidad basado en los registros del sistema de trampas cámara en la Estación de Biodiversidad Tiputini*. QUITO: Universidad San Francisco de Quito.
- Cutler, T., & Swann, D. (1999). Using Remote Photography in Wildlife Ecology: A Review. *Wildlife Society Bulletin*, XXVII(3), 571-581.

- Díaz, M. (2002). *Geoadística Aplicada*. Cuba.
- Domínguez, J. (2000). *Breve introducción a la cartografía ya los sistemas de información geográfica (SIG)*. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas. Madrid, España: CIEMAT.
- Dudley, N. (2008). *Guidelines for Applying Protected Area Management Categories*. Gland, Switzerland: IUCN.
- Durango Cordero, M. (2011). *Abundancia relativa, densidad poblacional y patrones de actividad de cinco especies de ungulados en dos sitios dentro de la Reserva de la Biosfera Yasuní, Amazonia-Ecuador*. Quito, Ecuador.
- Echarri, F., Tambussi, C., & Acosta, C. (2009). Predicting the distribution of the crested tinamous, *Eudromia* spp. (Aves, Tinamiformes). *Journal of Ornithology*, 75–84.
- Emery, X. (2007). *Apuntes de Geoestadística*. Chile.
- ESRI. (2003). *Using ArcGis - Geostatistical Analyst*. United States of America.
- Felicísimo, Á. M., Muñoz, J., Villalba, C. J., & Mateo, R. G. (2011). *Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático de la Biodiversidad Española, 1. Flora y Vegetación* (Primera ed.). Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Fey, E. (Enero - Febrero de 1982). Especies animales en peligro de extinción. *Revista de cultura científica, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México*(1), 16-17.

- Fuenzalida, M., Buzai, G. D., Moreno, A., & García, A. (2015). *Geografía, geotecnología y análisis espacial: tendencias, métodos y aplicaciones* (Primera ed.). Santiago de Chile: Triángulo.
- Funes, H. (2004). *Métodos Estadísticos en Problemas Espaciales*. San Miguel de Tucumán.
- Giraldo, R. (2007). *Introducción a la Geoestadística - Toría y Aplicación*. Bogotá.
- Guajala, H. G., & Zambrano, M. J. (2016). *Determinación de modelos de predicción espacial para la transformación de coordenadas entre los sistemas psad56 e itrf94, época 1995.4, utilizando técnicas geoestadísticas*. Sangolquí.
- Hermes Calderón, M. S. (2004). *Abundancia relativa del jaguar (Panthera onca), PUMA (Puma concolor) y ocelote (Leopardus pardalis) en el Parque Nacional Laguna Lachuá, Coban, Alta Verapaz*. Guatemala.
- Hernández, E., Moreira, J., & Reyna, R. (2016). El pecarí de labios blancos, símbolo de una vida social dentro de los bosques tropicales. *CONABIO, Biodiversitas*, 13-16.
- Ibarra, J., Rangel, G., Gonzáles, F., de Anda, J., Martínez, E., & Macias, H. (2012). Uso del modelado de nicho ecológico como una herramienta para predecir la distribución potencial de *Microcystis* sp (cianobacteria) en la Presa Hidroeléctrica de Aguamilpa, Nayarit, México. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, VII(1), 218-234.
- Itla, J. (2012). *Distribucion potencial de especies de la familia Araliaceae de la Región Madidi*. La Paz, Bolivia.

- Iturralde, P. (2010). *Evaluación del posible impacto del Cambio Climático en el área de distribución de especies de mamíferos del Ecuador*. Quito.
- Keuroghlian, A., Desbiez, A., Reyna, R., Altrichter, M., Beck, H., Taber, A., & Fragoso, J. (2013). *The IUCN Red List of Threatened Species*. Retrieved from Tayassu pecari: <http://www.iucnredlist.org/details/41778/0>
- Leiva, C. A. (2014). *Determinación de modelos de predicción espacial de la variable Ondulación Geoidal, para la zona urbana del cantón Quito y la zona rural del cantón Guayaquil, utilizando técnicas geoestadísticas*. Quito.
- Liras, E. (2008). Funcionamiento, interfaz y formato de los datos en MaxEnt. *Réplica del IV taller de modelización de nichos ecológicos*, (págs. 1-41).
- Madrid, A., & Ortiz, L. (2005). *Análisis y síntesis en cartografía: Algunos procedimientos* (Primera ed.). Bogotá, Colombia.
- MAE. (s.f.). *Ministerio del Ambiente*. Recuperado el 3 de Mayo de 2016, de Sistema de Áreas Protegidas del Ecuador: <http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec>
- Martínez, N. (6 de Septiembre de 2016). *Museo Nacional de Ciencias Naturales*. Obtenido de Apuntes sobre Modelación de Nicho Ecológico: [http://www.mncn.csic.es/docs/repositorio/es\\_ES//Blog/Documentos\\_blog/apuntes-sig-modelacion.pdf](http://www.mncn.csic.es/docs/repositorio/es_ES//Blog/Documentos_blog/apuntes-sig-modelacion.pdf)

- Martínez, W., & Morillo, A. (2015). *Modelo piloto de predicción espacial del desplazamiento horizontal en estaciones de monitoreo continuo mediante técnicas geoestadísticas*. Sangolquí.
- Meijerink, A., Brouwer, H., Mannaerts, C., & Valenzuela, C. (1994). *Introduction to the use of geographic information systems for practical hydrology* (Primera ed.). Enschede, The Netherlands: International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC).
- Molero, E., & Rodríguez, A. (2007). Escenarios de Aptitud y Modelización Cartográfica del Crecimiento Urbano Mediante Técnicas de Evaluación Multicriterio. *GeoFocus*, 120-147.
- Monroy, O., Zarco, M., Rodríguez, C., Soria, L., & Urios, V. (2011, Marzo). Fototrampeo de mamíferos en la Sierra Nanchititla, México: abundancia relativa y patrón de actividad. *Revista de Biología Tropical*, LIX(1), 373-383.
- Nevada, A., de Thoisy, B., Richard-Hansen, C., Torres, D. A., Salas, L., Wallance, R., . . . de Bustos, S. (2008, Junio). *Tapirus terrestris*. *The IUCN Red List of Threatened Species*.
- Oliver, M. (2010). *Geostatistical Applications for Precision Agriculture*. London New York: Springer.
- Olmo, M. (2005). La geoestadística como herramienta de análisis espacial de datos de inventario forestal. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*(19), 47-55.
- Ortíz, C., Restrepo, A., & Páez, V. P. (2014). Distribución potencial de *Podocnemis lewyana* (Reptilia: Podocnemididae) y su posible

fluctuación bajo escenarios de cambio climático global. *Acta Biológica Colombiana*, 19(3), 471-481.

Pando, B., & Peñas, J. (2007). Aplicación de modelos de distribución de especies a la conservación de la biodiversidad en el sureste de la península Ibérica. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 110-119.

Phillips, S. (2005). A Brief Tutorial on Maxent. *Network of Conservation Educators & Practitioners*, 108-135.

Phillips, S. J., & Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31(2), 161-175.

Phillips, S., Anderson, R., & Schapire, R. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3), 231-259.

Phillips, S., Miroslav, D., & Schapire, R. (2004). A Maximum Entropy Approach to Species Distribution Modeling. *Proceedings of the Twenty-First International Conference on Machine Learning*, 655-662.

Racero, J., & Arias, A. (Julio de 2015). Presencia y primeras fotografías del Tapir de Tierras Bajas (*Tapirus terrestris*) en el Parque Nacional Natural Paramillo, Córdoba, Colombia. *Tapir Conservation*, 24(33), 4-6.

Swets, J. A. (1988). Measuring the Accuracy of Diagnostic Systems. *Science*, 240(4857), 1285-1293.

TEAM. (2011). *TEAM Terrestrial Vertebrate Monitoring Protocol Metadata*. Arlington, Virginia, United States.

- TEAM. (s.f.). *Tropical Ecology Assessment & Monitoring Network*. Recuperado el 3 de Mayo de 2016, de Early warning system for Nature: <http://www.teamnetwork.org>
- Tirira, D. G., Nogales, F., Tapia, M., Tapia, A., & Zapata Ríos, G. (2011). *Libro Rojo de los mamíferos del Ecuador*. Recuperado el 30 de Octubre de 2016, de Tapir amazónico (Tapirus terrestres): [www.librorojo.mamiferosdeecuador.com](http://www.librorojo.mamiferosdeecuador.com)
- Torres, J., Cueva, R., Morales, M., Suárez, E., Toral, E., Utreras, V., & Zapata Ríos, G. (2009). Conservación de pecaríes en los paisajes humanos de la Amazonía nororiental ecuatoriana: impacto de la cacería y la pérdida del hábitat. *Suiform Soundings*, 8(2), 24-29.
- UICN. (2000). *Áreas Protegidas, Beneficios más allá de las Fronteras*. (C. Figallo, Trad.) Gland, Suiza.
- UICN. (2000). *Categorías y Criterios de la Lista Roja de la UICN*. Gland, Suiza: UICN, Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido. Recuperado el 10 de Julio de 2016
- UICN. (s.f.). *Unión Internacional Para la Conservación de la Naturaleza (UICN)*. Recuperado el Agosto de 2016, de <http://www.iucn.org/>
- Vallejo, A. F., & Boada, C. (2017). *Mammalia WEB - Ecuador*. (P. U. Museo de Zoología, Ed.) Obtenido de Tapirus Terrestres: <http://zoologia.puce.edu.ec/Vertebrados/mamiferos/FichaEspecie.aspx?id=2063>
- Vallejo, A. F., & Boada, C. (2017). *Mammalia WEB - Ecuador*. Obtenido de Tayassu pecari:

<http://zoologia.puce.edu.ec/Vertebrados/mamiferos/FichaEspecie.aspx?id=1829>

WCS. (s.f.). *Wildlife Conservation Society Ecuador*. Recuperado el 3 de Mayo de 2016, de WCS - Ecuador: <http://www.wcsecuador.org>

WorldClim. (s.f.). *WorldClim - Global Climate Data*. Recuperado el 21 de Septiembre de 2016, de Free climate data for ecological modeling and GIS: <http://www.worldclim.org>

Yáñez, D., Vaca, M., & Lobo, D. (2015). Aplicación del modelamiento de distribución de *Bradypus variegatus*, para la conservación del nicho ecológico. *Serie Zoológica*, 10(11), 44-55.

Yasuda, M., & Kawakami, K. (Enero de 2002). *Ecological Research*. XVII(1), 119-124.

Zapata, G., Suárez, E., Utreras, V., & Vargas, J. (Marzo de 2006). Evaluación de Amenazas Antropogénicas en el Parque Nacional Yasuní y sus implicaciones para la Conservación de Mamíferos Silvestres. *Lyonia a journal of ecology and application*, X(1), 31-41.