



ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

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

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO GEÓGRAFO Y DEL MEDIO
AMBIENTE**

**“APLICACIÓN DE LA LÓGICA DIFUSA PARA
LA UBICACIÓN DE ESPECIES FAUNÍSTICAS
Y FLORÍSTICAS, Y SU COMPARACIÓN CON
OTROS MÉTODOS GEOESTADÍSTICOS”**

DAVID ROBERTO CARRANZA RUEDA

SANGOLQUÍ – ECUADOR

JUNIO – 2008

CERTIFICADO

Certificamos que el presente Proyecto de Grado, titulado “Aplicación de la Lógica Difusa para la Ubicación de Especies Faunísticas y Florísticas, y su comparación con otros Métodos Geoestadísticos”, fue desarrollado en su totalidad por el Señor egresado David Roberto Carranza Rueda, bajo nuestra dirección, como proyecto previo a la obtención del Título de Ingeniero Geógrafo y del Medio Ambiente.

Sangolquí, Junio 2008

Ing. Oswaldo Padilla
DIRECTOR

Ing. Mirian Fernández
CODIRECTOR

RESUMEN

Fue en 1965, cuando el profesor Lofti Zadeh publicó el artículo Fuzzy Sets (Conjuntos Difusos), exponiendo por primera vez la idea de la Lógica Difusa a la comunidad científica. Desde entonces, esta nueva propuesta de lógica no convencional, ha ido ganando campo a la lógica tradicional Aristotélica, en áreas como los Sistemas de Control, Sistemas de Predicción y Optimización, Reconocimiento de Patrones, Sistemas de Información, y últimamente en Gestión de Recursos Naturales.

Por otro lado, la Geoestadística, consolidada en los últimos 30 años como ciencia aplicada, tiene como objeto de estudio variables y su distribución espacial, utilizando como insumo básico el análisis de la distribución espacial existente de las variables. Y aunque la evaluación de reservas minerales fue en un inicio el campo de acción de la Geoestadística, actualmente son amplias sus aplicaciones, convirtiéndose en una herramienta indispensable para los profesionales Geógrafos de hoy.

El presente proyecto propone la aplicación de la Lógica Difusa para el desarrollo de una metodología de generación de modelos de probabilidad de presencia de especies de fauna y flora, convirtiéndolo en un proyecto de investigación científica e innovación, al plantear una alternativa distinta a la tradicional Geoestadística, y compararlo con los métodos comúnmente utilizados, como las regresiones y el muy premiado método MARS. Finalmente se obtuvieron muy buenos resultados, pero plantea la necesidad de continuar con la mejora del método, con una comprobación final de campo, a fin de obtener modelos más cercanos a la realidad.

SUMMARY

It was 1965 when Professor Lofti Zadeh published the paper "Fuzzy Sets" exposing for first time the idea of Fuzzy Logic to the scientific community. Since then, this new proposal of non conventional logics has gained field against the Aristotelic traditional logics in areas as Control Systems, Prediction and Optimization Systems, Pattern Recognizing, Information Systems and more recently in Natural Resources Management.

Otherwise, the Geostatistics, consolidated in the last thirty years as an applied science, has as study object variants and their space distribution using as basic raw material the analysis of the space distribution existing among the variants. And even though the evaluation of mineral reserves was at first the Geostatistics field of action, nowadays its applications are wider so becoming an indispensable tool for today's professional Geographers.

This project proposes the application of Fuzzy Logics for the development of methodology orientated to the generation of probabilistic models of fauna and flora species presence, turning it into a scientific investigation and innovation project due it introduces a distinct alternative to traditional Geostatistics if compared to the commonly used methods like regression and the much awarded MARS method. Finally very good results were obtained, but at the same time propose the need of continuing with the method improvement with a final field testing in order to obtain more accurate and reality approached models.

DEDICATORIA

A mi padre, por enseñarme lo importante del conocimiento y del estudio, por su apoyo tangible e intangible, siendo después de Dios, el principal promotor y auspiciante de este logro.

A mi hijo, fuente de inspiración y alegría inagotable, dándome ese impulso necesario para buscar ser un mejor ejemplo y modelo de padre, amigo y profesional.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por la vida y las oportunidades que en ella me ha presentado, brindándome su guía, apoyo y protección a cada paso, permitiéndome cumplir con esta gran meta.

A mis padres, quienes con su amor incondicional, su ejemplo y apoyo continuo me han conducido a la finalización de esta carrera profesional, que constituye una de las herencias más valiosas que puedo recibir.

A mi esposa, por el cariño y paciencia, que nos han permitido seguir adelante juntos frente a las dificultades que se presentan, por lo que hoy podemos celebramos el logro de uno de nuestros objetivos familiares.

A mis profesores, y en especial a mi director y codirectora, que con su amistad, conocimiento y tutoría brindada, pudieron inculcar en mí el profesional en el que ahora me convierto.

A mis compañeros y amigos, que a lo largo de este largo caminar, fueron los aliados y cómplices de esta hermosa realidad.

PROLOGO

La Lógica Difusa ha planteado grandes soluciones a problemas resueltos ineficientemente o inadecuadamente por la lógica tradicional. Por lo que se busca aplicar la Lógica Difusa, a fin de desarrollar una metodología de modelamiento para la determinación de probabilidades de presencia de un fenómeno en particular, con relación a variables existentes y relacionadas. Esta investigación científica permitirá tener una nueva alternativa de modelamiento, en particular para la ubicación de especies de flora y fauna, y determinar sus ventajas y desventajas frente a métodos Geoestadísticos tradicionales, planteando conclusiones y recomendaciones a la metodología desarrollada.

El proyecto comprende el análisis de los fundamentos de la Lógica Difusa, su aplicación y desarrollo de una metodología para la determinación de especies de fauna y flora. Contiene el análisis de las variables que intervienen, y su correspondiente procesamiento según su caso de interacción con las especies, así como la generación de dos modelos de probabilidad de presencia con esta metodología, uno para la especie *Ocotea insularis* (Flora) y otro para la especie *Aotus lemurinus* (Fauna). Para estas especies, también se desarrollaron modelos de ubicación aplicando la geoestadística tradicional. Estos modelos fueron comparados y se determinaron conclusiones y recomendaciones prácticas sobre los resultados obtenidos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPITULO 1: ASPECTOS GENERALES	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3 IMPORTANCIA.....	4
1.4 OBJETIVO GENERAL.....	4
1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.6 METAS	5
1.7 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA.....	6
1.8 ÁREA DE INFLUENCIA.....	6
1.9 ALCANCE.....	6
CAPITULO 2: FUNDAMENTO TEÓRICO.....	7
2.1 GENERALIDADES DE LA LÓGICA DIFUSA	7
2.1.1 Introducción a la Lógica Difusa	7
2.1.2 La Lógica Difusa.....	10
2.1.3 Funciones de Pertenencia.....	11
2.1.4 Aplicaciones	16
2.2 FUNDAMENTOS DE LA LÓGICA DIFUSA A SER UTILIZADA	17
2.2.1 Función de pertenencia a ser utilizada.....	18
2.2.2 Primer Planteamiento del Algoritmo de la Lógica Difusa.....	21
2.2.3 Segundo Planteamiento del Algoritmo de la Lógica Difusa.....	28
2.2.4 Obtención del Modelo de Probabilidad de Presencia de las Especies. 36	
2.3 ANÁLISIS DE OTROS MÉTODOS GEOESTADÍSTICOS EXISTENTES..	37
2.3.1 Regresión Lineal	38
2.3.2 Binary Logistic.....	39
2.3.3 Método MARS.....	40
CAPITULO 3: ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE DATOS	41
3.1 ALMANAQUE ELECTRÓNICO ECUATORIANO	41
3.1.1 Datos a ser usados del Almanaque Electrónico Ecuatoriano	44

3.1.2	Análisis de los datos a ser utilizados del AEE	47
3.2	WORLDCLIM - DATOS METEOROLÓGICOS	50
3.3	REAL JARDÍN BOTÁNICO DE MADRID	51
3.3.1	Datos Entregados Por El RJBm Sobre Flora	51
3.3.2	Datos Entregados Por El RJBm Sobre Fauna.....	57
CAPITULO 4: MODELO DE UBICACIÓN MEDIANTE METODOLOGÍA DIFUSA		61
4.1	PREPARACIÓN DE LOS DATOS	61
4.1.1	Transformación De Coordinadas	61
4.1.2	Resolución Espacial del Modelo	63
4.2	GENERACIÓN Y OBTENCIÓN DE VARIABLES	64
4.2.1	Procesamiento de Datos	64
4.2.2	Exclusión de zonas	67
4.2.3	Determinación de los valores de los Puntos de Interés de la Función de Pertenececia.....	68
4.2.4	Formulación y Cálculo de Factores	73
4.2.5	Calculo de las variables	76
4.3	GENERACIÓN DEL MAPA DE PROBABILIDAD DE UBICACIÓN DE ESPECIE MEDIANTE LA LÓGICA DIFUSA.....	80
4.4	GENERACIÓN DE MODELOS DE UBICACIÓN MEDIANTE OTROS MÉTODOS GEOESTADÍSTICOS	82
4.4.1	Regresión Lineal	82
4.4.2	Binary Logistic.....	86
4.4.3	Modelo MARS	88
4.5	COMPARACIÓN ENTRE MODELOS.....	90
4.5.1	Por puntos de Comprobación.....	90
4.5.2	Por Desviación Estándar	92
4.5.3	Comparación Grafica.....	93
CAPITULO 5: RESULTADOS		95
5.1	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	95
5.2	CONCLUSIONES	100
5.3	RECOMENDACIONES.....	101
ANEXOS.....		102
ANEXO 1: EJEMPLO DEL CONTENIDO DE LA BASE DE DATOS DEL REAL JARDÍN BOTÁNICO DE MADRID.....		103

ANEXO 2: ESQUEMAS DE LAS VARIABLES PROCESADAS CON LA METODOLOGÍA DIFUSA – <i>Ocotea insularis</i>	112
ANEXO 3: ESQUEMAS DE LAS VARIABLES PROCESADAS CON LA METODOLOGÍA DIFUSA – <i>Aotus lemurinus</i>	118
ANEXO 4: TABLA CON LOS VALORES DE LAS VARIABLES PARA LOS PUNTOS DE PRESENCIA Y AUSENCIA – <i>Ocotea insularis</i>	125
ANEXO 5: TABLA CON LOS VALORES DE LAS VARIABLES PARA LOS PUNTOS DE PRESENCIA Y AUSENCIA – <i>Aotus lemurinus</i>	129
ANEXO 6: MAPAS.....	133
MAPA 1: Puntos de Ubicación de la Especie <i>Ocotea insularis</i>	134
MAPA 2: Modelo de Ubicación de la Especie <i>Ocotea insularis</i> por Metodología Difusa.....	135
MAPA 3: Modelo de Ubicación de la Especie <i>Ocotea insularis</i> por Metodología MARS.....	136
MAPA 4: Modelo de Ubicación de la Especie <i>Ocotea insularis</i> por Regresión Lineal (Enter).....	137
MAPA 5: Modelo de Ubicación de la Especie <i>Ocotea insularis</i> por Regresión Lineal (Stepwise).....	138
MAPA 6: Modelo de Ubicación de la Especie <i>Ocotea insularis</i> por Binary Logistic.....	139
MAPA 7: Puntos de Ubicación de la Especie <i>Aotus lemurinus</i>	140
MAPA 8: Modelo de Ubicación de la Especie <i>Aotus lemurinus</i> por Metodología Difusa.....	141
MAPA 9: Modelo de Ubicación de la Especie <i>Aotus lemurinus</i> por Metodología MARS.....	142
MAPA 10: Modelo de Ubicación de la Especie <i>Aotus lemurinus</i> por Regresión Lineal (Enter).....	143
MAPA 11: Modelo de Ubicación de la Especie <i>Aotus lemurinus</i> por Regresión Lineal (Stepwise).....	144
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	145

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla. 3. 1 Interacción de la información del AEE y la presencia de las especies	46
Tabla. 3. 2 Información y Variables del AEE a ser utilizada en la metodología....	47
Tabla. 3. 3 Características de los datos de Centros Poblados	47
Tabla. 3. 4 Características de los datos del Sistema Nacional de Áreas Protegidas	48
Tabla. 3. 5 Características de los datos de Vías	48
Tabla. 3. 6 Características de los datos de la Red Hidrográfica.....	49
Tabla. 3. 7 Características de los datos del Modelo de Elevación	49
Tabla. 3. 8 Descripción de las Variables del WorldClim	51
Tabla. 3. 9 Clasificación Taxonómica de la <i>Ocotea insularis</i>	54
Tabla. 3. 10 Clasificación Taxonómica del <i>Aotus lemurinus</i>	58
Tabla. 4. 1 Siete parámetros de Transformación del sistema PSAD56 a SIRGAS	61
Tabla. 4. 2 Información y proceso para generar datos de las variables	64
Tabla. 4. 3 Determinación del Caso apropiado de la metodología Difusa para cada variable.....	66
Tabla. 4. 4 Características de los archivos de datos para las variables	67
Tabla. 4. 5 Valores mínimos y máximo de las Variables para la especie <i>Ocotea insularis</i>	68
Tabla. 4. 6 Resumen de Puntos de Interés de la Función de Pertenencia y su Formulación – Primer Planteamiento	69
Tabla. 4. 7 Resumen de Puntos de Interés de la Función de Pertenencia y su Formulación – Segundo Planteamiento	70

Tabla. 4. 8 Criterio de estimación de las coordenadas x de los Puntos de Interés según su Caso Fuzzy.....	71
Tabla. 4. 9 Valores de Coordenada X de Puntos de Interés para la <i>Ocotea insularis</i>	72
Tabla. 4. 10 Valores de Coordenada X de Puntos de Interés para el <i>Aotus lemurinus</i>	73
Tabla. 4. 11 Factores de ayuda para el calculo del Angulo α de la Función de Pertenencia – Primer Planteamiento.....	73
Tabla. 4. 12 Factores de ayuda para el calculo del Angulo α de la Función de Pertenencia – Segundo Planteamiento.....	74
Tabla. 4. 13Valores de los factores para el cálculo del Angulo α – <i>Ocotea Insulares</i> – Primer Planteamiento	75
Tabla. 4. 14 Valores de los factores para el cálculo del Angulo α – <i>Aotus lemurinus</i> – Segundo Planteamiento	76
Tabla. 4. 15 Valores de b, para la Regresión Lineal – <i>Ocotea insularis</i>	83
Tabla. 4. 16 Valores de b, para la Regresión Lineal – <i>Aotus lemurinus</i>	84
Tabla. 4. 17 Valores de b, para el Método Binary Logistic – <i>Ocotea insularis</i>	87
Tabla. 4. 18 Comparación entre modelos para la especie <i>Ocotea insularis</i> – Valores de los puntos de Comprobación.....	91
Tabla. 4. 19 Comparación entre modelos para la especie <i>Aotus lemurinus</i> – Valores de los puntos de Comprobación.....	92
Tabla. 4. 20 Comparación entre modelos para la especie <i>Ocotea insularis</i> – Desviación Estándar	92
Tabla. 4. 21 Comparación entre modelos para la especie <i>Aotus lemurinus</i> – Desviación Estándar.....	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 1. 1 Área de Influencia del Proyecto.....	6
Figura. 2. 1 Ejemplo de graficación para un conjunto difuso “Temperatura Alta”	11
Figura. 2. 2 Ejemplo de Función de Pertenencia Triangular	12
Figura. 2. 3 Ejemplo de Función de Pertenencia Gamma	12
Figura. 2. 4 Ejemplo de Función de Pertenencia Gamma con aproximación lineal	13
Figura. 2. 5 Ejemplo de Función de Pertenencia S	13
Figura. 2. 6 Ejemplo de Función de Pertenencia Gausiana	14
Figura. 2. 7 Ejemplo de Función de Pertenencia Trapezoidal	14
Figura. 2. 8 Ejemplo de Función de Pertenencia Pseudo-Exponencial	15
Figura. 2. 9 Ejemplo de Función de Pertenencia Trapecio Extendido	15
Figura. 2. 10 Diagrama general del proceso de la Lógica Difusa a desarrollar	17
Figura. 2. 11 Función Seno Cuadrado	19
Figura. 2. 12 Función de Pertenencia Caso 1	20
Figura. 2. 13 Función de Pertenencia Caso 2.....	20
Figura. 2.14 Función de Pertenencia Caso 3.....	21
Figura. 2.15 Puntos de interés de la función de pertenencia - Caso 1	23
Figura. 2. 16 Puntos de interés de la función de pertenencia - Caso 2.....	25
Figura. 2. 17 Puntos de interés de la función de pertenencia - Caso 3.....	27
Figura. 2. 18 Puntos de interés de la función de pertenencia - Caso 1.....	29
Figura. 2. 19 Puntos de interés de la función de pertenencia - Caso 2.....	32
Figura. 2. 20 Puntos de interés de la función de pertenencia - Caso 3.....	34
Figura. 2. 21 Ejemplo de Regresión Lineal	38
Figura. 2. 22 Ejemplo del Ajuste del Método MARS.....	40
Figura. 3. 1 Portada del informe del Almanaque Electrónico Ecuatoriano	44
Figura. 3. 2 Captura de Pantalla – Exportación de formato ASC a formato IMG en ArcGis	52

Figura. 3. 3 Captura de Pantalla – Numero de datos entregados por el RJBM....	52
Figura. 3. 4 Captura de Pantalla – Herramienta “Clip” de ArcToolbox de ArcGis.	53
Figura. 3. 5 Esquema de puntos de especie que no se encuentran dentro del límite Ecuatorial.....	53
Figura. 3. 6 Esquema de ubicación de los puntos de presencia de la especie <i>Ocotea insularis</i>	54
Figura. 3. 7 Vista de los Frutos de la <i>Ocotea insularis</i>	55
Figura. 3. 8 Vista del Haz, Envés, Detalle de envés y posición de las hojas de la <i>Ocotea insularis</i>	56
Figura. 3. 9 Distribución Geográfica de la <i>Ocotea insulares</i> en América	56
Figura. 3. 10 Esquema de ubicación de los puntos de presencia de la especie <i>Aotus lemurinus</i>	57
Figura. 3. 11 Fotografía de un <i>Aotus lemurinus</i>	58
Figura. 4. 1 Captura de pantalla – Herramienta “Create Custom Geographic Transformation” de ArcToolbox, ArcGis 9.2	62
Figura. 4. 2 Captura de pantalla – Herramienta “Project” de ArcToolbox, ArcGis 9.2	62
Figura. 4. 3 Captura de pantalla – Herramienta “Feature to Raster” de ArcToolbox, ArcGis	64
Figura. 4. 4 Ejemplo de Cálculo de Variable Elevación en herramienta “Raster Calculador” - ArcGis	80
Figura. 4. 5 Esquema resultado de modelo de presencia de la especie <i>Ocotea insularis</i> con el Primer Planteamiento – Media Normalizada	81
Figura. 4. 6 Esquema resultado de modelo de presencia de la especie <i>Aotus lemurinus</i> con el Segundo Planteamiento – Media Normalizada	81
Figura. 4. 7 Esquema resultado de modelo de presencia de la especie <i>Aotus lemurinus</i> con el Segundo Planteamiento – Multiplicación.....	82
Figura. 4. 8 Esquema resultado de modelo de presencia de la especie <i>Ocotea insularis</i> con el Método de Regresión Lineal – Método de ingreso de Variables Enter.....	84
Figura. 4. 9 Esquema resultado de modelo de presencia de la especie <i>Ocotea insularis</i> con el Método de Regresión Lineal – Método de ingreso de Variables Stepwise.....	85

Figura. 4. 10 Esquema resultado de modelo de presencia de la especie <i>Aotus lemurinus</i> con el Método de Regresión Lineal – Método de ingreso de Variables Enter.....	85
Figura. 4. 11 Esquema resultado de modelo de presencia de la especie <i>Aotus lemurinus</i> con el Método de Regresión Lineal – Método de ingreso de Variables Stepwise.....	86
Figura. 4. 12 Esquema resultado de modelo de presencia de la especie <i>Ocotea insularis</i> con el Método Binary Logistic	87
Figura. 4. 13 Funciones Básicas resultantes del cálculo del Método MARS para la especie <i>Ocotea insularis</i>	88
Figura. 4. 14 Funciones Básicas resultantes del cálculo del Método MARS para la especie <i>Aotus lemurinus</i>	88
Figura. 4. 15 Esquema resultado de modelo de presencia de la especie <i>Ocotea insularis</i> con el Método MARS	89
Figura. 4. 16 Esquema resultado de modelo de presencia de la especie <i>Aotus lemurinus</i> con el Método MARS	89
Figura. 4. 17 Distribución de Puntos de Comprobación de la Especie <i>Ocotea insularis</i>	90
Figura. 4. 18 Distribución de Puntos de Comprobación de la Especie <i>Aotus lemurinus</i>	91
Figura. 4. 19 Captura de Pantalla – Propiedades del modelo Binary Logistic para <i>Ocotea insularis</i>	92

GLOSARIO

AEE	Almanaque Electrónico Ecuatoriano
Algoritmo	Conjunto de reglas que permiten obtener la solución a un problema.
ArcGis	Sistema de Información Geográfica desarrollado por el <i>Environmental Research Institute Systems E.S.R.I.</i>
ArcToolbox	Conjunto de herramientas para análisis espacial propia de ArcGis
Caso Fuzzy	Escenario posible planteado por la Metodología Difusa para la ubicación de especies, son tres.
Fuzzy	Referente a la Lógica Difusa
GRID	Formato raster propio de ArcGis
IDRISI	Programa para despliegue y análisis de información geográfica
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
IPGH	Instituto Panamericano de Geografía e Historia
MARS	<i>Multivariate Adaptive Regression Spline</i>
Píxel	Unidad mínima de información de una imagen
PSAD56	<i>Provisional South América Datum 1956</i> (Datum Provisional para Sur América 1956)
Raster	Estructura de datos basados en celdas compuestas de filas y columnas
R.B.	Referencia Bibliográfica
Resolución	La resolución se define como distancia visible entre dos puntos.

Software	Nombre general para el conjunto de programas y lenguajes de programación que funcionan en un ordenador.
Spline	Curva matemática utilizada para representar la variación espacial de forma suave
SPSS	Software para análisis estadístico avanzado
UTM	Proyección Universal Transversa de Mercator
WClim	Usada para mencionar a las variables del <i>WorldClim</i>
WGS84	<i>World Geodesic System</i> 1984 (Sistema Geodésico Mundial)

CAPITULO 1

ASPECTOS GENERALES

1.1 ANTECEDENTES

Ecuador está considerado como uno de los 17 países donde está concentrada la mayor biodiversidad del planeta. Su amplia gama de climas en sus cuatro regiones, ha dado lugar al nacimiento de miles de especies de flora y fauna en medio de extensos territorios naturales, muchos de los cuales están protegidos por el Estado. En su pequeña extensión de territorio se pueden encontrar bosques tropicales y húmedos, selvas, montañas, islas, páramos, desiertos, valles y nevados.¹

El territorio ecuatoriano tiene un 10 por ciento de todas las especies de plantas que hay en el planeta. De este porcentaje, la mayor cantidad crece en la cordillera de los Andes, en la zona noroccidental, donde se calcula que hay aproximadamente 10 mil especies. En la región amazónica existe también un alto número de especies vegetales, alrededor de 8.200, por ejemplo, solo de orquídeas se han identificado 2.725 especies. En Galápagos, en cambio, hay cerca de 600 especies nativas y otras 250 introducidas por el hombre, aproximadamente. De las doce zonas claves de biodiversidad identificadas por el naturalista Norman Myers, tres se encuentran en el Ecuador continental. La diversidad climática ha dado lugar a más de 25 mil especies de árboles.¹

Ecuador cuenta así mismo con el 8 por ciento de las especies de animales y el 18 por ciento de las de aves del planeta. Cerca de 3.800 especies de vertebrados han sido identificadas, así como 1.550 de mamíferos, 350 de reptiles,

¹ Tomado de información del Ministerio de Turismo del Ecuador (R.B. 13)

375 de anfibios, 800 especies de peces de agua dulce y 450 de agua salada. Igualmente, tiene cerca del 15 por ciento del total de especies endémicas de aves en el mundo, las cuales habitan en los Andes, la costa y la región amazónica, principalmente. Las especies de insectos sobrepasan el millón, y las mariposas llegan a las 4.500, entre otras.¹

Los ecosistemas que existen en el país van desde el nivel del mar hasta aproximadamente 6.400 metros de altura. Su superficie total es de 14.583.227 has., tanto en la Sierra, como en la Costa y la Amazonía. Hay 46 ecosistemas que integran páramos, bosques, valles y el Océano Pacífico, ubicados en diferentes pisos climáticos.¹

Por otro lado, en el Real Jardín Botánico de Madrid, desde su creación se desarrolló la enseñanza de la Botánica, se auspiciaron expediciones a América y al Pacífico, se encargaron los dibujos de grandes colecciones de láminas de plantas y se acopiaron importantes herbarios que sirvieron de base para describir nuevas especies para la Ciencia.²

Los jardines botánicos, desde que cristalizaron como institución científica hace varios siglos, se ocupan de tres tareas: Educativa, investigadora y de conservación. Pero la actividad investigadora es la que hace que un arboreto o parque adquiera la condición de jardín botánico.

Como en cualquier otro jardín botánico, en éste las líneas de investigación giran en torno a lo que se conoce por Biodiversidad, esto es biología de las especies de seres vivos orientada a estudiar su variedad, distribución y relaciones evolutivas. En este sentido, el objeto de los estudios científicos son principalmente organismos y no tanto otros niveles de organización como moléculas, células, o sistemas.²

² Tomado de Información del RJB (R.B. 20)

Hay dos aproximaciones a estudios de biodiversidad. Por un lado, es posible estudiar qué especies existen en un área, lo que sería una aproximación más florística y tiene sentido en aquellas regiones peor conocidas del planeta. Por otro, es posible investigar cuáles especies integran un grupo de organismos determinado y cuáles son sus relaciones. Este enfoque –taxonómico o sistemático- se traduce en reunir, analizar y procesar todos los datos - morfológicos, anatómicos, fitoquímicos, palinológicos, ecológicos, biogeográficos, moleculares- para clasificar los organismos. Con esto, lo que hacemos es proporcionar un sistema de referencia que pueda ser utilizado dentro y fuera de la comunidad científica.

El Real Jardín Botánico de Madrid, ha realizado incontables estudios en territorio americano y por supuesto, en el Ecuador, realizando muestreos de flora y fauna, y posteriores análisis de los mismos. El Real Jardín Botánico hace uso de las herramientas Geomaticas para el análisis de los datos obtenidos en campo, desarrollando modelos de ubicación de especies florísticas y faunísticas con geoestadística tradicional. Interesado en el desarrollo de nuevas metodologías para un mejor modelamiento de ubicación de especies, ha decidido apoyar el presente proyecto, con los datos obtenidos por el Real Jardín Botánico, junto con el importantísimo asesoria del científico titular Dr. Jesús Muñoz del departamento de Micología.

1.2 JUSTIFICACIÓN

La Lógica Difusa ha planteado grandes soluciones a problemas resueltos ineficientemente o inadecuadamente por la lógica tradicional. Por lo que se busca aplicar la Lógica Difusa, a fin de desarrollar una metodología de modelamiento para la determinación de probabilidades de presencia de un fenómeno en particular, con relación a variables existentes y relacionadas. Esta investigación científica permitirá tener una nueva alternativa de modelamiento, en particular para la ubicación de especies de flora y fauna, y determinar sus ventajas y

desventajas frente a métodos Geoestadísticos tradicionales, planteando conclusiones y recomendaciones a la metodología desarrollada.

1.3 IMPORTANCIA

La determinación de un mejor modelo de ubicación de especies, tanto de flora como de fauna, a fin de obtener una información mas cercana a la realidad en cuanto a la distribución de la misma, es una poderosa herramienta para manejar especies particularmente vulnerables o de rápida adaptación y distribución que pueden desencadenar sobrepoblación de la misma, a fin de gestionar un desarrollo sostenible de la zona de estudio.

1.4 OBJETIVO GENERAL

Aplicar la lógica Difusa para la localización de especies faunísticas y florísticas, tomando como ejemplo una especie animal y una especie vegetal, y comparar los resultados con otros métodos geoestadísticos

1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una investigación bibliografica relativa a la lógica Difusa
- Analizar los datos de las especies faunísticas y florísticas provistos por el Real Jardín Botánico de Madrid
- Generar y analizar variables para el modelamiento de la ubicación de las especies
- Generar mapas de puntos de ubicación para las especies

- Generar la metodología de modelamiento para la determinación de la ubicación de las especies basado en la lógica Difusa
- Comparación de los resultados de la metodología basada en la lógica Difusa con otras metodologías ya existentes
- Determinación de ventajas y/o desventajas de la metodología Difusa respecto a los otros métodos, planteando conclusiones y recomendaciones.

1.6 METAS

- Analizar los datos de una especie faunística y una especie florística provistos por el Real Jardín Botánico de Madrid para ser utilizados en el modelamiento
- Determinar la 25 variables que influyan en las especies y que puedan ser analizadas mediante la lógica Difusa
- Generar un mapa de la probabilidad de localización de una especie faunística, a escala 1:250.000, mediante la lógica Difusa
- Generar un mapa de la probabilidad de localización de una especie florística, a escala 1:250.000, mediante la lógica Difusa
- Generar al menos tres mapa de la probabilidad de localización de una especie faunística, a escala 1:250.000, mediante geoestadística
- Generar al menos tres mapa de la probabilidad de localización de una especie florística, a escala 1:250.000, mediante geoestadística
- Comparar los resultados entre la lógica Difusa y la geoestadística, y definir cinco conclusiones y cinco recomendaciones

CAPITULO 2

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 GENERALIDADES DE LA LÓGICA DIFUSA

2.1.1 Introducción a la Lógica Difusa

El concepto de Lógica Difusa o Fuzzy fue concebido por Lofti A. Zadeh un profesor de la Universidad de California en Berkley, quien inconforme con los conjuntos clásicos (*crisp sets*) que solo permiten dos opciones, la pertenencia o no de un elemento a dicho conjunto, la presentó como una forma de procesar información permitiendo pertenencias parciales a unos conjuntos que en contraposición a los clásicos, los denominó Conjuntos Difusos. El concepto de conjunto difuso fue expuesto por Lofti Zadeh en un documento hoy clásico en la literatura de la lógica difusa, en el año de 1965, el artículo se titula "*Fuzzy Sets*" (Conjuntos Difusos), y fue publicado en la revista Information and Control. El mismo Zadeh publica en 1971 el artículo, "*Quantitative Fuzzy Semantics*", en donde introduce los elementos formales que acabarían componiendo el cuerpo de la doctrina de la lógica difusa y sus aplicaciones tal como se conocen en la actualidad.⁴

Zadeh nació en Irán en 1921 y se traslada a Estados Unidos para completar sus estudios de Ingeniería Eléctrica. Sus temas de investigación científica estaban relacionados con el análisis de sistemas y la teoría de control. Creyente acérrimo en el poder de las Matemáticas, se da cuenta que el marco Aristotélico (Verdadero o Falso), no tolera la imprecisión y la verdad parcial, y por lo tanto se

⁴ Lopez J., "Logica Difusa", 2001 (R.B. 16)

le complica la obtención de soluciones rigurosas cuando los sistemas que está estudiando no se prestan a una definición precisa. Entonces busco representar matemáticamente la imprecisión intrínseca de ciertas categorías de objetos.⁵

El profesor Zadeh menciona que la gente no requiere información numérica precisa del medio que lo rodea para desarrollar tareas de control altamente adaptables, por ejemplo conducir un automóvil o caminar por una acera sin chocarse con los postes y las otras personas. Si los controladores convencionales, en esencia realimentados, se pudieran programar para aceptar entradas imprecisas, ellos podrían trabajar de una manera mas eficiente y quizás se podrían implementar mas fácilmente. En Estados Unidos, principalmente por razones culturales, el concepto de lógica difusa no tuvo mucho impacto, mientras en oriente, específicamente los Japoneses y algunos países europeos, aceptaron sin complicación esta idea y han estado desde la década de los 80 construyendo aplicaciones reales y productos que funcionan basados en lógica difusa. Por ejemplo, en 1986 Yamakawa publica el artículo, "Fuzzy Controller hardware system" y desarrolla controladores difusos en circuitos integrados. En 1987, se inaugura en Japón el subterráneo de Sendai, uno de los más espectaculares sistemas de control difuso creados por el hombre. Desde entonces el controlador inteligente ha mantenido los trenes rodando eficientemente.

Posteriormente a ellos, otros grandes pensadores como David Hume o Kant apoyaban esta idea manteniendo que el razonamiento venía dado por las observaciones de las que somos testigos a lo largo de nuestra vida y la detección de algunos principios contradictorios en la lógica clásica.

Tras la publicación de Lotfi A. Zadeh, se comenzó rápidamente a usar la lógica difusa en distintas aplicaciones prácticas, llegando a su máximo auge a principios de los años 90, y continuando éste hasta la época actual. Los subconjuntos difusos (o partes borrosas de un conjunto) fueron inventados para modelar la representación humana de los conocimientos (por ejemplo para medir nuestra ignorancia o una imprecisión objetiva) y mejorar así los sistemas de

⁵ Weitz D., "Absolutamente Borroso", Revista Futuro Ciencia y Tecnología, 2007 (R.B. 23)

decisión, de ayuda a la decisión, y de inteligencia artificial. Esta teoría nos permite manejar y procesar ciertos tipos de información en los cuales se manejen términos inexactos, imprecisos o subjetivos. De una manera similar a como lo hace el cerebro humano, es posible ordenar un razonamiento basado en reglas imprecisas y en datos incompletos.

Si se acepta que las variables temáticas son continuas, el establecimiento de clases con límites absolutamente definidos resulta problemático y parece más lógico pensar que la transición entre una clase y la siguiente debería ser gradual. Esta premisa permite denominar a cada una de estas clases, sin límites definidos, como conjunto difuso. Un conjunto difuso está caracterizado por una función de pertenencia a dicho conjunto, cuyo recorrido oscila entre cero y uno (desde la no pertenencia a la clase hasta la pertenencia absoluta).

En la lógica clásica una proposición sólo admite dos valores: verdadero o falso. Por ello se dice que la lógica usual es bivalente o binaria. Existen otras lógicas que admiten además un tercer valor posible (lógica trivaluada) e incluso múltiple valores de verdad (lógica multivaluada).

La lógica aristotélica sirve para explicar ciertos fenómenos y problemas, aunque la gran mayoría de ellos enmarcados en el mundo teórico de la matemática. Por el contrario, la lógica difusa puede usarse para explicar el mundo real, puesto que sigue el comportamiento humano de razonar, sacando conclusiones a partir de hechos observados.

La lógica multivaluada incluye sistemas lógicos que admiten varios valores de verdad posibles. La lógica difusa permite representar de forma matemática conceptos o conjuntos imprecisos. Si P es una proposición, se le puede asociar un número $v(P)$ en el intervalo $[0,1]$ tal que:

Si $v(P) = 0$, entonces P es falso.

Si $v(P) = 1$, entonces P es verdadero.

La veracidad de P aumenta con $v(P)$.

2.1.2 La Lógica Difusa

La lógica Borrosa, Difusa o Fuzzy (Términos usados indistintamente a lo largo del proyecto), se basa en lo relativo de lo observado. Este tipo de lógica toma dos valores aleatorios, pero contextualizados y referidos entre sí. La lógica difusa se adapta mejor al mundo real, e incluso puede comprender y funcionar con nuestras expresiones, del tipo "hace mucho calor", "no es muy alto", "el ritmo del corazón está un poco acelerado". La clave de esta adaptación al lenguaje, se basa en comprender los cuantificadores de nuestro lenguaje (como por ejemplo, "mucho", "muy", "un poco").

Un subconjunto difuso, es un conjunto que puede contener elementos de forma parcial. Es decir que la propiedad $x \in A$ puede ser cierta con un grado de verdad. Se mide esta posibilidad de pertenencia con un número $\mu_A(x)$ entre 0 y 1, llamado grado de pertenencia de x a A . Si es 0.0, x no pertenece a A , si es 1.0, entonces $x \in A$, totalmente, y si $0.0 < \mu_A(x) < 1$, x pertenece a A de una manera parcial.

Un subconjunto A de B se caracteriza, por tanto, por esta función de pertenencia μ_A , de B en un rango $[0,1]$. Es preciso fijar el conjunto B para definir la función μ_A que a su vez define A . Por eso se habla de subconjunto difuso y no de conjunto difuso. μ_A es una proposición en el contexto de la lógica difusa, y no de la lógica usual binaria, que sólo admite dos valores: cierto o falso.

Un conjunto difuso puede representarse también gráficamente como una función, especialmente cuando el universo del dominio X es continuo (no discreto).⁶ Los ejes en su graficación serían los siguientes:

– Abscisas (eje X): Universo del dominio X .

⁶ Galindo Gómez J., "Conjuntos y Sistemas Difusos", Departamento de Lenguajes y Ciencias de la Computación, Universidad de Málaga (R.B. 12)

– Ordenadas (eje Y): Grados de pertenencia en el intervalo [0, 1].

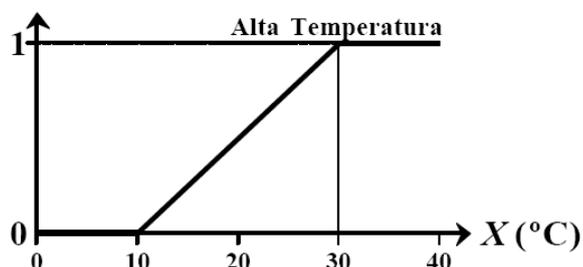


Figura. 2. 1 Ejemplo de graficación para un conjunto difuso “Temperatura Alta”⁶

2.1.3 Funciones de Pertenencia

Un conjunto difuso A se define como una Función de Pertenencia que enlaza o empareja los elementos de un dominio o Universo de discurso X con elementos del intervalo $[0, 1]$.

Cuanto más cerca esté $A(x)$ del valor 1, mayor será la pertenencia del objeto x al conjunto A . Los valores de pertenencia varían entre 0 (no pertenece en absoluto) y 1 (pertenencia total).⁶

Las Funciones de Pertenencia Típicas son las siguientes:

Triangular:

$$A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \\ (x-a)/(m-a) & \text{si } x \in (a, m] \\ (b-x)/(b-m) & \text{si } x \in (m, b) \\ 0 & \text{si } x \geq b \end{cases}$$

Donde:

a es el limite inferior

b es el limite superior

m el valor modal, tal que $a < m < b$

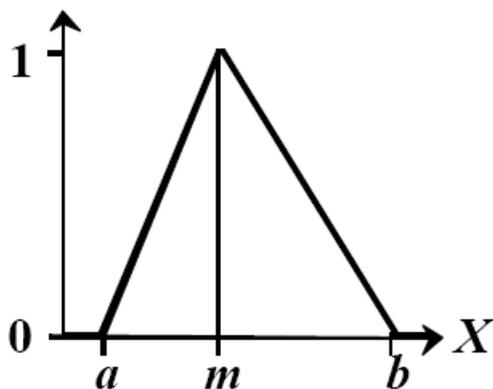


Figura. 2. 2 Ejemplo de Función de Pertenencia Triangular ⁶

Función G (gamma):

$$A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \\ 1 - e^{-k(x-a)^2} & \text{si } x > a \end{cases}$$

$$A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \\ \frac{k(x-a)^2}{1+k(x-a)^2} & \text{si } x > a \end{cases}$$

Donde:
a es el limite inferior
k es una constante dada mayor a 0
(k>0)

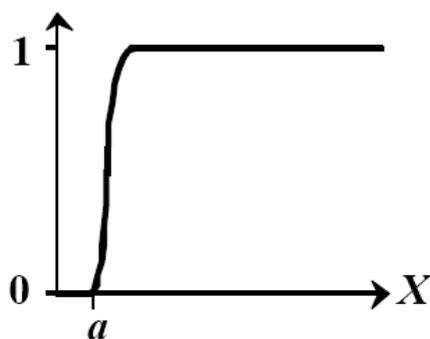


Figura. 2. 3 Ejemplo de Función de Pertenencia Gamma ⁶

La función G se caracteriza por un crecimiento rápido a partir del limite a. Mientras mayor es el valor de k, el crecimiento es más rápido aún. La función no toma el valor 1, aunque tienen una asíntota horizontal en 1 La función opuesta se llama *Función L*.

La aproximación lineal de la Función G es la siguiente:

$$A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \\ (x-a)/(m-a) & \text{si } x \in (a,m) \\ 1 & \text{si } x \geq m \end{cases}$$

Donde:
 m es el valor de x donde la función alcanza el valor de 1

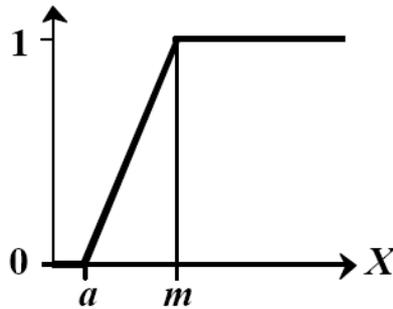


Figura. 2. 4 Ejemplo de Función de Pertenencia Gamma con aproximación lineal ⁶

Función S:

$$A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \\ 2 \{(x-a)/(b-a)\}^2 & \text{si } x \in (a,m) \\ 1 - 2 \{(x-b)/(b-a)\}^2 & \text{si } x \in (m,b) \\ 1 & \text{si } x \geq b \end{cases}$$

Donde:
 a es el límite inferior
 b es el límite superior
 m es el valor o punto de inflexión, tal que a < m < b

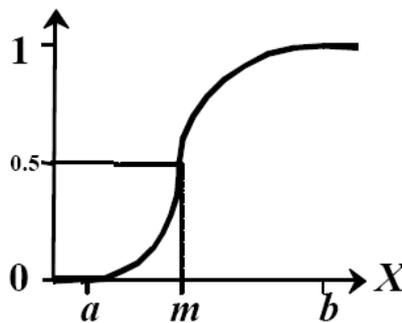


Figura. 2. 5 Ejemplo de Función de Pertenencia S ⁶

Un valor típico para m es $(a+b) / 2$. El crecimiento es más lento cuanto mayor sea la distancia entre a y b.

Función Gausiana:

$$A(x) = e^{-k(x-m)^2}$$

Donde:

m es el valor medio de la campana de gauss
k es una constante dada mayor a 0 ($k > 0$)

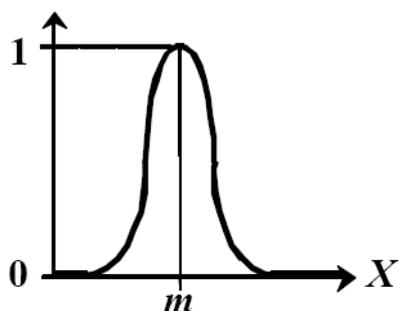


Figura. 2. 6 Ejemplo de Función de Pertenencia Gausiana ⁶

Mientras mayor sea k , más estrecha es la campana.

Función Trapezoidal:

$$A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } (x \leq a) \text{ o } (x \geq d) \\ (x-a)/(b-a) & \text{si } x \in (a,b] \\ 1 & \text{si } x \in (b,c) \\ (d-x)/(d-c) & \text{si } x \in (c,d) \end{cases}$$

Donde:

a es el limite inferior
d es el limite superior
b es el limite del soporte inferior
c es el limite del soporte superior

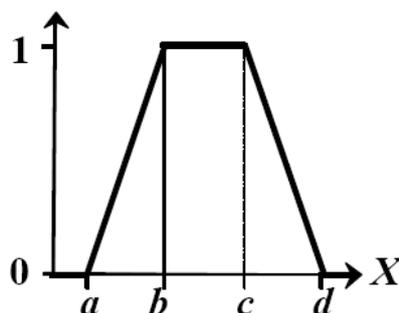


Figura. 2. 7 Ejemplo de Función de Pertenencia Trapezoidal ⁶

Función Pseudo-Exponencial:

$$A(x) = \frac{1}{1 + k(x - m)^2}$$

Donde:

m es el valor medio de la campana de gauss
 k es una constante dada mayor a 0 ($k > 1$)

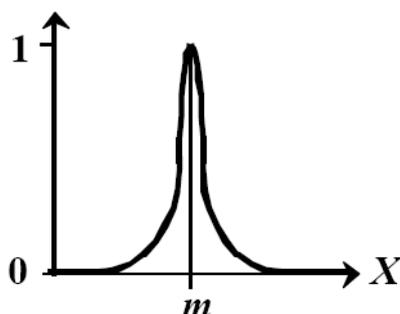


Figura. 2. 8 Ejemplo de Función de Pertenencia Pseudo-Exponencial ⁶

Mientras mayor sea el valor de k , el crecimiento es más rápido aún y la “campana” es más estrecha.

Función Trapecio Extendido:

Definida por los cuatro valores de un trapecio $[a, b, c, d]$, y una lista de puntos entre a y b , o entre c y d , con su valor de pertenencia asociado a cada uno de esos puntos. En general, la función Trapezoidal se adapta bastante bien a la definición de cualquier concepto, con la ventaja de su fácil definición, representación y simplicidad de cálculos. En casos particulares, el Trapecio Extendido puede ser de gran utilidad. Éste permite gran expresividad aumentando su complejidad.

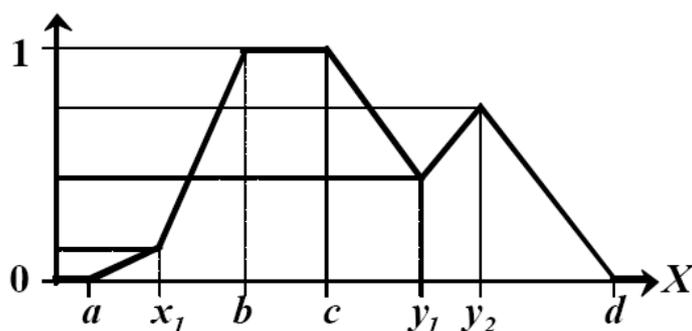


Figura. 2. 9 Ejemplo de Función de Pertenencia Trapecio Extendido ⁶

2.1.4 Aplicaciones

La lógica difusa se utiliza cuando la complejidad del proceso en cuestión es muy alta y no existen modelos matemáticos precisos, para procesos altamente no lineales y cuando se envuelven definiciones y conocimiento no estrictamente definido. Esta técnica se ha empleado con bastante éxito en la industria, principalmente en Japón, y cada vez se está usando en gran multitud de campos. La primera vez que se usó de forma importante fue en el metro japonés, con excelentes resultados.

A continuación se citan algunos ejemplos de su aplicación:

Control de sistemas: Control de tráfico, control de vehículos (Mejora en la eficiencia del uso de combustible en motores), control de compuertas en plantas hidroeléctricas, centrales térmicas, control en máquinas lavadoras, control de metros (mejora de su conducción, precisión en las paradas y ahorro de energía), ascensores, sistemas de control de acondicionadores de aire, electrodomésticos familiares (Frigoríficos, lavadoras).

Predicción y optimización: Predicción de terremotos, optimizar horarios.

Reconocimiento de patrones y Visión por ordenador: Seguimiento de objetos con cámara, reconocimiento de escritura manuscrita, reconocimiento de objetos, compensación de vibraciones en la cámara.

Sistemas de información o conocimiento: Bases de datos difusas: Almacenar y consultar información imprecisa, (lenguaje FSQL), sistemas expertos.

En recursos Naturales: La aplicación de la lógica difusa a los recursos naturales y la gestión de la ciencia es todavía relativamente nuevo. Otros campos de aplicación incluyen en la clasificación de teleobservación (Blonda 1996), la evaluación del riesgo ambiental (Holanda 1994), la fitosociología

(Moraczewski 1993a, 1993b), la geografía (Openshaw 1996), la investigación de ecosistemas (Salski y Sperlbaum 1991), y la evaluación ambiental (Smith 1995, 1997). Más aplicaciones específicas incluyen la captación de modelado (Anónimo 1994), Nube de clasificación (Baum et al. 1997), la evaluación de los nutrientes de las plantas de suministro (Hahn et al. 1995), el suelo de interpretación (Mays et al. 1997, y McBratney Odeh 1997), y Adecuación de tierras para la producción de cultivos (Ranst et al. 1996).⁷

2.2 FUNDAMENTOS DE LA LÓGICA DIFUSA A SER UTILIZADA

El siguiente diagrama muestra el proceso que tendrán los datos a fin de obtener el modelo de ubicación de las especies:

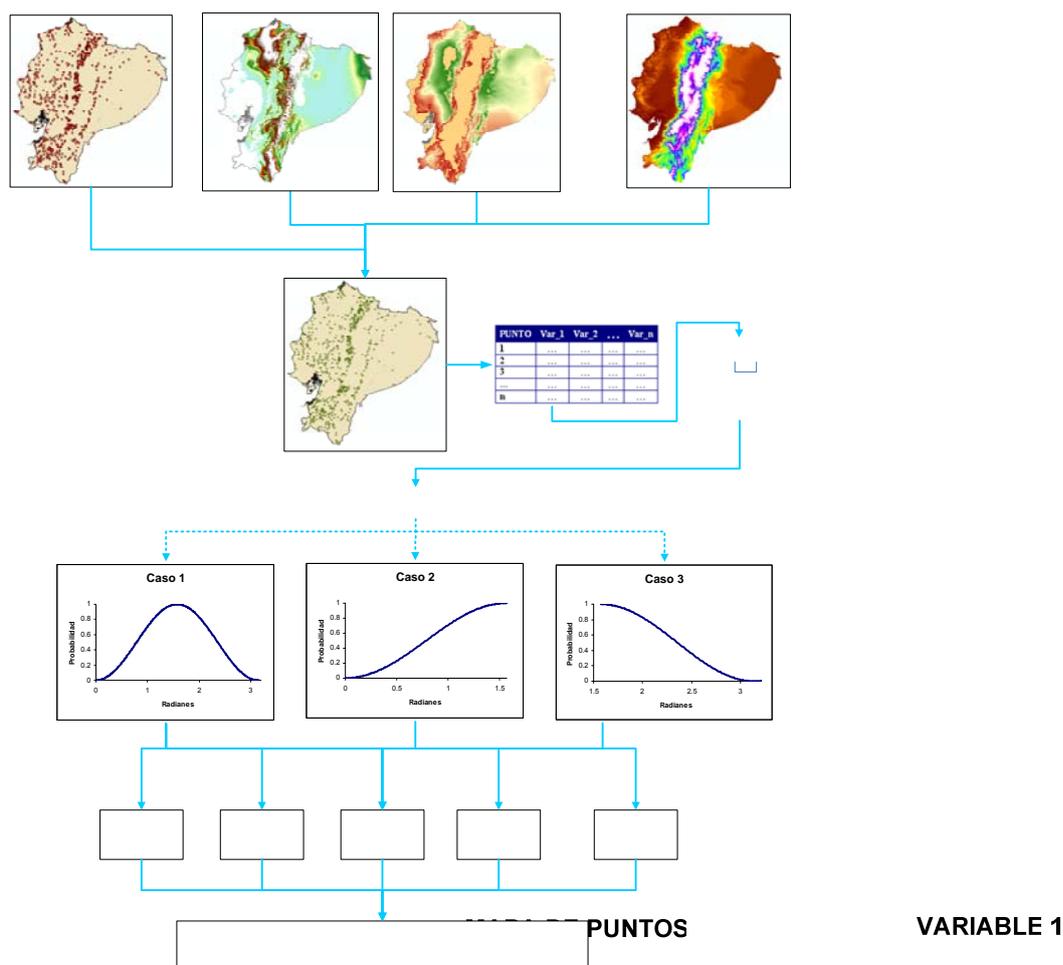


Figura. 2. 10 Diagrama general del proceso de la Lógica Difusa a desarrollar

⁷ Tomado de la Ayuda de Idrisi 32 (R.B. 3)

Para la aplicación a la cual se desea dar, es decir, para la ubicación de especies de Flora y Fauna, se ha desarrollado la siguiente metodología, basada en la curva seno cuadrado como función de pertenencia⁸. Se han desarrollado varios casos posibles con sus correspondientes funciones de pertenencia, a las cuales las variables pueden ajustarse, estos casos se exponen a detalle a continuación. Posteriormente, se desarrollara el algoritmo adecuado para aplicar la lógica Difusa para cada uno de los casos.

2.2.1 Función de pertenencia a ser utilizada

La metodología difusa se basa en el análisis y selección del caso particular de la variable que interactúa con el fenómeno o evento. Para esto analizaremos tres posibles escenarios o casos, a los cuales se pueden ajustar la probabilidad de presencia de la especie, según el evento del cual se este estudiando y su correspondiente variable.⁸

La curva principal, de la cual se derivaran los casos, es la curva del seno cuadrado, a fin de probar cuan adecuada puede ser esta para nuestros fines, dejando a un lado las curvas de pertenencia que pueden ser muy rígidas, y que sus aplicaciones ya han sido probadas.

Se usara la curva del seno cuadrado, para obtener una curva donde el rango sea de $[0,1,0]$, y no obtener valores negativos, como seria el caso de tomar la curva seno no cuadrática. El eje x se convierte en la probabilidad y el ángulo de la función, que se lo llamará α , estará en función de la variable del evento.⁸

⁸ Tomado de metodología desarrollado por Ing. Oswaldo Padilla, 2005 (R.B. 5)

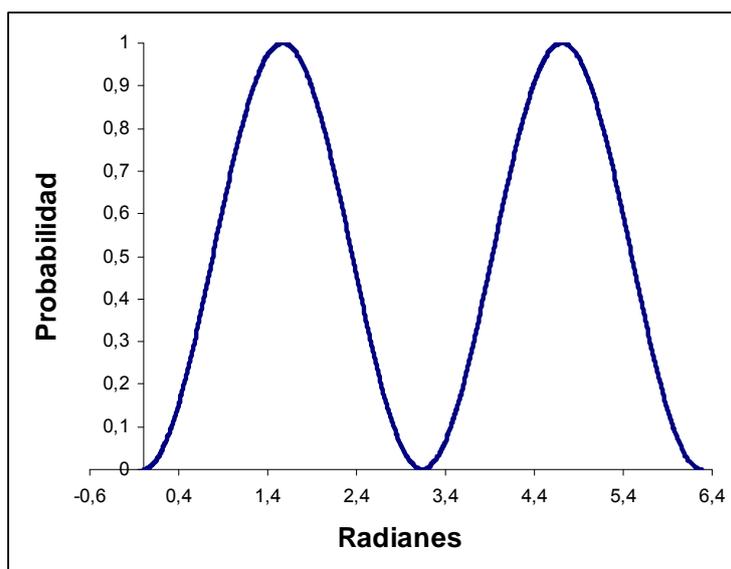


Figura. 2. 11 Función Seno Cuadrado

Siendo:

P = Probabilidad de ocurrencia del evento o fenómeno

α =variable en función del evento o fenómeno

Mínima $P = 0$ o 0%

Máxima $P = 1$ o 100%

2.2.1.1 Caso 1

Este caso contempla a la curva completa del seno cuadrado, que se encuentra en un rango de 0 a π radianes. Los eventos al cual corresponderían este caso, serian aquellos que durante su rango, la probabilidad de presencia de la especie crece desde 0 hasta un punto máximo 1, y posteriormente decrece nuevamente a 0.⁸

$$P = \text{Sen}^2 \alpha$$

$$\text{Rango} = [0 < \alpha < \pi]$$

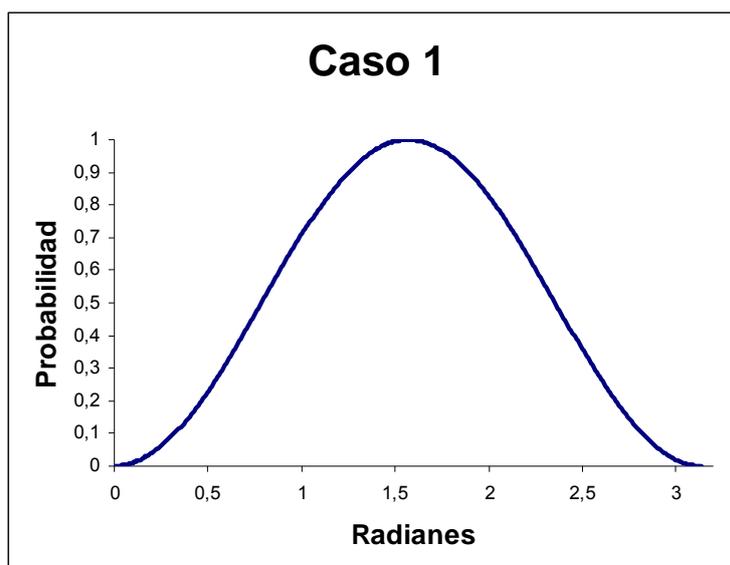


Figura. 2. 12 Función de Pertenencia Caso 1

2.2.1.2 Caso 2

Este caso contempla a la parte de la curva seno cuadrado, que se encuentra en un rango de 0 a $\pi/2$ radianes. Los eventos al cual corresponderían este caso, serían aquellos que durante su rango, la probabilidad de presencia de la especie crece desde 0 hasta un punto máximo 1, y este corresponde también al máximo de su rango.⁸

$$P = \text{Sen}^2 \alpha$$

$$\text{Rango} = [0 < \alpha < \pi/2]$$

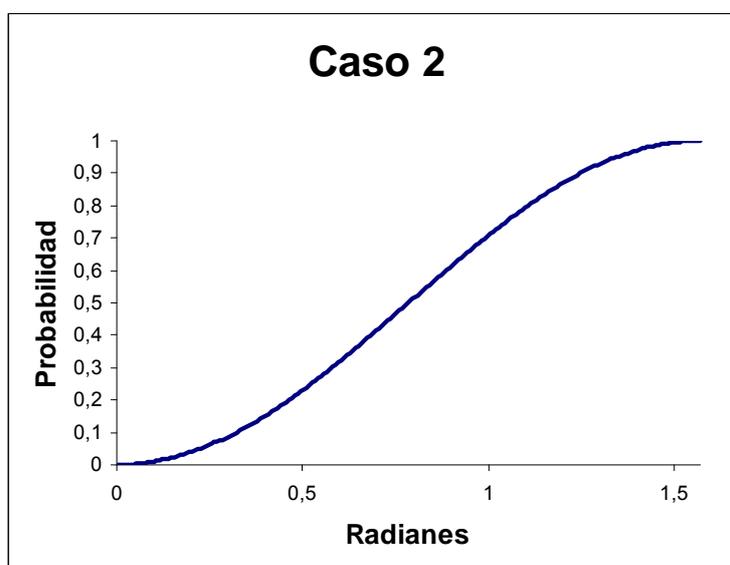


Figura. 2. 13 Función de Pertenencia Caso 2

2.2.1.3 Caso 3

Este caso contempla a la parte de la curva seno cuadrado, que se encuentra en un rango de $\pi/2$ a π radianes. Los eventos al cual corresponderían este caso, serían aquellos que durante su rango, la probabilidad de presencia de la especie decrece desde 1 hasta un punto mínimo 0, y este corresponde al máximo de su rango.⁸

$$P = \text{Sen}^2 \alpha$$

$$\text{Rango} = [\pi/2 < \alpha < \pi]$$

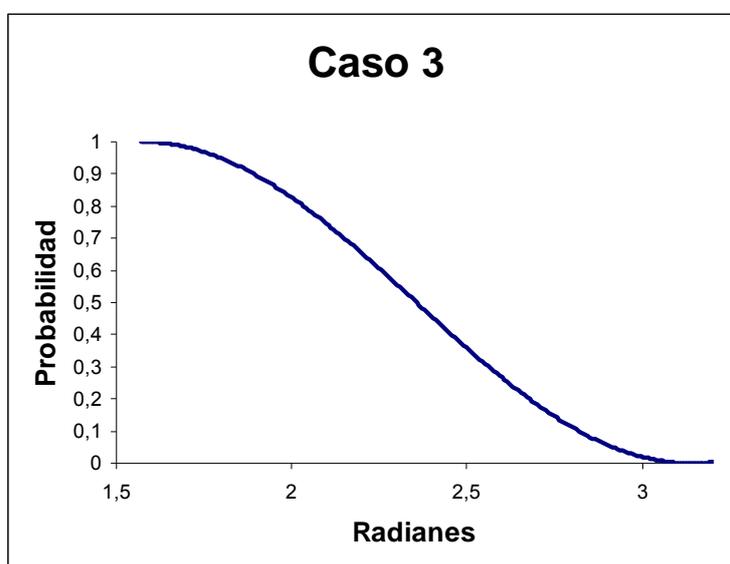


Figura. 2.14 Función de Pertenencia Caso 3

2.2.2 Primer Planteamiento del Algoritmo de la Lógica Difusa

Para el análisis, se situarán puntos a lo largo de la función que corresponden a los puntos de inflexión de la curva, a los puntos de inicio y final de la misma, y al punto máximo donde la probabilidad es 1. Estos puntos, junto con una recta que pasa por los mismos, paralelas al eje de las ordenadas, describirán zonas bajo la curva que serán analizadas.

2.2.2.1 Primer Análisis Caso 1

Los puntos de inflexión de la curva se calculan con la segunda derivada de la función:

$$P = \text{Sen}^2\alpha$$

$$P' = 2 * \text{Sen}\alpha * \text{Cos}\alpha$$

$$P'' = 2 * \text{Sen}\alpha * -\text{Sen}\alpha + 2 * \text{Cos}\alpha * \text{Cos}\alpha$$

$$P'' = 2(\text{Cos}^2\alpha - \text{Sen}^2\alpha)$$

$$\text{Cos}^2\alpha - \text{Sen}^2\alpha = 0$$

$$1 - \text{Sen}^2\alpha - \text{Sen}^2\alpha = 0$$

$$1 - 2 * \text{Sen}^2\alpha = 0$$

$$\text{Sen}^2\alpha = 1/2$$

$$\alpha_1 = \pi/4$$

$$\alpha_2 = 3\pi/4$$

Por lo que tendremos los puntos,

$P_1 (A ; 0)$ → Punto de valor minino en la variable a modelar

$P_2 (B ; \pi/4)$ → Punto de inicio de la zona en la que existe mayor cantidad de datos de la variable

$P_3 (C ; 3\pi/4)$ → Punto de fin de la zona en la que existe mayor cantidad de datos de la variable

$P_4 (D ; \pi)$ → Punto de valor minino en la variable a modelar

$P_5 (E ; \pi/2)$ → Punto de valor máximo en la variable, siendo $E = \frac{B+C}{2}$

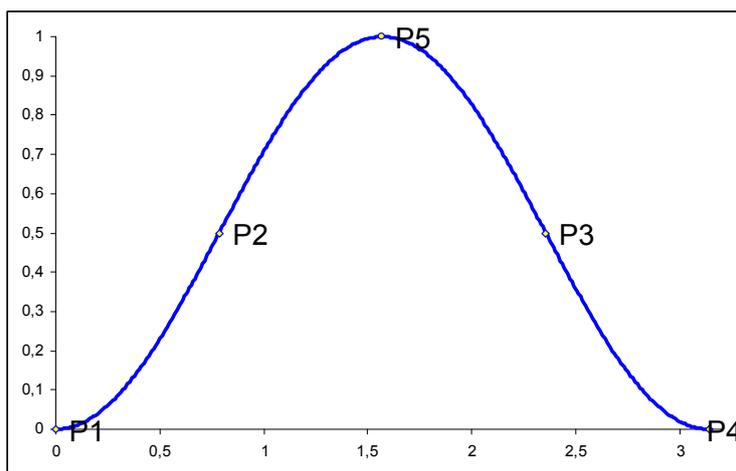


Figura. 2.15 Puntos de interés de la función de pertenencia - Caso 1

2.2.2.1.1 Sección P₁ P₂

Pertenece a la sección en la que existe menor cantidad de datos, en el principio de la función:

$$P_1 (A ; 0)$$

$$P_2 (B ; \pi/4)$$

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1)$$

Donde:

x valores de la variable de estudio V

y valores de la función seno cuadrado para la sección α

$$\alpha - 0 = \frac{\pi/4 - 0}{B - A} (V - A)$$

$$\alpha = \pi/4 * \frac{(V - A)}{(B - A)}$$

2.2.2.1.2 Sección P₂ P₅

Pertenece a la sección en la que existe mayor cantidad de datos, en el principio de la función:

$$P_2 (B ; \pi/4)$$

$$P_5 \left(\frac{B+C}{2} ; \pi/2 \right)$$

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1)$$

Donde:

x valores de la variable de estudio V
y valores de la función seno cuadrado para la sección α

$$\alpha - \pi/4 = \frac{\pi/2 - \pi/4}{\frac{B+C}{2} - B} (V - B)$$

$$\alpha = \pi/4 + \frac{\pi/2(V - B)}{C - B}$$

2.2.2.1.3 Sección P₅ P₃

Pertenece a la sección en la que existe mayor cantidad de datos, en el final de la función:

$$P_5 \left(\frac{B+C}{2} ; \pi/2 \right)$$

$$P_3 (C ; 3\pi/4)$$

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1)$$

Donde:

x valores de la variable de estudio V
y valores de la función seno cuadrado para la sección α

$$\alpha - \pi/2 = \frac{3\pi/4 - \pi/2}{C - \frac{B+C}{2}} \left(V - \frac{B+C}{2} \right)$$

$$\alpha = \pi/2 + \frac{\pi/4(2V - B - C)}{C - B}$$

2.2.2.1.4 Sección P₃ P₄

Pertenece a la sección en la que existe menor cantidad de datos, en el final de la función:

$P_3 (C ; 3\pi/4)$

$P_4 (D ; \pi)$

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1)$$

Donde:

x valores de la variable de estudio V
y valores de la función seno cuadrado para la sección α

$$\alpha - 3\pi/4 = \frac{\pi - 3\pi/4}{D - C} (V - C)$$

$$\alpha = 3\pi/4 + \frac{\pi/4(V - C)}{D - C}$$

2.2.2.2 Primer Análisis Caso 2

Los puntos de inflexión de la curva se tomaran del Caso 1, siendo los puntos de interés los siguientes:

$P_1 (A ; 0)$

$P_2 (B ; \pi/4)$

$P_3 (C ; \pi/2)$

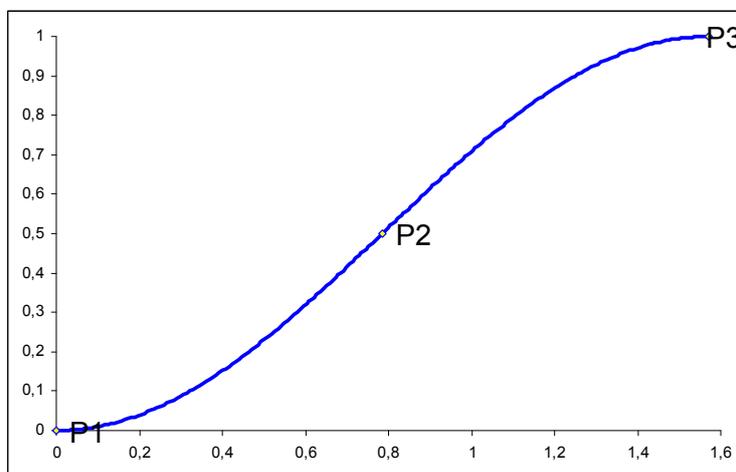


Figura. 2. 16 Puntos de interés de la función de pertenencia - Caso 2

2.2.2.2.1 Sección $P_1 P_2$

Pertenece a la sección en la que existe menor cantidad de datos.

$$P_1(A; 0)$$

$$P_2(B; \pi/4)$$

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x - x_1)$$

$$\alpha - 0 = \frac{\pi/4 - 0}{B - A}(V - A)$$

$$\alpha = \frac{\pi/4(V - A)}{B - A}$$

Donde:

x valores de la variable de estudio V
y valores de la función seno cuadrado para
la sección α

2.2.2.2.2 Sección P₂ P₃

Pertenece a la sección en la que existe menor cantidad de datos

$$P_2(B; \pi/4)$$

$$P_3(C; \pi/2)$$

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x - x_1)$$

$$\alpha - \pi/4 = \frac{\pi/2 - \pi/4}{C - B}(V - B)$$

$$\alpha = \pi/4 + \frac{\pi/4(V - B)}{C - B}$$

Donde:

x valores de la variable de estudio V
y valores de la función seno cuadrado para
la sección α

2.2.2.4 Primer Análisis Caso 3

Los puntos de inflexión de la curva se tomarán del Caso 1, siendo los puntos de interés los siguientes:

$$P_1(A; \pi/2)$$

$$P_2(B; 3\pi/4)$$

$$P_3(C; \pi)$$

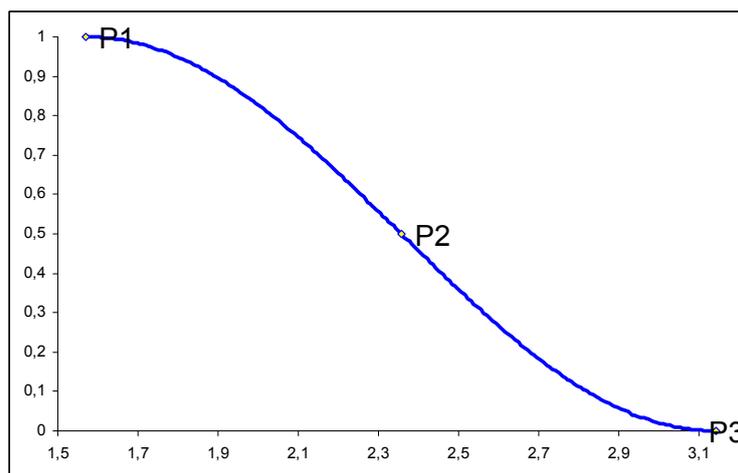


Figura. 2. 17 Pontos de interés de la función de pertenencia - Caso 3

2.2.2.4.1 Sección P₁ P₂

P₁ (A ; π/2)

P₂ (B ; 3π/4)

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1)$$

Donde:

x valores de la variable de estudio V
y valores de la función seno cuadrado para
la sección α

$$\alpha - \pi/2 = \frac{3\pi/4 - \pi/2}{B - A} (V - A)$$

$$\alpha = \pi/2 + \frac{\pi/4(V - A)}{B - A}$$

2.2.2.4.2 Sección P₂ P₃

P₂ (B ; 3π/4)

P₃ (C ; π)

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1)$$

Donde:

x valores de la variable de estudio V
y valores de la función seno
cuadrado para la sección α

$$\alpha - 3\pi/4 = \frac{\pi - 3\pi/4}{C - B} (V - B)$$

$$\alpha = 3\pi/4 + \frac{\pi/4(V - B)}{C - B}$$

2.2.3 Segundo Planteamiento del Algoritmo de la Lógica Difusa

Para este planteamiento se colocan dos puntos adicionales al análisis anterior, que serán los correspondientes a los valores del 5% o el 95% de probabilidad de presencia (a modo de prueba), dependiendo del caso de análisis, para los valores que no se encuentran en los rangos determinados por los puntos de ubicación de la especie, de modo que estos no serán asignados a NoData o cero. Este segundo planteamiento nace del interés de no restringir a los valores máximos y mínimos, la probabilidad de presencia de la especie, tomando en cuenta que no se cuenta con todo el universo de los datos sobre la especie.

2.2.3.1 Segundo Análisis Caso 1

Se calcula para este caso cual sería el valor de α para el 5% de probabilidad. Estos puntos son los siguientes:

$$\begin{aligned} \text{Sen}^2 \alpha &= 0.05 \\ \text{Sen} \alpha &= \sqrt{0.05} \\ \alpha_1 &= 0.07117625\pi \\ \alpha_2 &= 0.92882375\pi \end{aligned}$$

Por lo que tendremos los puntos,

- | | |
|---------------------|--|
| $P_1 (A ; 0)$ | → Punto de valor mínimo en la variable a modelar |
| $P_6 (F ; 0.07\pi)$ | → Punto de correspondencia al 5% de la variable a modelar |
| $P_2 (B ; \pi/4)$ | → Punto de inicio de la zona en la que existe mayor cantidad de datos de la variable |
| $P_3 (C ; 3\pi/4)$ | → Punto de fin de la zona en la que existe mayor cantidad de datos de la variable |
| $P_4 (D ; \pi)$ | → Punto de valor máximo en la variable a modelar |
| $P_7 (G ; 0.93\pi)$ | → Punto de correspondencia al 5% de la variable a modelar |

$P_5(E; \pi/2)$ → Punto de valor máximo en la variable, siendo $E = \frac{B+C}{2}$

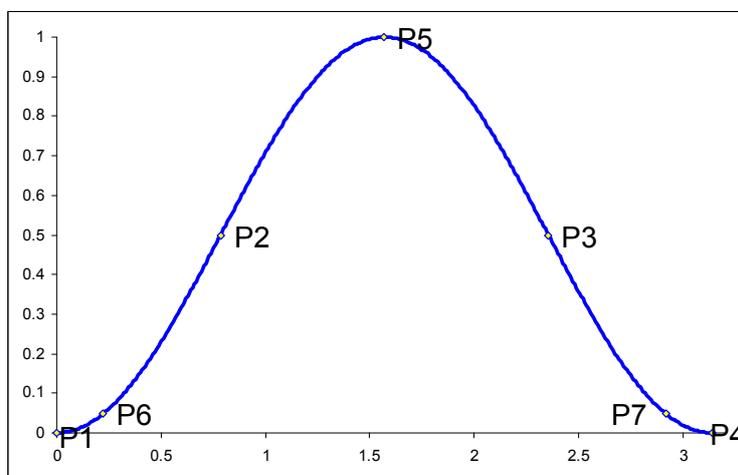


Figura. 2. 18 Puntos de interés de la función de pertenencia - Caso 1

2.2.3.1.1 Sección P_1 P_6

Pertenece a la sección en la que se encuentra el 5% de probabilidad de presencia y que no esta dentro del intervalo de valores encontrados para la especie:

$$P_1(A ; 0)$$

$$P_6(F ; 0.07\pi)$$

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1)$$

Donde:

x valores de la variable de estudio V
y valores de la función seno cuadrado para la sección α

$$\alpha - 0 = \frac{0.07\pi - 0}{F - A} (V - A)$$

$$\alpha = 0.07\pi * \frac{(V - A)}{(F - A)}$$

2.2.3.1.2 Sección P_6 P_2

Pertenece a la sección en la que existe menor cantidad de datos, en el principio de la función:

$$P_6(F; 0.07\pi)$$

$$P_2(B; \pi/4)$$

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1)$$

$$\alpha - 0.07\pi = \frac{\pi/4 - 0.07\pi}{B - F} (V - F)$$

$$\alpha = 0.07\pi + \frac{0.18\pi * (V - F)}{(B - F)}$$

Donde:

x valores de la variable de estudio V
y valores de la función seno cuadrado para la sección α

2.2.3.1.3 Sección P₂ P₅

Pertenece a la sección en la que existe mayor cantidad de datos, en el principio de la función:

$$P_2(B; \pi/4)$$

$$P_5\left(\frac{B+C}{2}; \pi/2\right)$$

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1)$$

$$\alpha - \pi/4 = \frac{\pi/2 - \pi/4}{\frac{B+C}{2} - B} (V - B)$$

$$\alpha = \pi/4 + \frac{\pi/2(V - B)}{C - B}$$

Donde:

x valores de la variable de estudio V
y valores de la función seno cuadrado para la sección α

2.2.3.1.4 Sección P₅ P₃

Pertenece a la sección en la que existe mayor cantidad de datos, en el final de la función:

$$P_5\left(\frac{B+C}{2}; \pi/2\right)$$

$$P_3(C; 3\pi/4)$$

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1)$$

Donde:

x valores de la variable de estudio V
y valores de la función seno cuadrado para la sección α

$$\alpha - \pi/2 = \frac{3\pi/4 - \pi/2}{C - \frac{B+C}{2}} \left(V - \frac{B+C}{2} \right)$$

$$\alpha = \pi/2 + \frac{\pi/4(2V - B - C)}{C - B}$$

2.2.3.1.5 Sección P₃ P₇

Pertenece a la sección en la que existe menor cantidad de datos, en el final de la función:

$$P_3 (C ; 3\pi/4)$$

$$P_7 (G ; 0.93\pi)$$

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1)$$

Donde:

x valores de la variable de estudio V
y valores de la función seno cuadrado para la sección α

$$\alpha - 3\pi/4 = \frac{0.93\pi - 3\pi/4}{G - C} (V - C)$$

$$\alpha = 3\pi/4 + \frac{0.18\pi * (V - C)}{G - C}$$

2.2.3.1.6 Sección P₇ P₄

Pertenece a la sección en la que existe menor cantidad de datos, en el principio de la función:

$$P_7 (G ; 0.93\pi)$$

$$P_4 (D ; \pi)$$

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1)$$

Donde:

x valores de la variable de estudio V
y valores de la función seno cuadrado para la sección α

$$\alpha - 0.93\pi = \frac{\pi - 0.93\pi}{D - G} (V - G)$$

$$\alpha = 0.93\pi + \frac{0.07\pi * (V - G)}{(D - G)}$$

2.2.3.2 Segundo Análisis Caso 2

El primer punto del 5% se conserva, pero el punto adicional al fin de la curva, se añade al 95%, debido a que estos se encuentran muy cerca del 100% de probabilidad de presencia. Los puntos son:

$$\text{Sen}^2 \alpha = 0.95$$

$$\text{Sen} \alpha = \sqrt{0.95}$$

$$\alpha_1 = 0.42821685\pi$$

$$\alpha_2 = 0.57178315\pi$$

$P_1 (A ; 0)$

$P_4 (D ; 0.07\pi)$

$P_2 (B ; \pi/4)$

$P_3 (C ; \pi/2)$

$P_5 (E ; 0.57\pi)$

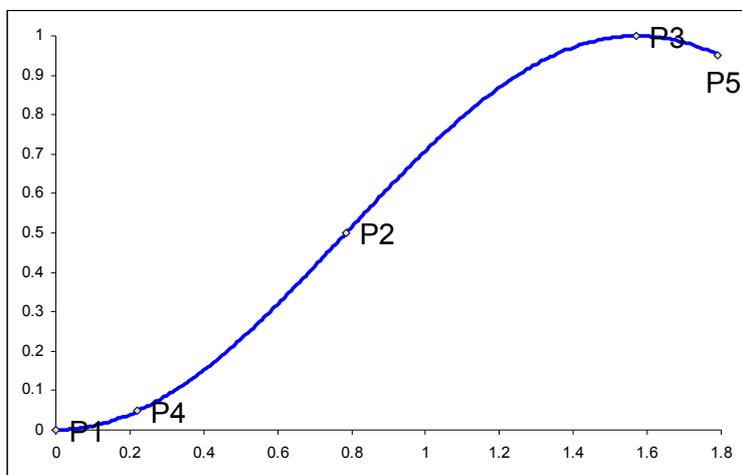


Figura. 2. 19 Puntos de interés de la función de pertenencia - Caso 2

2.2.3.2.1 Sección $P_1 P_4$

Pertenece a la sección en la que se encuentra el 5% de probabilidad de presencia y que no está dentro del intervalo de valores encontrados para la especie:

$$P_1 (A ; 0)$$

$$P_4 (D ; 0.07\pi)$$

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1)$$

$$\alpha - 0 = \frac{0.07\pi - 0}{D - A} (V - A)$$

$$\alpha = \frac{0.07\pi * (V - A)}{D - A}$$

Donde:

x valores de la variable de estudio V
y valores de la función seno cuadrado para la sección α

2.2.3.2.2 Sección P₄ P₂

Pertenece a la sección en la que existe menor cantidad de datos

$$P_4 (D ; 0.07\pi)$$

$$P_2 (B ; \pi/4)$$

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1)$$

$$\alpha - 0.07\pi = \frac{\pi/4 - 0.07\pi}{B - D} (V - D)$$

$$\alpha = 0.07\pi + \frac{0.18\pi * (V - D)}{B - D}$$

Donde:

x valores de la variable de estudio V
y valores de la función seno cuadrado para la sección α

2.2.3.2.3 Sección P₂ P₃

Pertenece a la sección en la que existe mayor cantidad de datos

$$P_2 (B ; \pi/4)$$

$$P_3 (C ; \pi/2)$$

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1)$$

$$\alpha - \pi/4 = \frac{\pi/2 - \pi/4}{C - B} (V - B)$$

$$\alpha = \pi/4 + \frac{\pi/4 * (V - B)}{C - B}$$

Donde:

x valores de la variable de estudio V
y valores de la función seno cuadrado para la sección α

2.2.3.2.4 Sección P₃ P₅

Pertenece a la sección en la que existe menor cantidad de datos

$$P_3 (C ; \pi/2)$$

$$P_5 (E ; 0.57\pi)$$

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1)$$

$$\alpha - \pi/2 = \frac{0.57\pi - \pi/2}{E - C} (V - C)$$

$$\alpha = \pi/2 + \frac{0.07\pi * (V - C)}{E - C}$$

Donde:

x valores de la variable de estudio V
y valores de la función seno cuadrado para la sección α

2.2.3.3 Segundo Análisis Caso 3

El primer punto del 95% se conserva del caso anterior, pero el punto adicional al fin de la curva, se coloca el del 5. Los puntos son:

$$P_4 (D ; 0.43\pi)$$

$$P_1 (A ; \pi/2)$$

$$P_2 (B ; 3\pi/4)$$

$$P_5 (E ; 0.93\pi)$$

$$P_3 (C ; \pi)$$

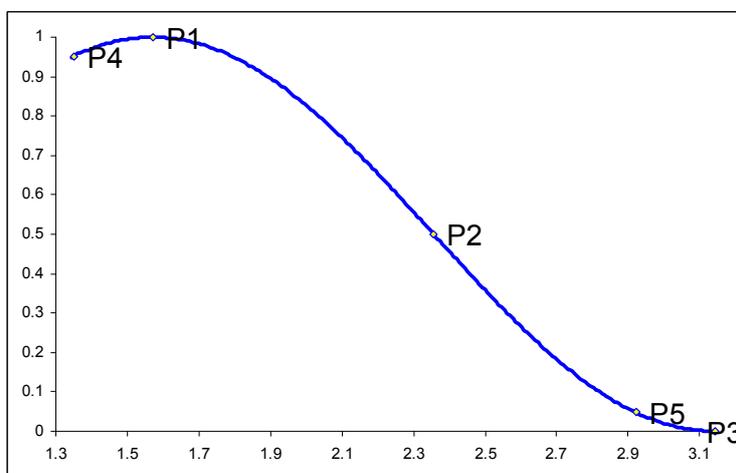


Figura. 2. 20 Puntos de interés de la función de pertenencia - Caso 3

2.2.3.3.1 Sección P₄ P₁

$$P_4 (D ; 0.43\pi)$$

$$P_1 (A ; \pi/2)$$

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1)$$

$$\alpha - 0.43\pi = \frac{\pi/2 - 0.43\pi}{A - D} (V - D)$$

$$\alpha = 0.43\pi + \frac{0.07\pi * (V - D)}{A - D}$$

Donde:

x valores de la variable de estudio V
y valores de la función seno cuadrado para la sección α

2.2.3.3.2 Sección P₁ P₂

$$P_1 (A ; \pi/2)$$

$$P_2 (B ; 3\pi/4)$$

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1)$$

$$\alpha - \pi/2 = \frac{3\pi/4 - \pi/2}{B - A} (V - A)$$

$$\alpha = \pi/2 + \frac{\pi/4 * (V - A)}{B - A}$$

Donde:

x valores de la variable de estudio V
y valores de la función seno cuadrado para la sección α

2.2.3.3.3 Sección P₂ P₅

$$P_2 (B ; 3\pi/4)$$

$$P_5 (E ; 0.93\pi)$$

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1)$$

$$\alpha - 3\pi/4 = \frac{0.93\pi - 3\pi/4}{E - B} (V - B)$$

$$\alpha = 3\pi/4 + \frac{0.18\pi * (V - B)}{E - B}$$

Donde:

x valores de la variable de estudio V
y valores de la función seno cuadrado para la sección α

2.2.3.3.4 Sección P₅ P₃

$$P_5 (E ; 0.93\pi)$$

$$P_3 (C ; \pi)$$

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1)$$

Donde:

x valores de la variable de estudio V
y valores de la función seno
cuadrado para la sección α

$$\alpha - 0.93\pi = \frac{\pi - 0.93\pi}{C - E} (V - E)$$

$$\alpha = 0.93\pi + \frac{0.07\pi * (V - E)}{C - E}$$

2.2.4 Obtención del Modelo de Probabilidad de Presencia de las Especies

Una vez obtenidas las probabilidades de presencia de la especie, para cada variable, se analiza cual será el proceso que se le dará a estos resultados para obtener el modelo final. Como se ha planteado la metodología preliminar, la opción mas factible es el obtener la media simple de los resultados, debido a que los valores que no se encuentran dentro de los rangos obtenidos de los puntos de presencia de las especies, son convertidos en NoData o cero.

Inicialmente se pensó en realizar la multiplicación y normalización como procedimiento final, el problema de esta aplicación es que tal como se ha planteado la primera metodología, los valores que no entran en el intervalo obtenido de los puntos para cada variable, y que son traducidos a los puntos máximos de las funciones de pertenencia para cada uno de los casos, son excluidos. Por lo de aplicarse la multiplicación de los resultados, se obtendría como resultado, una gran zona con valores excluidos, siendo esto poco apropiado, ya que no se podría descartar la presencia del evento en el área únicamente porque una variable la excluya. Para poder aplicar el procedimiento de multiplicación de los resultados, se ha corregido ligeramente la metodología para el segundo planteamiento, por lo que, con este planteamiento, se probó nuevamente la multiplicación, sin obtener resultados favorables.

2.3 ANÁLISIS DE OTROS MÉTODOS GEOESTADÍSTICOS EXISTENTES

La evaluación de reservas minerales útiles, fue la actividad fundamental que motivó a partir de la década del 50, la aplicación de la teoría de Funciones Aleatorias al reconocimiento y estimación de fenómenos naturales. Así surge la Geoestadística, término concebido por G. Matheron a partir de trabajos previos de H. Sichel, D.G. Krige, y B. Matern, que se desarrolla y consolida en los últimos 30 años como ciencia aplicada y que da respuesta a necesidades prácticas y concretas. La Geoestadística, estudia las variables distribuidas espacialmente, partiendo de una muestra representativa del fenómeno en estudio, utilizando como elemento fundamental el análisis de la distribución espacial de información disponible.⁹

En la actualidad los dominios de aplicación de la Geoestadística son amplios, sin hacer referencia directamente a la minería que es el campo que le dio origen, se pueden mencionar: el petróleo, en la caracterización de reservorios, en la simulación condicional de variables petrofísicas, en el uso de la sísmica en las estimaciones. En la pesca, en la estimación de provisiones de peces, de variables condicionantes, profundidad, temperatura del agua. En la geofísica marina, en los problemas de filtrar perturbaciones temporales que mezclan el magnetismo espacial, en las características de su cartografía. La Salud: en la distribución espacial de enfermedades, en la exposición de individuos a diversos ruidos. La ingeniería civil, en la construcción de obras de grandes dimensiones, que exigen del conocimiento de la variabilidad espacial de propiedades del terreno. Las finanzas, en la relación entre el análisis técnico con el análisis económico. Los materiales, en la previsión de propiedades físicas de los materiales. En la cartografía, la hidrogeología, el medio ambiente, los campos forestales, el análisis de imágenes, la elección de la red de muestreo.⁹

Los métodos de regresión buscan ajustar los valores a una curva en particular, en el presente caso se analizaran a breves rasgos la Regresión Lineal y la Binary Logistic. Ya que el presente proyecto se centra en la comparación de

⁹ Tomado de "La Geodesia, su Surgimiento y Evolución", Quintín, José (R.B.19)

sus resultados con la metodología Difusa desarrollada, y estos métodos son los que actualmente se utilizan en la Geoestadística, estos métodos no serán analizados profundamente, sino los resultados que presenten. Adicionalmente se hará un análisis del Método MARS, que por su desarrollo, plantea un ejemplo de investigación científica e innovación, con grandes resultados.

2.3.1 Regresión Lineal

La Regresión Lineal estima los coeficientes de ajuste a una ecuación lineal $y = a + b.x$, de una o mas variables independientes, calculando la mejor predicción para la variable dependiente.

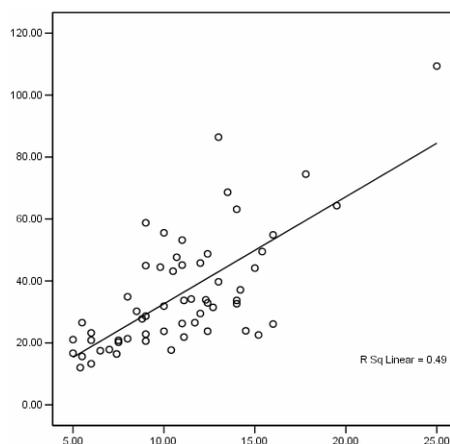


Figura. 2. 21 Ejemplo de Regresión Lineal¹⁰

El uso del Software SPSS, nos permite realizar esta Regresión bajo varios métodos de ingresos de las variables independientes, y devuelve un informe completo de los resultados del modelo calculado, los valores de b de la ecuación, que finalmente se deberá aplicar para la determinación de la probabilidad de presencia. La ecuación de aplicación es:

$$y = \text{const.} + \text{variable}_1 * b_1 + \dots + \text{variable}_n * b_n$$

Los métodos de ingreso de las variables que se utilizaran son el método Enter y el Método Stepwise, cuya diferencia radica en que el método Enter

¹⁰ Tomado del Tutorial del Software SPSS 15.0 (R.B. 6)

introduce todas las variables independientes y calcula la regresión, mientras que el método Stepwise ingresa variable por variable y determina una regresión para cada caso de interacción entre las variables.

Se debe tomar en cuenta, que esta Regresión no toma en cuenta en el proceso a variables cuya correlación con otras variables sea demasiado alta o baja.

2.3.2 Binary Logistic

La Regresión Binary Logistic, es muy usada cuando lo que se quiere obtener o modelar es la probabilidad de un evento categorizado, con dos posibles resultados. En nuestro caso, estas dos categorías se traducen en la Presencia o Ausencia de la especie.

La ecuación de la que se hace uso para el ajuste de este método es la siguiente:

$$y = \frac{1}{1 + e^{-(const.+variable_1*b_1+...+variable_n*b_n)}}$$

Esta Regresión se puede calcular, al igual que la Regresión Lineal, mediante el Software SPSS, la cual da como resultado un informe del modelo encontrado y la Tabla. con los valores de b.

Cabe destacar, que los puntos de Ausencia, en los que se tendrá los valores de cero, se ubican aleatoriamente en la zona de estudio, es decir, no se tiene una certeza de que en esos lugares en los que es colocado el punto, no se encuentre la especie, lo que representa ya un error de análisis inicial.

Al igual que la Regresión Lineal, esta restringe el uso de las variables cuya correlación es demasiado alta o baja con las demás variables.

2.3.3 Método MARS

MARS, cuyas siglas significan Multivariate Adaptive Regression Splines, fue desarrollado en los años 90s por el renombrado físico y estadista Jerome Friedman, de la Universidad de Stanford. Friedman ha aportado una notable variedad de temas y metodologías para la minería de datos y aprendizaje automático durante los últimos 25 años. Es el ganador de la SIGKDD 2002 Innovation Award, para muchos, un “Premio Nobel” en minería.

El método MARS plantea un análisis completo de las variables y su correspondiente importancia para la predicción del evento. Adicionalmente, no se ajusta a una única curva, sino que más bien, plantea la división por zonas y su correspondiente ajuste, lo que mejora los resultados.

El ejemplo de la figura 2.22 muestra como se ajusta el modelo a los puntos, formando una especie de splines, siendo estas ajustadas a una recta.

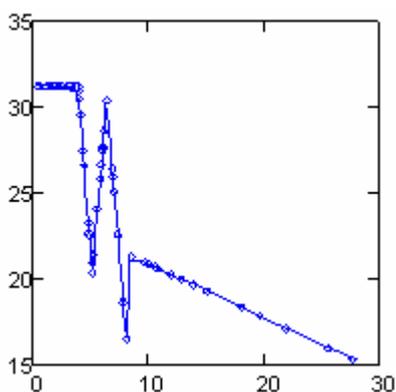


Figura. 2. 22 Ejemplo del Ajuste del Método MARS¹¹

El Software MARS 2.0 para Windows, realiza este análisis y devuelve como resultado una serie de información sobre el modelo encontrado, y de este, las ecuaciones para aplicarlo, pudiendo ser llevado casi en su integridad a la Calculadora de Raster de ArcGis, y calcular el modelo final.

¹¹ Tomado de la Ayuda de MARS 2.0 (R.B. 7)

CAPITULO 3

ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE DATOS BASE

3.1 ALMANAQUE ELECTRÓNICO ECUATORIANO

El Almanaque Electrónico Ecuatoriano (AEE), publicado en noviembre del 2002, fue desarrollado por Fundación Jatun Sacha, CDC-Ecuador, Escuela Politécnica del Ejército, Sustainable Maize and Wheat Systems for the Poor (CIMMYT), Mud Springs Geographers INC; contiene información espacial y alfanumérica, referente a los siguientes temas:

Limites Políticos:

- Información Provincial
- Información Cantonal
- Información Parroquial
- Centros Poblados

Aspectos Físicos:

- Aspecto
- Geológico
- Geomorfológico

Uso del Suelo

- Cobertura Vegetal y Uso Actual del Suelo
- Suelo
- Sistema Nacional de Áreas Protegidas

Vías y Accesos

- Poblaciones para el modelo de Accesibilidad

- Ríos Navegables

- Vías Principales

- Vías Totales

- Accesibilidad

Regionalización

- Uso Potencial

- Regiones

Hidrografía

- Sistema Hídrico

- Subsistema Hídrico

- Cuencas

- Subcuencas

- Microcuencas

- Ríos Dobles, Red Hidrográfica

- Ríos Dobles

- Red Hidrográfica

Agricultura

Demográfico

- Ciudades

- Densidad de Población

- Población Provincial

- Centros Poblados

- Datos a Nivel Cantonal

Estaciones Meteorológicas

- Estaciones Meteorológicas

Peligros Naturales

Pv. Caída de Cenizas Menor Peligro

Pv. Caída de Cenizas Mayor Peligro

Pv. Fluidos de lodos

Inundaciones

Peligros Sísmicos

Socio-Economía

Índices Rurales

Topografía

Curvas de Nivel

Pendientes

Modelo de Elevación

Colrelief.jpg

Clima

Datos Climáticos Anuales

Los datos vectoriales están en formato Shape de ESRI, sistema de referencia PSAD56, coordenadas UTM 17S, las longitudes se dan en metros y las áreas en metros cuadrados. Las instituciones que aportaron con información para el Almanaque Electrónico Ecuatoriano fueron:

- ❖ Alianza Jatun Sacha – Centro de Datos para la Conservación (CDC) – Ecuador
- ❖ Banco Mundial
- ❖ Centro Internacional de la Papa (CIP)
- ❖ Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT.INT) Mexico D.F-Mexico
- ❖ Ministerio de Agricultura(MAG)
Proyecto MAG – ICA – CLIRSEN
Dirección Nacional de Recursos Naturales (DINAREN)

- ❖ Fundación Ecuatoriana de Estudios Ecológicos (ECOCIENCIA)
- ❖ Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC)
- ❖ Oak Ridge National Laboratory (ORNL)
- ❖ Proyecto: Zonificación y Determinación de los tipos de Vegetación del Bosque Seco de el Sur Occidente de la Provincia de Loja
CINFA – Herbario Universidad Nacional de Loja
UNISIG de la Escuela Politécnica Nacional
- ❖ Proyecto Diversidad Forestal de la Cuenca del Río Paute (DIMORFA)
Universidad de Azuay

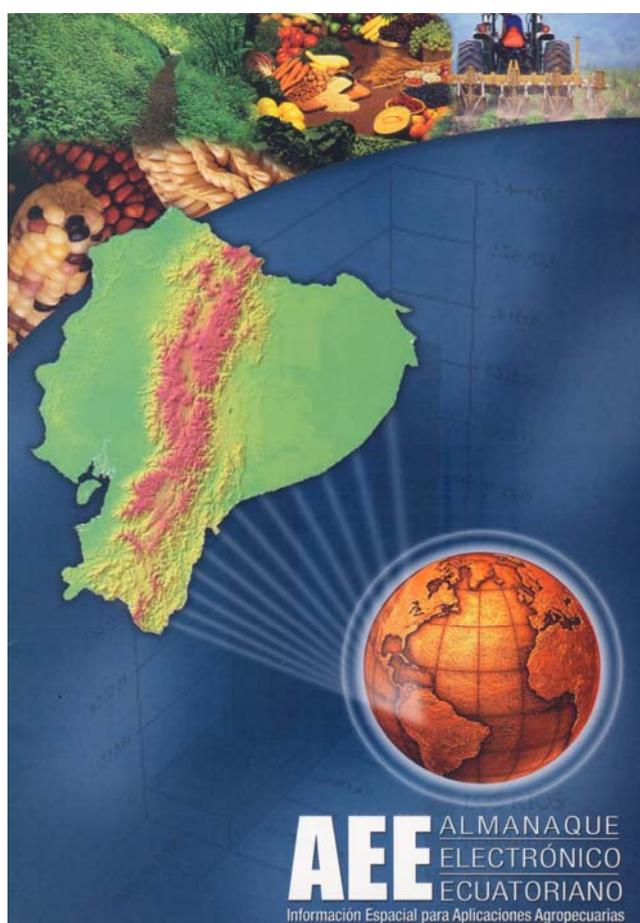


Figura. 3. 1 Portada del informe del Almanaque Electrónico Ecuatoriano

3.1.1 Datos a ser usados del Almanaque Electrónico Ecuatoriano

La determinación de las variables, esta basada en la información de los diferentes factores que podemos obtener del Almanaque Electrónico Ecuatoriano, y de la interacción que tienen estos con la flora y fauna, por lo que se debe

seleccionar cual de estos factores del AEE van a intervenir en el modelo de ubicación de las especies en función si existe una interacción importante, insignificante o nula, a continuación se muestra la Tabla 3.1 con la información y su interacción con la flora y la fauna:

DATOS		INTERACCIÓN
Limites Políticos:		
	Información Provincial	INSIGNIFICANTE O NULA
	Información Cantonal	INSIGNIFICANTE O NULA
	Información Parroquial	INSIGNIFICANTE O NULA
	Centros Poblados	APLICA
Aspectos Físicos:		
	Aspecto	INSIGNIFICANTE O NULA
	Geológico	NO APLICA
	Geomorfológico	NO APLICA
Uso del Suelo		
	Cobertura Vegetal y Uso Actual del Suelo	NO APLICA
	Suelo	NO APLICA
	Sistema Nacional de Áreas Protegidas	APLICA
Vías y Accesos		
	Poblaciones para el modelo de Accesibilidad	INSIGNIFICANTE O NULA
	Ríos Navegables	NO APLICA
	Vías Principales	NO APLICA
	Vías Totales	APLICA
	Accesibilidad	NO APLICA
Regionalización		
	Uso Potencial	INSIGNIFICANTE O NULA
	Regiones	INSIGNIFICANTE O NULA
Hidrografía		
	Sistema Hídrico	NO APLICA
	Subsistema Hídrico	NO APLICA
	Cuencas	NO APLICA
	Subcuencas	NO APLICA
	Microcuencas	NO APLICA
	Ríos Dobles, Red Hidrográfica	NO APLICA
	Ríos Dobles	NO APLICA
	Red Hidrográfica	APLICA
Demográfico		

	Ciudades	NO APLICA
	Densidad de Población	INSIGNIFICANTE O NULA
	Población Provincial	INSIGNIFICANTE O NULA
	Centros Poblados	NO APLICA
	Datos a Nivel Cantonal	NO APLICA
Estaciones Meteorológicas		
	Estaciones Meteorológicas	INSIGNIFICANTE O NULA
Peligros Naturales		
	Pv. Caída de Cenizas Menor Peligro	INSIGNIFICANTE O NULA
	Pv. Caída de Cenizas Mayor Peligro	INSIGNIFICANTE O NULA
	Pv. Fluidos de lodos	INSIGNIFICANTE O NULA
	Inundaciones	INSIGNIFICANTE O NULA
	Peligros Sísmicos	INSIGNIFICANTE O NULA
Socio-Economía		
	Índices Rurales	INSIGNIFICANTE O NULA
Topografía		
	Curvas de Nivel	NO APLICA
	Pendientes	APLICA
	Modelo de Elevación	APLICA
	Colrelief.jpg	NO APLICA
Clima		
	Datos Climáticos Anuales	NO APLICA

Tabla. 3. 1 Interacción de la información del AEE y la presencia de las especies

Las interacciones expresadas como “Insignificante o nula”, son aquellas que no influyen en la distribución de las especies de flora y fauna. Las interacciones denominadas como “No Aplica”, son datos que aunque tienen una interacción con la presencia de la especie, no serán tomados en cuenta por ser variables no continuas o por tener datos ya incluidos en otros. Los citados como “Aplica”, son aquellos que serán utilizados para generar las variables que serán usadas en el proceso, y estas se muestran en la Tabla 3.1 a continuación:

INFORMACIÓN	VARIABLE
Centros Poblados	Distancia a Centros Poblados
Sistema Nacional de Áreas Protegidas	Distancia a SNAP

Vías Totales	Distancia a Vías
Red Hidrográfica	Distancia a Red hidrográfica
Pendientes	Pendiente
Modelo de Elevación	Elevación

Tabla. 3. 2 Información y Variables del AEE a ser utilizada en la metodología

3.1.2 Análisis de los datos a ser utilizados del AEE

3.1.2.1 Centros Poblados

El origen de estos datos fue del DINAREN (Dirección Nacional de Recursos Naturales). Su Tabla. tiene los campos “AREA”, “DESC PROV” y “NOMBRE”. Contiene el nombre de cada centro poblado, dentro de la descripción provincial están los nombres de la provincia a la que pertenece cada uno.¹² Sus características de muestran en la Tabla 3.3, a continuación:

NOMBRE	poblaciones.shp
TIPO	SHAPE - Puntos
SISTEMA DE COORDENADAS	PSAD56 UTM 17 S
NUMERO DE REGISTROS	6559
PROCEDENCIA	AAE
RESPONSABLE INFORMACIÓN	DINAREN

Tabla. 3. 3 Características de los datos de Centros Poblados

3.1.2.2 Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP)

La cartografía fue generada a partir de los registros oficiales del estatus legal de protección y el mapa base 1:250000. Los datos referentes a la fecha de creación y el tiempo de cada reserva se tomo del libro “Guía de Parques Nacionales y Reservas del Ecuador” del proyecto “Plan Maestro para la Protección de la Biodiversidad mediante el Fortalecimiento del Sistema Nacional de Áreas Protegidas”, del INEFAN y GEF. Se indica en la Tabla. el nombre de la reserva dentro del campo “NOMBRE”, la fecha de creación en “CREACIÓN” y el tipo de reserva dentro de “TIPO_DE_RE”(Parque Nacional, Reserva Ecológica,

¹² Tomado de Informe del AEE (R.B. 1)

Zona de Recreación, entre otros.), y la superficie calculada en ArcView de cada una en “AREA”.¹² La entidad responsable de la información es la Alianza Jatun Sacha – CDC – Ecuador, departamento de Información Ambiental. Sus características de muestran en la Tabla 3.4, a continuación:

NOMBRE	snap.shp
TIPO	SHAPE - Poligonos
SISTEMA DE COORDENADAS	PSAD56 UTM 17 S
NUMERO DE REGISTROS	26
PROCEDENCIA	AAE
RESPONSABLE INFORMACIÓN	Alianza Jatun Sacha

Tabla. 3. 4 Características de los datos del Sistema Nacional de Áreas Protegidas

3.1.2.3 Vías Totales

Fue generado a partir de las cartas del IGM 1:250000 y revisiones con proyectos diversos a mayor escala. Contiene la red vial total y se describe el orden de cada vía. El responsable de la información es la Alianza Jatun Sacha – CDC – Ecuador, departamento de Información Ambiental. Sus características de muestran en la Tabla 3.5, a continuación:

NOMBRE	vias.shp
TIPO	SHAPE - Líneas
SISTEMA DE COORDENADAS	PSAD56 UTM 17 S
NUMERO DE REGISTROS	25908
PROCEDENCIA	AAE
RESPONSABLE INFORMACIÓN	Alianza Jatun Sacha

Tabla. 3. 5 Características de los datos de Vías

3.1.2.4 Red Hidrográfica

Se despliega la red hidrográfica a nivel nacional en escala 1:250000, contiene el sentido del flujo de los ríos y en su base de datos relacionada incluye el nombre del río en “NOMBRE” y el orden en “ORDEN”¹². El responsable de la información es la Alianza Jatun Sacha – CDC – Ecuador, departamento de Información Ambiental. Sus características de muestran en la Tabla 3.6, a continuación:

NOMBRE	riosfin12.shp
TIPO	SHAPE - Lineas
SISTEMA DE COORDENADAS	PSAD56 UTM 17 S
NUMERO DE REGISTROS	26625
PROCEDENCIA	AAE
RESPONSABLE INFORMACIÓN	Alianza Jatun Sacha

Tabla. 3. 6 Características de los datos de la Red Hidrográfica

3.1.2.5 Modelo de Elevación

Generado a partir de la digitalización manual de las curvas de nivel de cartas IGM, escala 1:250000 realizada por el CDC Ecuador. En la variable "ELEV_M" se indica la elevación en metros de cualquier punto del Ecuador. EL modelo de elevación tiene un rango de 50m. La entidad responsable es el Centro Internacional del Maíz y el Trigo (CIMMYT), departamento de Sistemas de Información Geográfica.¹² Sus características de muestran en la Tabla 3.7, a continuación:

NOMBRE	ecutingrid
TIPO	GRID
SISTEMA DE COORDENADAS	PSAD56 UTM 17 S
DIMENSIONES (columnas x filas)	2577 x 2862
TAMAÑO DE CELDA	250 metros
TIPO DE PIXEL	Punto Flotante
VALOR MÁXIMO	6200
VALOR MÍNIMO	0
PROCEDENCIA	AAE
RESPONSABLE INFORMACIÓN	CIMMYT

Tabla. 3. 7 Características de los datos del Modelo de Elevación

3.1.2.6 Pendientes

Generado a partir del modelo digital de elevación. En el mapa de pendientes se describe por medio de datos porcentuales la pendiente o inclinación de cada

zona. Una pendiente del 10% quiere decir que por cada 100m en distancia horizontal el terreno presenta un desnivel de 10 metros. La entidad responsable es el Centro Internacional del Maíz y el Trigo (CIMMYT), departamento de Sistemas de Información Geográfica.¹²

Aunque el AEE ya tiene generada esta información, se volverá a generar a partir del modelo de elevaciones rectificado, debido a que el generado por el CIMMYT no tiene algunas correcciones que se le ha dado posteriormente al modelo de elevaciones.

3.2 WORLDCLIM - DATOS METEOROLÓGICOS

Las variables meteorológicas resultan importantes, tanto para la flora como para la fauna, y es por eso que se incluirán en el modelamiento. Sin embargo, la información del AEE al respecto, es muy limitada y dispersa, por lo que se estimo adecuado tomar los datos del WorlClim.

WorldClim que es “un conjunto de capas clima mundial (grandes redes climático) con una resolución espacial de un kilómetro cuadrado. Se pueden utilizar para la cartografía y modelado espacial en un SIG o el equipo de programa”¹³, como lo muestra su pagina principal (<http://www.worldclim.org>). WorldClim fue desarrollado por Robert J. Hijmans, Susan Cameron, y Juan Parra, en el Museo de Zoología de Vertebrados, Universidad de California, Berkeley, en colaboración con Peter Jones y Andrew Jarvis (CIAT), y con Karen Richardson (Rainforest CRC).

Contiene 19 variables meteorológicas, en formato GRID, y estas variables se muestran a continuación en la Tabla 3.8:

VARIABLE	DESCRIPCIÓN
B01	Temperatura Media Anual
B02	Promedio del Rango Diurno (promedio mensual (t máx - t min))
B03	Isotermalidad (B02 / B07) (*100)

¹³ Tomado de la información de la Pagina Oficial de WorldClim (R.B. 14)

B04	Estacionalidad de la Temperatura (Desviación estándar * 100)
B05	Temperatura máxima de Mes más Caluroso
B06	Temperatura mínima de Mes más Frío
B07	Rango Anual de Temperatura (B05-B06)
B08	Temperatura Media de trimestre más húmedo
B09	Temperatura Media de trimestre más seco
B10	Temperatura Media de trimestre más Caluroso
B11	Temperatura Media de trimestre más Frío
B12	Precipitación Anual
B13	Precipitación de Mes más húmedo
B14	Precipitación de Mes más Seco
B15	Estacionalidad de la Precipitación (Coeficiente de Variación)
B16	Precipitación de trimestre más húmedo
B17	Precipitación de trimestre más Seco
B18	Precipitación de trimestre más Caluroso
B19	Precipitación de trimestre más Frío

Tabla. 3. 8 Descripción de las Variables del WorldClim

3.3 REAL JARDÍN BOTÁNICO DE MADRID

Los datos entregados por el Real Jardín Botánico de Madrid (RJBM), a través del Doctor Jesús Muñoz, fueron enviados por correo electrónico, y su selección se ajusta a las necesidades del RJBM, como son su comparación con los resultados de otros proyectos realizados, nivel de depuración de información, entre otros. Estos datos fueron recolectados, depurados y verificados por el RJBM, durante varios proyectos realizados en el Ecuador, a fin de generar una base de datos importante sobre ubicación de especies en el Ecuador y el mundo. Un ejemplo de los datos de esta base de datos se da a en el Anexo A, con un conjunto de 37 especies de flora.

3.3.1 Datos Entregados Por El RJBM Sobre Flora

El Real Jardín Botánico de Madrid entrego para el presente proyecto, los datos de la especie de flora *Ocotea insularis*, cuyos datos consisten en la ubicación de las especies (Sistema de coordenadas WGS84 sin proyección). En total se recibieron 115 registros en formato ASC, los cuales tenían valores de 0 y 1, valores que corresponden a presencia y ausencia de la especie, 50 de presencia o valor de 1 y 65 de ausencias o valor de 0. Se procedió con la

exportación de este formato a formato IMG, el cual será el estándar de los archivos raster durante el proyecto.

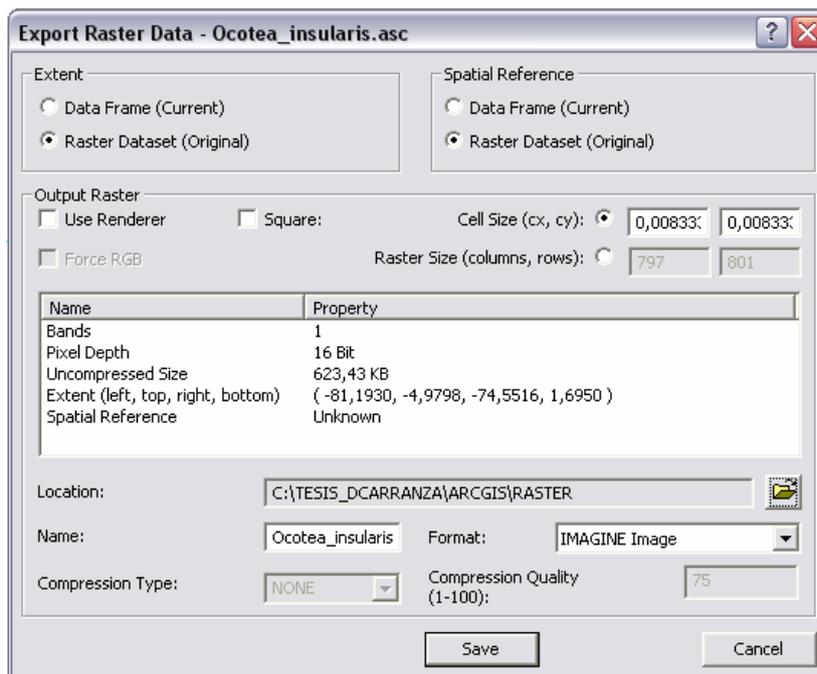


Figura. 3. 2 Captura de Pantalla – Exportación de formato ASC a formato IMG en ArcGIS

OID	Value	Count
0	0	65
1	1	50

Figura. 3. 3 Captura de Pantalla – Numero de datos entregados por el RJBM

A fin de correlacionar la información entregada por el RJBM y el Almanaque Electrónico Ecuatoriano, se procedió con la verificación de la ubicación de los registros con el límite ecuatorial del Almanaque, llegando a determinar con la herramienta “Clip” de ArcToolbox que existen 2 puntos que no se encuentran dentro del territorio, por lo que fueron eliminados del proceso.

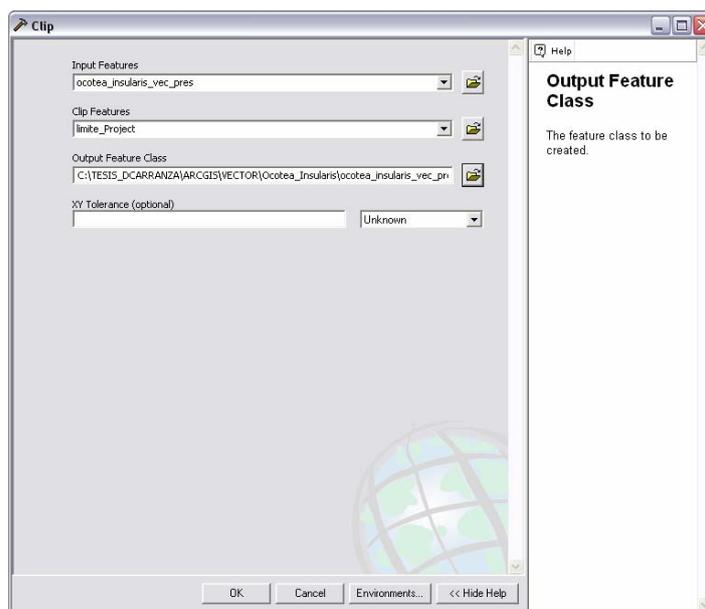


Figura. 3. 4 Captura de Pantalla – Herramienta “Clip” de ArcToolbox de ArcGis

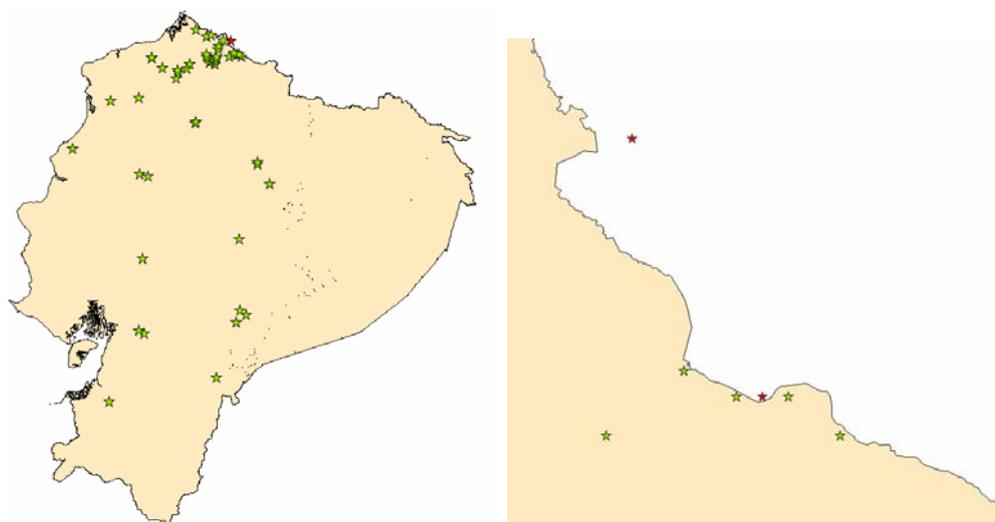


Figura. 3. 5 Esquema de puntos de especie que no se encuentran dentro del límite Ecuatorial

De estos 48 datos, se tomarán el 90% para el proceso y el 10% para la comprobación del modelo resultante; es decir, se tomarán 43 datos para el proceso y 5 datos para la comprobación, estos últimos serán tomados en forma aleatoria que a continuación se muestran en el esquema (color rojo para los puntos de comprobación y color verde puntos para la aplicación de la metodología):

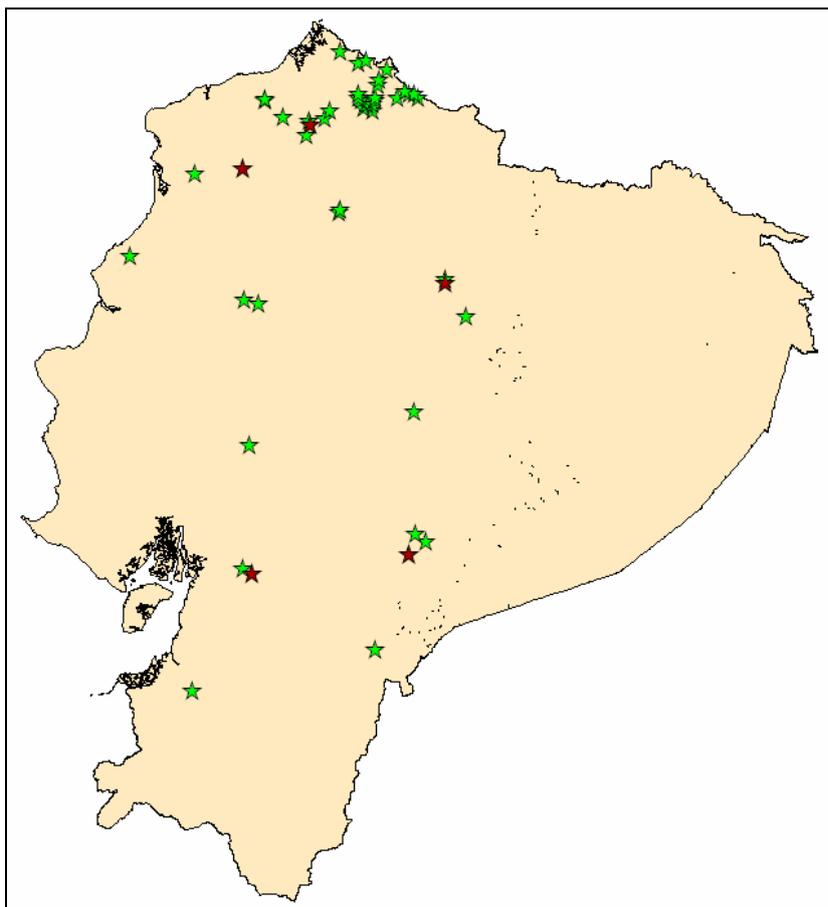


Figura. 3. 6 Esquema de ubicación de los puntos de presencia de la especie *Ocotea insularis*¹⁴

3.3.1.1 Análisis de la especie de Flora

Datos importantes de la especie de flora entregada por el Real Jardín Botánico de Madrid, la *Ocotea insularis*, son su clasificación taxonómica, caracterización del fruto, hoja y distribución geográfica generalizada. Su clasificación taxonómica se muestra en la Tabla 3.3, a continuación:

REINO:	Plantae
FILO:	MAGNOLIOPHYTA
CLASE:	Magnoliopsida
ORDEN:	Laurales
FAMILIA:	Lauraceae
GENERO:	Ocotea
ESPECIE:	Insularis
NOMBRE COMÚN:	Aguacatillo

Tabla. 3. 9 Clasificación Taxonómica de la *Ocotea insularis*

¹⁴ Ver Anexo 6, Mapa 1

La *Ocotea insularis* es un árbol de aproximadamente 10 a 15 metros de altura, tiene un fruto de color verde de forma ovalado, de 2 centímetros de largo, con un diámetro de 1 centímetros. Semillas ovaladas de color morado de 1.5 centímetros de largo, con un diámetro de 0.7 centímetros.



Figura. 3. 7 Vista de los Frutos de la *Ocotea insularis*

Sus hojas son simples alternas, de forma oblanceoladas de 12 a 21 centímetros de largo, con pecíolo aplastado de 0.8 a 1 centímetro de largo.

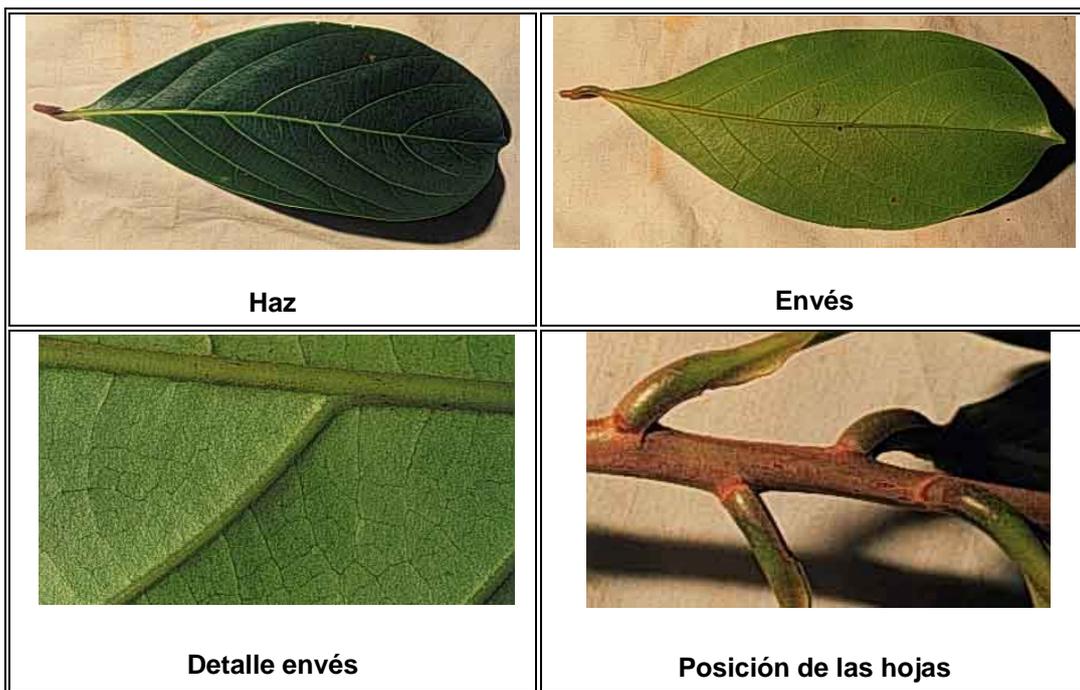


Figura. 3. 8 Vista del Haz, Envés, Detalle de envés y posición de las hojas de la *Ocotea insularis*

Su distribución geográfica en América se muestra a continuación¹⁵:

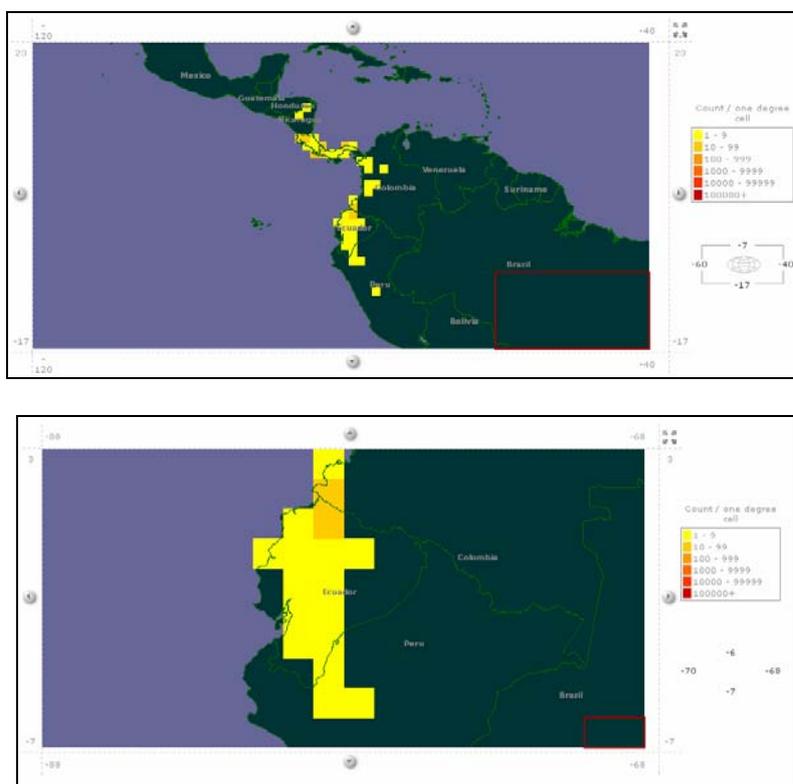


Figura. 3. 9 Distribución Geográfica de la *Ocotea insulares* en América

¹⁵ Tomado del Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (R.B. 17)

3.3.2 Datos Entregados Por El RJBM Sobre Fauna

El Real Jardín Botánico de Madrid, entrego los datos de ubicación de la especie *Aotus lemurinus*, que a su vez fueron provistos por NatureServe en colaboración con Bruce Patterson, Wes Sechrest, Marcelo Tognelli, Gerardo Ceballos, The Nature Conservancy – Migratory Bird Program, Conservation International – CABS, World Wildlife Fund – US, and Environment Canada – WILDSpace. Se generaron 48 puntos de presencia y 65 de ausencia.

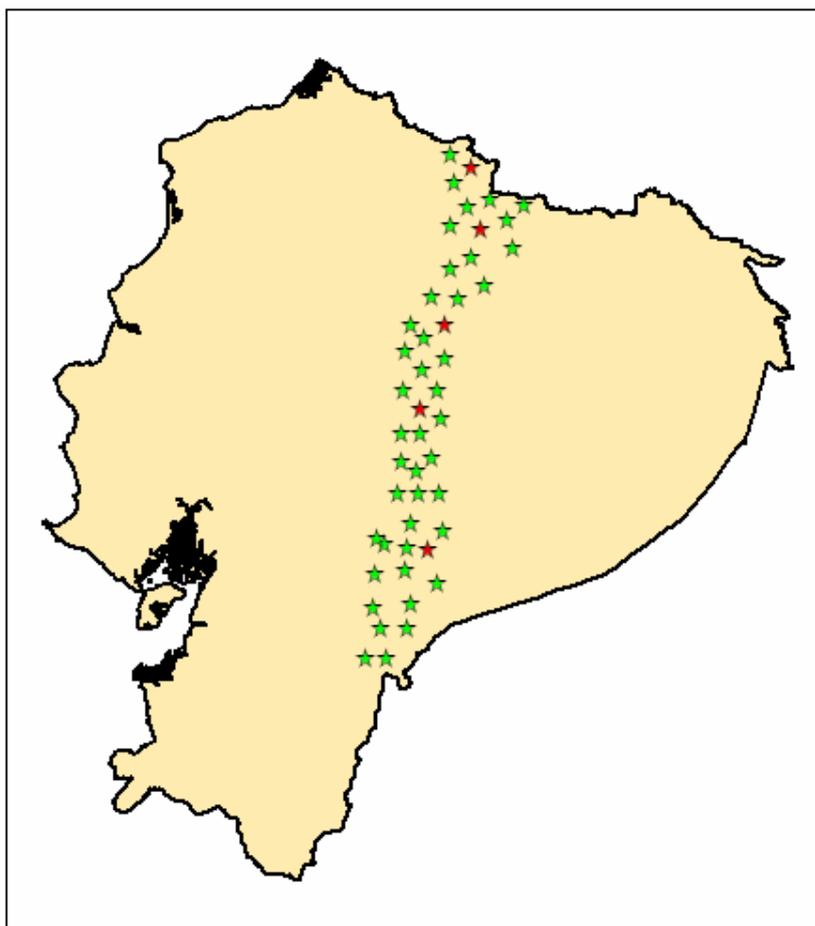


Figura. 3. 10 Esquema de ubicación de los puntos de presencia de la especie *Aotus lemurinus*¹⁶

3.3.1.1 Análisis de la especie de Fauna

La especie de Fauna *Aotus lemurinus* tiene la clasificación taxonómica expuesta en la Tabla 3.10:

¹⁶ Ver Anexo 6, Mapa 7

REINO	Animalia
SUBREINO	Eumetazoa
RAMA	Bilateria
FILO	Chordata
SUBFILO	Vertebrata
SUPERCLASE	Gnathostomata
CLASE	Mamalia
SUBCLASE	Eutheria
ORDEN	Primates
SUBORDEN	Anthropoidea
INFRAORDEN	Platyrrhini
SUPERFAMILIA	Ceboidea
FAMILIA	Cebidae
SUBFAMILIA	Aotinae
GÉNERO	Aotus
ESPECIE	Aotus lemurinus
NOMBRE VULGAR	Mono Nocturno Lemurino

Tabla. 3. 10 Clasificación Taxonómica del *Aotus lemurinus*

Los micos nocturnos, martejas, mucuareos o marikinás; son primates del género *Aotus* o *Aotes*, nombre que significa "sin orejas" (aunque tienen excelente oído). Están distribuidos en los bosques tropicales de Centroamérica y Suramérica, desde Panamá hasta Paraguay y el norte de Argentina.

La longitud total del cuerpo alcanza de 24 a 47 cm, la cola de 22 a 50 cm y el peso de 0,5 a 1,3 kg. El pelaje es denso y lanudo de color gris a castaño en la parte superior y crema a anaranjado en el pecho y parte inferior.



Figura. 3. 11 Fotografía de un *Aotus lemurinus*

Se alimentan de frutos, néctar, hojas, insectos, lagartijas, aves y pequeños mamíferos. Viven en pareja, junto con una o más crías de diferente edad, y defienden un territorio de 10 hectáreas. Tienen una cría al año que nace a los 133 días de gestación y permanece con sus padres durante unos dos años y medio.

Los monos nocturnos se destacan por emitir sistemáticamente una gran variedad a gran variedad de sonidos diferenciados y distinguidos por ellos para comunicarse; 50 a 100 distintos llamados han sido identificados por los científicos. Son territoriales. El macho aúlla cada noche de una a dos horas, recorriendo 100 a 350 m de su territorio, son mucho mas activos en las noches de luna llena, en las cuales los machos llaman a las hembras cantando para aparearse. A pesar de sus hábitos nocturnos, su visión es policromático.

Son eficientes controladores de insectos nocturnos que atacan algunas especies importantes del bosque y además, actúan como dispersadores y polinizadores de las especies vegetales del estrato medio del bosque, de las cuales se alimenta.

Aotus es el único mono nocturno. La adopción de un sistema de comportamiento nocturno parece una desventaja a los animales como los primates que tienen una alta dependencia de la visión: la alimentación, incluidos los insectos, los animales rapaces, y las frutas, es más difícil de encontrar en la noche, la locomoción a través del dosel del bosque es mucho más peligroso en ausencia de luz, y un conjunto diferente de las condiciones ambientales tales como temperaturas más frescas, las diferencias en la humedad, los competidores, depredadores y representan una amenaza (Wright 1989). A pesar de estos obstáculos, el registro fósil demuestra que los monos nocturnos, sobre la base de su amplia distribución geográfica, han tenido éxito en explotar este nicho.

Han sido empleados con éxito en la investigación biomédica sobre el paludismo desde el decenio de 1960 debido a su resistencia natural a los parásitos que causan la enfermedad (Ford 1994). Los individuos de algunas especies son eliminados de forma intermitente en el medio silvestre, en cautividad

para reforzar las colonias de investigación, y zoológicos, pero los efectos sobre la población total no son significativas y la población puede recuperarse después de estos eventos (Aquino y Encarnación 1994).

Un dato interesante, según Diego Tirira, “Albuja (1991) incluyó la presencia de *A. lemurinus* en el subtrópico oriental de Ecuador; sin embargo, la distribución de esta especie se restringe al extremo noroccidental de Sudamérica, básicamente al este de Panamá, norte de Colombia y extremo oeste de Venezuela (Ford, 1994), por lo cual resulta poco probable pensar que su distribución alcanzaría Ecuador. En base a registros de campo y a la revisión de descripciones y distribución de especies del género *Aotus*, se piensa que la especie ecuatoriana que Albuja llamó como *Aotus lemurinus* no sería tal; probablemente podría tratarse de una nueva especie para la ciencia, o quizá de alguna ya descrita. Se espera que futuros estudios clarifiquen la situación de este primate”.

CAPITULO 4

MODELO DE UBICACIÓN MEDIANTE METODOLOGÍA DIFUSA

4.1 PREPARACIÓN DE LOS DATOS

4.1.1 Transformación De Coordenadas

La información del AEE (Almanaque Electrónico Ecuatoriano), como se ha mostrado anteriormente, se encuentra en el sistema PSAD56 y con una proyección UTM zona 17 sur, por lo que se requiere su transformación al sistema WGS84 UTM17S. La transformación de coordenadas entre estos dos sistemas se lo realizara mediante una transformación de 7 parámetros¹⁷, aunque la escala de trabajo es de 1:250.000, el proceso de transformación de 7 parámetros no es complicado, como se muestra a continuación. Los 7 parámetros se muestran en la Tabla 4.1 a continuación:

	Parámetro	Valor
1	Traslación X	- 60.31 metros
2	Traslación Y	245.935 metros
3	Traslación Z	- 31.008 metros
4	Rotación X	- 12.324 segundos
5	Rotación Y	- 3.755 segundos
6	Rotación Z	7.37 segundos
7	Factor de escala	0.447

Tabla. 4. 1 Siete parámetros de Transformación del sistema PSAD56 a SIRGAS¹⁸

Haciendo uso de la herramienta “Create Custom Geographic Transformation” del ArcToolbox de ArcGis, se introduce los 7 parámetros de modo

¹⁷ Aunque los 7 parámetros utilizados para este fin son para la transformación del sistema PSAD56 al sistema SIRGAS, se estima igual el sistema WGS84 al SIRGAS por su semejanza.

¹⁸ Tomado del Proyecto de Tesis del Ingeniero Cesar Leiva (R.B. 4)

que sea utilizado posteriormente por la herramienta “Proyect” de mismo ArcToolbox, teniendo como resultado la transformación adecuada del sistema PSAD56 en proyección UTM17S al sistema WGS84 proyeccion UTM17S.

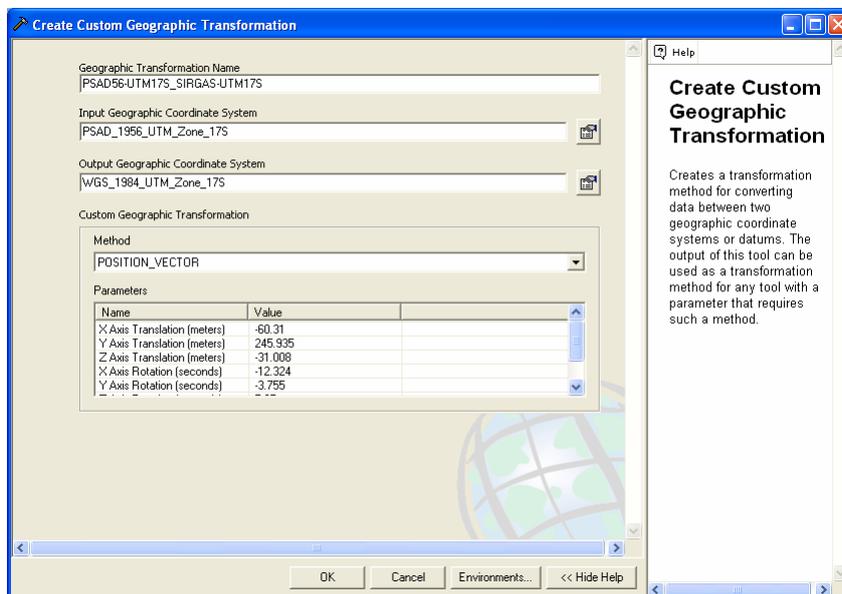


Figura. 4. 1 Captura de pantalla – Herramienta “Create Custom Geographic Transformation” de ArcToolbox, ArcGis 9.2

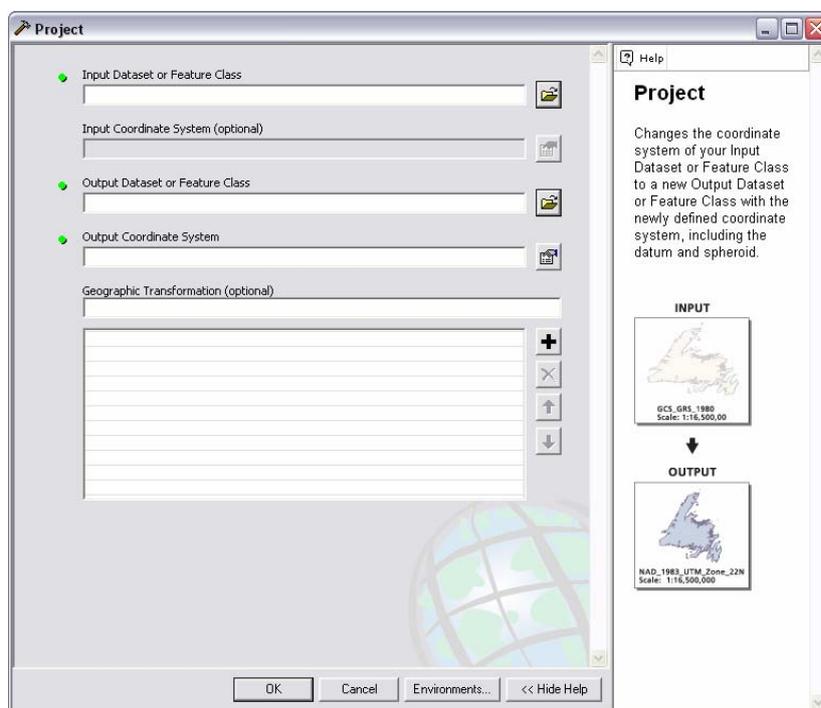


Figura. 4. 2 Captura de pantalla – Herramienta “Proyect” de ArcToolbox, ArcGis 9.2

4.1.2 Resolución Espacial del Modelo

A fin de procesar la información se la transformara a Raster, de estar en formato Vector, para esto se procede a determinar la resolución espacial necesaria para mantener la información a escala 1:250000, la cual es requerida como resultado final. La determinación de la resolución tiene varios factores para determinarla, la norma INEN determina que el error grafico debe ser de 0.5 milímetros, norma escrita en los años 70's, y que con las limitaciones presentes de la época determinación como adecuada a la misma. El IPGH (Instituto Panamericano de Geografía e Historia), determina en los años 90's el factor de 0.3 milímetros, que corresponde al grosor común de la mina de lápiz. Para muchos, con la llegada de la era de la computación, y la facilidad que presta la misma para el procesamiento de datos, determinan que se puede trabajar con un factor de 0.1 milímetros.

En el caso del presente proyecto, se determino apropiado usar la normativa técnica del IPGH, es decir, el factor 0.3 milímetros. Con este factor, se calcula la siguiente resolución espacial:

$$\text{Resolución espacial} = \text{Factor de Escala} * \text{Factor de resolución}$$

$$\text{Resolución espacial} = 250000 * 0.0003 \text{ metros} = \underline{\underline{75 \text{ metros}}}$$

De ser necesaria la transformación a Raster, se hará de la herramienta "Feature to Raster", tomando en cuenta que las áreas sin datos tendrán la denominación "NO DATA".

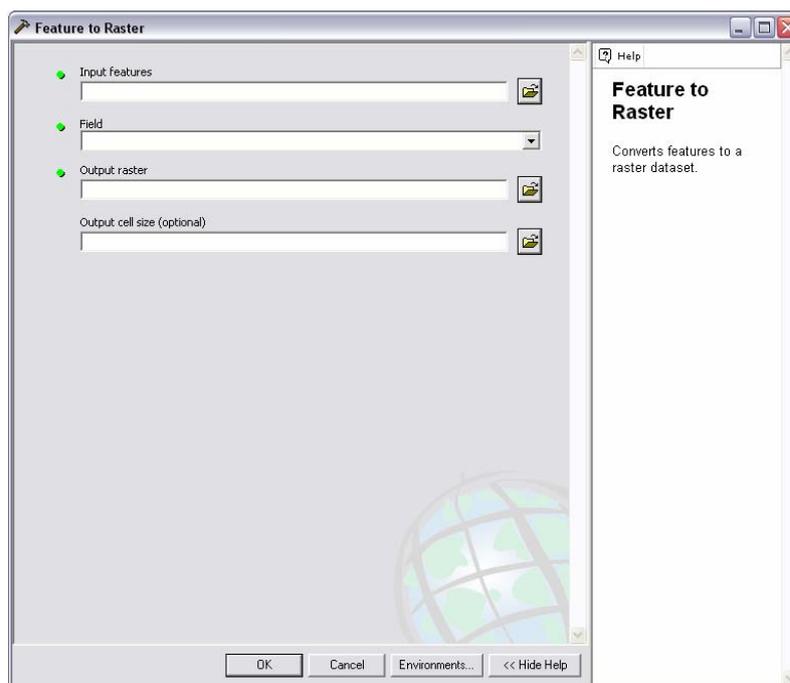


Figura. 4. 3 Captura de pantalla – Herramienta “Feature to Raster” de ArcToolbox, ArcGis

4.2 GENERACIÓN Y OBTENCIÓN DE VARIABLES

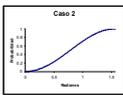
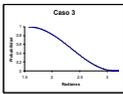
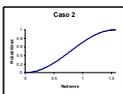
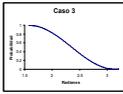
4.2.1 Procesamiento de Datos

Como se analizó en el capítulo anterior, los datos de los cuales serán generadas las variables es el Almanaque Electrónico Ecuatoriano y para los datos meteorológicos se tomarán los del WorldClim. Algunas de estas variables deben ser generadas, y otros datos ya se encuentran listos para ser procesados, a continuación se muestran en la Tabla 4.2:

INFORMACIÓN	PROCESO
Centros Poblados	Generación del Raster de Distancia
Sistema Nacional de Áreas Protegidas	Generación del Raster de Distancia
Vías Totales	Generación del Raster de Distancia
Red Hidrográfica	Generación del Raster de Distancia
Pendientes	Generación a partir del modelo de elevación
Modelo de Elevación	Ningún proceso
Datos Meteorológicos	Ningún proceso

Tabla. 4. 2 Información y proceso para generar datos de las variables

Ahora debemos analizar como reaccionan estas variables con respecto a la probabilidad de presencia de la especie, a fin de determinar cual de los casos planteados en la metodología Difusa será aplicado¹⁹. Este análisis se muestra en la siguiente Tabla 4.3 para cada uno de las variables:

VARIABLE	CASO FUZZY	DESCRIPCIÓN
Distancia a Centros Poblados	<p>CASO 2</p> 	<p>Los centros poblados, por sus actividades propias de la vida urbana, producen tala de vegetación, contaminación y demás factores que para la mayoría de especies de flora y fauna resultan perjudiciales e incluso restrictivas para su presencia, por lo que el caso 2 de la metodología Fuzzy es el indicado para esta variable</p>
Distancia al Sistema Nacional de Áreas Protegidas	<p>CASO 3</p> 	<p>Las áreas protegidas, son zonas por concepto de preservación de la vida natural, por lo que su cercanía a las mismas representa para la flora y fauna mayores facilidades para su conservación, por lo que el caso 3 de la metodología Fuzzy es el indicado para esta variable</p>
Distancia a Vías	<p>CASO 2</p> 	<p>Desde su etapa constructiva hasta su abandono, las vías representan una amenaza para las especies de flora y fauna del sector, que en la mayoría de los casos, mientras mas cerca estén de estas, tienden a menguar y desaparecer. Es por esto que el caso 2 de la metodología Fuzzy es el indicado para esta variable</p>
Distancia a Ríos	<p>CASO 3</p> 	<p>Las zonas cercanas a las riveras de los ríos son ricas en nutrientes y están provistas abundantemente de uno de los elementos indispensables para la vida que es el agua. Por ello, en la mayoría de los casos, la flora y la fauna tener mayor cercanía a este ambiente</p>

¹⁹ Los casos se encuentran enunciados en las paginas 20 a 22, del Capitulo 2

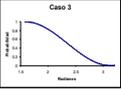
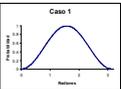
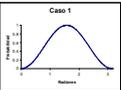
		tiene mayor probabilidad de preservarse y diseminarse, por lo que el caso 3 de la metodología Fuzzy es el apropiado para esta variable
Pendientes	<p>CASO 3</p> 	Las pendientes fuertes dificultan la fijación de la flora y la circulación de la fauna, por lo que mientras mayor sea la pendiente, en la mayoría de los casos, mas difícil se vuelve la vida de la flora y fauna, por lo que el caso 3 de la metodología desarrollada es el apropiado para la pendiente.
Elevación	<p>CASO 1</p> 	Las especies de flora y fauna tienen su hábitat dentro de un rango de elevación, al salir de este rango, ya sea por mayor o menor elevación, la especie mengua o desaparece, por lo que el caso 1 se ajusta a esta variables
Datos Meteorológicos	<p>CASO 1</p> 	Las condiciones extremas en meteorología, sean estas por precipitación, temperatura o cualquier otra, generalmente pueden deteriorar el hábitat de las especies de flora y fauna, por lo que las condiciones no extremas representan una condición apropiada para la vida. Esto nos indica que el caso 1 de la metodología es el mas apropiado para aplicar en este conjunto de variables meteorológicas

Tabla. 4. 3 Determinación del Caso apropiado de la metodología Difusa para cada variable

Todos los datos de las variables, por su naturaleza continua, se encontraran en formato Raster, y como ya se analizo anteriormente, tendrán un resolución espacial de 75 metros. Las características de estos archivos Raster se muestran a continuación en la Tabla 4.4:

TIPO	GRID
SISTEMA DE COORDENADAS	WGS84 UTM 17 S
DIMENSIONES (columnas x filas)	8584 x 9534
TAMAÑO DE CELDA	75 metros
TIPO DE PIXEL	Punto Flotante
LIMITE - SUPERIOR	10161592.8965
LIMITE - IZQUIERDA	499740.088759
LIMITE - DERECHA	1143540.08876
LIMITE - INFERIOR	9446542.89653
TAMAÑO DE ARCHIVO	312.19 MB

Tabla. 4. 4 Características de los archivos de datos para las variables

Una vez que se tiene los datos de las variables, procedemos a determinar los valores de estas para los diferentes puntos de las especies. Esto se lo realiza mediante la herramienta “Extract Values to Points” del ArcTollbox de ArcGis.

4.2.2 Exclusión de zonas

Ya que se han obtenido los valores de las variables para cada uno de los puntos de presencia de la especie, se debe determinar cual es el valor máximo y el valor mínimo, a fin de concluir cuales son las condiciones extremas de respecto a cada variable, en las cuales se ha encontrado presente la especie. Esto permite determinar las zonas que no se tomaran en cuenta para el modelamiento, para cada variable, debido a que estas zonas resultan para la especie como no idóneas para su presencia. Esto para la aplicación de la Primer Planteamiento de la Metodología Difusa.

Para el caso de la *Ocotea insularis*, estos valores son los de la Tabla 4.5:

VARIABLE	PRESENCIA			
	MIN	MAX	MIN	MAX
Distancia a Centros Poblados	0	47319	481	15818
Distancia al Sistema Nacional de Áreas Protegidas	0	156001	0	80504
Distancia a Vías	0	84068	0	25049
Distancia a Ríos	0	22383	0	3689
Pendientes (porcentaje)	0	929	0	112
Elevación	0	6200	100	2222
WorldClim - B01	-57	269	164	259
WorldClim - B02	45	152	76	127
WorldClim - B03	47	95	76	92

WorldClim - B04	77	2465	177	790
WorldClim - B05	-2	338	233	312
WorldClim - B06	-107	230	91	210
WorldClim - B07	57	186	91	142
WorldClim - B08	-55	273	163	264
WorldClim - B09	-61	272	165	255
WorldClim - B10	-55	273	167	264
WorldClim - B11	-61	264	157	255
WorldClim - B12	20	8224	1065	4569
WorldClim - B13	8	780	182	504
WorldClim - B14	0	500	8	235
WorldClim - B15	6	195	16	87
WorldClim - B16	15	2198	528	1465
WorldClim - B17	0	1606	34	843
WorldClim - B18	9	2120	394	1465
WorldClim - B19	0	1975	35	1230

Tabla. 4. 5 Valores mínimos y máximo de las Variables para la especie *Ocotea insularis*

Mediante el uso de la herramienta “Reclassify” del ArcToolbox de ArcGis, asignamos como “NO DATA” a los rangos excluidos, del raster que tiene los datos de la variable en particular. Cabe destacar que esta herramienta genera como resultado un archivo raster con tipo de pixel Entero sin signo, es decir de 16 bits, lo que trunca los decimales de los datos de las variables. Debido a la precisión requerida de 75 metros, esto no afecta al resultado final. Posteriormente para los cálculos, el tipo de pixel de los archivos raster nuevamente será de Punto Flotante.

El Segundo Planteamiento toma estos valores y los asigna a los puntos de inicio y final, no excluye zonas.

4.2.3 Determinación de los valores de los Puntos de Interés de la Función de Pertenecía

Para el Primer Planteamiento, la función de pertenencia tiene de tres a cinco puntos de interés. Las ecuaciones determinadas fueron para los tres caso, las mostradas a continuación en la Tabla 4.6:

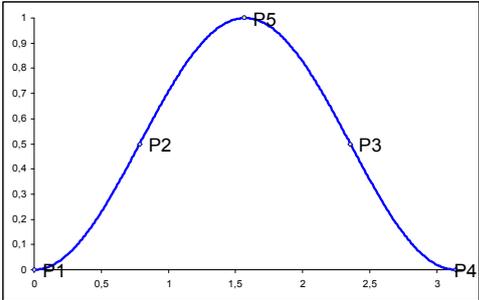
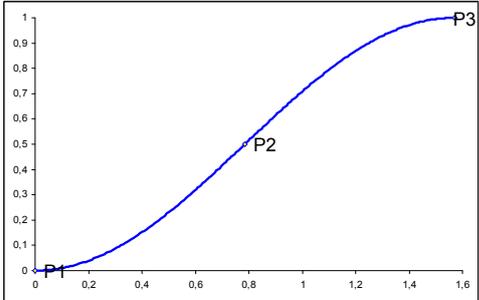
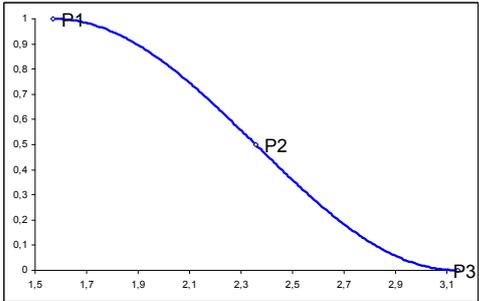
CASO FUZZY	PUNTOS DE INTERÉS	FORMULACIÓN
<p>CASO 1</p> 	<p> $P_1(A; 0)$ $P_2(B; \pi/4)$ $P_3(C; \pi/4)$ $P_4(D; \pi)$ $P_5(E; \pi/2)$ </p>	<p>Sección P_1P_2 $\alpha = \pi/4 * \frac{(V - A)}{(B - A)}$ Sección P_2P_5 $\alpha = \pi/4 + \frac{\pi/2(V - B)}{C - B}$ Sección P_5P_3 $\alpha = \pi/2 + \frac{\pi/4(2V - B - C)}{C - B}$ Sección P_3P_4 $\alpha = 3\pi/4 + \frac{\pi/4(V - C)}{D - C}$ </p>
<p>CASO 2</p> 	<p> $P_1(A; 0)$ $P_2(B; \pi/4)$ $P_3(C; \pi/2)$ </p>	<p>Sección P_1P_2 $\alpha = \frac{\pi/4(V - A)}{B - A}$ Sección P_2P_3 $\alpha = \pi/4 + \frac{\pi/4(V - B)}{C - B}$ </p>
<p>CASO 3</p> 	<p> $P_1(A; \pi/2)$ $P_2(B; 3\pi/4)$ $P_3(C; \pi)$ </p>	<p>Sección P_1P_2 $\alpha = \pi/2 + \frac{\pi/4(V - A)}{B - A}$ Sección P_2P_3 $\alpha = 3\pi/4 + \frac{\pi/4(V - B)}{C - B}$ </p>

Tabla. 4. 6 Resumen de Puntos de Interés de la Función de Pertenencia y su Formulación – Primer Planteamiento

Para el Segundo Planteamiento, la función de pertenencia tiene de cinco a siete puntos de interés. Las ecuaciones determinadas para los tres casos, fueron las mostradas a continuación en la Tabla 4.7:

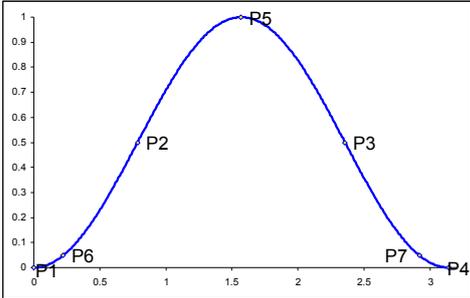
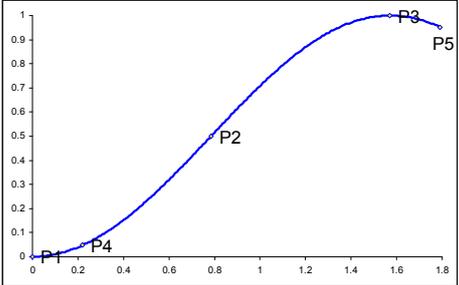
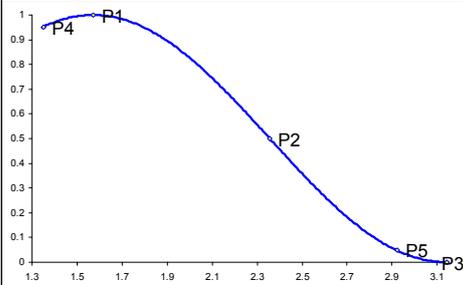
CASO FUZZY	PUNTOS DE INTERÉS	FORMULACIÓN
<p>CASO 1</p> 	<p> $P_1(A; 0)$ $P_6(F; 0.07\pi)$ $P_2(B; \pi/4)$ $P_5(E; \pi/2)$ $P_3(C; 3\pi/4)$ $P_4(D; \pi)$ $P_7(G; 0.93\pi)$ </p>	<p>Sección $P_1 P_6$ $\alpha = 0.07\pi * \frac{(V - A)}{(F - A)}$ Sección $P_6 P_2$ $\alpha = 0.07\pi + \frac{0.18\pi * (V - F)}{(B - F)}$ Sección $P_2 P_5$ $\alpha = \pi/4 + \frac{\pi/2(V - B)}{C - B}$ Sección $P_5 P_3$ $\alpha = \pi/2 + \frac{\pi/4(2V - B - C)}{C - B}$ Sección $P_3 P_7$ $\alpha = 3\pi/4 + \frac{0.18\pi * (V - C)}{G - C}$ Sección $P_7 P_4$ $\alpha = 0.93\pi + \frac{0.07\pi * (V - G)}{(D - G)}$ </p>
<p>CASO 2</p> 	<p> $P_1(A; 0)$ $P_4(D; 0.07\pi)$ $P_2(B; \pi/4)$ $P_3(C; \pi/2)$ $P_5(E; 0.57\pi)$ </p>	<p>Sección $P_1 P_4$ $\alpha = \frac{0.07\pi * (V - A)}{D - A}$ Sección $P_4 P_2$ $\alpha = 0.07\pi + \frac{0.18\pi * (V - D)}{B - D}$ Sección $P_2 P_3$ $\alpha = \pi/4 + \frac{\pi/4 * (V - B)}{C - B}$ Sección $P_3 P_5$ $\alpha = \pi/2 + \frac{0.07\pi * (V - C)}{E - C}$ </p>
<p>CASO 3</p> 	<p> $P_4(D; 0.43\pi)$ $P_1(A; \pi/2)$ $P_2(B; 3\pi/4)$ $P_5(E; 0.93\pi)$ $P_3(C; \pi)$ </p>	<p>Sección $P_4 P_1$ $\alpha = 0.43\pi + \frac{0.07\pi * (V - D)}{A - D}$ Sección $P_1 P_2$ $\alpha = \pi/2 + \frac{\pi/4 * (V - A)}{B - A}$ Sección $P_2 P_5$ $\alpha = 3\pi/4 + \frac{0.18\pi * (V - B)}{E - B}$ Sección $P_5 P_3$ $\alpha = 0.93\pi + \frac{0.07\pi * (V - E)}{C - E}$ </p>

Tabla. 4. 7 Resumen de Puntos de Interés de la Función de Pertenencia y su Formulación – Segundo Planteamiento

Los datos de las coordenadas x de los puntos de interés son tomados de los valores encontrados por la presencia de la especie para cada variable y para cada Caso Fuzzy, como se muestra a continuación en la Tabla 4.8, tanto para el Primer como para el Segundo Planteamiento:

CASO FUZZY	A	B	C	D	E
CASO 1	Valor mínimo	Percentil 20	Mediana	Percentil 80	Valor máximo
CASO 2	Valor mínimo	Percentil 40	Valor máximo	-	-
CASO 3	Valor mínimo	Percentil 60	Valor máximo	-	-

Tabla. 4. 8 Criterio de estimación de las coordenadas x de los Puntos de Interés según su Caso Fuzzy

Con esto, el 40 por ciento de los datos se encontraran en la parte de la función de pertenencia que refleja menos probabilidad de presencia de la especie, y el 60 por ciento en la parte que refleja mayor probabilidad de presencia.

Para el Primer Planteamiento y para la *Ocotea insularis*, estos valores se muestran en la Tabla 4.9, a continuación:

VARIABLES – CASO 1	PUNTOS				
	A	B	E	C	D
Elevación	100	296	784	1342	2222
WorldClim - B01	164	200	225	242	259
WorldClim - B02	76	84	88	100	127
WorldClim - B03	76	84	88	90	92
WorldClim - B04	177	233	277	493	790
WorldClim - B05	233	251	276	294	312
WorldClim - B06	91	147	172	190	210
WorldClim - B07	91	95	101	117	142
WorldClim - B08	163	201	228	246	264
WorldClim - B09	165	200	224	235	255
WorldClim - B10	167	203	228	248	264
WorldClim - B11	157	197	220	235	255
WorldClim - B12	1065	2342	2952	3503	4569
WorldClim - B13	182	268	344	393	504
WorldClim - B14	8	41	93	144	235
WorldClim - B15	16	23	30	46	87
WorldClim - B16	528	765	954	1104	1465
WorldClim - B17	34	179	386	508	843

WorldClim - B18	394	578	912	1047	1465
WorldClim - B19	35	361	661	851	1230
VARIABLES – CASO 2	PUNTOS				
	A	B	C		
Distancia a Centros Poblados	481	2558	15818		
Distancia a Vías	0	1244	25049		
VARIABLES – CASO 3	PUNTOS				
	A	B	C		
Distancia al Sistema Nacional de Áreas Protegidas	0	23427	80504		
Distancia a Ríos	0	735	3689		
Pendientes (porcentaje)	0	18	112		

Tabla. 4. 9 Valores de Coordenada X de Puntos de Interés para la *Ocotea insularis*

Para el Segundo Planteamiento, para la especie *Aotus lemurinus*, estos valores se muestran en la Tabla 4.10, a continuación:

VARIABLES – CASO 1	PUNTOS						
	A	F	B	E	C	G	D
Elevación	0	430	1000	1690	3019	3811	6200
WorldClim - B01	-57	54	110	191	218	242	269
WorldClim - B02	45	82	96	101	110	121	152
WorldClim - B03	47	80	84	85	88	90	95
WorldClim - B04	77	186	379	433	520	650	2465
WorldClim - B05	-2	108	172	259	278	296	338
WorldClim - B06	-107	8	54	131	161	188	230
WorldClim - B07	57	100	111	118	128	137	186
WorldClim - B08	-55	56	109	190	216	237	273
WorldClim - B09	-61	56	110	194	220	243	272
WorldClim - B10	-55	58	114	196	223	245	273
WorldClim - B11	-61	45	102	185	211	237	264
WorldClim - B12	20	1075	1484	2793	3476	4735	8224
WorldClim - B13	8	116	187	308	386	482	780
WorldClim - B14	0	48	78	154	186	285	780
WorldClim - B15	6	12	17	20	26	35	195
WorldClim - B16	15	308	486	849	1047	1359	2198
WorldClim - B17	0	162	262	505	588	909	1606
WorldClim - B18	9	240	295	571	700	1070	2120
WorldClim - B19	0	172	474	759	991	1211	1975
VARIABLES – CASO 2	PUNTOS						
	A	D	B	C	E		
Distancia a Centros Poblados	0	362	6116	26840	47319		
Distancia a Vías	0	75	3985	28615	84068		
VARIABLES – CASO 3	PUNTOS						
	D	A	B	E	C		

Distancia al SNAP	0	0	899	2522	22383
Distancia a Ríos	0	0	28	129	929
Pendientes (porcentaje)	0	0	7119	70313	156001

Tabla. 4. 10 Valores de Coordenada X de Puntos de Interés para el *Aotus lemurinus*

4.2.4 Formulación y Cálculo de Factores

Para agilizar el cálculo, se ha determinado factores, los cuales serán ingresados en el algoritmo para su procesamiento, estos factores, para el Primer Planteamiento, se muestran a continuación en la Tabla 4.11:

CASO FUZZY	SECCIÓN	FACTOR	FORMULA
CASO 1	P ₁ P ₂	$F1 = \frac{\pi/4}{B-A}$	$\alpha = F1*(V-A)$
	P ₂ P ₅	$F2 = \frac{\pi/2}{C-B}$	$\alpha = \pi/4 + F2*(V-B)$
	P ₅ P ₃	$F3 = \frac{\pi/4}{C-B}$	$\alpha = \pi/2 + F3*(2V-B-C)$
	P ₃ P ₄	$F4 = \frac{\pi/4}{D-C}$	$\alpha = 3\pi/4 + F4*(V-C)$
CASO 2	P ₁ P ₂	$F1 = \frac{\pi/4}{B-A}$	$\alpha = F1*(V-A)$
	P ₂ P ₃	$F2 = \frac{\pi/4}{C-B}$	$\alpha = \pi/4 + F2*(V-B)$
CASO 3	P ₁ P ₂	$F1 = \frac{\pi/4}{B-A}$	$\alpha = \pi/2 + F1*(V-A)$
	P ₂ P ₃	$F2 = \frac{\pi/4}{C-B}$	$\alpha = 3\pi/4 + F2*(V-B)$

Tabla. 4. 11 Factores de ayuda para el calculo del Angulo α de la Función de Pertenencia – Primer Planteamiento

Para el segundo planteamiento, estos factores se muestran en la Tabla 4.12:

CASO FUZZY	SECCIÓN	FACTOR	FORMULA
CASO 1	P ₁ P ₆	$F1 = \frac{0.07\pi}{(F-A)}$	$\alpha = F1*(V-A)$
	P ₆ P ₂	$F2 = \frac{0.18\pi}{(B-F)}$	$\alpha = 0.07\pi + F2*(V-F)$
	P ₂ P ₅	$F3 = \frac{\pi/2}{C-B}$	$\alpha = \pi/4 + F3*(V-B)$

	P_5P_3	$F4 = \frac{\pi/4}{C-B}$	$\alpha = \pi/2 + F4*(2V - B - C)$
	P_3P_7	$F5 = \frac{0.18\pi}{G-C}$	$\alpha = 3\pi/4 + F5*(V - C)$
	P_7P_4	$F6 = \frac{0.07\pi}{(D-G)}$	$\alpha = 0.93\pi + F6*(V - G)$
CASO 2	P_1P_4	$F1 = \frac{0.07\pi}{D-A}$	$\alpha = F1*(V - A)$
	P_4P_2	$F2 = \frac{0.18\pi}{B-D}$	$\alpha = 0.07\pi + F2*(V - D)$
	P_2P_3	$F3 = \frac{\pi/4}{C-B}$	$\alpha = \pi/4 + F3*(V - B)$
	P_3P_5	$F4 = \frac{0.07\pi}{E-C}$	$\alpha = \pi/2 + F4*(V - C)$
CASO 3	P_4P_1	$F1 = \frac{0.07\pi}{A-D}$	$\alpha = 0.43\pi + F1*(V - D)$
	P_1P_2	$F2 = \frac{\pi/4}{B-A}$	$\alpha = \pi/2 + F2*(V - A)$
	P_2P_5	$F3 = \frac{0.18\pi}{E-B}$	$\alpha = 3\pi/4 + F3*(V - B)$
	P_5P_3	$F4 = \frac{0.07\pi}{C-E}$	$\alpha = 0.93\pi + F4*(V - E)$

Tabla. 4. 12 Factores de ayuda para el calculo del Angulo α de la Función de Pertenencia – Segundo Planteamiento

Los valores de los factores, para el Primer Planteamiento y la especie *Ocotea insularis*, estos factores resultaron ser los desplegados en la Tabla 4.13:

VARIABLES – CASO 1	FACTORES (grados)			
	FACTOR1	FACTOR2	FACTOR3	FACTOR4
Elevación	0.22920595	0.08609226	0.04304613	0.05110322
WorldClim - B01	1.25698324	2.12264151	1.06132075	2.67857143
WorldClim - B02	5.62500000	5.76923077	2.88461538	1.64233577
WorldClim - B03	5.62500000	15.00000000	7.50000000	22.50000000
WorldClim - B04	0.80645161	0.34562212	0.17281106	0.15161725
WorldClim - B05	2.52808989	2.07373272	1.03686636	2.52808989
WorldClim - B06	0.80071174	2.12264151	1.06132075	2.20588235
WorldClim - B07	10.22727273	4.16666667	2.08333333	1.80000000
WorldClim - B08	1.17187500	2.03619910	1.01809955	2.44565217
WorldClim - B09	1.29310345	2.54237288	1.27118644	2.27272727
WorldClim - B10	1.25698324	2.00892857	1.00446429	2.74390244
WorldClim - B11	1.13065327	2.38095238	1.19047619	2.20588235
WorldClim - B12	0.03523884	0.07751938	0.03875969	0.04221388
WorldClim - B13	0.52447552	0.72000000	0.36000000	0.40467626
WorldClim - B14	1.38036810	0.87378641	0.43689320	0.49234136

WorldClim - B15	6.08108108	3.98230088	1.99115044	1.09756098
WorldClim - B16	0.19019442	0.26486168	0.13243084	0.12479201
WorldClim - B17	0.31120332	0.27322404	0.13661202	0.13432836
WorldClim - B18	0.24429967	0.19206146	0.09603073	0.10760402
WorldClim - B19	0.13803681	0.18352365	0.09176183	0.11885895
VARIABLES – CASO 2	FACTORES (grados)			
	FACTOR1	FACTOR2		
Distancia a Centros Poblados	0.02166756	0.00339364		
Distancia a Vías	0.03618308	0.00189034		
VARIABLES – CASO 3	FACTORES (grados)			
	FACTOR1	FACTOR2		
Distancia al Sistema Nacional de Áreas Protegidas	0.00192082	0.00078842		
Distancia a Ríos	0.06126129	0.01523243		
Pendientes (porcentaje)	2.47016734	0.47805819		

Tabla. 4. 13 Valores de los factores para el cálculo del Angulo α – *Ocotea Insulares* – Primer Planteamiento

Los valores de los factores, para el Segundo Planteamiento y la especie *Aotus lemurinus*, se encuentran en la Tabla 4.14:

VARIABLES – CASO 1	FACTORES					
	FACTOR1	FACTOR2	FACTOR3	FACTOR4	FACTOR5	FACTOR6
Elevación	0.0005112	0.0009925	0.0007778	0.0003889	0.0007143	0.0000921
WClim - B01	0.0019812	0.0100620	0.0146257	0.0073128	0.0231757	0.0081449
WClim - B02	0.0059436	0.0409773	0.1106195	0.0553097	0.0514079	0.0070939
WClim - B03	0.0066640	0.1413717	0.3926991	0.1963495	0.2827433	0.0439823
WClim - B04	0.0020175	0.0029361	0.0111089	0.0055544	0.0043499	0.0001212
WClim - B05	0.0019992	0.0088913	0.0148188	0.0074094	0.0307330	0.0052360
WClim - B06	0.0019123	0.0121872	0.0146803	0.0073402	0.0212589	0.0052360
WClim - B07	0.0051142	0.0514079	0.0923998	0.0461999	0.0628319	0.0044880
WClim - B08	0.0019812	0.0106294	0.0146803	0.0073402	0.0271869	0.0061087
WClim - B09	0.0018796	0.0104333	0.0143583	0.0071791	0.0241661	0.0075832
WClim - B10	0.0019461	0.0100264	0.0145175	0.0072588	0.0252449	0.0078540
WClim - B11	0.0020746	0.0099208	0.0144641	0.0072320	0.0214199	0.0081449
WClim - B12	0.0002084	0.0013833	0.0007884	0.0003942	0.0004492	0.0000630
WClim - B13	0.0020362	0.0079422	0.0079014	0.0039507	0.0058905	0.0007380
WClim - B14	0.0045815	0.0186015	0.0145714	0.0072857	0.0057235	0.0004443
WClim - B15	0.0366519	0.1130973	0.1826507	0.0913254	0.0601582	0.0013744
WClim - B16	0.0007506	0.0031733	0.0028030	0.0014015	0.0018101	0.0002621
WClim - B17	0.0013575	0.0056776	0.0048184	0.0024092	0.0017594	0.0003155
WClim - B18	0.0009520	0.0103191	0.0038766	0.0019383	0.0015283	0.0002094
WClim - B19	0.0012786	0.0018737	0.0030395	0.0015197	0.0025657	0.0002878

VARIABLES – CASO 2	FACTORES			
	FACTOR1	FACTOR2	FACTOR3	FACTOR4
Distancia a Centros Poblados	0.00060727	0.00009828	0.00003790	0.00001074
Distancia a Vías	0.00293215	0.00014461	0.00003189	0.00000397

VARIABLE – CASO 3	FACTORES			
	FACTOR1	FACTOR2	FACTOR3	FACTOR4
Distancia al Sistema Nacional de Áreas Protegidas	-	0.00087352	0.00034843	0.00001107
Distancia a Ríos	-	0.02767951	0.00559587	0.00027494
Pendientes (porcentaje)	-	0.00011032	0.00000895	0.00000257

Tabla. 4. 14 Valores de los factores para el cálculo del Angulo α – *Aotus lemurinus* – Segundo Planteamiento

4.2.5 Calculo de las variables

Para el calculo de la probabilidad de presencia de la especie para cada variable, se hará uso de la herramienta “Raster Calculator” del ArcToolbox del ArcGis. Para cada Planteamiento y cada caso, se ha programado un algoritmo para el cálculo de la variable con la metodología Difusa, estos algoritmos se muestran a continuación, tomando en cuenta que las palabras o letras en mayúsculas fueron son remplazadas con sus respectivos valores:

ALGORITMO PARA PRIMER PLANTEAMIENTO - CASO FUZZY 1

$$z1 = \text{RASTER} < B$$

$$z2 = \text{RASTER} \geq B \ \& \ \text{RASTER} < E$$

$$z3 = \text{RASTER} \geq E \ \& \ \text{RASTER} < C$$

$$z4 = \text{RASTER} \geq C$$

$$p1 = \text{RASTER} - A$$

$$v1 = \text{FACTOR1} * p1$$

$$p2 = \text{RASTER} - B$$

$$p3 = \text{FACTOR2} * p2$$

$$v2 = 45 + p3$$

$$p4 = \text{RASTER} * 2$$

$$p5 = p4 - B - C$$

$$p6 = p5 * \text{FACTOR3}$$

$$v3 = 90 + p6$$

$$p7 = \text{RASTER} - C$$

$$p8 = \text{FACTOR4} * p7$$

$$v4 = p8 + 135$$

```
x1=z1 * v1
x2=z2 * v2
x3=z3 * v3
x4=z4 * v4
pg=x1 + x2 + x3 + x4
pr=pg * 3.14159265
rad=pr / 180
seno=Sin(rad)
seno2=Pow(seno, 2)
```

ALGORITMO PARA PRIMER PLANTEAMIENTO - CASO FUZZY 2

```
z1=RASTER < B
z2=RASTER >= B
p1=RASTER - A
v1=FACTOR1 * p1
p2=RASTER - B
p3=FACTOR2 * p2
v2=45 + p3
x1=z1 * v1
x2=z2 * v2
pg=x1 + x2
pr=pg * 3.14159265
rad=pr / 180
seno=Sin(rad)
seno2=Pow(seno, 2)
```

ALGORITMO PARA PRIMER PLANTEAMIENTO - CASO FUZZY 3

```
z1=RASTER < B
z2=RASTER >= B
p1=RASTER - A
p2=FACTOR1 * p1
```

$v1=90 + p2$
 $p3=RASTER - B$
 $p4=FACTOR2 * p3$
 $v2=135 + p4$
 $x1=z1 * v1$
 $x2=z2 * v2$
 $pg=x1 + x2$
 $pr=pg * 3.14159265$
 $rad=pr / 180$
 $seno=Sin(rad)$
 $seno2=Pow(seno, 2)$

ALGORITMO PARA SEGUNDO PLANTEAMIENTO - CASO FUZZY 1

$z1=RASTER < F$
 $z2=RASTER \geq F \& RASTER < B$
 $z3=RASTER \geq B \& RASTER < E$
 $z4=RASTER \geq E \& RASTER < C$
 $z5=RASTER \geq C \& RASTER < G$
 $z6=RASTER \geq G$
 $v1=FACTOR1 * (RASTER - A)$
 $v2=0.21991149 + (FACTOR2 * (RASTER - F))$
 $v3=0.78539816 + (FACTOR3 * (RASTER - B))$
 $v4=1.57079633 + (FACTOR4 * ((2 * RASTER) - B - C))$
 $v5=2.35619449 + (FACTOR5 * (RASTER - C))$
 $v6=2.92168117 + (FACTOR6 * (RASTER - G))$
 $x1=v1 * z1$
 $x2=v2 * z2$
 $x3=v3 * z3$
 $x4=v4 * z4$
 $x5=v5 * z5$
 $x6=v6 * z6$
 $rad=x1 + x2 + x3 + x4 + x5 + x6$

seno=Sin(rad)
 seno2=Pow(seno, 2)

ALGORITMO PARA SEGUNDO PLANTEAMIENTO - CASO FUZZY 2

z1=RASTER < D
 z2=RASTER >= D & RASTER < B
 z3=RASTER >= B & RASTER < C
 z4=RASTER >= C
 v1=FACTOR1 * (RASTER - A)
 v2=0.21991149 + (FACTOR2 * (RASTER - D))
 v3=0.78539816 + (FACTOR3 * (RASTER - B))
 v4=1.57079633 + (FACTOR4 * (RASTER - C))
 x1=v1 * z1
 x2=v2 * z2
 x3=v3 * z3
 x4=v4 * z4
 rad=x1 + x2 + x3 + x4
 seno=Sin(rad)
 seno2=Pow(seno, 2)

ALGORITMO PARA SEGUNDO PLANTEAMIENTO - CASO FUZZY 3

z1=RASTER < A
 z2=RASTER >= A & RASTER < B
 z3=RASTER >= B & RASTER < E
 z4=RASTER >= E
 v1=1.35088484 + (FACTOR1 * (RASTER - D))
 v2=1.57079633 + (FACTOR2 * (RASTER - A))
 v3=2.35619449 + (FACTOR3 * (RASTER - B))
 v4=2.92168117 + (FACTOR4 * (RASTER - E))
 x1=v1 * z1
 x2=v2 * z2

$$x3=v3 * z3$$

$$x4=v4 * z4$$

$$rad=x1 + x2 + x3 + x4$$

$$seno=Sin(rad)$$

$$seno2=Pow(seno, 2)$$

A continuación se muestra un ejemplo de calculo en la herramienta “Raster Calculador”:

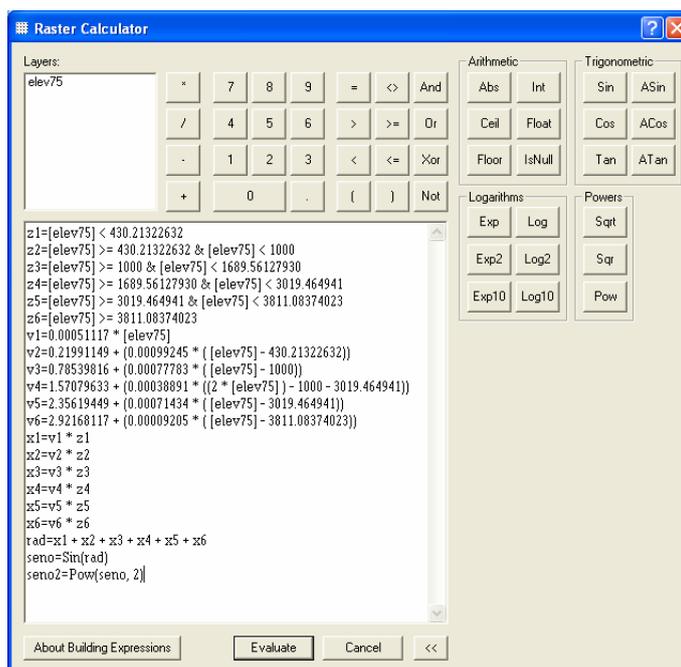


Figura. 4. 4 Ejemplo de Cálculo de Variable Elevación en herramienta “Raster Calculador” - ArcGis

4.3 GENERACIÓN DEL MAPA DE PROBABILIDAD DE UBICACIÓN DE ESPECIE MEDIANTE LA LÓGICA DIFUSA

Una vez que se han obtenido los datos de probabilidad de presencia de la especie, para cada variable, con un rango de 0 a 1, procedemos a generar el mapa, para lo cual se procede a calcular la media para el Primer Planteamiento, y para el Segundo Planteamiento, la multiplicación y la media, a fin de evaluar los resultados. Para esto se hace uso de la herramienta “Raster Calculator” del ArcToolbox del ArcGis.

Los resultados, en forma esquemática, se pueden ver a continuación:

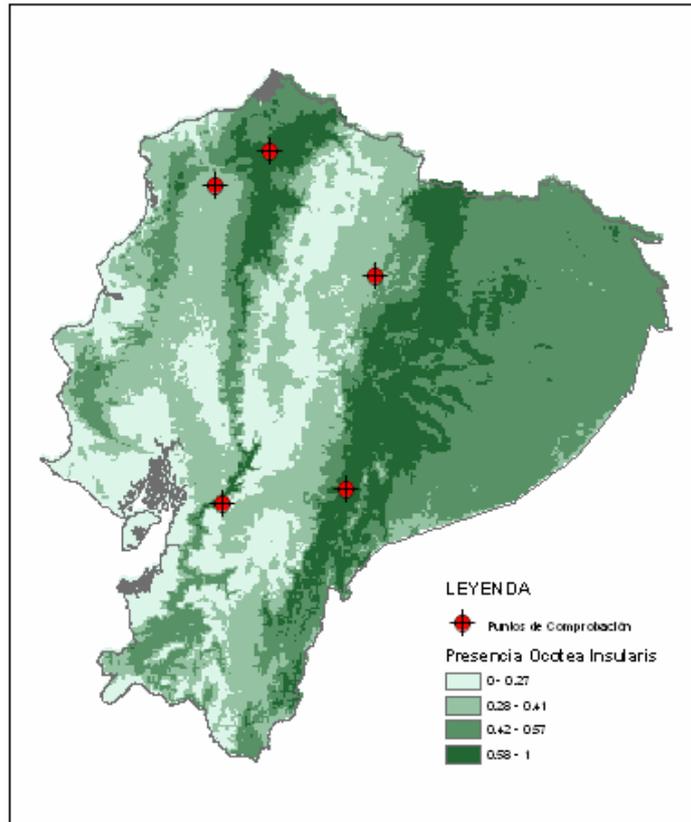


Figura. 4. 5 Esquema resultado de modelo de presencia de la especie *Ocoetea insularis* con el Primer Planteamiento – Media Normalizada

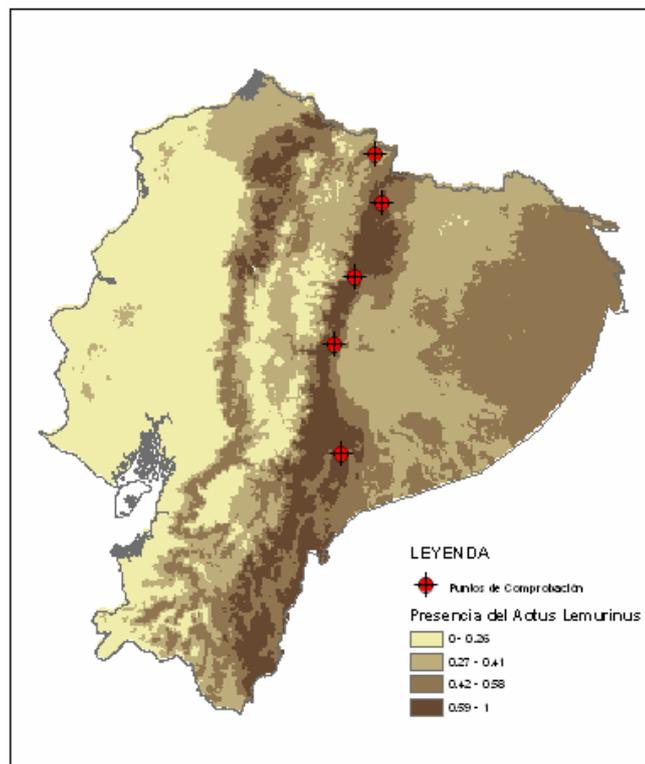


Figura. 4. 6 Esquema resultado de modelo de presencia de la especie *Aotus lemurinus* con el Segundo Planteamiento – Media Normalizada

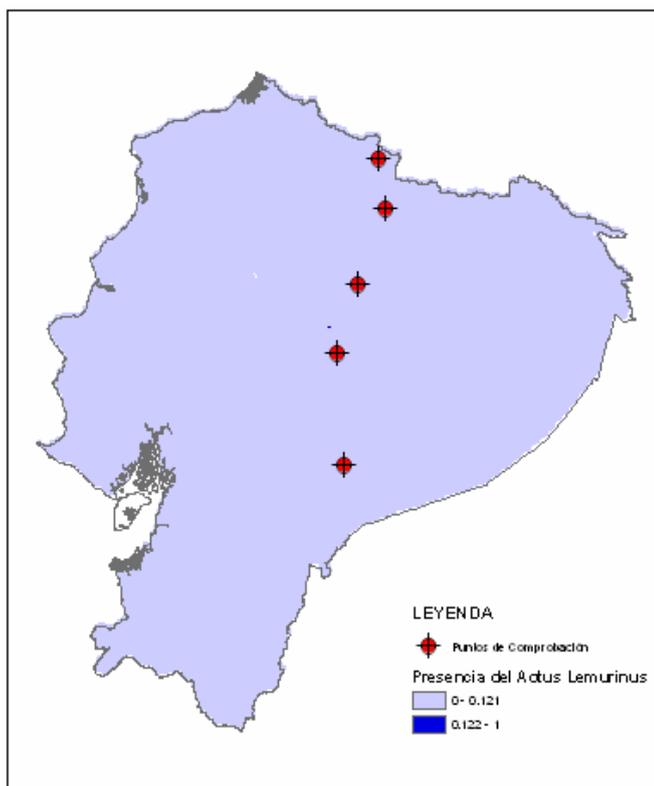


Figura. 4. 7 Esquema resultado de modelo de presencia de la especie *Aotus lemurinus* con el Segundo Planteamiento – Multiplicación

4.4 GENERACIÓN DE MODELOS DE UBICACIÓN MEDIANTE OTROS MÉTODOS GEOESTADÍSTICOS

4.4.1 Regresión Lineal

Se ingreso a la matriz de SPSS 15.0 los valores obtenidos para los 43 puntos de presencia y los 65 puntos de ausencia para cada especie, dándoles un valor de cero para la ausencia y de uno para la presencia, convirtiéndose esta en la variable dependiente. Se utilizaron dos métodos de ingreso de las variables independientes, el método Enter y el Stepwise. Los resultados se muestran en la Tabla 4.15, en cuanto al valor de b:

	B_metodo_Stepwise	B_metodo_ENTER
(Constante)	1.7839815755	2.4801692378
WClim - B01		-0.0461642438
WClim - B02	-0.0443348038	-0.0372789885

WClim - B03		-0.0013985501
WClim - B04	-0.0012706141	-0.0018717325
WClim - B05		-0.0318697255
WClim - B07	0.0302809417	0.0413762625
WClim - B08		0.0366776198
WClim - B09		-0.0175946923
WClim - B10		0.0586314792
WClim - B12		0.0001451444
WClim - B13		0.0071114815
WClim - B14	-0.0058796361	-0.0014749220
WClim - B15	-0.0067217936	-0.0155191801
WClim - B16		-0.0024566760
WClim - B17		-0.0019537523
WClim - B18	0.0006579711	-0.0000792579
WClim - B19	0.0008171485	0.0009900601
Elevación		-0.0001498260
Dist. Poblados		-0.0000072838
Dist. Ríos		0.0000068204
Pendiente		0.0013437071
Dist. SNAP		-0.0000000161
Dist. Vías		0.0000009035

Tabla. 4. 15 Valores de b, para la Regresión Lineal – *Ocotea insularis*

	B_metodo_Stepwise	B_metodo_ENTER
Constante	3,4697777885	-6,5100049067
Elevación	0,0002396168	0,0003174616
Dist. Poblados		-0,0000000701
Dist. Ríos		-0,0000341115
Pendientes	0,0036661834	0,0042239294
Dist. SNAP		-0,0000022541
Dist. Vías		-0,0000067969
WClim - B02		-0,0777653468
WClim - B03	-0,0472254460	0,0763678142
WClim - B04		-0,0003954012
WClim - B05		0,0358656128
WClim - B07		0,0401178206
WClim - B08		0,0056472764
WClim - B09		-0,0058525282
WClim - B11		-0,0321961103
WClim - B12		-0,0013413287
WClim - B13		0,0024041897
WClim - B14		0,0116791367
WClim - B15		-0,0055918176

WClim - B16		0,0019976148
WClim - B17		-0,0013657448
WClim - B18		-0,0000129880
WClim - B19	0,0009419755	0,0010085623

Tabla. 4. 16 Valores de b, para la Regresión Lineal – *Aotus lemurinus*

Los Resultados fueron los siguientes:

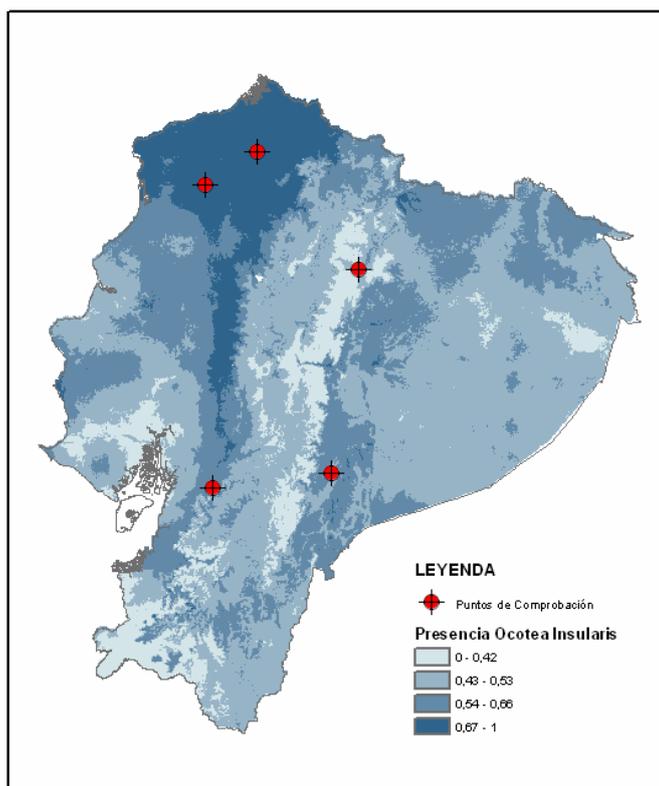


Figura. 4. 8 Esquema resultado de modelo de presencia de la especie *Ocotopa insularis* con el Método de Regresión Lineal – Método de ingreso de Variables Enter

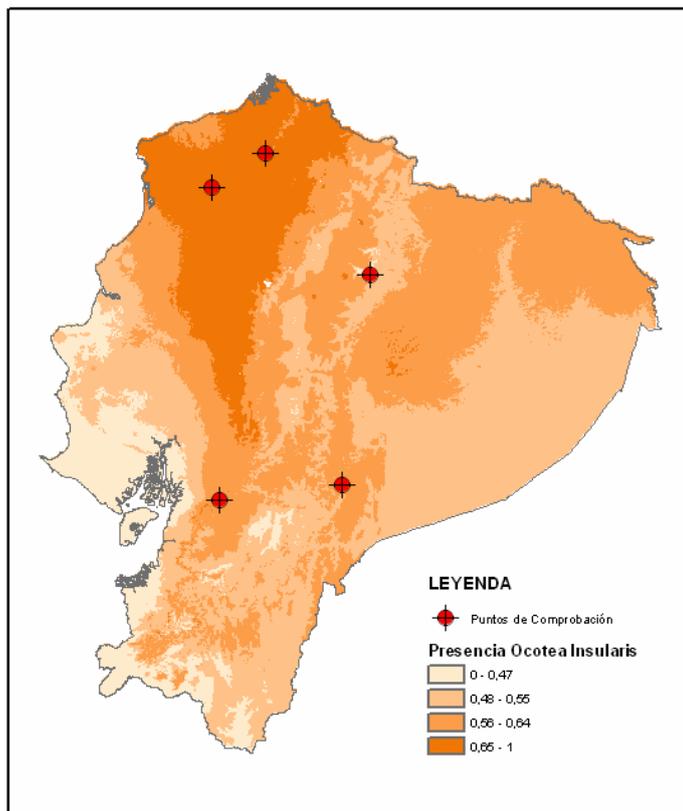


Figura. 4. 9 Esquema resultado de modelo de presencia de la especie *Ocotia insularis* con el Método de Regresión Lineal – Método de ingreso de Variables Stepwise

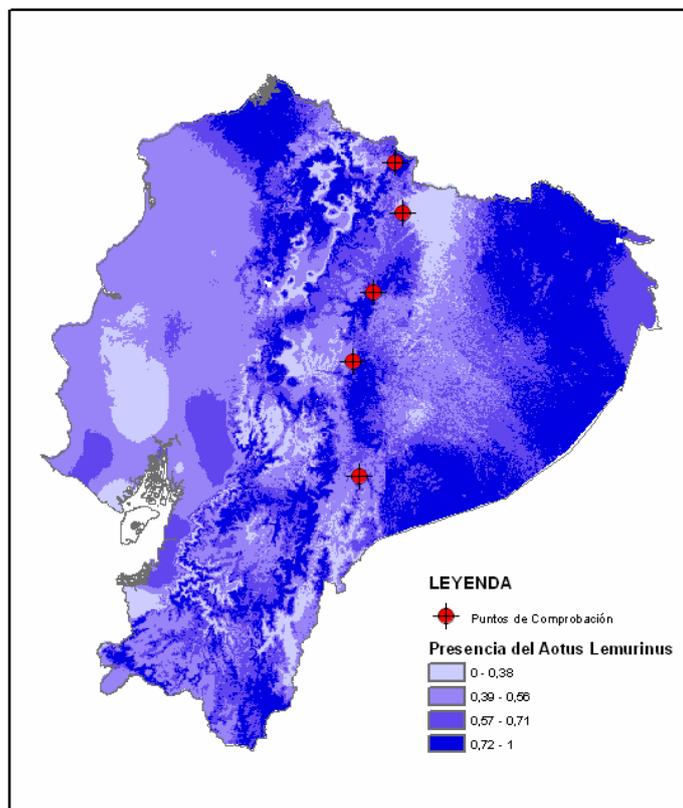


Figura. 4. 10 Esquema resultado de modelo de presencia de la especie *Aotus lemurinus* con el Método de Regresión Lineal – Método de ingreso de Variables Enter

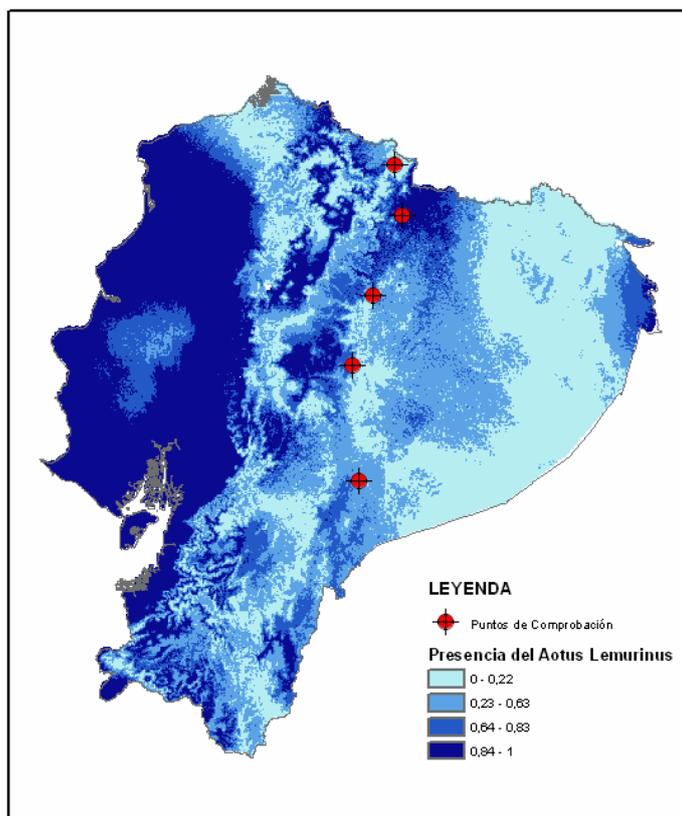


Figura. 4. 11 Esquema resultado de modelo de presencia de la especie *Aotus lemurinus* con el Método de Regresión Lineal – Método de ingreso de Variables Stepwise

4.4.2 Binary Logistic

Al igual que el Método de Regresión Lineal, se ingresó a la matriz de SPSS 15.0 los valores obtenidos para los 43 puntos de presencia y los 65 puntos de ausencia para cada especie, dándoles un valor de cero para la ausencia y de uno para la presencia, convirtiéndose esta en la variable dependiente. Los resultados fueron los siguientes, en cuanto al valor de b:

	B
WClim - B01	0,0973675410
WClim - B02	-0,7894857517
WClim - B03	0,5247439713
WClim - B04	-0,0582137173
WClim - B05	0,5361876237
WClim - B06	-0,7188782279
WClim - B08	0,5254704414
WClim - B09	-0,2580049188
WClim - B10	1,8017374705
WClim - B11	-1,9842533972

WClim - B12	0,0104805220
WClim - B13	0,0070653070
WClim - B14	-0,0748148835
WClim - B15	-0,1134742369
WClim - B16	-0,0174189781
WClim - B17	-0,0213229303
WClim - B18	-0,0046642979
WClim - B19	0,0115595786
Elevación	-0,0015426707
Dist. Poblados	-0,0001811653
Dist. Ríos	0,0000578926
Pendiente	0,0040713548
Dist. SNAP	-0,0000017249
Dist. Vías	0,0000174973
Constante	-30,4182773851

Tabla. 4. 17 Valores de b, para el Método Binary Logistic – *Ocotea insularis*

Los resultados obtenidos con este método fueron los siguientes:

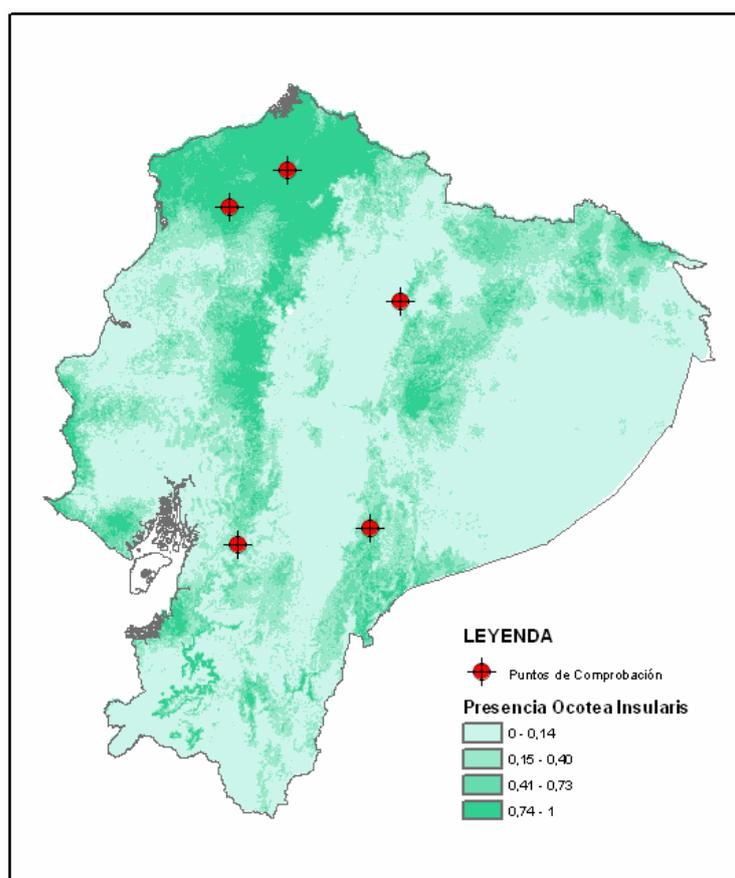


Figura. 4. 12 Esquema resultado de modelo de presencia de la especie *Ocotea insularis* con el Método Binary Logistic

4.4.3 Modelo MARS

Como ya se indico en el Capitulo 2, se hace uso del Software MARS 2.0 para la obtención del las ecuaciones que dan como resultado el modelo MARS. Se estableció un máximo de 15 funciones básicas, y el mejor modelo, los resultados para la especie *Ocotea insularis* fueron:

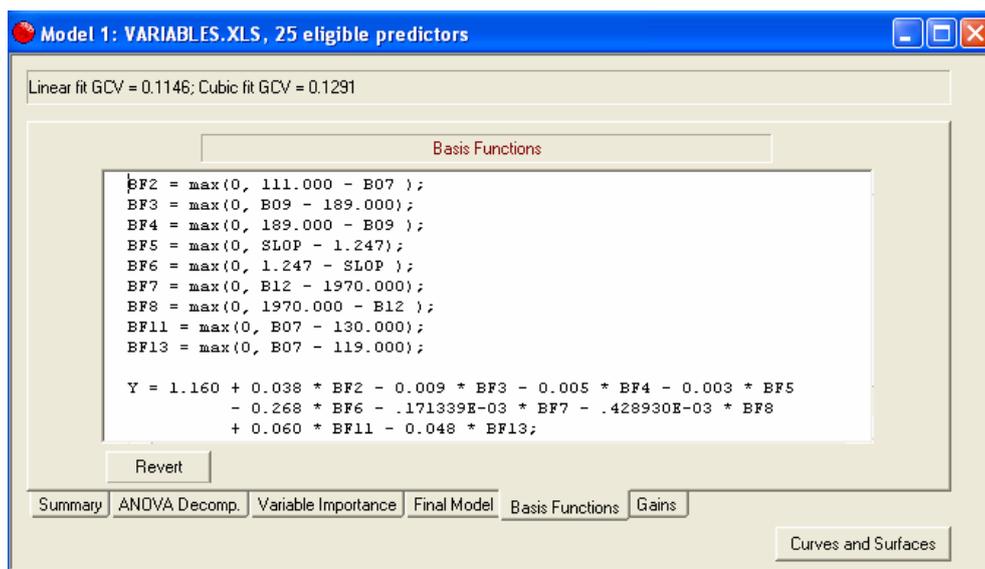


Figura. 4. 13 Funciones Básicas resultantes del cálculo del Método MARS para la especie *Ocotea insularis*

Y para la especie *Aotus lemurinus* es:

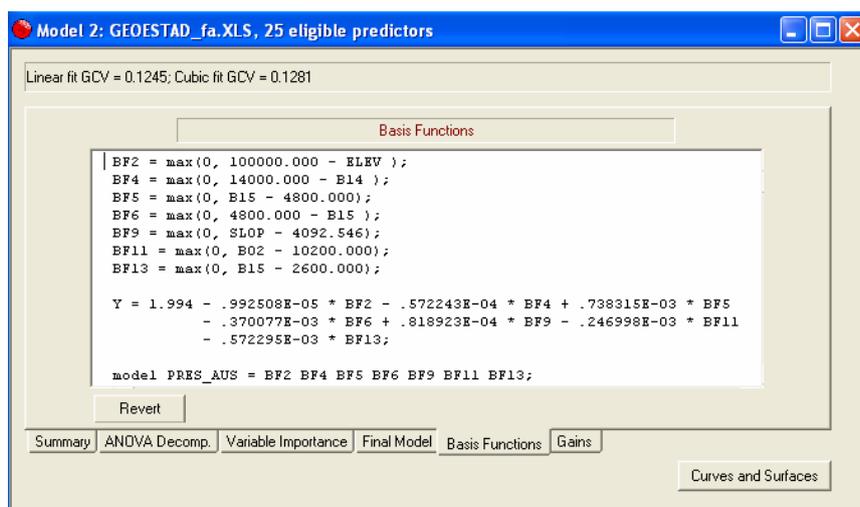


Figura. 4. 14 Funciones Básicas resultantes del cálculo del Método MARS para la especie *Aotus lemurinus*

Estas salidas son copiadas a la herramienta “Raster Calculador” de ArcGis, y da como resultado el modelo. Para el caso de la *Ocotea insularis* fue el siguiente:

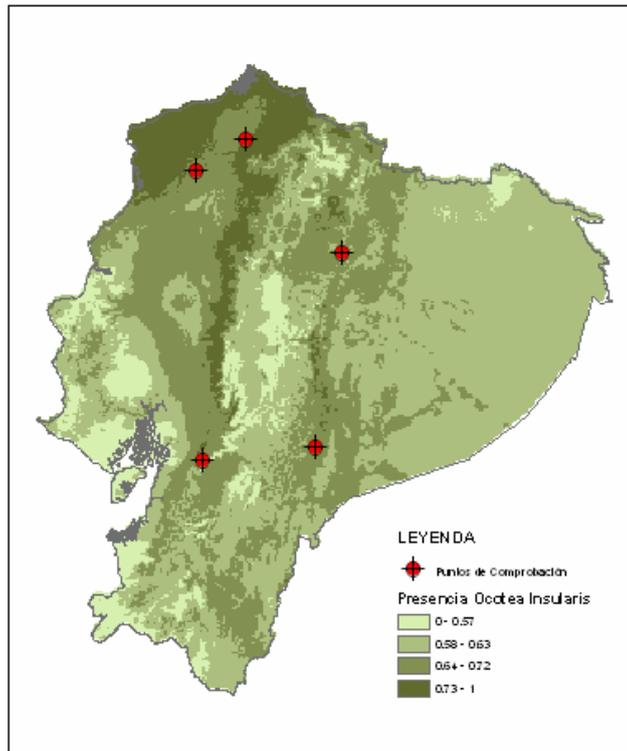


Figura. 4. 15 Esquema resultado de modelo de presencia de la especie *Ocotea insularis* con el Método MARS

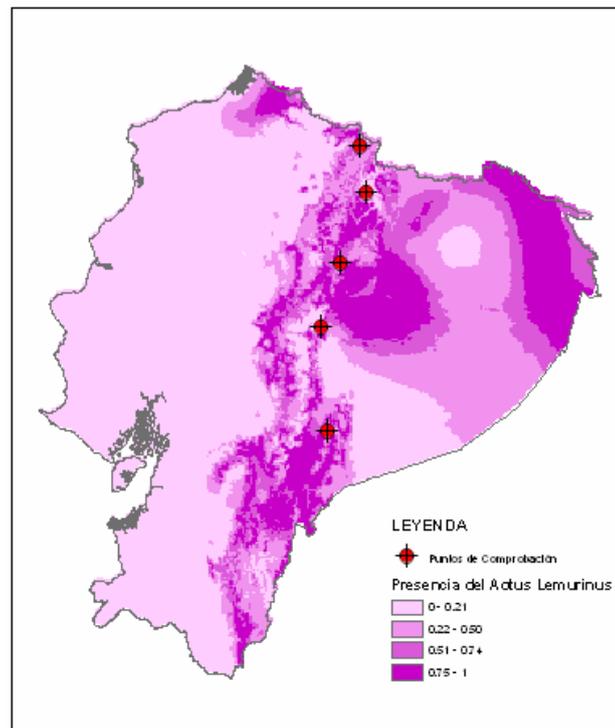


Figura. 4. 16 Esquema resultado de modelo de presencia de la especie *Aotus lemurinus* con el Método MARS

4.5 COMPARACIÓN ENTRE MODELOS

Se realizara tres comparaciones a los modelos obtenidos, una comparación de resultados obtenidos para los puntos excluidos del proceso del modelamiento, la desviación estándar, y su comparación grafica.

4.5.1 Por puntos de Comprobación

La proximidad al valor de 1, reflejaría una mayor exactitud, los valores por modelos para los puntos de comprobación de la *Ocotea insularis*, son los siguientes:

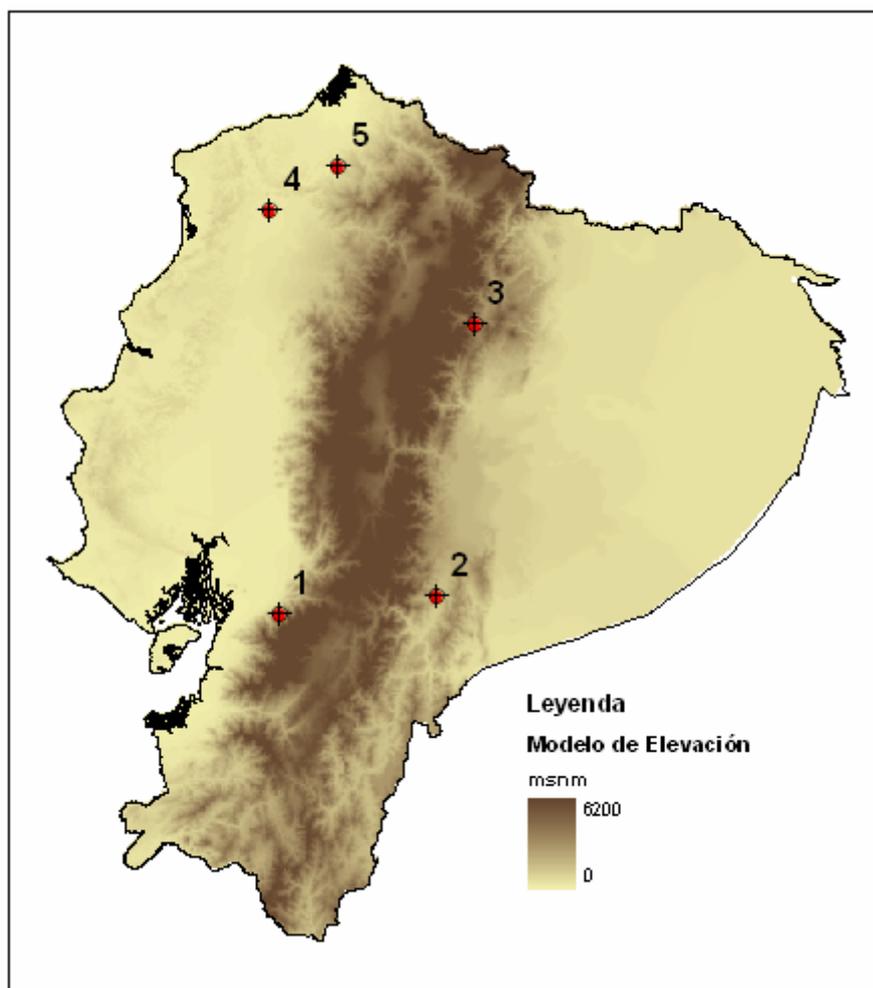


Figura. 4. 17 Distribución de Puntos de Comprobación de la Especie *Ocotea insularis*

Numero de Punto	MARS	Binary Logistic	Regresión Lineal (Enter)	Regresión Lineal (Stepwise)	FUZZY
1	0.688	0.009	0.523	0.597	0.371
2	0.685	0.915	0.536	0.569	0.602
3	0.613	0.065	0.538	0.483	0.325
4	0.697	0.950	0.845	0.685	0.355
5	0.736	0.850	0.717	0.652	0.597
Media	0.684	0.558	0.632	0.597	0.450
Desv. Estandar	0,044	0,477	0,144	0,078	0,137

Tabla. 4. 18 Comparación entre modelos para la especie *Ocotea insularis* – Valores de los puntos de Comprobación

Para el caso de la especie *Aotus lemurinus*, los valores para los puntos de comprobación, fueron los que continuación se muestran, tomando en cuenta que estos valores corresponden al segundo planteamiento de la metodología Difusa y con media como procesamiento final de los resultados de las variables:

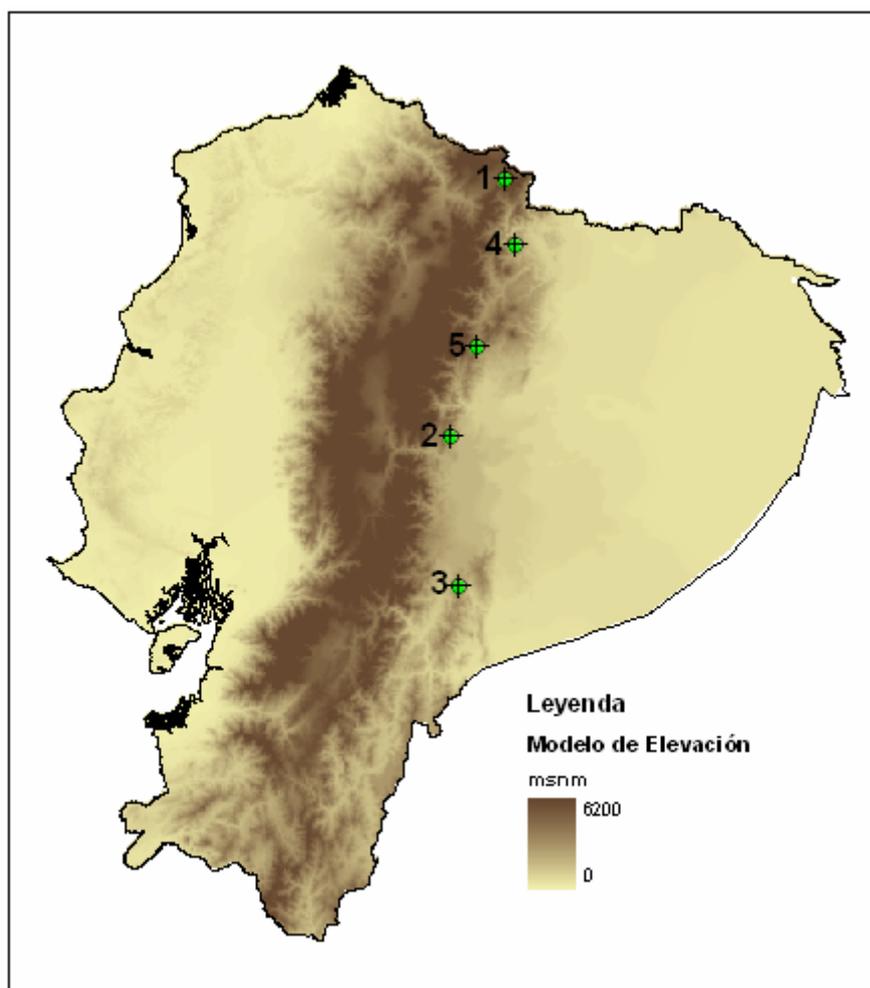


Figura. 4. 18 Distribución de Puntos de Comprobación de la Especie *Aotus lemurinus*

Numero de Punto	MARS	Regresión Lineal (Enter)	Regresión Lineal (Stepwise)	FUZZY
1	0.527	0.927	0.065	0.368
2	0.491	0.525	0.491	0.759
3	0.193	0.808	0.209	0.643
4	0.104	0.528	0.910	0.671
5	0.451	0.758	0.549	0.808
Media	0.353	0.709	0.445	0.650
Desv. Estándar	0,191	0,178	0,328	0,171

Tabla. 4. 19 Comparación entre modelos para la especie *Aotus lemurinus* – Valores de los puntos de Comprobación

4.5.2 Por Desviación Estándar

La información de la desviación estándar se encuentra en las propiedades del raster, en ArcGis. Tomando estos valores realizamos la comparación.

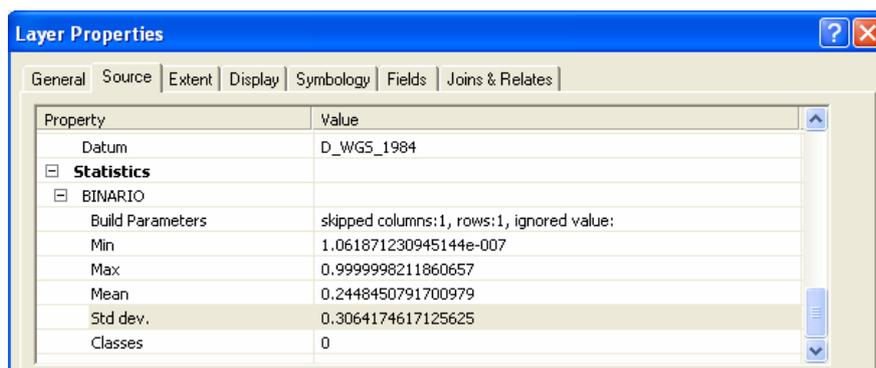


Figura. 4. 19 Captura de Pantalla – Propiedades del modelo Binary Logistic para *Ocotea insularis*

Para la especie *Ocotea insularis*, los valores para los modelos son:

Modelo	Desviación Estándar
MARS	0.065661
Regresión Lineal (Stepwise)	0.080896
Regresión Lineal (Enter)	0.106211
FUZZY	0.149770
Binary Logistic	0.306417

Tabla. 4. 20 Comparación entre modelos para la especie *Ocotea insularis* – Desviación Estándar

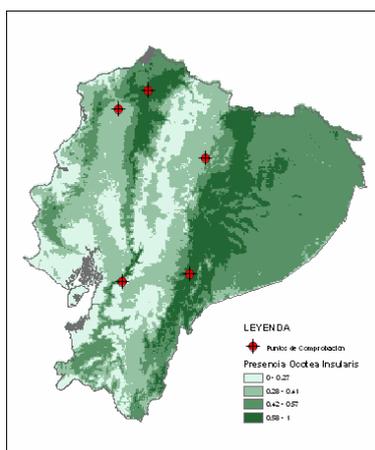
Para la especie *Aotus lemurinus*, los valores para los modelos son:

Modelo	Desviación Estándar
FUZZY	0.165602
Regresión Lineal (Enter)	0.168170
MARS	0.313474
Regresión Lineal (Stepwise)	0.331244

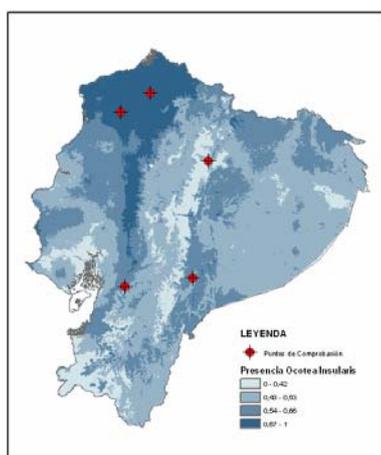
Tabla. 4. 21 Comparación entre modelos para la especie *Aotus lemurinus* – Desviación Estándar

4.5.3 Comparación Grafica

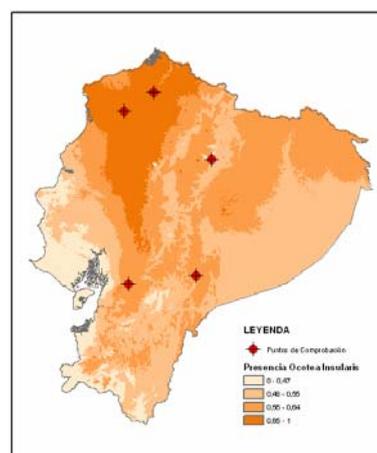
Para la especie *Ocotea insularis*, la comparación grafica es la siguiente:



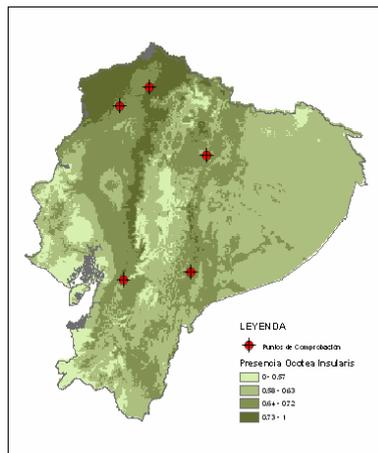
FUZZY



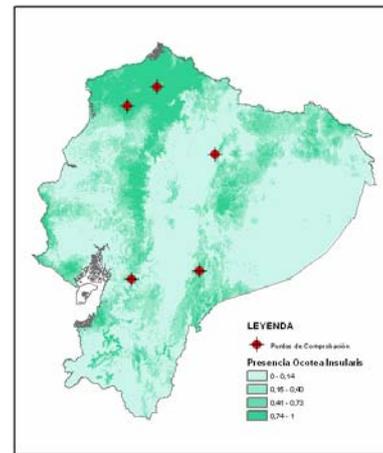
**REGRESIÓN LINEAL
(ENTER)**



**REGRESIÓN LINEAL
(STEPWISE)**

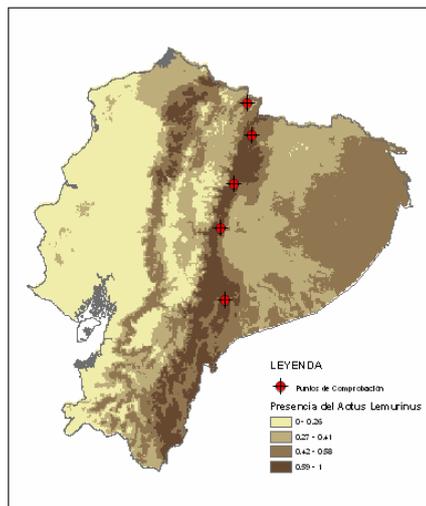


MARS

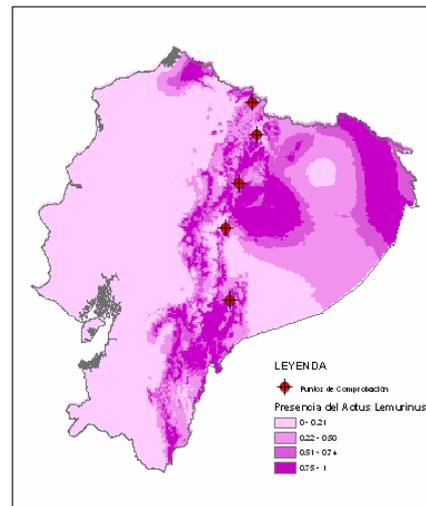


BINARY LOGISTIC

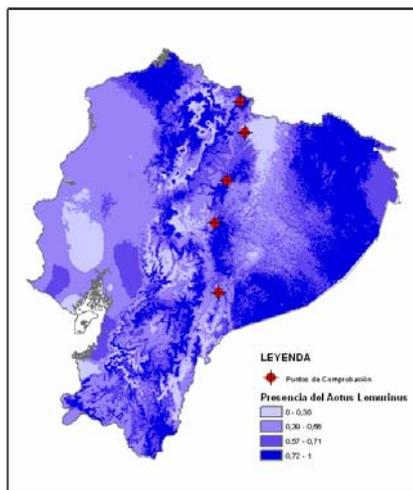
Para la especie *Aotus lemurinus*, la comparación grafica es la siguiente:



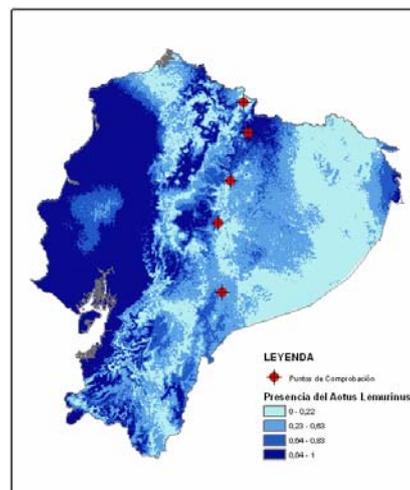
FUZZY



MARS



**REGRESIÓN LINEAL
(ENTER)**



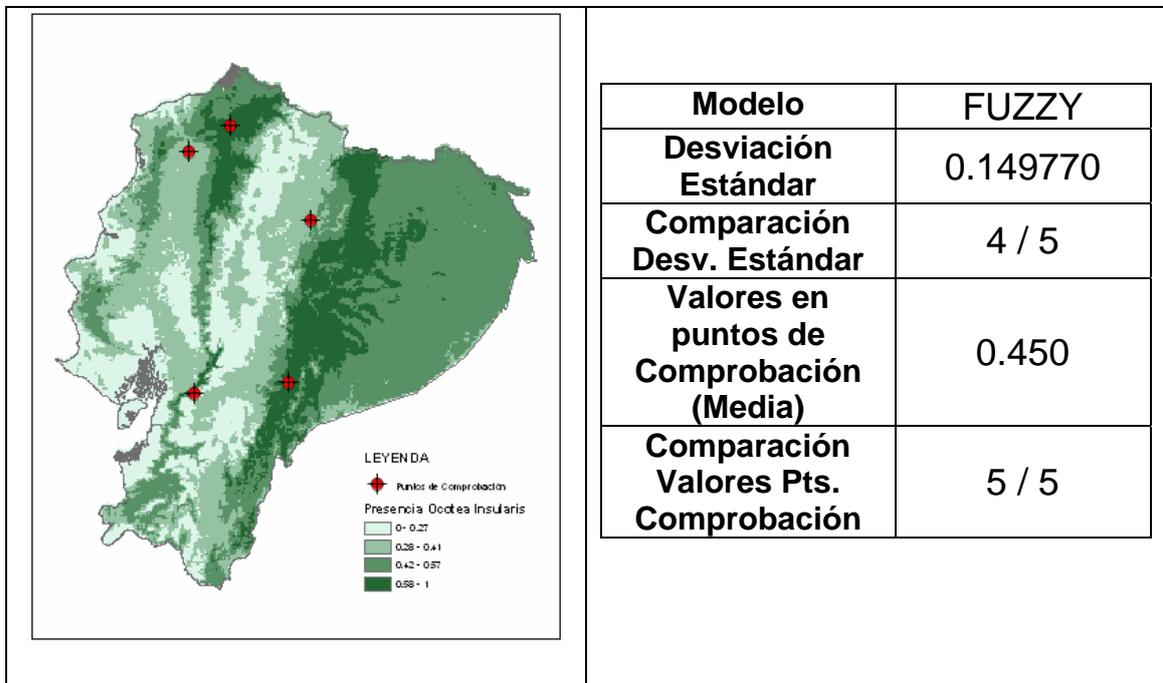
REGRESIÓN LINEAL (STEPWISE)

CAPITULO 5

RESULTADOS

5.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

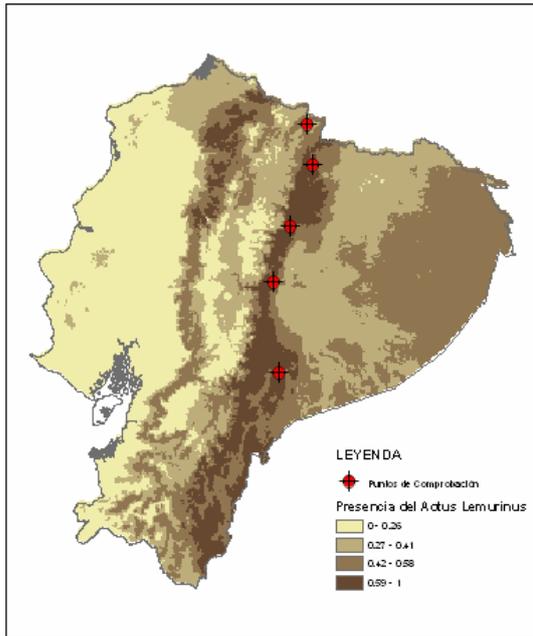
Para su análisis y conclusiones para el proyecto, se presenta cuadros resumen de los modelos y las comparaciones que fueron realizadas en el capítulo anterior. Las Comparaciones presentadas en las tablas, muestran al mejor modelo con el valor de 1 y el menos adecuado con su número correspondiente, sobre el número de modelos realizados. Para la especie *Ocotea Insularis*, este cuadro resumen es el siguiente:



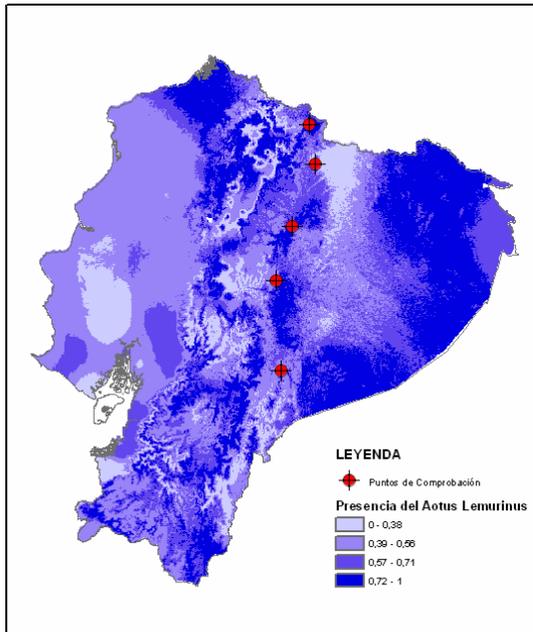
<p>LEYENDA</p> <p>◆ Puntos de Comprobación</p> <p>Presencia Ocotopa Insularis</p> <ul style="list-style-type: none"> 0 - 0.42 0.42 - 0.53 0.54 - 0.66 0.67 - 1 	<table border="1"> <tr> <td>Modelo</td> <td>Regresión Lineal (Enter)</td> </tr> <tr> <td>Desviación Estándar</td> <td>0.106211</td> </tr> <tr> <td>Comparación Desv. Estándar</td> <td>3 / 5</td> </tr> <tr> <td>Valores en puntos de Comprobación (Media)</td> <td>0.632</td> </tr> <tr> <td>Comparación Valores Pts. Comprobación</td> <td>2 / 5</td> </tr> </table>	Modelo	Regresión Lineal (Enter)	Desviación Estándar	0.106211	Comparación Desv. Estándar	3 / 5	Valores en puntos de Comprobación (Media)	0.632	Comparación Valores Pts. Comprobación	2 / 5
Modelo	Regresión Lineal (Enter)										
Desviación Estándar	0.106211										
Comparación Desv. Estándar	3 / 5										
Valores en puntos de Comprobación (Media)	0.632										
Comparación Valores Pts. Comprobación	2 / 5										
<p>LEYENDA</p> <p>◆ Puntos de Comprobación</p> <p>Presencia Ocotopa Insularis</p> <ul style="list-style-type: none"> 0 - 0.47 0.48 - 0.55 0.56 - 0.64 0.65 - 1 	<table border="1"> <tr> <td>Modelo</td> <td>Regresión Lineal(Stepwise)</td> </tr> <tr> <td>Desviación</td> <td>0.080896</td> </tr> </table>	Modelo	Regresión Lineal(Stepwise)	Desviación	0.080896						
Modelo	Regresión Lineal(Stepwise)										
Desviación	0.080896										

<p>LEYENDA + Puntos de Comprobación Presencia <i>Ootaea Insularis</i> 0 - 0.14 0.15 - 0.40 0.41 - 0.73 0.74 - 1</p>	<table border="1"> <tr> <td>Modelo</td> <td>Binary Logistic</td> </tr> <tr> <td>Desviación Estándar</td> <td>0.306417</td> </tr> <tr> <td>Comparación Desv. Estándar</td> <td>5 / 5</td> </tr> <tr> <td>Valores en puntos de Comprobación (Media)</td> <td>0.558</td> </tr> <tr> <td>Comparación Valores Pts. Comprobación</td> <td>4 / 5</td> </tr> </table>	Modelo	Binary Logistic	Desviación Estándar	0.306417	Comparación Desv. Estándar	5 / 5	Valores en puntos de Comprobación (Media)	0.558	Comparación Valores Pts. Comprobación	4 / 5
Modelo	Binary Logistic										
Desviación Estándar	0.306417										
Comparación Desv. Estándar	5 / 5										
Valores en puntos de Comprobación (Media)	0.558										
Comparación Valores Pts. Comprobación	4 / 5										
<p>LEYENDA + Puntos de Comprobación Presencia <i>Ootaea Insularis</i> 0 - 0.57 0.58 - 0.63 0.64 - 0.72 0.73 - 1</p>	<table border="1"> <tr> <td>Modelo</td> <td>MARS</td> </tr> <tr> <td>Desviación Estándar</td> <td>0.065661</td> </tr> <tr> <td>Comparación</td> <td>1 / 5</td> </tr> </table>	Modelo	MARS	Desviación Estándar	0.065661	Comparación	1 / 5				
Modelo	MARS										
Desviación Estándar	0.065661										
Comparación	1 / 5										

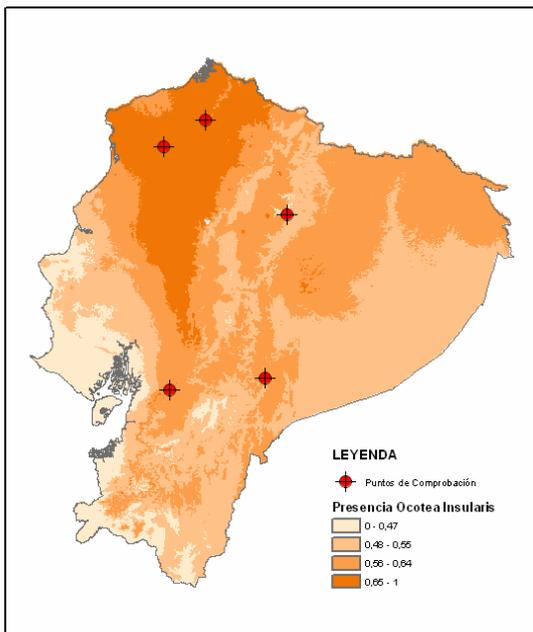
Para el caso de la especie *Aotus Lemurinus*, el cuadro resumen es el siguiente:



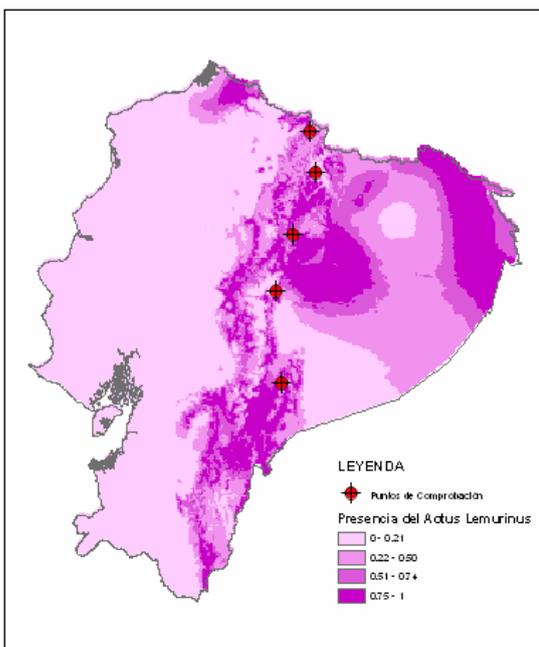
Modelo	FUZZY
Desviación Estándar	0.165602



Modelo	Regresión Lineal (Enter)
Desviación Estándar	0.168170
Comparación Desv. Estándar	2 / 5
Valores en puntos de Comprobación (Media)	0.709
Comparación Valores Pts. Comprobación	1 / 4



Modelo	Regresión Lineal(Stepwise)
Desviación	0.331244



Modelo	MARS
Desviación Estándar	0.313474
Comparación	3 / 4

5.2 CONCLUSIONES

- ❖ El cálculo de la Media Aritmética es el de proceso final, para la obtención del modelo de ubicación de especies, mas adecuado por los muy buenos resultados obtenidos, a diferencia del calculo de la Multiplicación Normalizada, que excluyo grandes zonas.
- ❖ El Primer Planteamiento del Algoritmo de la Lógica Difusa, no genero resultados muy favorables frente a los modelos desarrollados por métodos Geoestadísticos.
- ❖ El Modelo de Ubicación de la Especie de fauna, generado a partir de la aplicación del Segundo Planteamiento del Algoritmo de la Lógica Difusa, resulto ser el Modelo de Ubicación para esta Especie, con menor desviación estándar, por lo que, si esta medida es tomada para la determinación de la precisión de los modelos, se concluye que el Modelo de Ubicación generado a partir de la Metodología Difusa, es mas preciso que otros métodos Geoestadísticos como MARS y Regresiones Lineales.
- ❖ El proceso de aplicación de la Metodología Difusa desarrollada es largo y demanda de tecnología para un ágil procesamiento de los datos.
- ❖ Pese a los resultados obtenidos con la Metodología Difusa desarrollada, se plantea la necesidad de realizar estudios de alcance a este proyecto, a fin de obtener una Metodología comprobada y que esta pueda ser usada como una alternativa optima, para aplicaciones Geoestadísticas.

5.3 RECOMENDACIONES

- ❖ Realizar el cálculo de la Media como procedimiento final para la obtención del Modelo de Ubicación de Especies, tanto de flora como de fauna, por lo restrictivo de los resultados del cálculo de la multiplicación de las variables.
- ❖ Descartar el Primer Planteamiento del Algoritmo de la Lógica Difusa desarrollada, y aplicar el Segundo Planteamiento.
- ❖ Realizar mayor cantidad de pruebas con la aplicación del Segundo Planteamiento del Algoritmo de la Lógica Difusa, a fin de comprobar su precisión frente a otros métodos Geoestadísticos.
- ❖ Generar un software que permita calcular de forma ágil los valores de los Puntos de Interés de la Función de Pertenencia y los diferentes Factores, para que el usuario tenga mayor facilidad al momento de aplicar la Metodología Difusa desarrollada.
- ❖ Realizar estudios de extensión al presente proyecto, que busquen mejorar la Metodología desarrollada, y finalmente realizar comprobaciones en campo de los resultados de la aplicación de la Lógica Difusa en la determinación de ubicación de especies de flora y fauna.

ANEXOS

ANEXO 1: EJEMPLO DEL CONTENIDO DE LA BASE DE DATOS DEL REAL JARDÍN BOTÁNICO DE MADRID

ANEXO 2: ESQUEMAS DE LAS VARIABLES PROCESADAS CON LA METODOLOGÍA DIFUSA – *Ocotea Insularis*

ANEXO 3: ESQUEMAS DE LAS VARIABLES PROCESADAS CON LA METODOLOGÍA DIFUSA – *Aotus Lemurinus*

ANEXO 4: TABLA CON LOS VALORES DE LAS VARIABLES PARA LOS PUNTOS DE PRESENCIA Y AUSENCIA - *Ocotea Insularis*

ANEXO 5: TABLA CON LOS VALORES DE LAS VARIABLES PARA LOS PUNTOS DE PRESENCIA Y AUSENCIA - *Aotus Lemurinus*

ANEXO 6: MAPAS

ANEXO 1

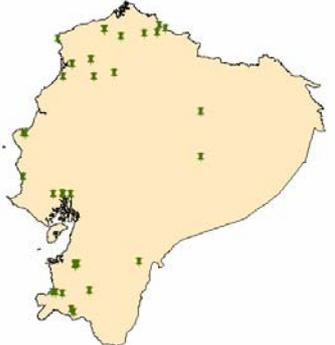
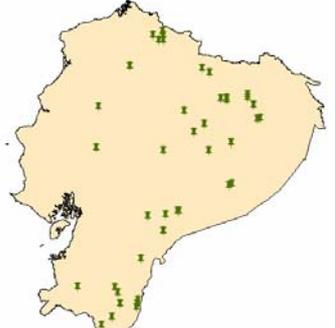
EJEMPLO DEL CONTENIDO DE LA BASE DE DATOS DEL REAL JARDÍN BOTÁNICO DE MADRID

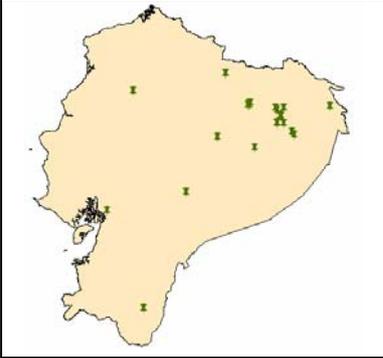
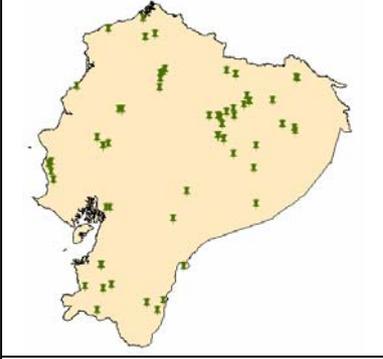
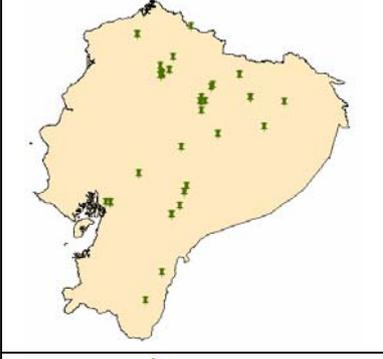
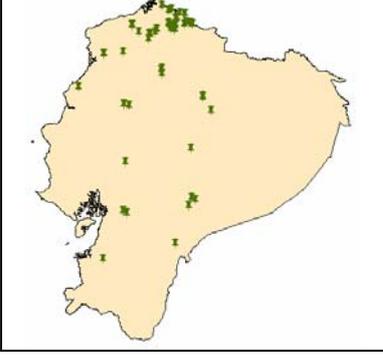
Grupo de 37 especies de Flora, en formato Shape de ArcGis, en sistema de coordenadas WGS84, cuyas Tablas contienen los siguientes datos:

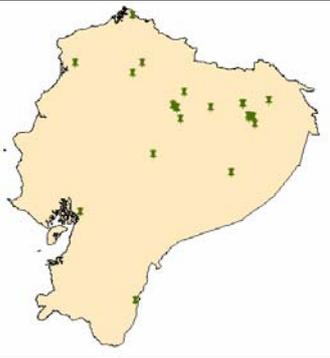
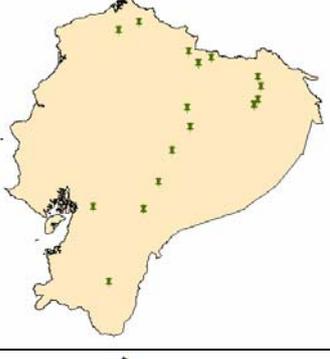
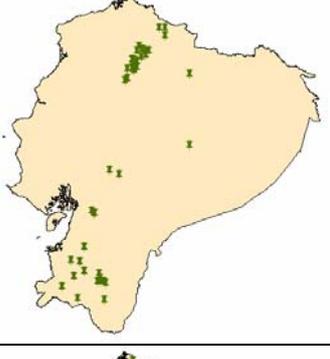
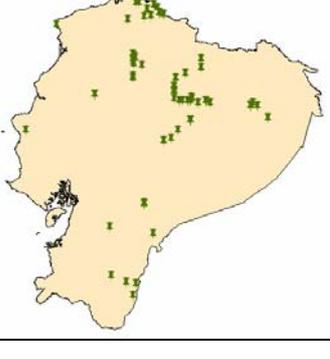
NOMBRE_CAMPO	TIPO	DESCRIPCIÓN
NAME	TEXT	Nombre de la especie
PROVINCE	TEXT	Provincia
LOC	TEXT	Centro poblado
ELEVATION	TEXT	Elevación msnm
VICINITY	TEXT	Breve descripción de la localización
COORD	TEXT	Coordenadas planas UTM17S
Y	FLOAT	Condenada geográfica Y en grados
X	FLOAT	Condenada geográfica X en grados
RECORD_NO	DOUBLE	Numero de record de la base de datos completa
TAXON_NO	DOUBLE	Numeración Taxonómica asignada
TAX_ID	TEXT	Identificación Taxonómica asignada

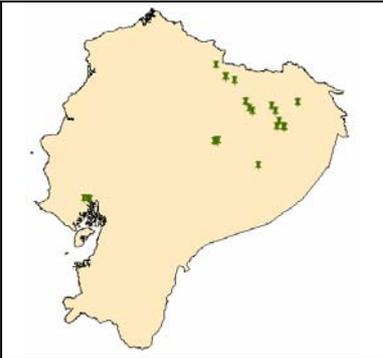
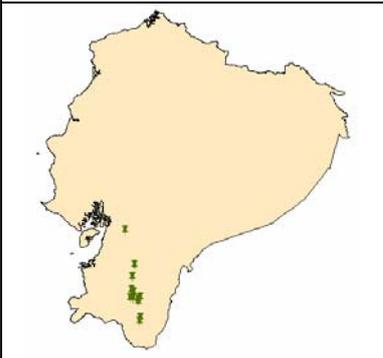
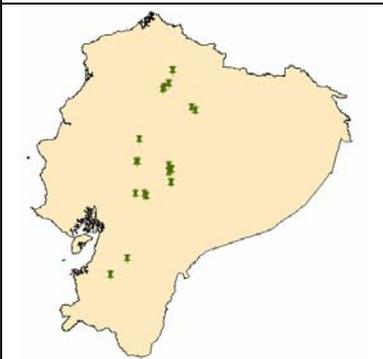
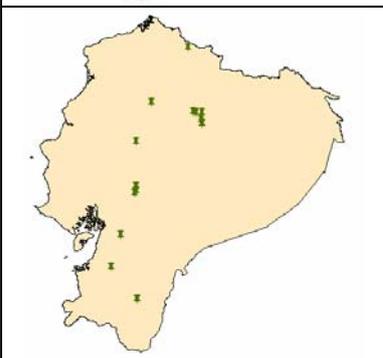
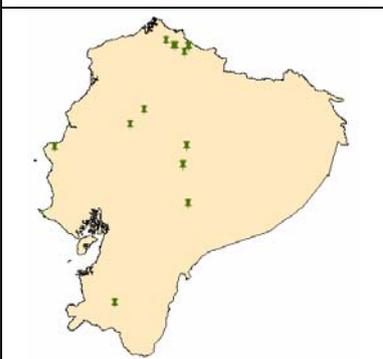
Esquema de archivos Shape de especies de flora:

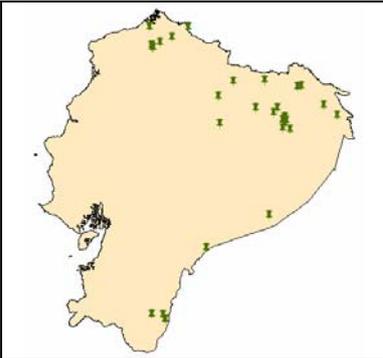
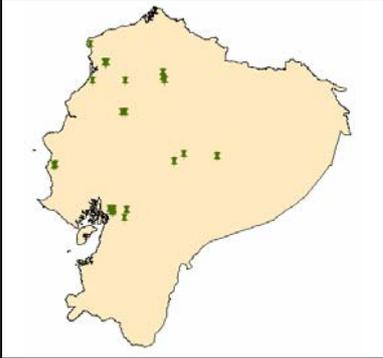
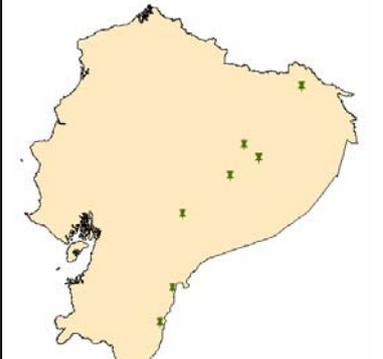
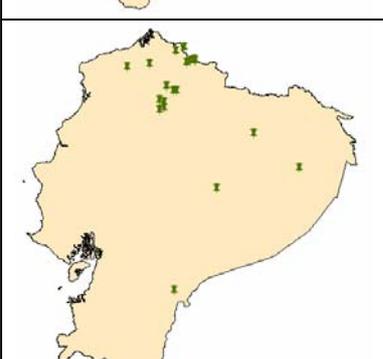
ESQUEMA	NOMBRE DE LA ESPECIE	DISTRIBUCIÓN	NUMERO DE MUESTRAS
	<i>Endlicheria ruforamula</i>	Costa y Sierra norte, Amazonia	21

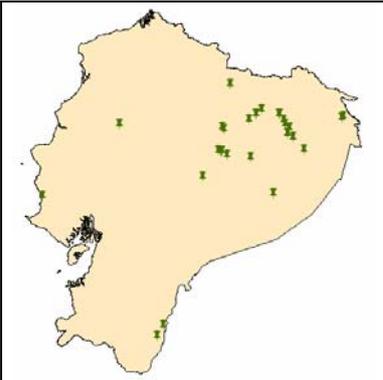
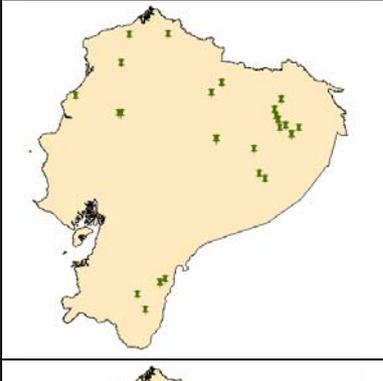
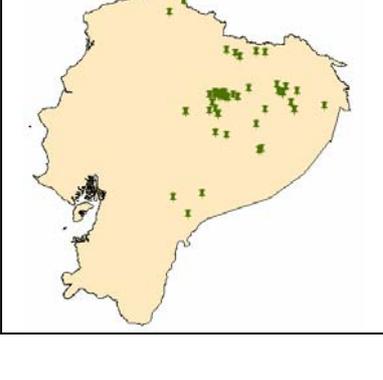
	<p><i>Endlicheria griseo-sericea</i></p>	<p>Sierra y Amazonia</p>	<p>26</p>
	<p><i>Ocotea aciphylla</i></p>	<p>Amazonia</p>	<p>45</p>
	<p><i>Nectandra acutifolia</i></p>	<p>Sierra y Amazonia</p>	<p>25</p>
	<p><i>Nectandra purpurea</i></p>	<p>Zona norte y sur</p>	<p>54</p>
	<p><i>Nectandra reticulata</i></p>	<p>Amplia distribución</p>	<p>42</p>

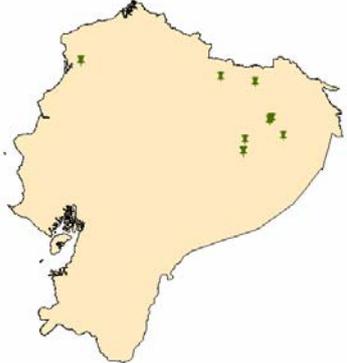
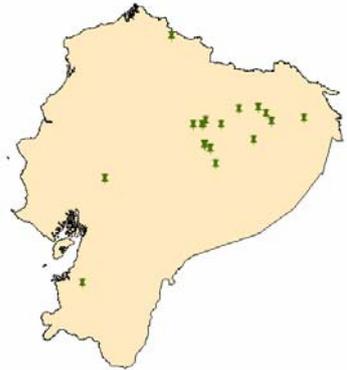
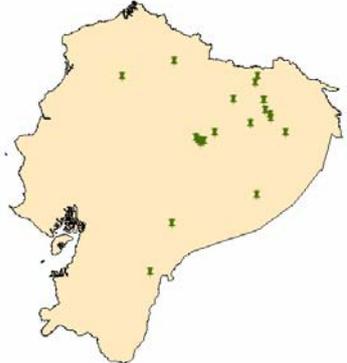
	<i>Aiouea dubia</i>	Zona Sur	24
	<i>Aniba hostmanniana</i>	Sierra y Amazonia	29
	<i>Ocotea cernua</i>	Amplia distribución	73
	<i>Ocotea floribunda</i>	Sierra y Amazonia	41
	<i>Ocotea insularis</i>	Costa y Sierra	80

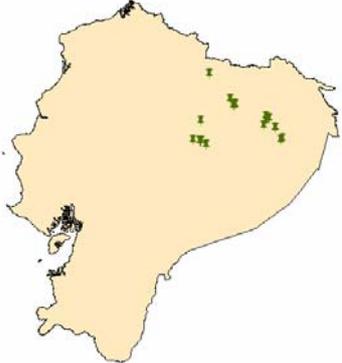
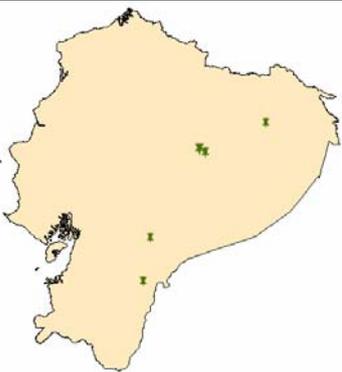
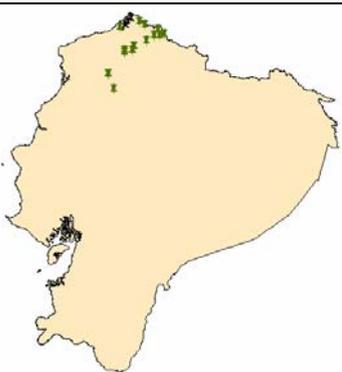
	<i>Ocotea oblonga</i>	Zona Ecuatorial	32
	<i>Aniba guianensis</i>	Amazonia	20
	<i>Endlicheria sericea</i>	Sierra y Amazonia	25
	<i>Nectandra laurel</i>	Costa y Sierra	49
	<i>Nectandra membranacea</i>	Amplia distribución	85

	<i>Ocotea bofo</i>	Amazonia	29
	<i>Persea brevipes</i>	Sierra sur	20
	<i>Persea mutisii</i>	Sierra	22
	<i>Persea subcordata</i>	Sierra	20
	<i>Ocotea floccifera</i>	Sierra	22

	<i>Endlicheria formosa</i>	Sierra y Amazonia	34
	<i>Beilschmiedia alloiophylla</i>	Costa y Sierra	38
	<i>Endlicheria robusta</i>	Amazonia	20
	<i>Beilschmiedia costaricensis</i>	Sierra norte y Amazonia	21

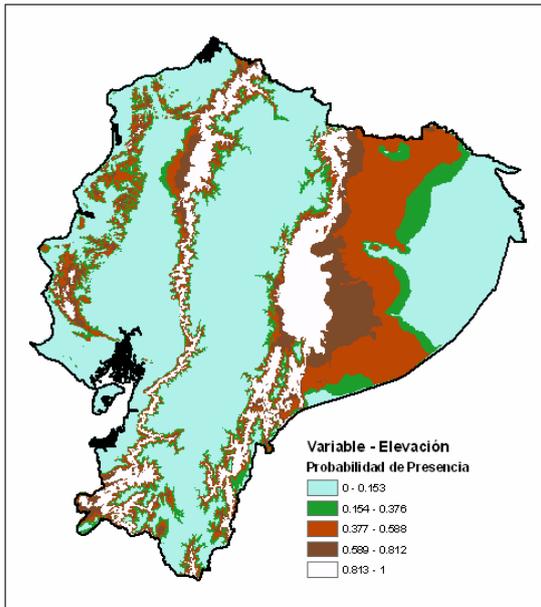
	<i>Pleurothyrium trianae</i>	Amazonia	40
	<i>Caryodaphnopsis theobromifolia</i>	Costa y Sierra norte	26
	<i>Rhodostemonodaphne kunthiana</i>	Amplia distribución	37
	<i>Ocotea javitensis</i>	Amazonia	86

	<p><i>Chlorocardium venenosum</i></p>	<p>Amazonia</p>	<p>28</p>
	<p><i>Cinnamomum napoense</i></p>	<p>Amazonia</p>	<p>26</p>
	<p><i>Ocotea infrafoveolata</i></p>	<p>Sierra</p>	<p>34</p>
	<p><i>Ocotea quixos</i></p>	<p>Sierra y Amazonia</p>	<p>21</p>

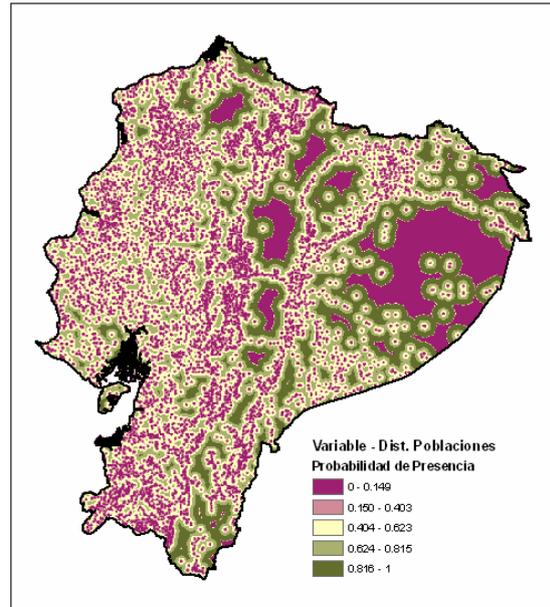
	<p><i>Nectandra crassiloba</i></p>	<p>Amazonia</p>	<p>30</p>
	<p><i>Nectandra obtusata</i></p>	<p>Sierra</p>	<p>42</p>
	<p><i>Nectandra coeloclada</i></p>	<p>Sierra y Amazonia</p>	<p>22</p>
	<p><i>Nectandra guararipo</i></p>	<p>Sierra norte</p>	<p>25</p>

ANEXO 2

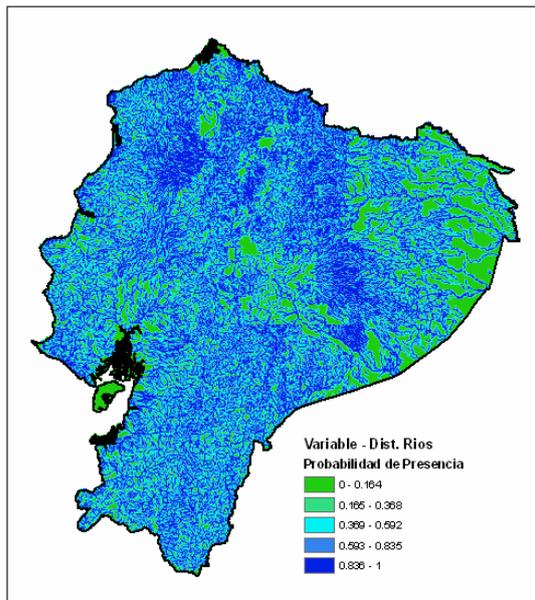
ESQUEMAS DE LAS VARIABLES PROCESADAS CON LA METODOLOGÍA DIFUSA – *Ocotea insularis*



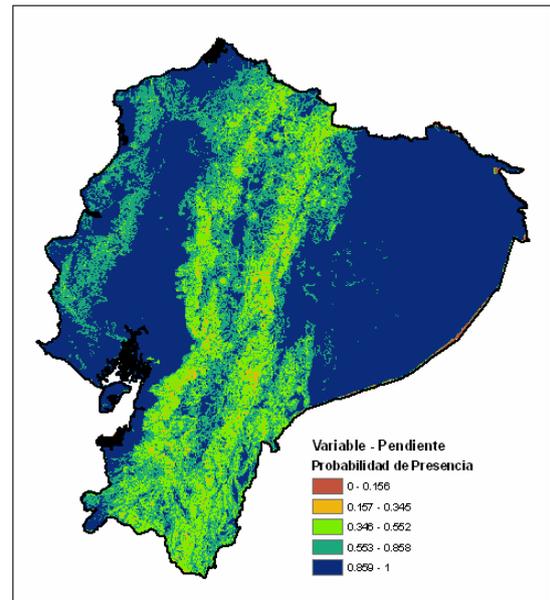
Elevación



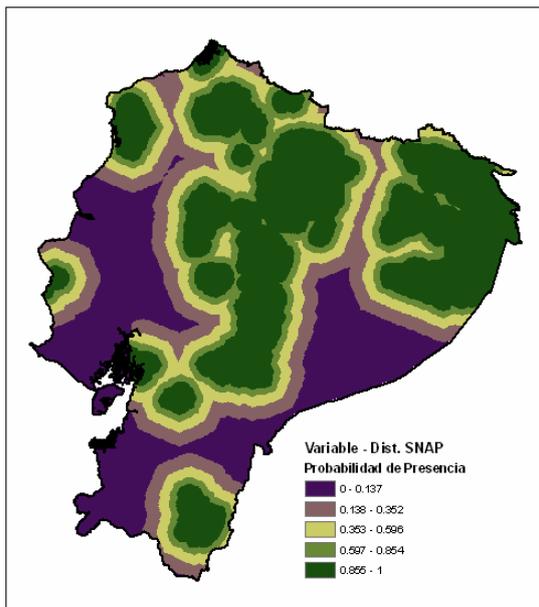
Distancia a Poblados



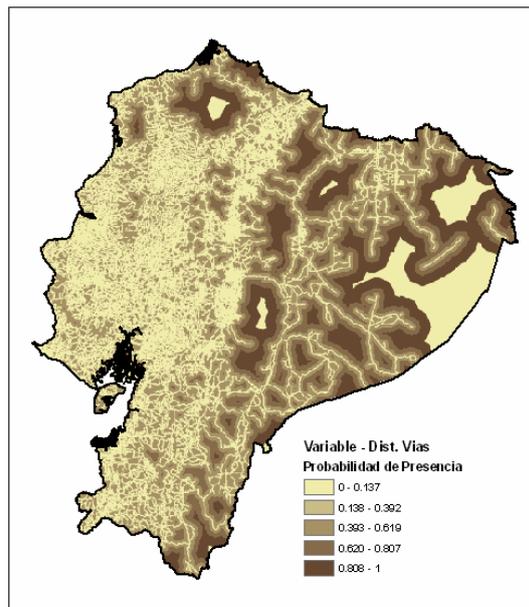
Distancia a Ríos



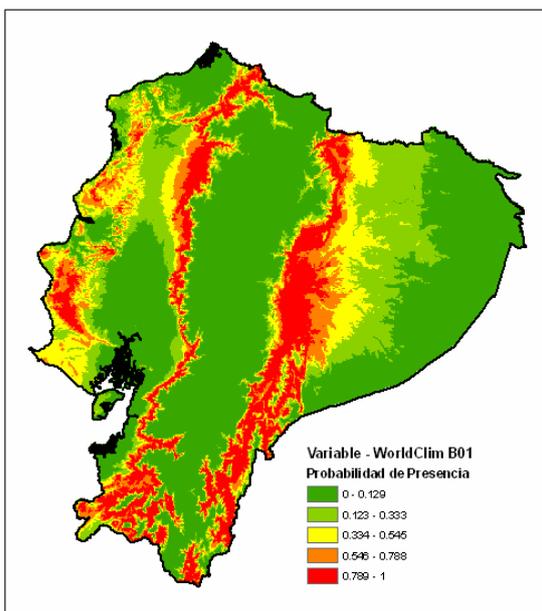
Pendiente



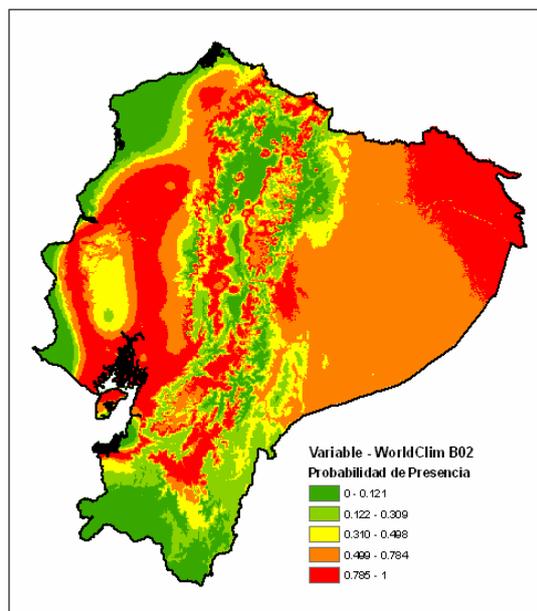
Distancia a SNAP



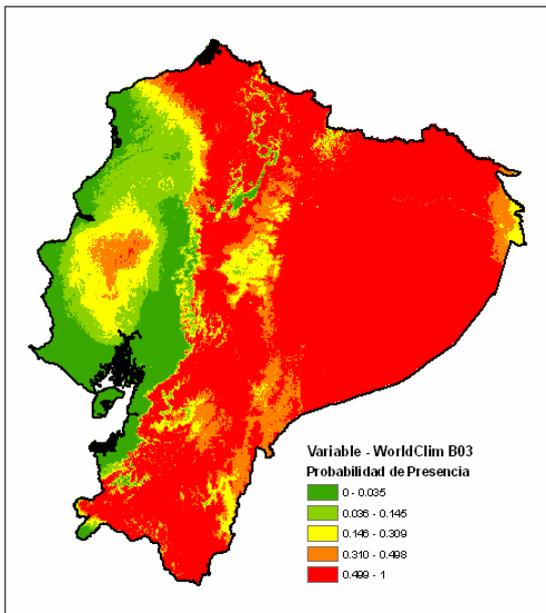
Distancia a Vías



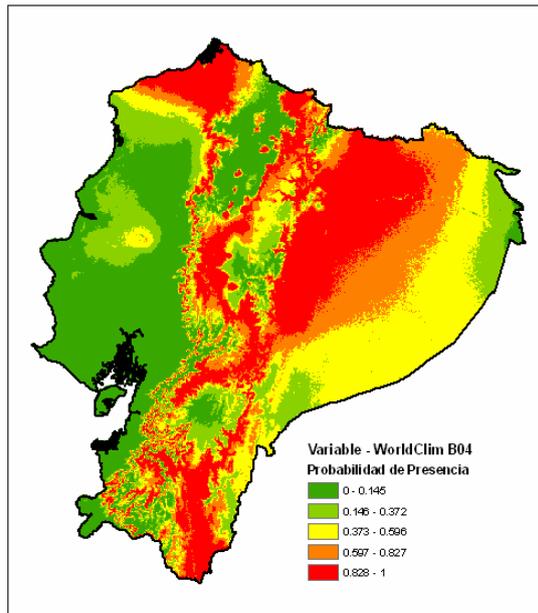
WorldClim B01



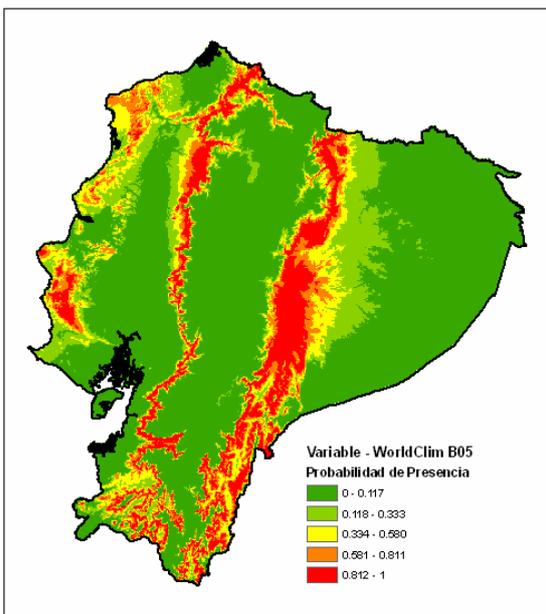
WorldClim B02



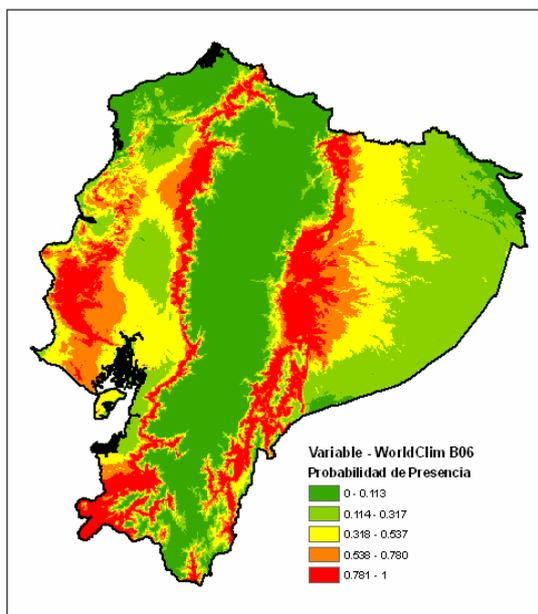
WorldClim B03



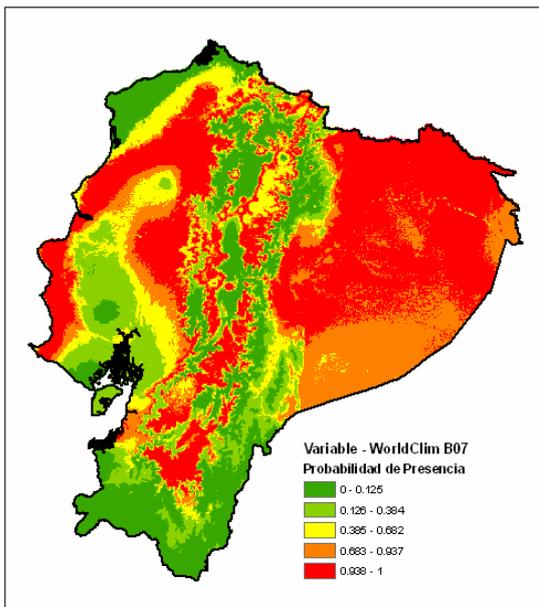
WorldClim B04



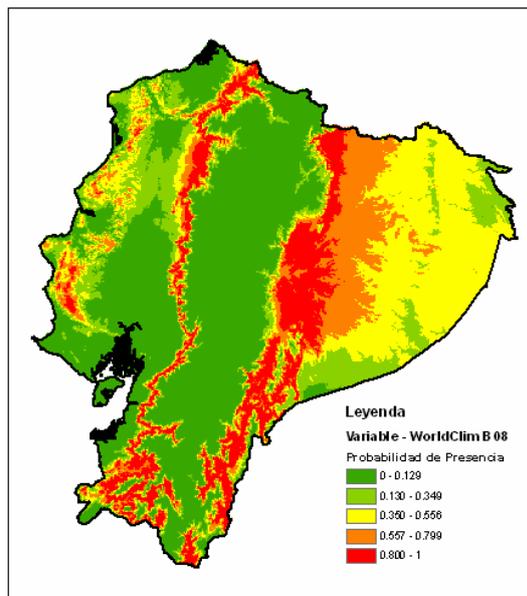
WorldClim B05



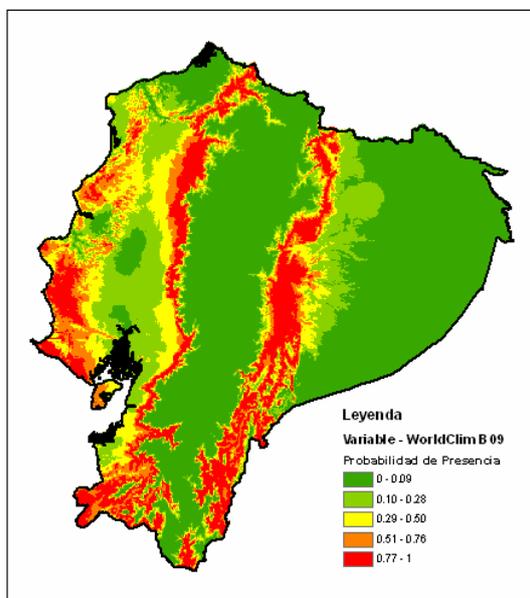
WorldClim B06



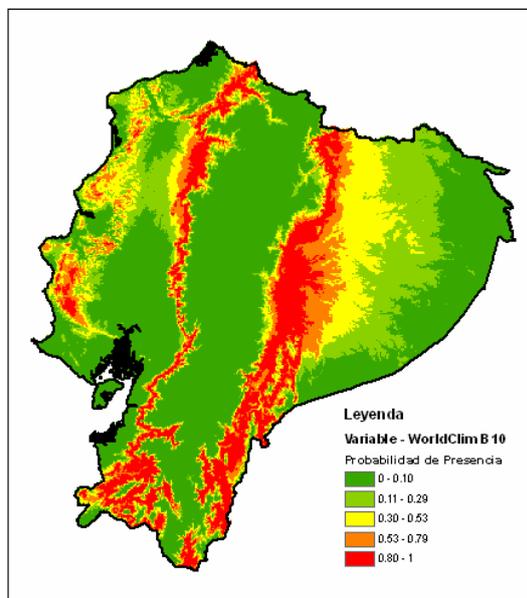
WorldClim B07



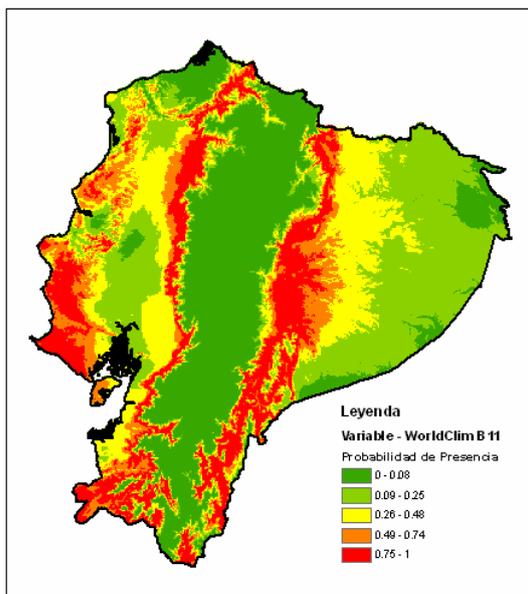
WorldClim B08



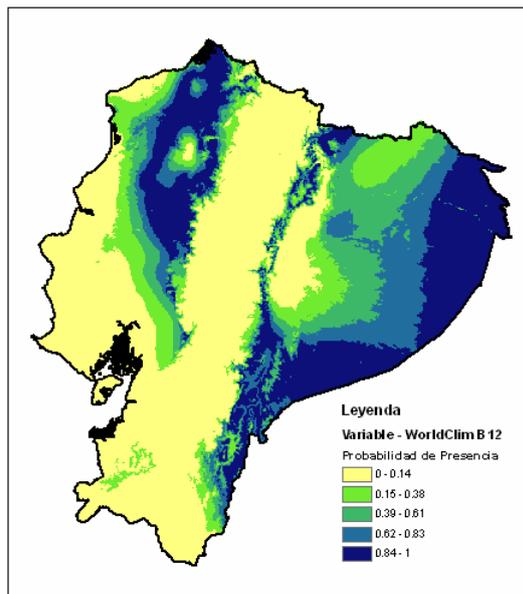
WorldClim B09



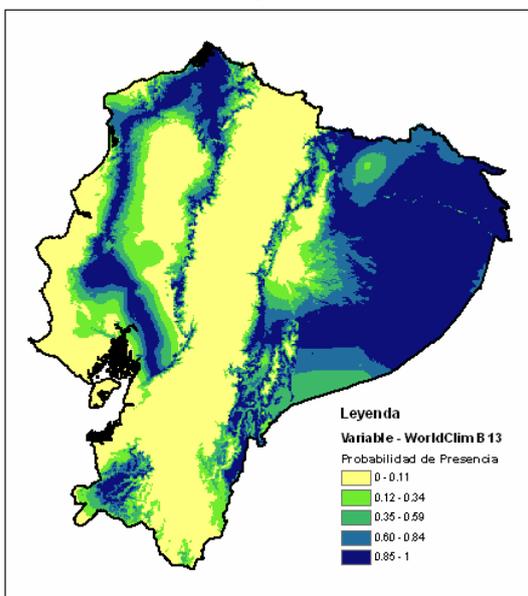
WorldClim B10



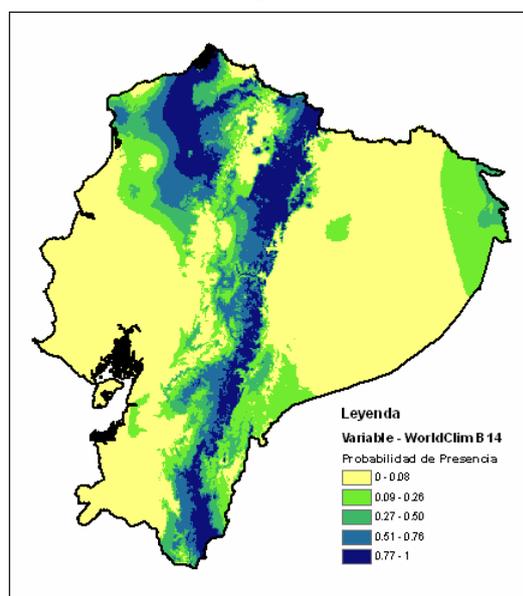
WorldClim B11



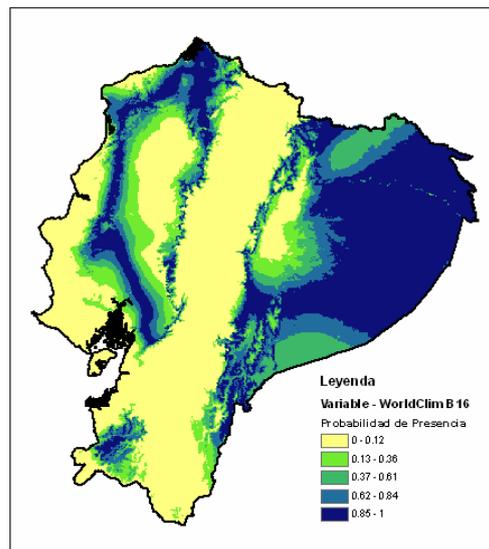
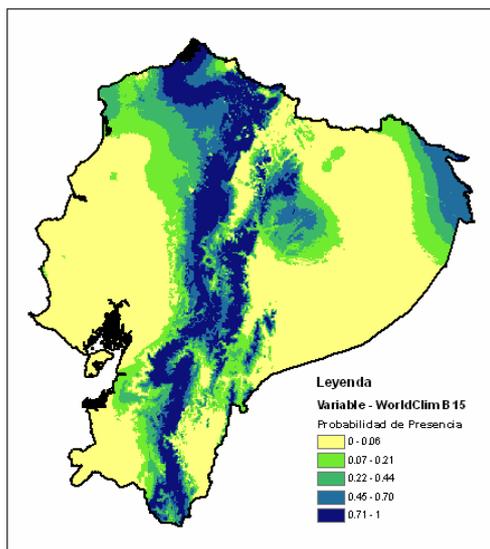
WorldClim B12



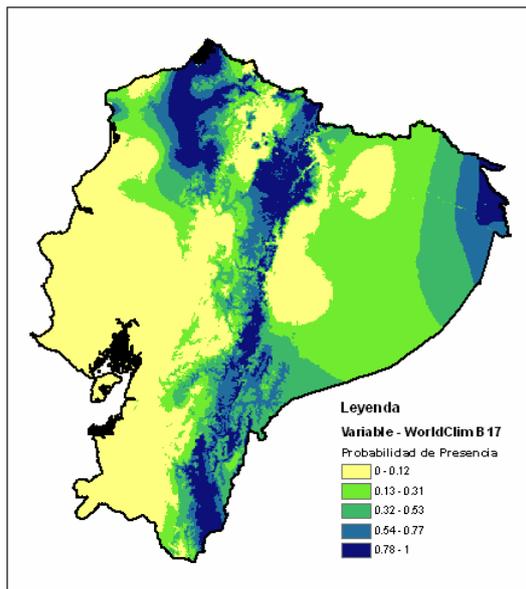
WorldClim B13



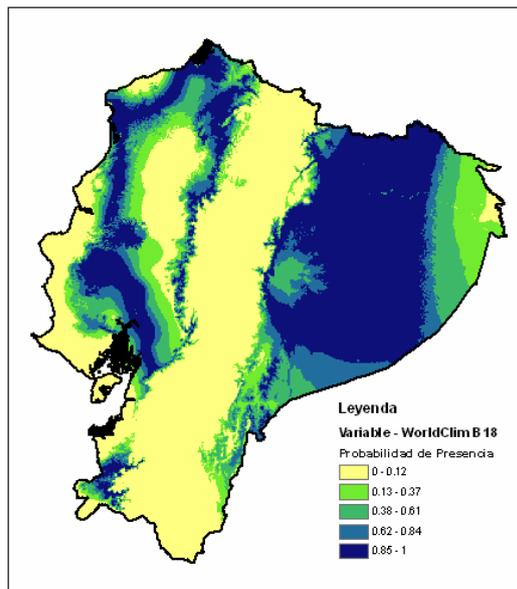
WorldClim B14



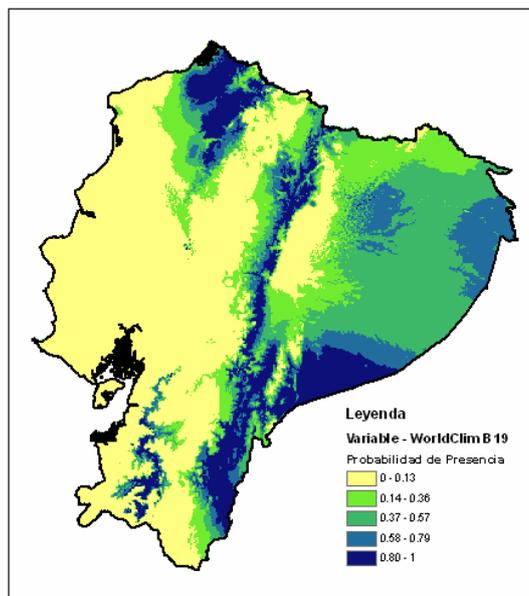
WorldClim B15



WorldClim B16



WorldClim B17



WorldClim B18

WorldClim B19