



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**SIMULACIÓN DE MODELOS DE DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE  
ESPECIES VEGETALES Y MODELADO DE NICHOS ECOLÓGICOS, BAJO  
ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO DE UNA MICROCUENCA  
HIDROGRÁFICA UBICADA EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO,  
APLICANDO LAS HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS: RSTUDIO, MAXENT Y  
ARCMAP**

Trabajo de Titulación previo a la obtención del  
Título de Ingenieros Ambientales

**AUTORES: WENDY ESTEFANIA MORENO REY  
RENATO ISRAEL REYES ANGUETA**

**TUTOR: JUAN GABRIEL MOLLOCANA LARA**

Quito - Ecuador

2022

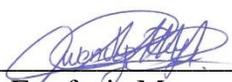
## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

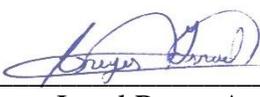
Nosotros, Wendy Estefanía Moreno Rey con documento de identificación N°1723443519 y Renato Israel Reyes Angueta con documento de identificación N°1753267507 manifestamos que:

Somos los autores responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 20 de septiembre del año 2022

Atentamente,

  
\_\_\_\_\_  
Wendy Estefanía Moreno Rey  
1723443519

  
\_\_\_\_\_  
Renato Israel Reyes Angueta  
1753267507

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

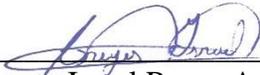
Nosotros, Wendy Estefania Moreno Rey con documento de identificación No. 1723443519, y Renato Israel Reyes Angueta con documento de identificación No. 1753267507, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos los autores del Trabajo Experimental: “Simulación de modelos de distribución potencial de especies vegetales y modelado de nichos ecológicos, bajo escenarios de cambio climático de una microcuenca hidrográfica ubicada en el Distrito Metropolitano de Quito, aplicando las herramientas informáticas: RStudio, MaxEnt y ArcMap”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Ambientales, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega final del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 20 de septiembre del año 2022

Atentamente,

  
\_\_\_\_\_  
Wendy Estefania Moreno Rey  
1723443519

  
\_\_\_\_\_  
Renato Israel Reyes Angueta  
1753267507

## **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Juan Gabriel Mollocana Lara con documento de identificación N° 1721700647, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: SIMULACIÓN DE MODELOS DE DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE ESPECIES VEGETALES Y MODELADO DE NICHOS ECOLÓGICOS, BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO DE UNA MICROCUENCA HIDROGRÁFICA UBICADA EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO, APLICANDO LAS HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS: RSTUDIO, MAXENT Y ARCMAP, realizado por Wendy Estefania Moreno Rey con documento de identificación No. 1723443519 y por Renato Israel Reyes Angueta con documento de identificación No. 1753267507, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo Experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 20 de septiembre del año 2022

Atentamente,



---

Ing. Juan Gabriel Mollocana Lara M.Sc  
1721700647

## DEDICATORIA

A mi madre Angelica Rey porque a pesar de los altibajos siempre me ayudo a seguir adelante. Cuando intente decaer, ella no me lo permitió me alentó a seguir; y nunca dejo de motivarme a que terminara toda mi carrera universitaria y pienso que sin su fuerza de carácter y determinación por intentar que yo sea una persona profesional no lo hubiera logrado.

A mi Padre Flavio Moreno porque a pesar de que vive a miles de kilómetros de mi siempre me motivo a luchar por ser una mejor persona, por sus consejos y cariño.

A mi hermano Fernando Moreno porque cuando intente no avanzar, el me empujo a seguir adelante y aunque en ese momento no entendí el bien que me hacía, ahora que estoy terminando este escalón que nunca pensé terminar le entiendo y le agradezco por su apoyo y por el empujón que ahora me ha permitido llegar hasta donde estoy.

A mi hermano Ylantoni Navarrete porque siempre ha estado para mí y me ha ayudado cuando lo necesitaba y que sepa que siempre podrá contar conmigo.

A mi abuelita Julia Robles porque siempre me ha sabido guiar con sus consejos sabios y sobre todo por siempre cuidarme cuando lo necesitaba.

A mi abuelito José Rey porque, aunque se encuentra en un mejor lugar, él siempre fue una gran persona ante mis ojos, me brindo su cariño y sé que de alguna manera me sigue alentando a ser una mejor versión de mí misma.

A mis dos mejores amigos Mariana Luna y José Luis Condor porque siempre que necesite que me apoyaran ahí estuvieron aconsejándome, y dándome ánimos para seguir ellos dos me

demonstraron lo que es la palabra “AMISTAD”.

A mis amigos Brigitte A.; Milton P.; Steven C.; Bryan C.; Jonathan Ch.; Gaby G.; Patricio N.; y a todos los que no he alcanzado a mencionar por su apoyo y ayuda en la impartición de conocimientos que por problemas de visualización muchas veces vi baches en mi camino, sin embargo, ellos nunca me dejaron que ese problema sea un obstáculo.

***Wendy M.***

Dedico esta presente tesis con todo mi amor a mi madre querida Alicia Angueta, pues sin el apoyo incondicional de ella nunca habría alcanzado llegar a este punto de mi vida. Gracias a sus oraciones y bendiciones diarias que me protegen, también agradezco tu paciencia, los valores que me inculcaste desde niño llevándome a formar como un hombre de bien. Has sido padre y madre para mí que con tus sabios consejos he logrado concluir mi carrera.

***Renato R.***

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a Dios por ser nuestro pilar a lo largo de nuestras vidas dándonos buenas enseñanzas y valores para ser unos profesionales de bien.

A la Universidad Politécnica Salesiana por abrirnos sus puertas hacia la enseñanza, sobre todo a los docentes por impartirnos todos sus conocimientos y por formarnos para la vida laboral en cada etapa de nuestra carrera.

Un agradecimiento especial a nuestro tutor, Ing. Juan Gabriel Mollocana Lara por brindarnos sus conocimientos y darnos su apoyo para resolver los inconvenientes que se presentaron a lo largo de la elaboración de nuestro trabajo experimental.

A los grupos ASU y Club Ambiental UPS que han aportado grandes enseñanzas fuera de las aulas, nos han mostrado que existe el compañerismo y la fuerza de querer hacer un bien común a la sociedad y al ambiente.

A nuestras familias por siempre motivarnos a ser mejores y nunca dejar de creer en nosotros.

A nuestros amigos(as) que hicimos a lo largo de la carrera, los cuales han compartido buenos y malos momentos en toda esta etapa universitaria.

***Wendy M.***

***Renato R.***

<b>RESUMEN.....</b>	<b>xxii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xxiv</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Problema.....	1
1.2. Delimitación.....	2
1.3. Pregunta de Investigación.....	3
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. General.....	3
1.4.2. Específicos.....	3
1.5. Hipótesis.....	4
<b>2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....</b>	<b>5</b>
2.1. Cambio Climático.....	5
2.2. Generalidades de la Microcuenca del Río Guambí.....	5
2.2.1. Ubicación.....	5
2.2.2. Altitud.....	6
2.2.3. Clima.....	6
2.2.4. Superficie.....	6
2.3. Google Earth Mobile.....	6
2.4. Plantas de Muestreo.....	7
2.4.1. <i>Iso (Dalea coerulea)</i> .....	7

2.4.2.	<i>Hierba Mora (Solanum nigrescens)</i> .....	9
2.4.3.	<i>Romerillo (Hypericum laricifolium)</i> .....	11
2.5.	Remmaq .....	13
2.6.	ArcMap .....	14
2.6.1.	<i>Herramientas principales del ArcMap</i> .....	14
2.7.	R.....	15
2.8.	RStudio .....	15
2.8.1.	<i>Funciones Para Modelado De Nicho Ecológico En R</i> .....	16
2.9.	Conceptos de Modelado Distribución de Especies y Nicho Ecológico.....	19
2.9.1.	<i>Distribución de Especies</i> .....	19
2.9.2.	<i>Nicho Ecológico</i> .....	20
2.9.3.	<i>Abundancia</i> .....	20
2.10.	Modelado de Distribución de Especies y Nicho Ecológico .....	20
2.11.	MaxEnt.....	21
2.11.1.	<i>Máxima entropía</i> .....	22
2.11.2.	<i>Datos de entrada</i> .....	24
2.11.3.	<i>Datos de salida</i> .....	25
2.12.	Validación de los Modelos.....	26
2.13.	Evaluación de la Predicción .....	26
2.13.1.	<i>Resultados generados por el modelo MaxEnt</i> .....	26
<b>3.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>30</b>

3.1.	Métodos .....	30
3.1.1.	<i>Etapa I Levantamiento</i> .....	31
3.1.2.	<i>Etapa II Procesamiento</i> .....	33
3.1.3.	<i>Etapa III Campo</i> .....	39
3.1.4.	<i>Etapa IV Modelado</i> .....	42
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>50</b>
4.1.	Abundancia de las tres Especies Vegetales .....	50
4.2.	Variables Ambientales .....	51
4.3.	Resultados de la Especie <i>Dalea coerulea</i> .....	55
4.3.1.	<i>Modelo 1 de la especie Dalea coerulea</i> .....	55
4.3.2.	<i>Modelo 1.1 de la especie Dalea coerulea</i> .....	60
4.3.3.	<i>Modelo 2 de la especie Dalea coerulea</i> .....	63
4.3.4.	<i>Modelo 2.1 de la especie Dalea coerulea</i> .....	67
4.3.5.	<i>Resultados gráficos de la predicción de la distribución potencial del modelo de</i> <i>Máxima Entropía de la especie Dalea coerulea en los modelos 1, 1.1, 2 y 2.2.</i> .....	71
4.4.	Resultados de la Especie <i>Solanum nigrescens</i> .....	73
4.4.1.	<i>Modelo 1 de la especie Solanum nigrescens</i> .....	74
4.4.2.	<i>Modelo 1.1 de la especie Solanum nigrescens</i> .....	78
4.4.3.	<i>Modelo 2 de la especie Solanum nigrescens</i> .....	82
4.4.4.	<i>Modelo 2.1 de la especie Solanum nigrescens</i> .....	86
4.4.5.	<i>Resultados gráficos de la predicción de la distribución potencial del modelo de</i> <i>Máxima Entropía de la especie Solanum nigrescens en los modelos 1, 1.1, 2 y 2.2.</i> .....	90
4.5.	Resultados de la Especie <i>Hypericum laricifolium</i> .....	92

4.5.1.	<i>Modelo 1 de la especie Hypericum laricifolium</i> .....	93
4.5.2.	<i>Modelo 1.1 de la especie Hypericum laricifolium</i> .....	97
4.5.3.	<i>Modelo 2 y 2.1 de la especie Hypericum laricifolium</i> .....	101
4.5.4.	<i>Resultados gráficos de la predicción de la distribución potencial del modelo de</i> <i>Máxima Entropía de la especie Hypericum laricifolium en los modelos 1, 1.1, 2 y 2.1</i> .....	105
4.6.	Valores de Entropía.....	107
4.6.1.	<i>Especie Dalea Coerulea</i> .....	107
4.6.2.	<i>Especie Solanum Nigrescens</i> .....	108
4.6.3.	<i>Especie Hypericum Laricifolium</i> .....	108
4.7.	Resumen de los Resultados Óptimos que Representan la Distribución Potencial de las tres Especies Vegetales de Estudio .....	109
4.8.	Variables Ambientales Utilizados para Simular Escenario de Cambio Climático .....	112
4.9.	Escenario de Cambio Climático para la Especie <i>Dalea coerulea</i> .....	114
4.9.1.	<i>Resultados de las curvas del área de omisión y predicción.</i> .....	114
4.9.2.	<i>Evaluación del modelo de cambio climático de máxima entropía de la especie Dalea</i> <i>coerulea</i> .....	115
4.9.3.	<i>Resultado gráfico analizando la distribución potencial del modelo de Máxima</i> <i>Entropía bajo escenario de cambio climático de la especie Dalea coerulea</i> .....	115
4.10.	Escenario de Cambio Climático para la Especie <i>Solanum nigrescens</i> .....	116
4.10.1.	<i>Resultados de las curvas del área de omisión y predicción.</i> .....	116
4.10.2.	<i>Evaluación del modelo de cambio climático de Máxima Entropía de la especie</i> <i>Solanum nigrescens</i> .....	117
4.10.3.	<i>Resultado gráfico analizando la distribución potencial del modelo de Máxima</i>	

<i>Entropía bajo escenario de cambio climático de la especie Solanum nigrescens</i> .....	118
4.11. Escenario de Cambio Climático para la Especie <i>Hypericum laricifolium</i> .....	119
4.11.1. Resultados de las curvas del área de omisión y predicción. ....	119
4.11.2. Evaluación del modelo de cambio climático de Máxima Entropía de la especie	
<i>Hypericum laricifolium</i> .....	120
4.11.3. Resultado gráfico analizando la distribución potencial del modelo de Máxima	
<i>Entropía bajo escenario de cambio climático de la especie Hypericum laricifolium</i> .....	121
4.12. Resultados Obtenidos de la Evaluación del Modelo de Cambio Climático para las tres	
Especies Vegetales.....	122
4.13. Discusión.....	123
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>127</b>
5.1. Conclusiones .....	127
5.2. Recomendaciones.....	128
<b>6. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>130</b>
<b>7. ANEXOS</b> .....	<b>138</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Argumentos para la gráfica ROC o COR.....	28
<b>Tabla 2</b> Porcentaje de contribución y permutación de las Variables Ambientales .....	30
<b>Tabla 3</b> Estructura de cómo se clasifico la toma de datos .....	40
<b>Tabla 4</b> Datos normales que se utilizan para el modelo MaxEnt .....	48
<b>Tabla 5</b> Datos tratados para el modelo de aumento en base a una proyección de cambio climático .....	49
<b>Tabla 6</b> Valores de contribución y permutación de las variables ambientales de la especie Dalea Coerulea del modelo 1.....	57
<b>Tabla 7</b> Valores de contribución y permutación de las variables ambientales de la especie Dalea coerulea del modelo 1.1.....	61
<b>Tabla 8</b> Valores de contribución y permutación de las variables ambientales de la especie Dalea coerulea del modelo 2.....	65
<b>Tabla 9</b> Valores de contribución y permutación de las variables ambientales de la especie Dalea coerulea del modelo 2.1.....	69
<b>Tabla 10</b> Valores de contribución y permutación de las variables ambientales del modelo 1 de la especie Solanum nigrescens.....	76
<b>Tabla 11</b> Valores de contribución y permutación de las variables ambientales de la especie Solanum nigrescens del modelo 1.1 .....	80
<b>Tabla 12</b> Valores de contribución y permutación de las variables ambientales de la especie Solanum nigrescens del modelo 2.....	84
<b>Tabla 13</b> Valores de contribución y permutación de las variables ambientales de la especie	

Solanum nigrescens del modelo 2.1 .....	88
<b>Tabla 14</b> Valores de contribución y permutación de las variables ambientales de la especie Hypericum laricifolium del modelo 1 .....	95
<b>Tabla 15</b> Valores de contribución y permutación de las variables ambientales de la especie Hypericum laricifolium del modelo 1.1 .....	98
<b>Tabla 16</b> Valores de contribución y permutación de las variables ambientales de la especie Hypericum laricifolium del modelo 2 .....	103
<b>Tabla 17</b> Valores de contribución y permutación de las variables ambientales de la especie Hypericum laricifolium del modelo 2.1 .....	103
<b>Tabla 18</b> Valores de máxima entropía de la especie Dalea coerulea .....	108
<b>Tabla 19</b> Valores de máxima entropía de la especie Solanum nigrescens .....	108
<b>Tabla 20</b> Valores de máxima entropía de la especie Hypericum laricifolium .....	108
<b>Tabla 21</b> Valores de la evaluación de los modelos de cambio climático de las tres especies vegetales .....	123

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Planta Dalea coerulea.....	9
<b>Figura 2</b> Planta Solanum nigrescens .....	11
<b>Figura 3</b> Planta Hypericum laricifolium.....	13
<b>Figura 4</b> Tasa de omisión y rango de predicciones en función del umbral acumulativo .....	27
<b>Figura 5</b> Grafico de sensibilidad y especificidad (curva ROC) .....	29
<b>Figura 6</b> Etapas de la Metodología.....	31
<b>Figura 7</b> Selección de capas de los Shapefiles de las bases de datos del Quinche, Oyacachi y Sangolquí.....	32
<b>Figura 8</b> Reconocimiento in-situ y ex-situ (virtual) de la microcuenca del Río Guambí .....	33
<b>Figura 9</b> Control de Datos de la Estación Cotocollao .....	34
<b>Figura 10</b> Ubicación de la Microcuenca Guambi en DQM y sus Estaciones .....	35
<b>Figura 11</b> Delimitación de la microcuenca del Río Guambí.....	36
<b>Figura 12</b> Ubicación de puntos aleatorios de muestreo dentro de los límites de la microcuenca hidrográfica del Río Guambi.....	37
<b>Figura 13</b> Distancia mínima entre puntos de muestreo y la dirección de los puntos extremos ...	38
<b>Figura 14</b> Método del cuadrante para realizar el muestreo de especies vegetales .....	40
<b>Figura 15</b> Distribución de los puntos de muestreo modificados .....	41
<b>Figura 16</b> Metodología de la obtención de las variables ambientales A) Raster Elevación .....	42
<b>Figura 17</b> Metodología de obtención de las variables ambientales B) Distancia inversa ponderada (IDW) .....	43
<b>Figura 18</b> Metodología del modelado 1 en Maxent .....	45

<b>Figura 19</b> Metodología del modelado 1 en Maxent .....	46
<b>Figura 20</b> Grafica de la abundancia de las tres especies vegetales .....	50
<b>Figura 21</b> Mapas de las variables ambientales aplicadas para los distintos modelos de las especies vegetales.....	52
<b>Figura 22</b> Representación gráfica de la precipitación con sus isoyetas y la temperatura media con sus isotermas. ....	54
<b>Figura 23</b> Resultado del área de omisión y predicción de la especie Dalea Coerulea del Modelo 1 .....	56
<b>Figura 24</b> Resultado obtenido de la herramienta RStudio de la evaluación de los datos de test y entrenamiento utilizados en el modelo MaxEnt del modelo 1 de la especie Dalea coerulea.....	58
<b>Figura 25</b> Resultado obtenido de la herramienta RStudio de la evaluación de los datos totales utilizados en el modelo MaxEnt del modelo 1 de la especie Dalea coerulea.....	58
<b>Figura 26</b> Representación gráfica del área bajo la curva de la especie Dalea coerulea .....	59
<b>Figura 27</b> Resultado del área de omisión y predicción de la especie Dalea coerulea del Modelo 1.1 .....	60
<b>Figura 28</b> Resultado obtenido de la herramienta RStudio de la evaluación de los datos de test y entrenamiento utilizados en el modelo MaxEnt del modelo 1.1 de la especie Dalea coerulea.....	62
<b>Figura 29</b> Resultado obtenido de la herramienta RStudio de la evaluación de los datos totales utilizados en el modelo MaxEnt del modelo 1.1 de la especie Dalea coerulea.....	62
<b>Figura 30</b> Representación gráfica del área bajo la curva de la especie Dalea coerulea .....	63
<b>Figura 31</b> Resultado del área de omisión y predicción de la especie Dalea coerulea del Modelo 2 .....	64

**Figura 32** Resultado obtenido de la herramienta RStudio de la evaluación de los datos de test y entrenamiento utilizados en el modelo MaxEnt del modelo 2 de la especie Dalea coerulea.....66

**Figura 33** Resultado obtenido de la herramienta RStudio de la evaluación de los datos totales utilizados en el modelo MaxEnt del modelo 2 de la especie Dalea coerulea.....66

**Figura 34** Representación gráfica del área bajo la curva de la especie Dalea coerulea .....67

**Figura 35** Resultado del área de omisión y predicción de la especie Dalea coerulea del Modelo 2.1 .....68

**Figura 36** Resultado obtenido en la herramienta RStudio de la evaluación de los datos de test y entrenamiento utilizados en el modelo MaxEnt del modelo 2.1 de la especie Dalea coerulea.....69

**Figura 37** Resultado obtenido de la herramienta RStudio de la evaluación de los datos totales utilizados en el modelo MaxEnt del modelo 2.1 de la especie Dalea coerulea.....70

**Figura 38** Representación gráfica del área bajo la curva de la especie Dalea coerulea .....71

**Figura 39** Representación gráfica de los modelos de máxima entropía de la especie Dalea coerulea. ....72

**Figura 40** Representación gráfica del modelo 2.1 de máxima entropía de la especie Dalea coerulea .....73

**Figura 41** Resultado del área de omisión y predicción de la especie Solanum nigrescens del Modelo 1 .....75

**Figura 42** Resultado obtenido de la herramienta RStudio de la evaluación de los datos de test y entrenamiento utilizados en el modelo MaxEnt del modelo 1 de la especie Solanum nigrescens.77

**Figura 43** Resultado obtenido de la herramienta RStudio de la evaluación de los datos totales utilizados en el modelo MaxEnt del modelo 1 de la especie Solanum nigrescens .....77

**Figura 44** Representación gráfica del área bajo la curva de la especie *Solanum nigrescens* .....78

**Figura 45** Resultado del área de omisión y predicción de la especie *Solanum nigrescens* del Modelo 1.1 .....79

**Figura 46** Resultado obtenido de la herramienta RStudio de la evaluación de los datos de test y entrenamiento utilizados en el modelo MaxEnt del modelo 1.1 de la especie *Solanum nigrescens* .....81

**Figura 47** Resultado obtenido de la herramienta RStudio de la evaluación de los datos totales utilizados en el modelo MaxEnt del modelo 1.1 de la especie *Solanum nigrescens* .....81

**Figura 48** Representación gráfica del área bajo la curva de la especie *Solanum nigrescens* .....82

**Figura 49** Resultado del área de omisión y predicción de la especie *Solanum nigrescens* del Modelo 2 .....83

**Figura 50** Resultado obtenido de la herramienta RStudio de la evaluación de los datos de test y entrenamiento utilizados en el modelo MaxEnt del modelo 2 de la especie *Solanum nigrescens*.85

**Figura 51** Resultado obtenido de la herramienta RStudio de la evaluación de los datos totales utilizados en el modelo MaxEnt del modelo 2 de la especie *Solanum nigrescens* .....85

**Figura 52** Representación gráfica del área bajo la curva de la especie *Solanum nigrescens* .....86

**Figura 53** Resultado del área de omisión y predicción de la especie *Solanum nigrescens* del Modelo 2.1 .....87

**Figura 54** Resultado obtenido en la herramienta RStudio de la evaluación de los datos de test y entrenamiento utilizados en el modelo MaxEnt del modelo 2.1 de la especie *Solanum nigrescens* .....89

**Figura 55** Resultado obtenido de la herramienta RStudio de la evaluación de los datos totales

utilizados en el modelo MaxEnt del modelo 2.1 de la especie *Solanum nigrescens* .....89

**Figura 56** Representación gráfica del área bajo la curva de la especie *Solanum nigrescens*.....90

**Figura 57** Representación gráfica del modelo 1 y 1.1 de máxima entropía de la especie *Solanum nigrescens*. .....91

**Figura 58** Representación gráfica de los modelos 2 y 2.1 de máxima entropía de la especie *Solanum nigrescens*. .....92

**Figura 59** Resultado del área de omisión y predicción de la especie *Hypericum laricifolium* del modelo 1 .....94

**Figura 60** Resultado obtenido de la herramienta RStudio de la evaluación de los datos de test y entrenamiento utilizados en el modelo MaxEnt del modelo 1 de la especie *Hypericum laricifolium* .....95

**Figura 61** Resultado obtenido de la herramienta RStudio de la evaluación de los datos totales utilizados en el modelo MaxEnt del modelo 1 de la especie *Hypericum laricifolium*.....96

**Figura 62** Representación gráfica del área bajo la curva de la especie *Hypericum laricifolium* .97

**Figura 63** Resultado del área de omisión y predicción de la especie *Hypericum laricifolium* del Modelo 1.1 .....97

**Figura 64** Resultado obtenido de la herramienta RStudio de la evaluación de los datos de test y entrenamiento utilizados en el modelo MaxEnt del modelo 1.1 de la especie *Hypericum laricifolium* .....99

**Figura 65** Resultado obtenido de la herramienta RStudio de la evaluación de los datos totales utilizados en el modelo MaxEnt del modelo 1.1 de la especie *Hypericum laricifolium*.....100

**Figura 66** Representación gráfica del área bajo la curva de la especie *Hypericum laricifolium*

.....	101
<b>Figura 67</b> Resultado del área de omisión y predicción de la especie <i>Hypericum laricifolium</i> del Modelo 2 .....	102
<b>Figura 68</b> Resultado del área de omisión y predicción de la especie <i>Hypericum laricifolium</i> del Modelo 2.1 .....	102
<b>Figura 69</b> Resultado obtenido de la herramienta RStudio de la evaluación de los datos de test y entrenamiento utilizados en el modelo MaxEnt de los modelos 2 y 2.1 de la especie <i>Hypericum laricifolium</i> .....	104
<b>Figura 70</b> Resultado obtenido de la herramienta RStudio de la evaluación de los datos totales utilizados en el modelo MaxEnt del modelo 1.1 de la especie <i>Hypericum laricifolium</i> .....	105
<b>Figura 71</b> Representación gráfica de los modelos 1 y 1.1 de máxima entropía de la especie <i>Hypericum laricifolium</i> .....	106
<b>Figura 72</b> Representación gráfica del modelo 2 y 2.1 de máxima entropía de la especie <i>Hypericum laricifolium</i> .....	107
<b>Figura 73</b> Variables ambientales del cambio climático .....	113
<b>Figura 74</b> Resultado del área de omisión y predicción de la especie <i>Dalea coerulea</i> del escenario de cambio climático.....	114
<b>Figura 75</b> Representación gráfica del área bajo la curva del modelo de cambio climático de la especie <i>Dalea coerulea</i> .....	115
<b>Figura 76</b> Escenario de cambio climático de la especie <i>Dalea coerulea</i> .....	116
<b>Figura 77</b> Resultado del área de omisión y predicción de la especie <i>Solanum nigrescens</i> del Modelo de cambio climático .....	117

<b>Figura 78</b> Representación gráfica del área bajo la curva del modelo de cambio climático de la especie <i>Solanum nigrescens</i> .....	118
<b>Figura 79</b> Escenario de cambio climático de la especie <i>Solanum nigrescens</i> .....	119
<b>Figura 80</b> Resultado del área de omisión y predicción de la especie <i>Hypericum laricifolium</i> del Modelo de cambio climático .....	120
<b>Figura 81</b> Representación gráfica del área bajo la curva del modelo de cambio climático de la especie <i>Hypericum laricifolium</i> .....	121
<b>Figura 82</b> Escenario de cambio climático de la especie <i>Hypericum laricifolium</i> .....	122

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1</b> Vista de la microcuenca alta, media y baja. ....	138
<b>Anexo 2</b> Reconocimiento de las especies vegetales. ....	138
<b>Anexo 3</b> Códigos de R .....	139
<b>Anexo 4</b> Código para el modelo 1, 1.1, 2 y 2.1 de la especie <i>Dalea coerulea</i> .....	139
<b>Anexo 5</b> Código para el modelo 1, 1.1, 2 y 2.1 de la especie <i>Solanum nigrescens</i> .....	142
<b>Anexo 6</b> Código para el modelo 1, 1.1, 2 y 2.1 de la especie <i>Hypericum laricifolium</i> .....	142

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo experimental se basó en realizar modelos de distribución potencial de especies vegetales y de nichos ecológicos, bajo escenarios del cambio climático de la microcuenca del Río Guambí aplicando las herramientas informáticas: RStudio, Maxent y ArcMap. Se realizó la toma de puntos aleatorios y la delimitación de la microcuenca por medio de la herramienta ArcMap. En los puntos de muestreo aleatorios se aplicó el método de cuadrantes para obtener muestras de presencia, ausencia; y abundancia de tres especies vegetales, estas son *Dalea Coerulea*, *Solanum Nigrescens* y *Hypericum Laricifolium*. Se utilizaron los datos de las 8 estaciones de la REMMAQ para generar interpolaciones de variables ambientales. Se generaron cuatro modelos para cada especie; el primer modelo utiliza datos de presencia-ausencia y todas las 12 variables ambientales que son altitud, estacionalidad, humedad, temperatura intermedia diurna, isothermalidad, presión barométrica, precipitación, rango anual de temperatura, temperatura máxima, temperatura media, temperatura mínima y velocidad del viento, el segundo modelo utiliza datos de presencia-ausencia y solo las variables ambientales más sensibles consideradas para el modelo, el tercer modelo utiliza datos de presencia-background con todas las variables ambientales ya mencionadas en el modelo uno y el cuarto modelo utiliza datos de presencia-background con solo las variables ambientales más sensibles consideradas para el modelo. En base al área bajo la curva (AUC) que se obtiene mediante el análisis de la gráfica COR, el cual permite dar el grado de confiabilidad del modelo de distribución y valores de entropía, lo que pretender es analizar el sesgo de los modelos de distribución, donde se eligieron los mejores modelos que representan la distribución potencial de cada especie y se usaron para simular variaciones de valores climáticos de forma ascendente basados pronósticos históricos. Se pudo notar que en la capacidad de

resiliencia de las tres especies se destaca la especie *Solanum Nigrescens* que se adapta a condiciones variables ambientales y su nicho ecológico es considerablemente estable, mientras que la especie *Hypericum Laricifolium* es la más vulnerable.

**Palabras clave:** REMMAQ, IDW, ASCII, *Dalea Coerulea*, *Solanum Nigrescens* *Hypericum Laricifolium*

## ABSTRACT

The objective of this experimental work was based on modeling the potential distribution of plant species and ecological niches under climate change scenarios in the Guambí River micro-watershed by applying the following computer tools: RStudio, Maxent and ArcMap. Random points were taken and the micro-watershed was delimited using the ArcMap tool. In the random sampling points, the quadrat method was applied to obtain samples of presence, absence and abundance of three plant species: *Dalea Coerulea*, *Solanum Nigrescens* and *Hypericum Laricifolium*. Data from the 8 REMMAQ stations were used to generate interpolations of environmental variables. Four models were generated for each species; the first model uses presence-absence data and all 12 environmental variables which are altitude, seasonality, humidity, intermediate daytime temperature, isothermality, barometric pressure, precipitation, annual temperature range, maximum temperature, mean temperature, minimum temperature and wind speed, the second model uses presence-absence data and only the most sensitive environmental variables considered for the model, the third model uses presence-background data with all the environmental variables already mentioned in model one and the fourth model uses presence-background data with only the most sensitive environmental variables considered for the model. Based on the area under the curve (AUC) obtained through the analysis of the COR graph, which gives the degree of reliability of the distribution model and entropy values, the aim is to analyze the bias of the distribution models, where the best models representing the potential distribution of each species were chosen and used to simulate variations of climatic values upwards based on historical forecasts. It was noted that in the resilience capacity of the three species, the *Solanum Nigrescens* species stands out

as it adapts to variable environmental conditions and its ecological niche is considerably stable, while the *Hypericum Laricifolium* species is the most vulnerable.

**Key words:** REMMAQ, IDW, ASCII, *Dalea Coerulea*, *Solanum Nigrescens*, *Hypericum Laricifolium*.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Problema

El modelado del nicho ecológico se basa principalmente en comprender la coexistencia de las especies y su distribución espacial en la actualidad (Citores et al., 2020). Se estima que hoy en día se puede presenciar datos erróneos o se desconoce de información sobre las especies vegetales (Purcell y Stigall, 2021). Esta desinformación ha causado una problemática al momento de indagar los datos sobre estas para tratar problemas como el cambio climático (Dang et al., 2021). Según, J. Ring et al. (2012) el cambio climático es un fenómeno natural, el cual, se ha ido acelerando por la mano del hombre causando diversos dando como resultado sequías, tormentas, inundaciones y olas de calor (Riedy, n.d.). Lo que preocupa a menudo sobre este fenómeno es como afecta a la diversidad de las plantas, provocando una disminución de capacidad de los servicios de los ecosistemas (Sun et al., 2021).

Los modelos de distribución de especies (SDM – *Species Distribution Models*) relacionan datos fisiológicos o corológicos, comúnmente conocidos como las ubicaciones de las especies (Soilhi et al., 2022; Yu et al., 2020), se utilizan las variables ambientales con el objetivo de obtener información sobre la distribución de las especies (Sillero et al., 2021). Referente al escrito de, (Acevedo y Real, 2012) la meta de los SDM es la representación de un modelo matemático y cartográfico que genera mapas de probabilidad de ocurrencia de especies.

El programa MaxEnt tiene como fin modelar la distribución de especies por medio de un registro de solo presencia (S. B. Phillips et al., 2006b). Como explica, Demján et al. (2022), MaxEnt realizara una recolección de información de las ubicaciones de las especies vegetales, estos

datos son de entrada. A más de eso se recolectan datos predictores ambientales (S. Phillips, 2010), y se realiza una extracción de muestra de ubicaciones de fondo que contrasta con las ubicaciones de presencia, se entiende que las presencias de fondo son datos que se desconocen (consulte Fourcade et al., 2014). Dando así respuestas aleatorias referente al área bajo la curva (AUC), sin embargo, este para que sea viable no debe ser un valor menos de 0.7 por lo que sería un mal manejo de datos, según la definición de umbral (Hijmans y Elith, 2021). En la curva ROC interviene la sensibilidad y 1-especificidad donde el umbral se establece en el valor de 0,5. El modelo se puede agrupar en tres valores de calificación según sus resultados, es decir; un valor de 0,7-0,8 es un valor aceptable, pero con errores; de 0,8-0,9 es un valor bueno; y de 0,9-1 es un valor excelente sin embargo no hay estudios con valor de 1 ya que siempre existirá un error dentro de los datos (S. J. Phillips et al., 2009).

En el Ecuador existe una gran variedad de especies vegetales, una parte de estas son endémicas y lamentablemente de esa parte de especies no existe información concisa o actual sobre sus distribuciones (Sierra et al., 2002), por lo cual se requieren ser documentada para permitir dar datos concisos y así tener una mayor frecuencia de recolección de información sobre estas (Navarrete, 2015). Además, se debe tener en cuenta que también existe otro método para utilizar MaxEnt el cual presencia/ausencia la cual se ocupa cuando existen muestras pequeñas (Guillera-Arroita et al., 2014).

## **1.2. Delimitación**

La presente investigación se encuentra ubicada dentro de la microcuenca del Río Guambí en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), que tiene como objetivo generar modelos de

distribución y nicho ecológico manejando el modelo MaxEnt para las tres especies vegetales: ISO (*Dalea coerulea*), HIERBA MORA (*Solanum Nigrescens*) y ROMERILLO (*Hypericum Laricifolium*) (Bartolomé y Muñoz, n.d.; Katya Romoleroux et al., 2016; Mora María y Ulloa Nathalia, 2020), utilizando variables ambientales como son la precipitación, temperatura (máxima, media y mínima), presión barométrica, velocidad del viento y humedad; y mediante esto realizar una simulación de modelos donde se refleje las variaciones de las variables en escenarios del cambio climático.

### **1.3. Pregunta de Investigación**

¿Cómo cambia la distribución de las especies de estudio en escenarios de cambio climático de acuerdo con los resultados del modelado con MAXENT?

### **1.4. Objetivos**

#### ***1.4.1. General***

Simular modelos de distribución potencial de especies vegetales y modelado de nichos ecológicos, bajo escenarios de cambio climático de una microcuenca hidrográfica ubicada en el Distrito Metropolitano de Quito, aplicando las herramientas informáticas: RStudio, MaxEnt y ArcMap

#### ***1.4.2. Específicos***

- Identificar al menos tres especies vegetales endémicas e introducidas para el desarrollo de los modelos informáticos de distribución potencial de especies vegetales y modelado de nicho ecológico aplicando RStudio, MaxEnt.

- Elaborar mapas sobre la distribución y abundancia de al menos tres especies vegetales de una microcuenca hidrográfica ubicada en el Distrito Metropolitano de Quito con el software ArcMap.
- Analizar la resiliencia de al menos tres especies vegetales frente al cambio climático utilizando las herramientas informáticas RStudio, MaxEnt y ArcMap.

### **1.5. Hipótesis**

La afectación en la distribución de las especies vegetales muestreadas por efectos del cambio climático puede determinarse con el análisis de modelos de distribución de especies y nicho ecológico realizado con los programas ArcMap, RStudio y MaxEnt.

## **2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **2.1. Cambio Climático**

El cambio climático es un fenómeno natural y antropogénico, que da respuestas aleatorias dentro de la distribución de la flora y fauna. Mediante modelos globales se han llegado a dar predicciones por medio del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), los cuales, dicen que en las zonas más altas llegarán a presenciar más efectos sobre el cambio climático, debido a las alteraciones en las variables ambientales como es en el caso de la temperatura y la precipitación (Quesada Quirós et al., 2016).

El cambio climático ha llegado a ser el precursor de daños en los sistemas naturales y humanos a nivel global, con evidencias válidas en el transcurso de los últimos años. El problema aquí es que el cambio climático, aunque se conoce que es un fenómeno natural, también se le atribuye al humano su aceleración por ser los principales en generar gases de efecto invernadero, los cuales se los culpables del aumento de temperatura global (Quesada Quirós et al., 2016).

Se han hecho estudios donde se puede ver que varios de los seres vivos que han sido afectados por el cambio climático han llegado a adaptarse, sin embargo, esta adaptación ha llegado a ser muy drástica en su ecosistema dando como resultado un gran perjuicio en la conservación y funcionamiento de los ecosistemas (Quesada Quirós et al., 2016).

### **2.2. Generalidades de la Microcuenca del Río Guambí**

#### **2.2.1. Ubicación**

La parroquia de Tababela se encuentra dentro de los límites del Distrito Metropolitano de

Quito, en el sector Norte – Oriental de la capital se ubica a 25 kilómetros de Quito. Geográficamente se encuentra entre los meridianos 78 y 79 de Longitud Occidental y entre el paralelo 0 y 1 de longitud Sur. Se ubica en la Vía E35 y en la parte superior a la antigua línea férrea que sirve de límite con la parroquia Yaruquí (Tababela, n.d.).

#### Límites

- Norte: Rio Uravía, Parroquia de Guayllabamba
- Sur: Parroquia de Pifo
- Este: Quebrada de Santa Rosa, Parroquia de Yaruquí
- Oeste: Rio Guambi, Parroquias de Puembo y Llano Chico

#### **2.2.2. *Altitud***

El nivel más alto de la parroquia está a 2519m sobre el nivel del mar y el nivel más bajo de la parroquia está a 1960m sobre el nivel del mar (Tababela, n.d.).

#### **2.2.3. *Clima***

El clima que más se identifica es cálido-seco con una temperatura media oscilante entre los 6 y 26 °C (Aeropuerto, n.d.; Tababela, n.d.).

#### **2.2.4. *Superficie***

Consta con una superficie aproximada de 25.40 Km<sup>2</sup> (Aeropuerto, n.d.).

### **2.3. Google Earth Movable**

Google Earth es un sistema de información geográfica o SIG (Rojas Monserrate y Resl,

n.d.) basado en imágenes satelitales dando como resultado el relieve terráqueo en 3D con todas las ciudades, edificios (IGM, 2013). El GPS de los dispositivos móviles son enlazados bajo permisos de la aplicación, la precisión de las imágenes satelitales es de 30 metros, las imágenes en satélite deben tener una densa red de primer orden y comprobaciones locales de ubicación el satélite que permite la interface se conoce como Wordview I, que funciona en conjunto con un satélite de Quichbird que las imágenes tienen una resolución de hasta 50 centímetros de pixel

## **2.4. Plantas de Muestreo**

Dentro de la microcuenca Guambi se pudo observar una gran variedad de especies vegetales sin embargo se escogieron solo tres especies. Lo que se determinó para su elección, primero fue que estén presentes dentro de la microcuenca, segundo que estas no sean plantas consideradas como una hierba mala y que poseen flor y fruto. Considerando estas premisas y otras consideraciones las cuales permitieron sobresalir de las demás especies vegetales endémicas de la microcuenca del Rio Guambi ubicada en el DMQ se escogieron las siguientes especies.

### **2.4.1. Iso (*Dalea coerulea*)**

Familia: Fabaceae

Especie: *Dalea coerulea* (L. f.) Schinz y Thell. 1913

Nombre común: Iso. Distribución: Colombia, Ecuador, Perú

Rango altitudinal: 1000–4000 msnm

Características particulares: Inflorescencias violetas, hojas compuestas

Descripción: Arbusto que puede medir hasta 2 m

✓ Hojas: alternas, pinnaticompuestas con folíolos pequeños

✓ Flores: en espigas, con corola características de las leguminosas, con cinco pétalos formando quilla, estandarte y alas, de color violeta

✓ Fruto: una legumbre

Uso: En medicina se utiliza como analgésico, antirreumático, antibronquítico y digestivo. Planta ornamental frecuente en parques, jardines y jardinerías en Quito (obtenido en, Mora María y Ulloa Nathalia, 2020).

Temperatura:  $-5^{\circ}\text{C} - 35^{\circ}\text{C}$

Precipitación: 50 – 60 mm

Descripción ambiental: La *Dalea coerulea* (Figura 1) es una planta arbustiva que es plantada con el fin de contrarrestar el cambio climático ya que se adhiere fácilmente a diversos tipos de suelos sin embargo está en peligro ya que cada vez se encuentran menos ejemplares, cabe recalcar que esta especie no es hierba mala (Mora María y Ulloa Nathalia, 2020). la especie *Dalea coerulea* es muy importante en la industria química ya que consta con varios estudios de sus flores dando resultados antiinflamatoria y antimicrobiana como lo expresa (Cruz María y Nathalia Ulloa, n.d.), mediante la utilización de etanol al 50% con ultrasonido se obtienen fenoles y flavonoides que experimentando en la metodología de edema plantar inducido por carragenina su poder antiinflamatorio se podría comparar al del diclofenaco sódico, también este extracto puede ser utilizado para productos de fitoterapia.

## Figura 1

*Planta Dalea coerulea*



**Fuente:** La investigación

### 2.4.2. *Hierba Mora (Solanum nigrescens)*

Familia: Solanaceae

Especie: *Solanum nigrescens* M. Martens y Galeotti 1845

Nombre común: Hierba mora

Distribución: México a Bolivia, Brasil, Chile y Argentina

Rango altitudinal: 0–4000 msnm

Características particulares: Flores blancas o violetas, vistosas anteras amarillas

Descripción: Hierba o subarbusto de hasta 2 m de alto

- ✓ Hojas: ovado-lanceoladas, ligeramente dentadas y pubescentes
- ✓ Inflorescencia: umbelas formadas por flores con cinco pétalos de color

blanco o violeta y anteras amarillas muy notorias

- ✓ Fruto: baya globosa verde o negra cuando madura

Uso: En medicina como antiinflamatorio y antirreumático

Temperatura: 5°C – 35°C

Precipitación: 50 – 80 mm

Descripción ambiental: La *Solanum nigrescens* (Figura 2) es una planta arbustiva que prácticamente podría ser una hierba mala, sin embargo, esta solo está presente en lugares no tan cálidos y tampoco tan fríos ya que estas simplemente llegan a sucumbir en ese caso al igual que la *Dalea coerulea* esta se las planta para ayudar al medio ambiente ya que también se adhiere fácilmente a diferentes tipos de suelo y variación de las condiciones climáticas (Bartolomé y Muñoz, n.d.). La especie *Solanum nigrescens* es una planta ancestral etnobotánica según (Terán J. Natalia, n.d.), por métodos de extracción como infusión, emplasto y percolación tienen efectos inhibidores con alta efectividad frente a *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* y *Candida albicans*. Su adaptación en ambientes templados hace que sea sensible a variaciones climáticas extremas.

## Figura 2

*Planta Solanum nigrescens*



**Fuente:** La investigación

### 2.4.3. Romerillo (*Hypericum laricifolium*)

Familia: Hypericaceae

Especie: *Hypericum Laricifolium* (Benth.) S.F. Blake 1918

Nombre común: Romerillo

Distribución: Ecuador

Rango altitudinal: 3400–3600 msnm

Características particulares: Vistosos capítulos amarillos

Descripción: Hierba, subarbusto o arbusto de tallos débiles y pubescentes

✓ Hojas: ovadas, dentadas, opuestas y ásperas al tacto

✓ Flores: vistosas, cabezuelas de color amarillo ubicadas en las partes terminales de la planta

✓ Fruto: seco, grueso y plumoso, conocido como cipsela

Uso: No registrado

Temperatura: -10°C – 30°C

Precipitación: 80 – 120 mm

Descripción ambiental: La *Hypericum Laricifolium* (Figura 3) es una planta arbustiva, la cual es muy conocida en los páramos ya que tiene diversos usos de restauración y está sufriendo una importante desaparición de estos ejemplares cada vez se encuentran menos y son más difíciles de encontrar (Romo K. et al., 2016). La especie *Hypericum Laricifolium* es utilizada para restauración de ecosistemas perturbados como (Rodríguez E. y Leiton, 2020), en el páramo de frailejones en Ecuador que sufrió una considerable destrucción por causa de incendios, se utilizó a dicha especie para la regeneración natural en pendientes bajas, cabe mencionar que es una especie de páramo en peligro ya que su conteo es muy escaso pero imprescindible para el ecosistema.

### **Figura 3**

*Planta Hypericum laricifolium*



**Fuente:** La investigación

#### **2.5. Remmaq**

La Red de Monitoreo de la Atmósfera Urbana de Quito (REMMAQ) es la organización encargada de producir datos confiables sobre las concentraciones de contaminantes atmosféricos en el área metropolitana de Quito que sirvan como insumo para la planificación, desarrollo, implementación y evaluación de políticas. medidas para mejorar la calidad del aire y difundir esta información de manera que el público en general pueda entender (obtenido en, REMMAQ, 2022).

En este proyecto se utilizaron las 8 estaciones meteorológicas (Tumbaco, Chillos, Guamaní, Camal, Cotocollao, Centro, Carapungo, Belisario) con el propósito de una mejor interpolación y estructura de las variables ambientales.

## 2.6. ArcMap

ARCMAP es un programa encargado de realizar, analizar y editar mapas, incluyendo la cartografía (Elar et al., 2009). Aplicación utilizada como base de un proyecto que permite el análisis de microcuencas del río Guambi a partir de tres mapas topográficos. Lo que hace la aplicación ArcMap es encontrar la salida del río Guambi y representar las microcuencas formadas en él mediante el proceso adecuado descrito en la metodología (Pucha Franz et al., 2017).

### 2.6.1. *Herramientas principales del ArcMap*

**2.6.1.1. Add Data.** Es una herramienta que permite agregar nuevos datos de mapas (Pucha Franz et al., 2017).

**2.6.1.2. ArcToolbox.** Se utiliza para geoprocesamiento. Estos incluyen la combinación de capas de información, la manipulación de datos y la definición y transformación de sistemas de coordenadas. (Pucha Franz et al., 2017).

**2.6.1.3. Conversion Tools.** Importa un archivo o más en formato LAS, el estándar de la industria para datos lidar, a una clase de entidad de multipunto nueva (Pucha Franz et al., 2017).

To Raster: Convierte un ráster en una nueva clase de entidad multipunto (Pucha Franz et al., 2017).

**2.6.1.4. Spatial Analyst Tools.** Esta es una herramienta que permite una variedad de análisis espacial y modelado. Puede crear, consultar, mapear y analizar datos ráster basados en celdas. Realiza análisis ráster/vector integrados. Integración completa de datos

ráster basados en celdas con fuentes de datos vectoriales tradicionales (Pucha Franz et al., 2017).

Hydrology: Es una herramienta que se utiliza en la Hidrología para poder modelar flujos de agua por medio de una superficie (Pucha Franz et al., 2017).

## **2.7. R**

La herramienta R tiene como objetivo analizar datos, además es considerado como un lenguaje de programación denominado S (R, n.d.). Actualmente se ha determinado que se dispuso al menos 15303 paquetes desarrollados en R, estos abarcan una gran variedad de campos de información donde se ha podido llegar a obtener campos desde aplicaciones financieras, graficación de mapas, análisis de datos espaciales, etc (Paradis y Ahumada, 2003).

## **2.8. RStudio**

RStudio es el principal entorno de desarrollo integrado o IDE1 para R, que es un software libre disponible para los sistemas operativos Windows, MacOS, y Linux (Estefanía Vargas y Mesa Fuquen, 2021).

Dentro del programa RStudio se instalaron paquetes que fueron necesarios para la realización del estudio a realizar estas fueron las siguientes:

- `install.packages("raster")`: Sirve para leer datos en este caso los datos climáticos que se obtuvieron en el programa ArcMap (Robert J. Hijmans, 2022).
- `install.packages("dismo")`: Datos de ocurrencia y modelo (Robert J. Hijmans et al., 2021).
- `install.packages("sp")`: Información de ubicación espacial, para datos 2D o 3D (Edzer

Pebesma, 2022).

- `install.packages("rgdal")`: Proporciona enlaces a la biblioteca de abstracción de datos Geoespacial (Roger Bivand, 2022).
- `install.packages("rJava")`: Permite la creación de objetos, llamando a métodos y accediendo a campos (Simon Urbanek, 2021).
- `install.packages("maxent")`: La función utiliza datos ambientales para ubicaciones de presencia conocida y para una gran cantidad de ubicaciones de fondo (DataCamp, n.d.-a).
- `spatstat`: La función admite patrones de puntos tridimensionales, patrones de puntos de espacio-tiempo en cualquier número de dimensiones, patrones de puntos en una red lineal y patrones de otros objetos geométricos (Adrian Baddeley, 2022). Admite datos de covariables espaciales, como imágenes de píxeles (Adrian Baddeley, 2022). Además, tiene alrededor de 2000 funciones para trazar datos espaciales, análisis de datos exploratorios, ajuste de modelos, simulación, muestreo espacial, diagnóstico de modelos e inferencia formal (Adrian Baddeley, 2022).

### ***2.8.1. Funciones Para Modelado De Nicho Ecológico En R***

A continuación, se describen las principales funciones de R que pueden usarse para el modelado de nicho ecológico:

**2.8.1.1. Función `stack()`.** Esta función apila vectores que concatena varios vectores en un solo vector, con coeficientes que indican de dónde proviene cada observación (DataCamp, n.d.-b).

- List.file: Agrupar en una lista los raster
- Dirección de la carpeta donde se almacenan los raster generados en arcgis
- "\*.asc\$": Comando para q RStudio cargue todos los rasters en formato ASCII de la carpeta
- Full.names: Muestra los nombres de cada rásters al generar el STACK
- Para generar los puntos de fondo o BACKGROUND usamos el código

**2.8.1.2. Función RandomPoints().** Genera puntos aleatorios que se pueden usar para extraer valores de fondo ("ausencia aleatoria"). Los puntos se muestrean (sin reemplazo) de las celdas que no están "NA" en el ráster "mask" (Robert J. Hijmans et al., 2021a).

- Mask: Incorporar el stack ráster
- P: Datos de presencia de la especie
- N: número de datos de fondo que se requiere para el modelo
- Prob: Todos los valores de mask se interpretan como peso en las probabilidades del modelo, este comando funciona cuando los raster son de un tamaño pequeño
- Excludep: Los puntos de presencia se excluyen del background

**2.8.1.3. Función kfold().** Partición en k de un conjunto de datos con fines de prueba de modelo. Cada registro en una matriz (o estructura de datos similar) se asigna aleatoriamente a un grupo. Los números de grupo están entre 1 y k (Robert J. Hijmans et al., 2021a).

- Datos de presencia de la especie
- K: número de subconjuntos de la muestra total
- Extraer datos de test y de entrenamiento

**2.8.1.4. Función maxent().** Esta función utiliza datos ambientales de ubicaciones conocidas y numerosas ubicaciones de "fondo".

Puede extraer datos ambientales del archivo ráster. El resultado es un objeto modelo que se puede utilizar para predecir la idoneidad en otros lugares. Por ejemplo, se puede usar para predecir todo (Robert J. Hijmans et al., 2021a).

- P: Datos de presencia/ausencia o presencia/background con un formato de 1 para presencia y 0 para ausencia o background
- X: Dataframe de las variables ambientales para los datos de entrenamiento
- Args y silent: Cuando se trabaja con entrada de datos tipo dataframe estos argumentos son nulos
- Path: dirección donde se almacenan los resultados MaxEnt

**2.8.1.5. Función predict().** Proporciona un objeto raster con las variables independientes (Robert J. Hijmans et al., 2021a).

- Resultado MaxEnt
- Total, de las variables ambientales formato raster

**2.8.1.6. Función `dismo::evaluate()`.** Evaluación del modelo utilizando datos de presencia/ausencia. Dado un vector de existencia y un vector de puntuaciones de ausencia (o modelos y puntos y predictores de existencia y ausencia), se calcula una matriz de confusión (para umbrales variables) y las estadísticas de puntuación del modelo son cada matriz/confusión (Robert J. Hijmans et al., 2021a).

- Resultado MaxEnt
- P: tipo de datos test o entrenamiento
- A: datos de background
- X: variables ambientales formato raster

## **2.9. Conceptos de Modelado Distribución de Especies y Nicho Ecológico**

### **2.9.1. *Distribución de Especies***

La distribución de especies es básicamente la determinación de una representación espacial de las necesidades ecológicas en una especie y extrapolarlos dentro de una región geográfica (Navarrete, 2015). Así, aunque, las necesidades ecológicas, sean un recurso que determinen a una especie establecerse y reproducirse en un ecosistema haciendo que estas no tengan ninguna necesidad de que otros individuos se exijan a inmigrar con el objetivo de que la población prevalezca (Navarrete, 2015). Las especies no ocupan todo el espacio geográfico que pueden ocupar, y debido a la dispersión limitada, la competencia y el aislamiento geográfico de los espacios, ocupan solo nichos (Navarrete, 2015).

### **2.9.2. Nicho Ecológico**

El modelado de idoneidad ecológica es esencialmente la caracterización de las condiciones ambientales apropiadas para las especies a partir de un patrón emergente, lo que ayuda a identificar espacialmente los sitios que cumplen con los requisitos de idoneidad de las especies (Navarrete, 2015).

### **2.9.3. Abundancia**

En ecología, la abundancia local es una representación relativa de una especie en un ecosistema particular (Mostacedo y Fredericksen, n.d.). Esto generalmente se mide por el número de individuos encontrados por muestra en tiempo presente (Mostacedo y Fredericksen, n.d.). La relación entre la abundancia de una especie y una o más especies que habitan el ecosistema se denomina abundancia relativa de la especie. Ambos indicadores son relevantes para el cálculo de la biodiversidad (Mostacedo y Fredericksen, n.d.)

## **2.10. Modelado de Distribución de Especies y Nicho Ecológico**

Los modelos de distribución de especies (SDM) también se conocen con otros nombres, incluidos modelos climáticos, modelos de hábitat y modelos de nicho (ambientales o ecológicos) (Navarrete, 2015). El objetivo de SDM es estimar cuán similares son las condiciones en un lugar dado a aquellas en lugares conocidos (y posiblemente inexistentes) de un fenómeno (Navarrete, 2015). Una aplicación común de este método es predecir el rango de especies con datos climáticos como herramienta de pronóstico (Navarrete, 2015).

Una preocupación particular al modelar la distribución de especies es que los datos de desarrollo de las especies representen perfectamente la verdadera distribución de las especies bajo

investigación (Navarrete, 2015). Las coordenadas de los datos de posición deben ser lo suficientemente precisas para distinguir especies/ambientes comunes y muestras imparciales, o explicarse por información sobre sesgos conocidos. (Navarrete, 2015). Presenta los pasos principales en SDM ajustar un modelo, hacer una predicción y evaluar el resultado (Navarrete, 2015).

## **2.11. MaxEnt**

MaxEnt es una herramienta de predicción de solo presencia, sin embargo, también podría aplicarse datos de presencia y ausencia de especies usando el modelo condicional (como en Berger et al., 1996), el cual se aplicará en este proyecto. MaxEnt básicamente funciona mediante los puntos de presencia muestreados y las variables explicativas o como lo llamaremos en todo el documento variables ambientales (p. ej., temperatura y precipitación) (S. B. Phillips et al., 2006a). Las variables ambientales se presentan por campos, rásteres o entidades de distancia para proporcionar una estimación de la presencia en un área de estudio (Merow et al., 2013). De esta área de estudio lo que hace la herramienta MaxEnt es extrae muestras de ubicaciones de fondo que debe contrastar con las ubicaciones de presencia en el área de estudio, se entiende que las muestras de fondo son aleatorias y se desconocen de sus ubicaciones (Merow et al., 2013).

MaxEnt arroja resultados de una tasa de ocurrencia relativa (ROR; Merow et al., 2013), EL ROR es la probabilidad relativa de que una celda este contenida en una colección de muestras de presencia. ROR es la salida bruta de MaxEnt (Merow et al., 2013).

MaxEnt predice ROR en función de los predictores ambientales en esa ubicación. Estos ROR  $P^*(z(x_i))$  toman la forma (Merow et al., 2013),

$$P^*(z(x_i)) = \frac{\exp(z(x_i)I)}{\sum_i \exp(z(x_i)I)} \quad (1)$$

donde  $z$  es un vector de  $J$  variables ambientales en la ubicación  $x_i$ , y  $I$  es un vector de coeficientes de regresión, con  $z(x_i) = z_1(x_i) * \lambda_1 + z_2(x_i) * \lambda_2 + \dots + z_J(x_i) * \lambda_J$  (Merow et al., 2013). Dado que el denominador es la suma de los ROR de todas las celdas de la cuadrícula en la encuesta, la suma de estos ROR es 1 en todo el paisaje (llamado normalización). La normalización asegura que la incidencia sea realmente una incidencia relativa (Merow et al., 2013).

### 2.11.1. Máxima entropía

La ecuación (1) se puede derivar como una distribución con máxima entropía en el dominio de datos espaciales. Es decir, se realizan predicciones para cada celda de la escena. El principio de máxima entropía supone que debe seleccionar un modelo que se ajuste a sus datos lo más cerca posible de sus expectativas previas. La distribución  $Q(x_i)$  anterior refleja las expectativas para la distribución de usuarios antes de contar los datos. La entropía relativa mide qué tan similar es una predicción a una predicción anterior por (S. J. Phillips y Dudík, 2008):

$$\sum_{i=1}^N p^*(z(x_i)) * \log \left[ \frac{p^*(z(x_i))}{Q(x_i)} \right] \quad (2)$$

Por lo general, el anterior es una distribución uniforme en el espacio geográfico, lo que significa que todas las celdas tienen a priori la misma probabilidad de contener un individuo. Esta suposición corresponde a  $Q(x_i) = \frac{1}{N}$  (la ecuación (2) luego se reduce a la entropía de Shannon) (Merow et al., 2013).

$$P^*(z(x_i)) = \frac{Q(x_i)exp(z(x_i)I)}{\sum_i Q(x_i)exp(z(x_i)I)} \quad (3)$$

---

Donde la suma de los denominadores abarca todas las celdas de la cuadrícula de la encuesta (Merow et al., 2013). Interpreta modelos geoespaciales ayudando a comprender cómo un modelo espacialmente explícito de trabajo de muestra integrado con distribuciones anteriores afecta las predicciones de ROR (Merow et al., 2013).

**2.11.1.1. Valores de Entropía.** La entropía de la información en el modelo de distribución de máxima entropía en términos estadísticos representa el grado de incertidumbre de la información que se está analizando en la codificación interna del modelo, permite dar condiciones de restricción para la construcción de varios modelos de distribución.

En si el principio de máxima entropía se refiere a incluir datos de presencia conocida de las especies vegetales de estudio, sin hacer suposiciones ni conocidas ni desconocidas, y todos los eventos de investigación o de ajuste del modelo son tratados como eventos de incertidumbre se los trata de igual probabilidad. El modelo óptimo es aquel que en su valor de entropía obtenida por el modelo MaxEnt comparado con los modelos que se relacionan en cada especie es mayor, esto representa que tiene menos sesgo y será aquella que menos información extrínseca al problema contenga.

Los valores de entropía generados por MaxEnt se encuentran en el html de los coeficientes del modelo, cada modelo tiene su análisis de resultado y según se vaya configurando el modelo, el algoritmo de MaxEnt converge después de ciertas iteraciones tanto con los datos de presencia, background/ausencia y las variables ambientales.

### **2.11.2. Datos de entrada**

**2.11.2.1. Background.** Son datos aleatorios que se generan en un espacio determinado los cuales no se consideran ni presencias ni ausencias son datos que permiten la correlaciones entre variables ambientales y los datos de presencia (Merow et al., 2013).

Los datos de fondo se estructuran en píxeles y estos permiten las correlaciones. Se sabe que entre más puntos acierten en un pixel y dentro de ese pixel se encuentre una variable ambiental se la considera con mayor porcentaje de aportación de la variable ambiental, además para la permutación de la misma (Merow et al., 2013). La permutación de las variables ambientales se considera una correlación que se da entre los datos ambientales de las estaciones con los datos de presencia. (p. ej., si en una celda existe un dato de presencia y dos datos de background se considera esta celda como la de mayor importancia) (Merow et al., 2013).

**2.11.2.2. Variables Ambientales.** Las variables ambientales son utilizadas para elaborar rásters los cuales representar condiciones en el paisaje que pueden ser un indicador útil de la existencia de un evento (Merow et al., 2013). Por ejemplo, las especies de plantas pueden depender en gran medida de un rango de altitud particular (Merow et al., 2013). Luego puede usar la cuadrícula de elevación para asociar los valores de elevación con la ubicación de las plantas en su modelo (Merow et al., 2013).

MaxEnt se rige por ciertos condicionamientos para utilizar las variables ambientales, estos son que los rasters deben tener el mismo número de filas, columnas y tamaño de celda. Además, se deben guardar en formato ASCII. Por otro lado, los datos de presencia deben estar en formato CSV (Merow et al., 2013).

### 2.11.3. Datos de salida

MaxEnt produce tres tipos de salida diferentes para la predicción: cruda, acumulativa y logística. Las métricas basadas en el rango para el ajuste del modelo (como AUC) son las mismas porque las tres categorías de resultados están relacionadas de forma monótona (S. J. Phillips y Dudík, 2008). Sin embargo, debido a que los tipos de salida se escalan de manera diferente, las interpretaciones son diferentes y los mapas de predicción son visualmente muy diferentes (Merow et al., 2013).

La salida sin procesar de MaxEnt se interpreta como un ROR (Merow et al., 2013). Este agrega unidad si todas las ubicaciones del paisaje se incluyen en el fondo (Merow et al., 2013). La salida acumulativa específica para un contenedor la suma de todos los valores brutos menores o iguales al valor bruto de ese contenedor y lo reposiciona entre 0 y 100 (Merow et al., 2013). La salida acumulativa se puede interpretar como una escala. Se omite porque el umbral se establece en el valor  $c$  para predecir la presencia/ausencia del intervalo  $c$  a ignorar (S. J. Phillips y Dudík, 2008). La salida logística, denominada  $L(z)$ , usa transformaciones de la salida sin procesar (S. J. Phillips y Dudík, 2008), como.

$$L(z) = \frac{\tau e^{z\lambda - r}}{1 - \tau e^{z\lambda - r}} \quad (4)$$

---

donde  $r$  es la entropía relativa de  $P^*(z(x_i))$  a  $Q(z(x_i))$  (Ec. 2) (S. J. Phillips y Dudík, 2008). Propone que  $\tau$  puede interpretarse como la probabilidad de presencia en ubicaciones de presencia promedio y que la salida logística puede interpretarse como probabilidad de presencia (S. J. Phillips y Dudík, 2008). MaxEnt no ajusta un valor de  $\tau$  a partir de los datos, sino que asume

arbitrariamente  $\tau = 0,5$  como valor predeterminado (Merow et al., 2013), lo que puede tener consecuencias drásticas en las probabilidades previstas asignadas a cada ubicación

## **2.12. Validación de los Modelos**

La Validación consiste en tomar los datos originales y crear a partir de ellos cinco conjuntos que sería el valor de  $k$  en la función `kfold()`, donde el conjunto de entrenamiento es el tercer grupo en el cual se divide 20% de los datos para test y 80% para datos de entrenamiento.

Se utiliza la función `evaluate()` para poder extraer la evaluación del modelo de máxima entropía con los datos de test y datos de entrenamiento para así compararlos con la evaluación del modelo con los datos totales y reales.

## **2.13. Evaluación de la Predicción**

### ***2.13.1. Resultados generados por el modelo MaxEnt***

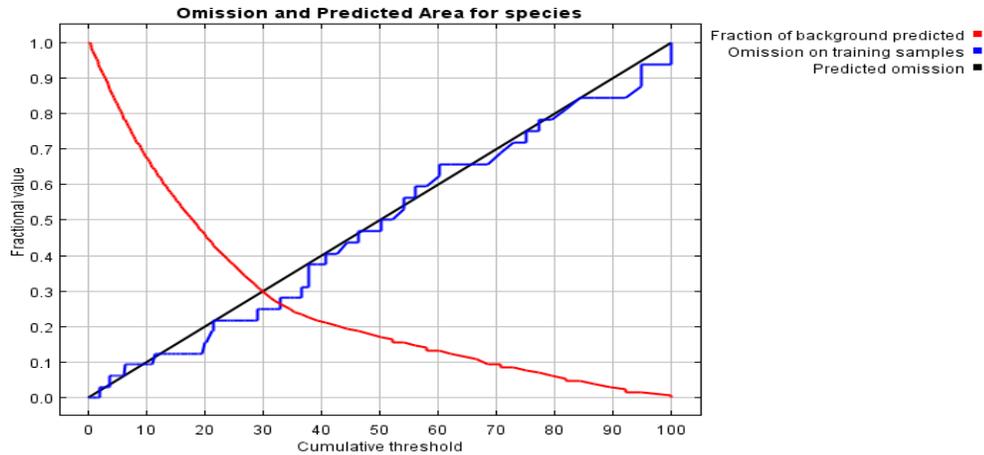
A continuación, en la Figura 4 podemos observar el área de omisión y predicción de una especie vegetal, según la definición de umbral acumulativo (Merow et al., 2013), mientras más cerca se encuentre la muestra de las fracciones de los puntos de presencia con la base de datos de presencia de la especie el modelo se considera con mayor efectividad de análisis.:

- Línea azul: La omisión en los datos de entrenamiento muestra que pequeñas partes de la puntuación están presentes fuera de la región potencial según el modelo MaxEnt, lo que limita la región de predicción al umbral acumulativo.
- Línea negra: Muestra de entrenamiento, son los datos de presencia en el entrenamiento del modelo

- Línea roja: Muestras aleatorias de fracciones de los puntos de fondo de la microcuenca del río Guambi, usando diferentes umbrales acumulativos

#### Figura 4

*Tasa de omisión y rango de predicciones en función del umbral acumulativo*



**Fuente:** La investigación

**2.13.1.1. Característica Operativa del Receptor (ROC) o (COR).** La curva de características operativas del funcionamiento del receptor, permite diagnosticar los diferentes datos de test y entrenamiento utilizando un método estadístico interno en su codificación dando 3 objetivos de análisis general (Jaime Cerda y Lorena Cifuentes, 2011), dependiendo del tipo de resultado que se necesite representar en el estudio de distribución potencial de una especie vegetal se explicara en la sección de resultados, los objetivos son:

- Permite determinar el umbral de la escala continua en el que la sensibilidad y la especificidad son más altas.
- Esto nos permite evaluar el poder discriminativo de las pruebas diagnósticas, es

decir, su capacidad para distinguir entre datos actuales y antecedentes.

- Esto le permite comparar el poder discriminatorio de dos o más pruebas de diagnóstico y expresar los resultados como una escala continua.

Maxent en su codificación y evaluó de datos interna para desarrollar el resultado de la curva ROC o COR toma en cuenta la siguiente estructura

### Tabla 1

*Argumentos para la gráfica ROC o COR*

Tasa de Verdaderos Positivos (TPR)	Tasa de Falsos Positivos (FPR)
Tasa de Falsos Negativos (FNR)	Tasa Verdaderos Negativos (TRN)

**Fuente:** La investigación

Donde la sensibilidad se calcula como:

$$\text{Sensibilidad} = \frac{TPR}{TPR + FNR}$$

Donde la especificidad se calcula como:

$$\text{Especificidad} = \frac{TRN}{FPR + TRN}$$

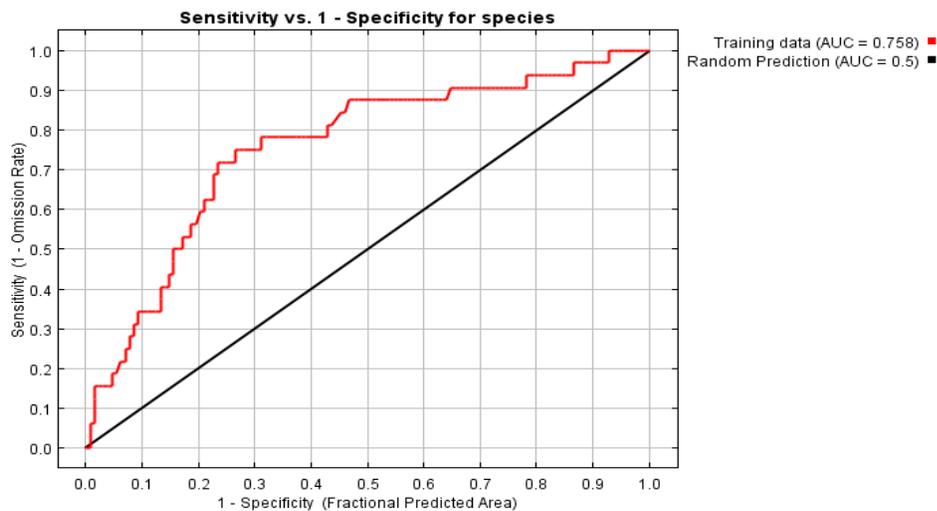
Para poder entender la Figura 5, damos la siguiente explicación:

- Línea roja: ROC
- Línea negra: Diagonal de referencia, donde indica que el modelo no es bueno ni malo solo existe y es el valor base a considerar.

- Cada punto rojo que recorre la curva ROC corresponde a un punto de corte del test diagnosticado y es ahí donde nos indica la sensibilidad y la especificidad del modelo.
- AUC: Área bajo la curva diagnosticada entre la diagonal de referencia y el punto de corte máximo alcanzado en la curva COR
- En el eje de las X se representa la especificidad y en el eje de las Y se representa la sensibilidad

**Figura 5**

*Grafico de sensibilidad y especificidad (curva ROC)*



**E Fuente:** La investigación

**laborado por:** Moreno Wendy y Reyes Renato

**2.13.1.2. Análisis de aporte de variables.** Maxent genera distribuciones de probabilidad sobre píxeles para mejorar el ajuste de distribución de los datos de muestra. Para determinar la importancia de las variables de entorno de entrada en el modelo, se generan dos

consideraciones importantes: la contribución del modelo y la importancia de la permutación.

Para analizar la variable debemos escoger el valor de permutación, esto significa que aleatoriamente los valores de las variables ambientales y los puntos de entrenamiento se agrupan y se correlacionan fuertemente, indicando que el modelo depende en gran medida de esa variable ambiental para la predicción del modelo.

**Tabla 2**

*Porcentaje de contribución y permutación de las Variables Ambientales*

<b>Variable</b>	<b>Percent Contribution (%)</b>	<b>Permutation Importance (%)</b>
<b>Altitude</b>	82,3	62,7
<b>Wind Speed</b>	7	18,5
<b>Maximum Temperature</b>	6,9	2,1
<b>Annual Temperature Range</b>	1,9	0
<b>Precipitation</b>	1,1	13,6
<b>Minimum Temperature</b>	0,4	1,7
<b>Intermediate Daytime Temperature</b>	0,2	0
<b>Seasonality</b>	0,2	1,4
<b>TOTAL</b>	100	100

**Fuente:** La investigación

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

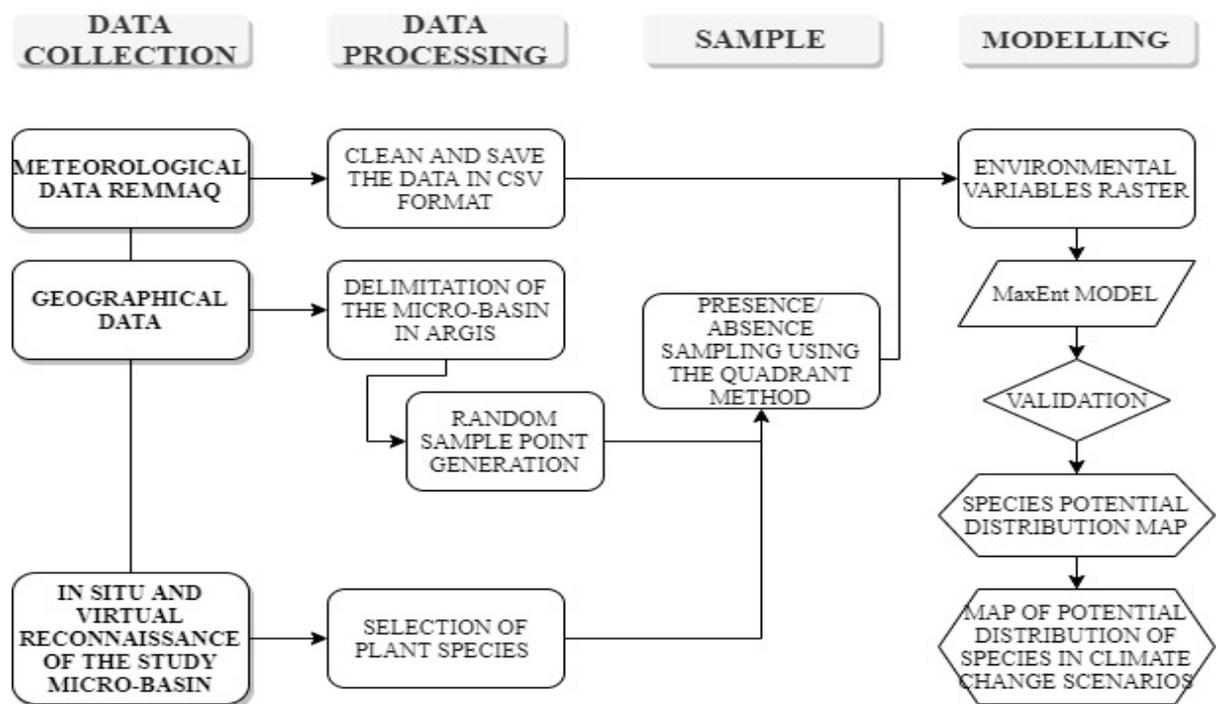
#### **3.1. Métodos**

Para la elaboración de la metodología de este trabajo experimental se optó por dividirlo en 4 etapas véase en la (Figura 6) (levantamiento de datos, procesamiento de datos, campo y modelado). En la primera etapa se recolectó toda la información (REMMAQ, IGM; y

reconocimiento de la microcuenca Guambi in-situ y virtual) necesaria para delimitar de la microcuenca y generar el modelo de distribución potencia; en la segunda etapa se delimitó la microcuenca, se crearon puntos aleatorios por medio de la herramienta ArcMap y se seleccionaron las plantas para el estudio; en la tercera etapa se muestreó presencia y ausencia de las especies escogidas y, por último, en la cuarta etapa que se ingresaron los datos de las variables ambientales para generar el modelo con la herramienta MaxEnt dando como resultado mapas de distribución potencial de especies y nicho ecológico que se analizarán en escenarios de cambio climático.

**Figura 6**

*Etapas de la Metodología*



Fuente: La investigación

### 3.1.1. Etapa I Levantamiento

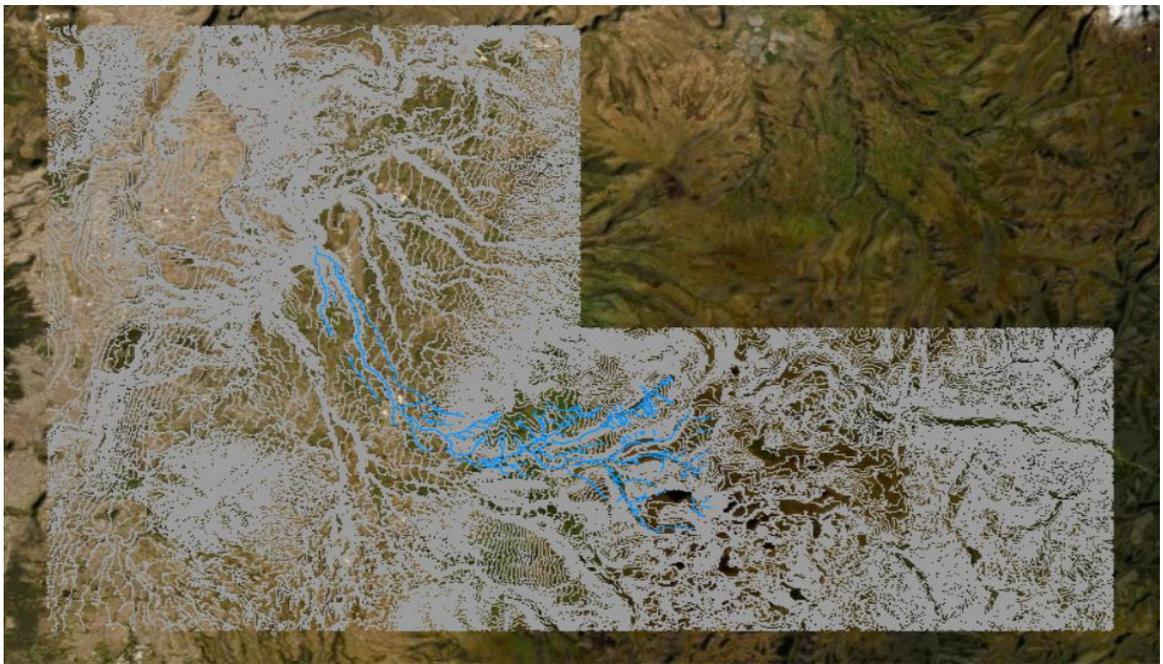
3.1.1.1. Información topográfica y meteorológica. La información topográfica se

descargó de la página del Instituto Geográfico Militar (IGM) las cartas a descargar fueron de Quinche, Oyacachi y Sangolquí.

La información base meteorológica se descargó de la página secretaria del ambiente, datos históricos REMMAQ de las 8 estaciones del DMQ.

### **Figura 7**

*Selección de capas de los Shapefiles de las bases de datos del Quinche, Oyacachi y Sangolquí.*



**Nota:** Se muestran las capas (los ríos y las curvas de nivel) que se utilizó para realizar la delimitación de la Microcuenca Guambí

**Fuente:** La investigación

Reconocimiento in-situ y virtual por medio de la aplicación Google Earth en la microcuenca de estudio

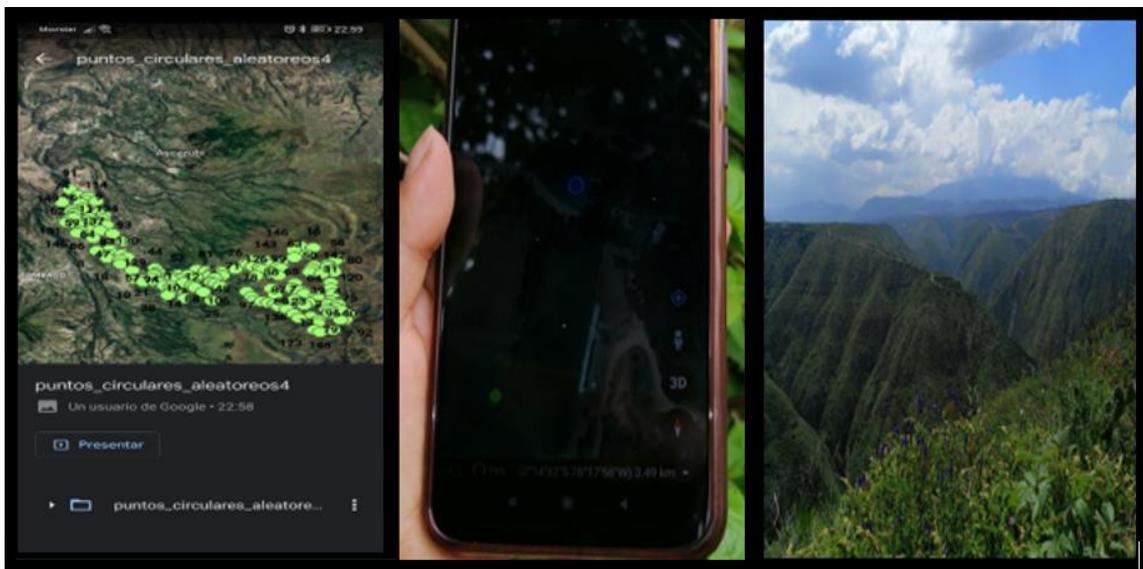
Como primer paso el reconocimiento por medio de la herramienta virtual móvil y de escritorio pc Google Earth, nos permite observar directamente la ubicación de los puntos y la

topografía donde se encuentran los mismos. Se tomó en cuenta las vías de acceso principales y secundarias para llegar con mayor facilidad a los puntos de muestreo

Dado que esta herramienta también consta con GPS incluido fue muy útil para desarrollar el reconocimiento del área de forma in –situ.

## Figura 8

*Reconocimiento in-situ y ex-situ (virtual) de la microcuenca del Río Guambí*



**Fuente:** La investigación

### 3.1.2. Etapa II Procesamiento

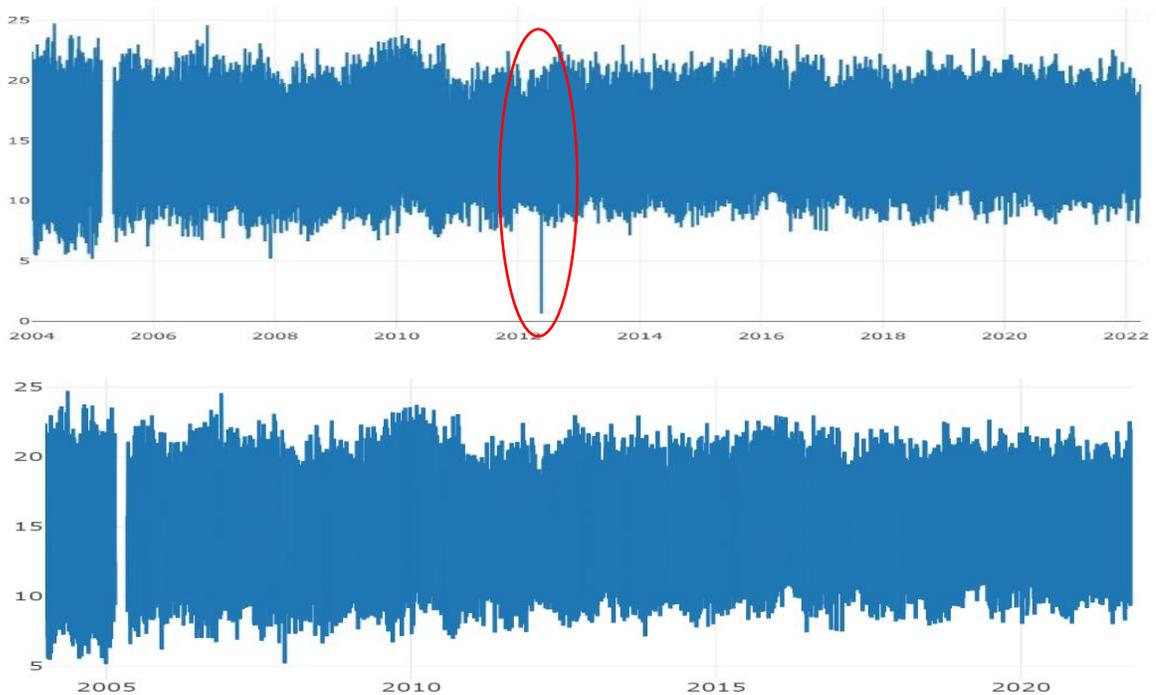
**3.1.2.1. Limpieza y almacenamiento de datos.** De los datos obtenidos de la REMMAQ, se realizó un control de calidad de estos, es necesario realizar una búsqueda de datos atípicos, siendo esto una mejora en el momento de tratar estos en el estudio de los modelos.

Los datos atípicos se visualizan mediante las gráficas que arroja el programa de RStudio, se puede detectar un dato atípico mediante la visualización de la Figura 9, se puede observar que

existen datos fuera del rango que tienen en este caso sobresale o está bajo el 5 que hace referencia a los grados de temperatura, para tratar estos valores se borran ya que estos pueden dar variaciones al voltaje en las estaciones.

### Figura 9

#### *Control de Datos de la Estación Cotocollao*



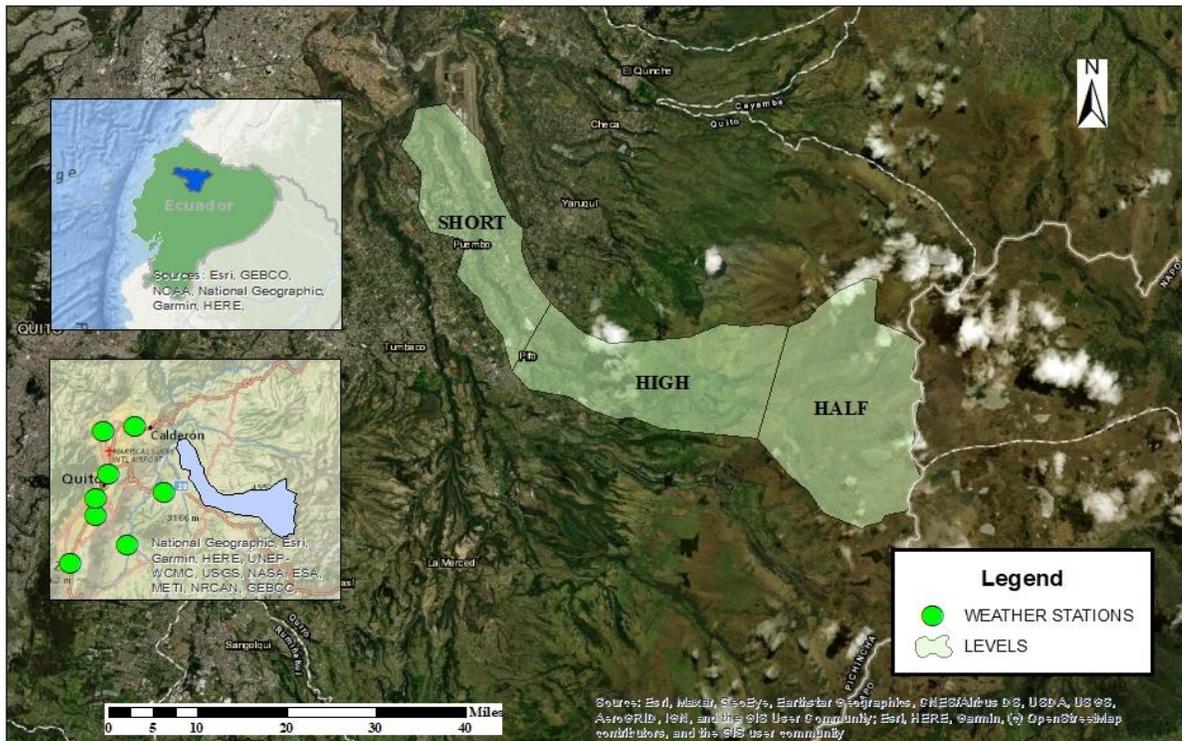
**Nota:** a) Serie de tiempo que muestra datos atípicos o erróneos, b) Series de tiempo en el cual se eliminaron datos atípicos o erróneos. El ovalo de color rojo identifica los datos eliminados

**Fuente:** La investigación.

**3.1.2.2. Delimitación de la microcuenca.** El presente proyecto de investigación se realizó en la microcuenca del Rio Guambi para delimitar esta se utilizó el programa de ArcMap siguiendo los siguientes pasos:

**Figura 10**

*Ubicación de la Microcuenca Guambi en DQM y sus Estaciones*



**Fuente:** La investigación

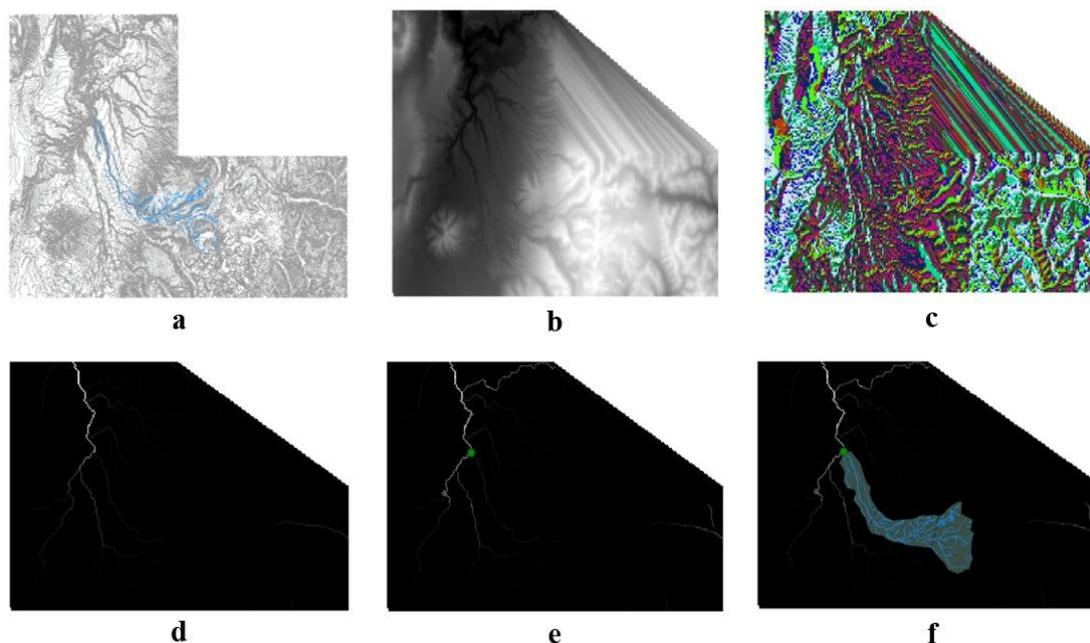
1. Descargar los Shapefile de la página del IGM (Geoportal, 2013) estos deben ser descargados de la parte de información básica mapas de 1:50k (El Quinche, Oyacachi y Sangolquí).
2. Insertar los Shapefile necesarios como son curvas de nivel, rio\_a y rio\_l los cuales se deben unir con la herramienta Merge que se encuentra en Geoprocessing y realizar un raster
3. Con la herramienta Spatial Analyst Tools, se escoge la herramienta Hydrology y se selecciona Fill se abrirá una ventana en la cual se podrá apreciar una parte donde dice Input Surface Raster se debe colocar el Raster que se realizó anteriormente, de igual manera la

herramienta Flow Direction se debe colocar el Fill.

4. Crear un Shapefile con el nombre punto de desfogue del rio.
5. Crear la microcuenca mediante la herramienta Hydrology

### Figura 11

#### *Delimitación de la microcuenca del Río Guambí*



**Nota:** Delimitación de la microcuenca del Río Guambí: a) Shapefile cargados en ArcMap, c) Raster de los Shapefile, d) Determinación del flujo de acumulación, e) Punto de desfogue, f) Delimitación de la microcuenca.

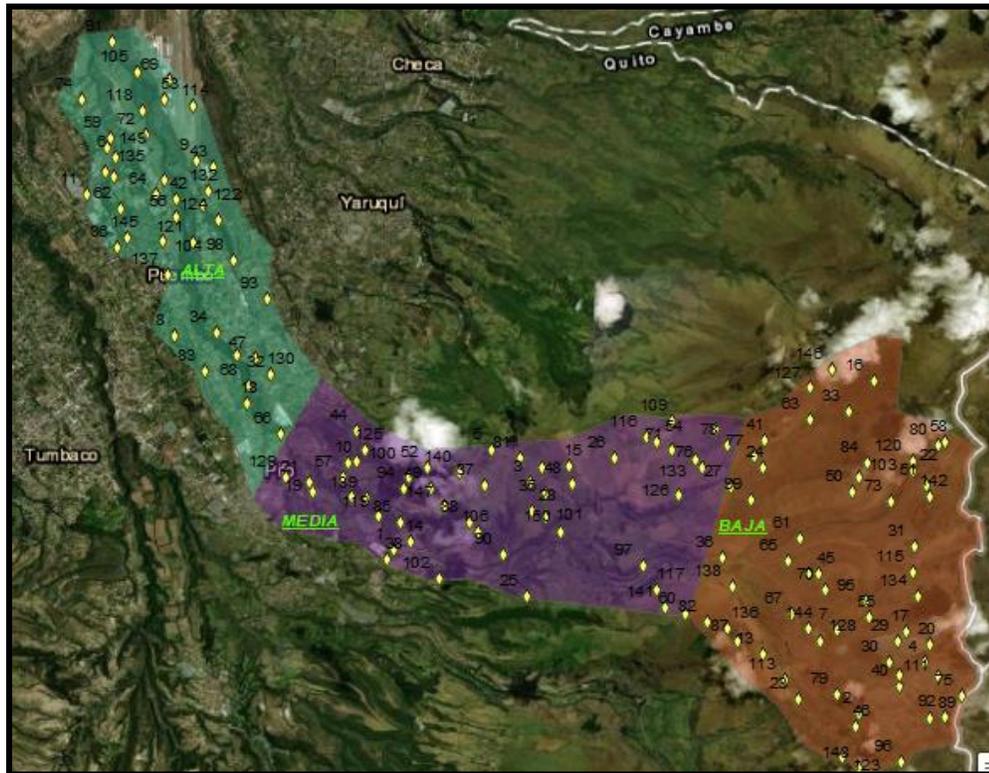
**Fuente:** La investigación

### 3.1.2.3. Ubicación de los puntos de muestreo aleatorios

1. Con la microcuenca una vez delimitada y dividida en zona alta, media y baja nos dirigimos al ArcToolbox en Data Management Tools la herramienta Sampling el cual permite ubicar puntos de forma estratificados (Create Fishnet) y puntos de forma aleatoria (Create Random Points).

## Figura 12

*Ubicación de puntos aleatorios de muestreo dentro de los límites de la microcuenca hidrográfica del Río Guambi.*



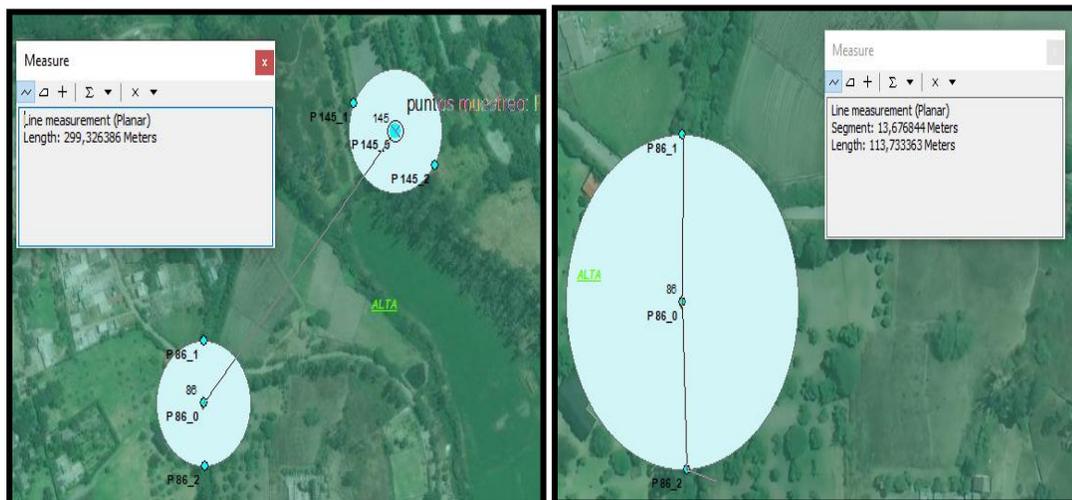
**Fuente:** La investigación

2. Es importante completar el campo de cuantos puntos se requieren en nuestro caso de estudio realizamos 150 puntos distribuidos aleatoriamente en toda la microcuenca hidrográfica del río Guambi, también se llenó el campo de distancia mínima entre puntos y se consideró 200 metros, esto se aplicará para distinguir a l modelo de abundancia de las especies vegetales en estudio.
3. Se realiza un buffer de 50 metros a los puntos aleatorio ya que se consideró el margen de error

del GPS (precisión máxima 50 cm de pixel y precisión mínima 30 metros) y accesibilidad al terreno, en cada punto aleatorio se realizaron 3 mediciones y su promedio reflejara la abundancia, presencia y ausencia de las especies vegetales. Se realiza una medición central al punto generado por el programa ArcMap y los otros dos puntos se ubican a los extremos norte y sur o este y oeste, esta ubicación de puntos extremos se la aplico para que la muestra sea de mayor credibilidad. Su posición se encuentra bajo la consideración del equipo de trabajo ya que existían algunas limitantes por ejemplo carretera, propiedades privadas, terrenos inaccesibles como quebradas, barrancos.

**Figura 13**

*Distancia mínima entre puntos de muestreo y la dirección de los puntos extremos*



**Fuente:** La investigación

**3.1.2.4. Verificación y selección de las especies vegetales de estudio en la microcuena.** Una vez obtenido la delimitación de nuestra microcuena y los puntos aleatorios a tomar muestras, se procedió hacer un estudio en campo examinando las especies más vistas en toda la microcuena se optó por 8 especies en las cuales mientras se iban avanzando se

descartaron varias.

Para la selección de las especies se estimó diferentes puntos de vista, primero que estas se encuentren en prácticamente toda la microcuenca, segundo que estas tengan un cierto tamaño de alrededor de entre un metro, tercero las plantas se tomaron por criterio a libros de descripción de estas donde se sabe que tienen frutos y cuarto que las plantas sean consideradas plantas que ayudan a contrarrestar el medio ambiente

### **3.1.3. Etapa III Campo**

**3.1.3.1. Método cuadrante.** El método de cuadrantes (Rojas Monserrate y Resl, n.d.), permite realizar una medición más homogénea y menos impacto de borde, se utiliza especialmente para especies herbáceas, arbustivos y un poco en árboles. Para poder determinar el área del cuadrante se tuvo que realizar una preevaluación de la zona de estudio con estas consideraciones de campo y el manual se determinó que se utilizaría un tamaño de cuadrante igual a  $4\text{m}^2$  de área ( $2 \times 2$ ) m.

1. Mediante el reconocimiento del área en la etapa I para constatar los puntos en el GPS Mobile e identificar las tres especies de estudio y según sus dimensiones escoger el tamaño del cuadrante que podría variar entre  $1\text{ m}^2$ ,  $4\text{m}^2$ ,  $16\text{ m}^2$ .
2. En cada punto aleatorio de muestreo se realizarán 3 submuestreos para obtener datos fidedignos de las especies.
3. Se localiza el punto geográfico, la especie y se arma el cuadrante tratando de que en su área abarque la mayor cantidad de especies y sin alterar el entorno natural.

## Figura 14

*Método del cuadrante para realizar el muestreo de especies vegetales*



**Fuente:** La investigación

4. En la libreta de campo se anota en el siguiente formato

### Tabla 3

*Estructura de cómo se clasifico la toma de datos*

<b>Nom. Especie</b>	<b>Coordenadas</b>	<b>Abundancia</b>	<b>Observaciones</b>

**Elaborado por:** Moreno Wendy y Reyes Renato

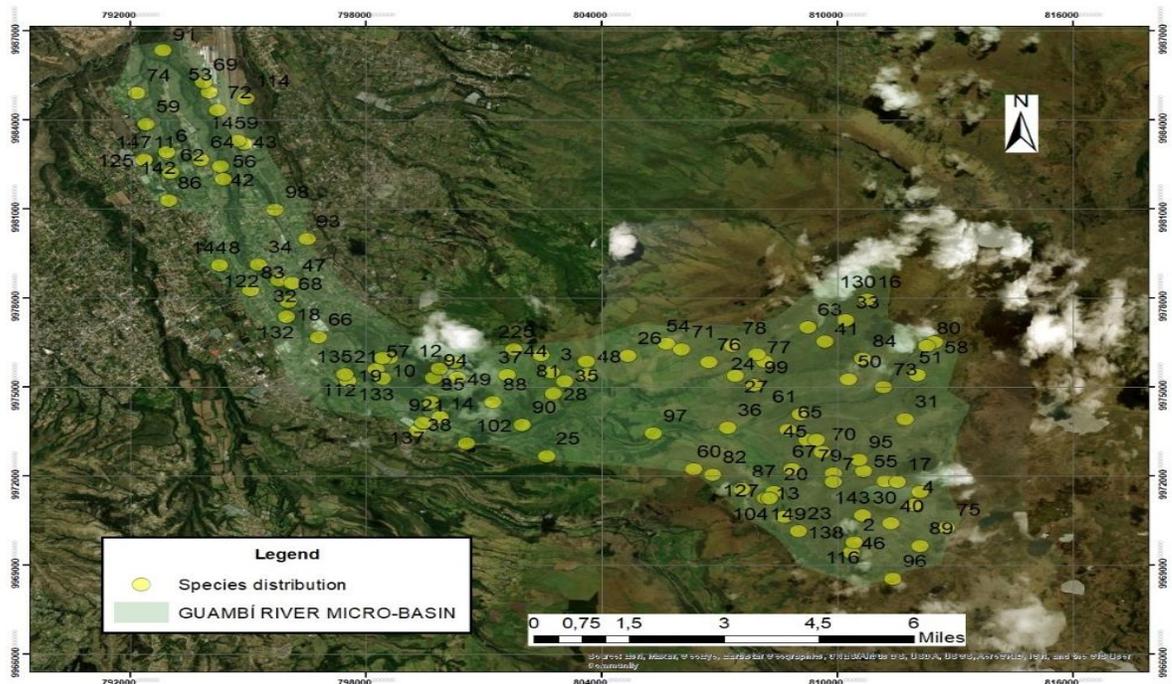
5. Para determinar la abundancia de la especie realizamos la sumatoria entre tres y sabemos la abundancia en cada cuadrante de cada especie.
6. Para conocer la ausencia/presencia se manejará en un rango de 0 para ausencia y de 1 para presencia.
7. Se guardan estos datos en Excel en un formato csv delimitado por comas para trabajarlos

en el modelado con MaxEnt

**3.1.3.2. Puntos aleatorios modificados.** Al ser los puntos generados de forma aleatoria por medio de la herramienta ArcMap al momento del reconocimiento virtual y en la recolección de datos en la microcuenca del Río Guambí se llegaron a presenciar puntos que se dificultó estos problemas fueron porque se encontraban en casas, el aeropuerto, lugares privados, zonas inaccesibles, sin acceso y cuerpos de agua, los puntos que se presenciaron estas anomalías son: 6, 9, 11, 12, 18, 21, 25, 28, 29, 30, 34, 38, 43, 47, 53, 59, 64 y 69. Para arreglar este tipo de anomalía se utilizó los puntos de buffer que se introdujeron en cada punto aleatorio y por ende se cambió las ubicaciones de ciertos puntos.

**Figura 15**

*Distribución de los puntos de muestreo modificados*



**Fuente:** La investigación

### 3.1.4. Etapa IV Modelado

**3.1.4.1. Variables Ambiental.** Para la obtención y manejo de las variables ambientales se debe realizar diversos pasos para poder tener un buen manejo de datos.

#### A. Raster Elevación

Pasos para realizar la variable ambiental de variación de altitud

**Figura 16**

*Metodología de la obtención de las variables ambientales A) Raster Elevación*



**Nota:** Descripción de los pasos a seguir para convertir los datos de las estaciones del REMMAQ a rásters de variables ambientales mediante la herramienta ArcMap

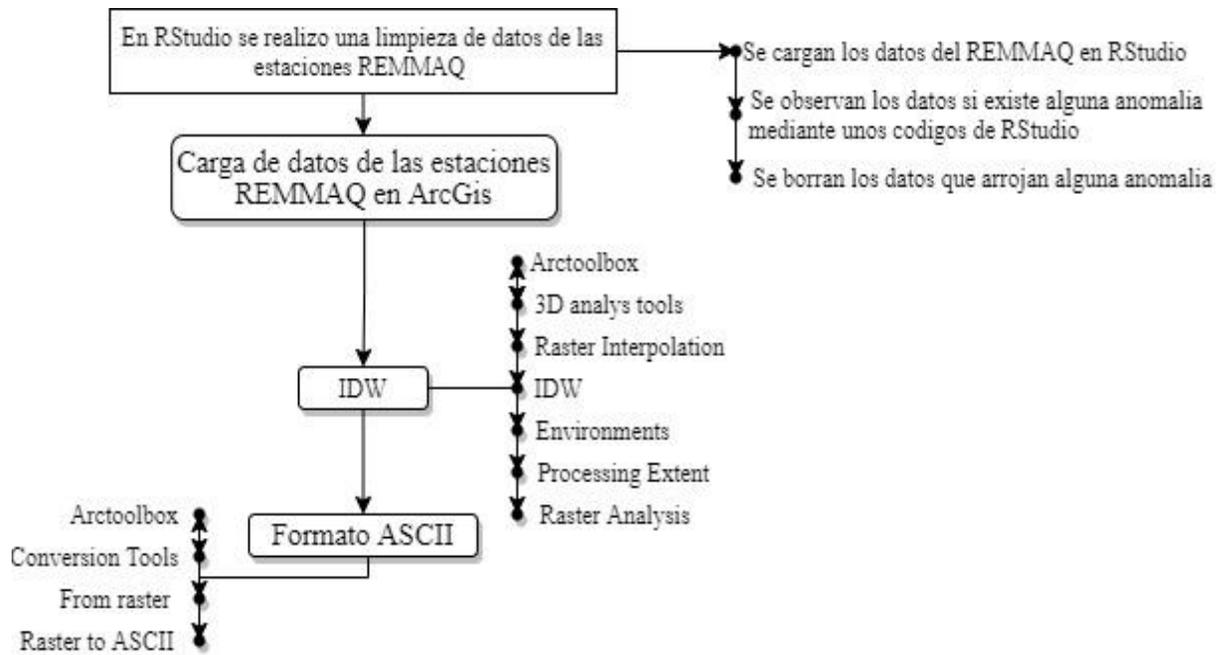
**Fuente:** La investigación

#### B. Distancia inversa ponderada (IDW)

Este proceso de interpolación se utiliza para generar las 11 variables ambientales aplicadas para el modelo MaxEnt

**Figura 17**

*Metodología de obtención de las variables ambientales B) Distancia inversa ponderada (IDW)*



**Fuente:** La investigación

Para desarrollar el raster de la altitud debemos realizar un TIN con las curvas de nivel que se las puede encontrar en el IGM, realizando un clip con respecto a la microcuenca generada, luego lo transformamos a un formato raster y luego a un formato ASCII para poderlo incorporar en la lectura de MaxEnt.

La estacionalidad de la temperatura se calcula con la (desviación estándar de la temperatura media \*100)

La variable intervalo medio diario de la temperatura se trató a los datos con la siguiente fórmula

$$IMD = Temperatura\ media * (temperatura\ máxima - temperatura\ mínima)$$

El rango anual de temperatura se lo obtiene de

$$RAT = Temperatura\ máxima - Temperatura\ mínima$$

La variable ambiental de la Isotermalidad se la obtiene

$$Isotermalidad = \frac{IMD}{RAT} * 100$$

**3.1.4.2. RStudio.** Instalar paquetes y activar librerías de: raster, dismo, sp, rgdal, rJava, maxent y spatstat.

Cargar los datos de presencia de las especies en formato DataFrame, utilizar la función stack() para agrupar todas las variables ambientales generadas en ArcMap.

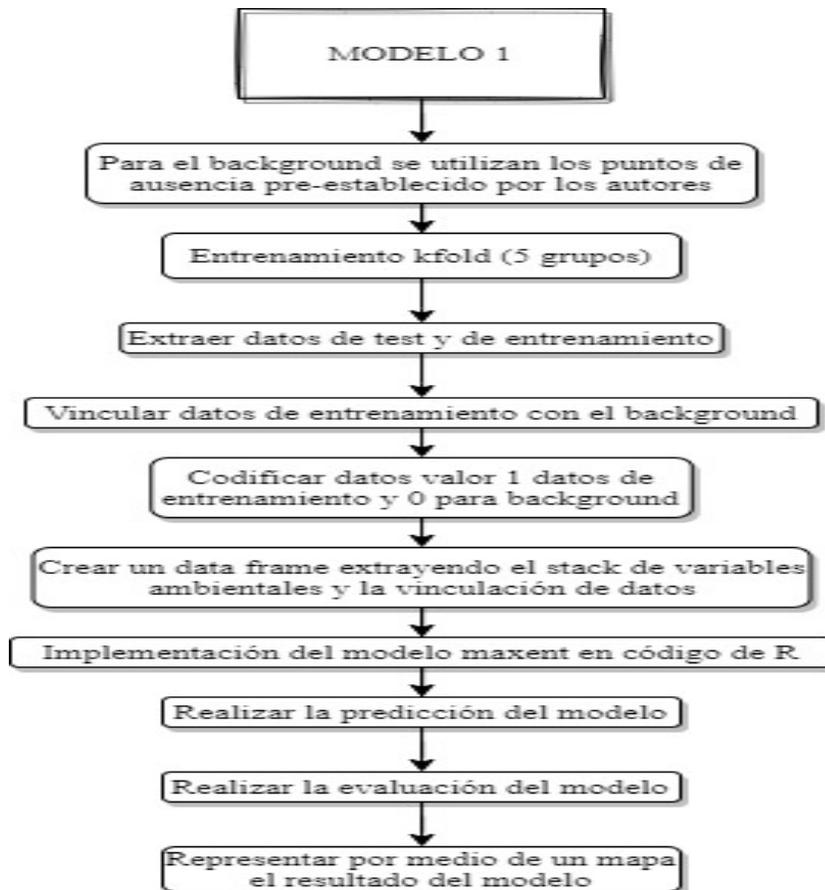
**3.1.4.3. Modelo 1.** Para el modelo 1 se utilizan los datos de ausencia como background en el modelo y para el modelo 1.1 solo se modifican las variables ambientales según el criterio de los autores para ajustar los valores y poder comparar con los otros modelos a generar.

Se utiliza la función Kfold() para separar en grupos y se escoge el tercer grupo, donde extraemos datos de test y entrenamiento a los datos de presencia los cuales los denominamos con 1 a presencia y 0 a las ausencias o datos de fondo y por otro lado se extrae las variables ambientales para los datos de entrenamiento y se los adjunta a la función de maxent() como argumentos por

separado y así podemos evaluar con el AUC obtenido y verificamos la distribución potencial de la especie por medio del mapa generado.

**Figura 18**

*Metodología del modelado 1 en Maxent*



**Fuente:** La investigación

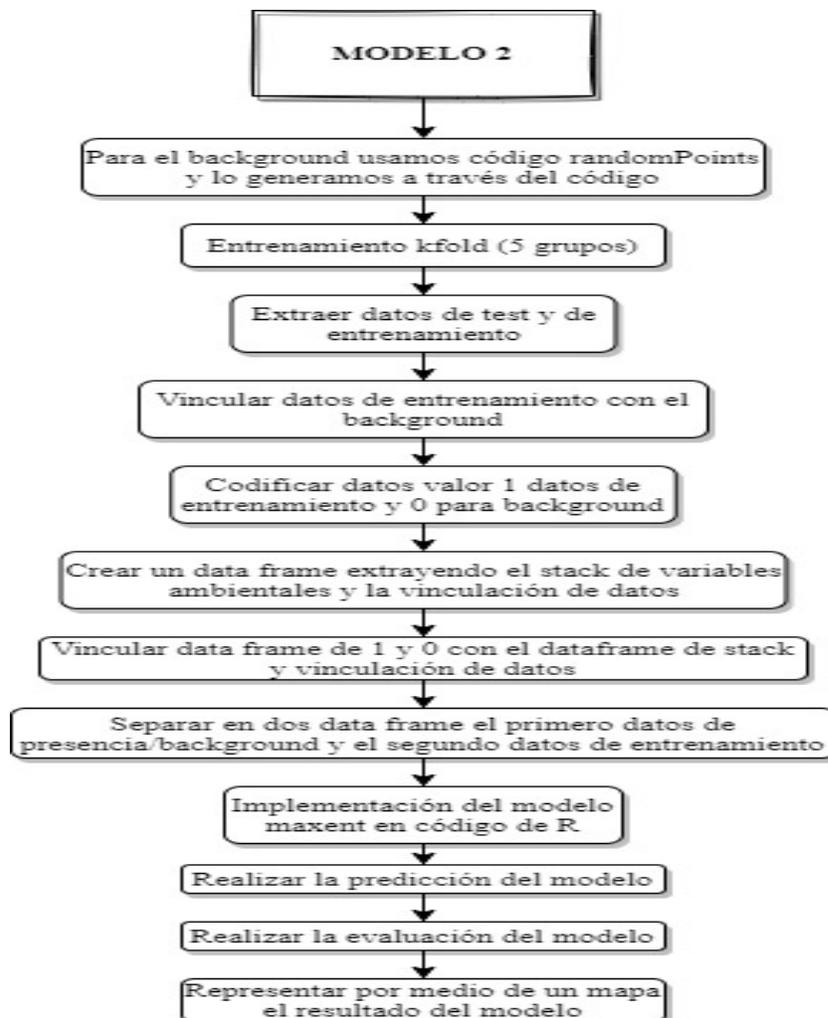
**3.1.4.4. Modelo 2.** Para el modelo 2 se utilizan los datos de background y para el modelo 2.1 solo se modifican las variables ambientales según el criterio de los autores para ajustar los valores y poder comparar con los otros modelos a generar.

Se utiliza la función Kfold() para separar en grupos y se escoge el tercer grupo, donde

extraemos datos de test y entrenamiento a los datos de presencia los cuales los denominamos con 1 a presencia y 0 a las ausencias o datos de fondo y por otro lado se extrae las variables ambientales para los datos de entrenamiento y se los adjunta a la función de maxent() como argumentos por separado y así podemos evaluar con el AUC obtenido y verificamos la distribución potencial de la especie por medio del mapa generado.

### Figura 19

#### Metodología del modelado 1 en Maxent



Fuente: La investigación

**3.1.4.5. Modelo de cambio climático.** Las variables ambientales que se utilizan para el modelo de cambio climático son temperatura media, temperatura máxima, temperatura mínima, rango anual de temperatura, precipitación y humedad.

La variación (según, Eduardo et al., 2016), las condiciones climáticas aumentan de la siguiente manera, la temperatura media  $0,6^{\circ}\text{C}$ , para la temperatura máxima  $0,8^{\circ}\text{C}$ , para la temperatura mínima  $0,6^{\circ}\text{C}$ , mientras que la precipitación y la humedad incrementan en un 10% del valor actual, mediante los registros históricos de 1981-2005 en Ecuador (véase, Eduardo et al., 2016). Al crear los mapas de cambio climático en la herramienta ArcMap con la misma metodología de las variables ambientales del modelo MaxEnt, el único cambio es utilizar los nuevos valores generados de cambio climático para el modelo de aumento de condiciones climáticas.

A continuación, podremos observar los valores originales con los que se utilizaron para generar las variables ambientales para desarrollar los distintos modelos de distribución de especies en MaxEnt.

**Tabla 4***Datos normales que se utilizan para el modelo MaxEnt*

<i>Estacion</i>	<i>T_media</i>	<i>T_MAX</i>	<i>T_MIN</i>	<i>RANGO_ANUAL</i>	<i>PRECIPITACIÓN</i>	<i>HUMEDAD</i>
<i>Tumbaco</i>	16,1574916	28,85	0,87	27,98	779,789	72,4401299
<i>LosChillos</i>	15,3293266	27,87	0,45	27,42	1233,989	71,9028505
<i>Guamaní</i>	12,3433251	22,02	5,72	16,3	1097,861	74,3155041
<i>ElCamal</i>	13,9827231	23,84	4,08	19,76	1053,628	70,3922579
<i>Cotocollao</i>	13,936427	24,74	5,16	24,09	770,4	72,9559505
<i>Centro</i>	14,5048031	23,2	7,91	15,29	226,983	68,2764182
<i>Carapungo</i>	14,7573524	26,34	5,74	20,6	685,778	72,841078
<i>Belisario</i>	13,9527627	23,82	4,92	18,9	1151,289	70,1451002

**Nota:** Datos actuales de las estaciones REMMAQ**Fuente:** La investigación

En la siguiente tabla podremos observar como la variación aumenta en las variables ambientales en un escenario de cambio climático de aumento según (Quesada Quirós et al., 2016)donde:

Precipitación

$$precipitación = (10\% * precipitación actual) + precipitación actual$$

Humedad

$$humedad = (10\% * humedad) + humedad$$

**Tabla 5**

*Datos tratados para el modelo de aumento en base a una proyección de cambio climático*

<b><i>Estacion</i></b>	<b><i>T_media</i></b>	<b><i>T_MAX</i></b>	<b><i>T_MIN</i></b>	<b><i>RANGO_ANUA</i></b>	<b><i>PRECIPITAC</i></b>	<b><i>HUMEDAD</i></b>
<b><i>Tumbaco</i></b>	16,757492	29,65	1,47	28,18	857,7679	79,6841
<b><i>LosChillos</i></b>	15,929327	28,67	1,05	27,62	1357,3879	79,0931
<b><i>Guamaní</i></b>	12,943325	22,82	6,32	16,5	1207,6471	81,7471
<b><i>ElCamal</i></b>	14,582723	25,54	4,68	20,86	1158,9908	77,4315
<b><i>Cotocollao</i></b>	14,536427	25,54	1,25	24,29	847,44	80,2515
<b><i>Centro</i></b>	15,104803	24	8,51	15,49	249,6813	75,1041
<b><i>Carapungo</i></b>	15,357352	27,14	6,34	20,8	754,3558	80,1251
<b><i>Belisario</i></b>	14,552763	24,62	5,52	19,1	1266,4179	77,1596

**Nota:** Datos para el modelo de aumento de condiciones climáticas en la microcuenca del río Guambi

**Fuente:** La investigación

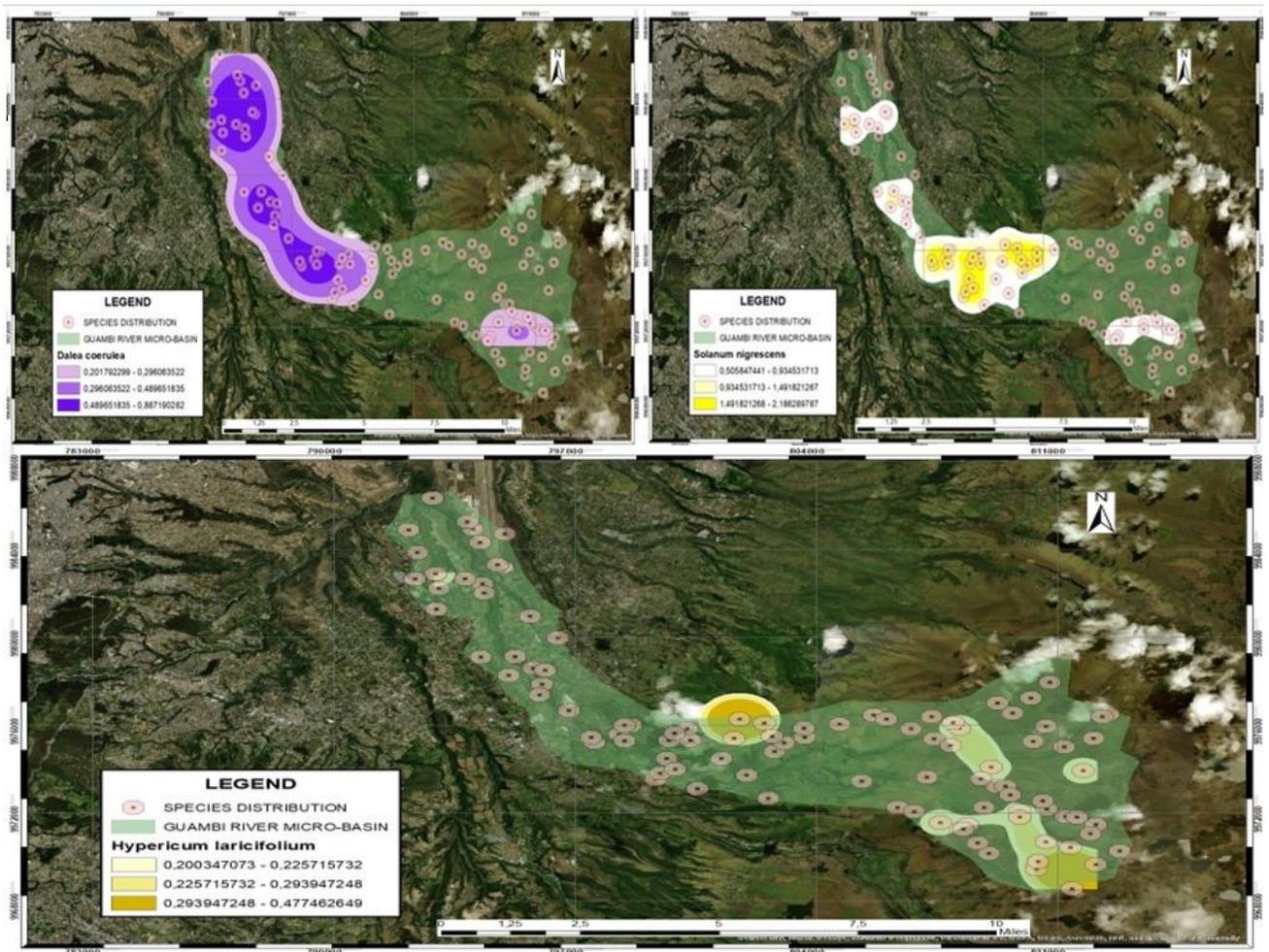
## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Abundancia de las tres Especies Vegetales

Mediante el muestreo de las tres especies vegetales se puede apreciar en la Figura 20 el mapa explicativo donde constan la abundancia de cada una de las especies de la microcuenca del Rio Guambi.

**Figura 20**

*Grafica de la abundancia de las tres especies vegetales*



Fuente: La investigación

## 4.2. Variables Ambientales

A continuación, se representan las 12 variables ambientales que se utilizan para el desarrollo de los distintos modelos de máxima entropía, como se pueden observar en la Figura 20, El color azul siendo el más oscuro de la escala representa el valor más bajo y el color amarillo siendo el más claro representa el valor máximo de la escala.

Podemos observar que la altitud de la Microcuenca del río Guambi se encuentra entre la cota más baja siendo 2040 m.s.n.m. y la cota más alta es 4480 m.s.n.m.

La variable ambiental de la estacionalidad de la temperatura se encuentra en un rango entre 360,649 y 368,773, dando una variación estacional o periódica en la zona de estudio de 3%.

Se puede identificar a la humedad en un rango de 71,7339% y 71,8028%, no existe una variación considerable en la humedad a lo largo de la microcuenca, pero cabe destacar que las actividades humanas hacen que la humedad aumente.

La variable intervalo medio diurno de la temperatura en la microcuenca del río Guambi tiene un rango de 345,25 hasta 359,913. Que se puede observar que en la zona media-alta se encuentran los valores más altos de esta variable.

A continuación, podemos observar en la Figura 21 en una escala de 1:500000 donde 1cm representa 5Km, el rango anual de temperatura varía entre 22,97 °C y 23,66 °C. Notando gráficamente que la temperatura anual más alta se encuentra cerca de la estación meteorológica Tumbaco.

La isothermalidad en la microcuenca del río Guambi sus valores más altos se encuentran en

la parte media con un rango de 1485,16 a 1503,47. Dando un resultado de la media anual térmico diario de 14,85 °C a 15,03 °C.

La variable ambiental que permite medir la fuerza que se ejerce sobre la tierra por el peso atmosférico se representa como presión barométrica se encuentra en un rango de 745,501mbar y 749,011mbar.

Se puede contemplar gráficamente en la Figura 21 que en la zona baja de la microcuena existe mayor precipitación ya que esta zona es páramo. La precipitación se encuentra en un rango de 848,293mm y 861,373mm.

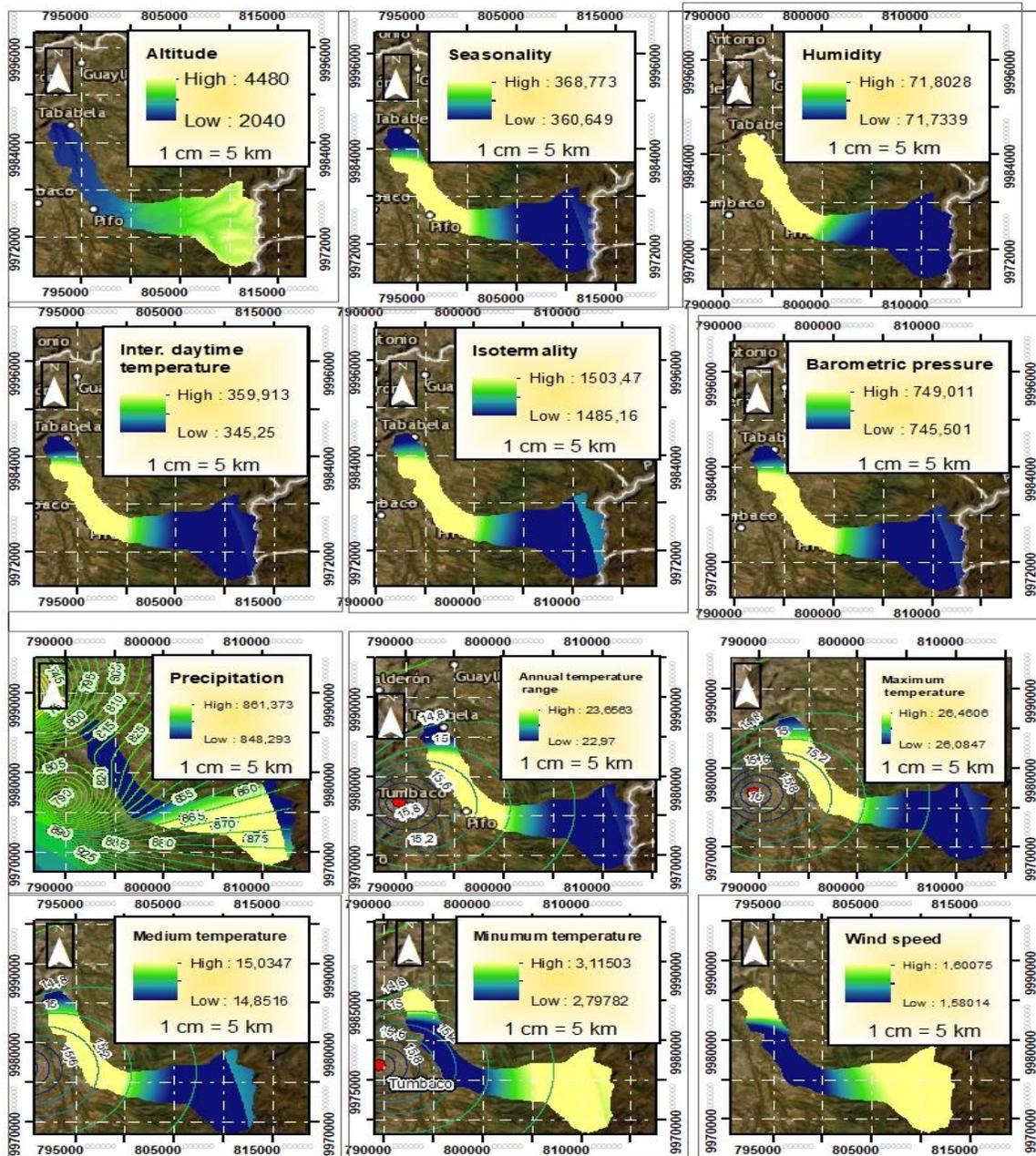
La variación de la temperatura a lo largo de la microcuena es considerable ya que se compone de tres zonas, dando como resultado una temperatura máxima entre 26,0847°C - 26,4606°C, una temperatura mínima entre 2,7978°C - 3,11503°C y una temperatura media comprendida entre 14,8516°C - 15,0347 °C.

Gráficamente podemos observar que las velocidades de viento más altas las encontramos en la zona alta y baja de la microcuena en un rango de  $1,58014 \frac{km}{h}$  -  $1,660075 \frac{km}{h}$

## **Figura 21**

*Mapas de las variables ambientales aplicadas para los distintos modelos de las especies*

vegetales.



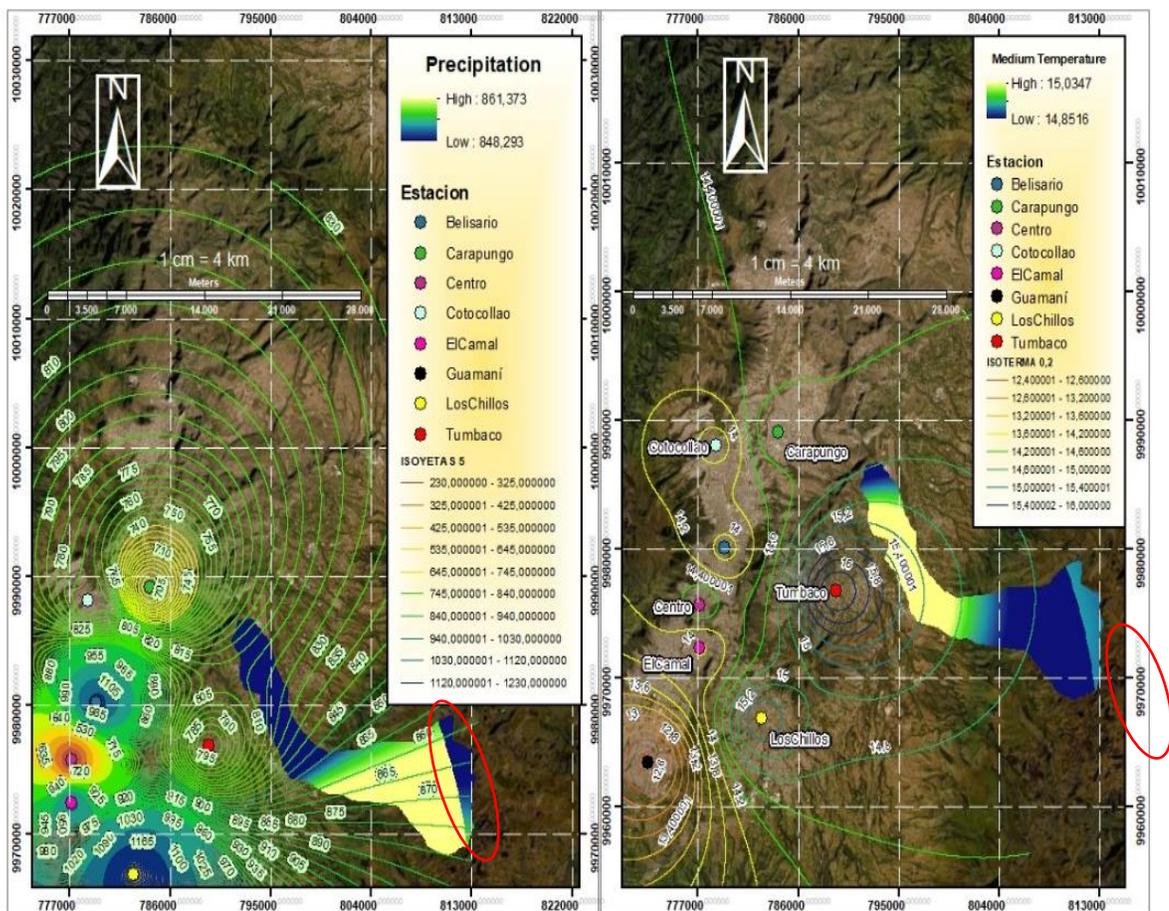
Fuente: La investigación

En la siguiente Figura 22 Podemos distinguir a la variable ambiental de la precipitación con sus Isoyetas correspondientes variando en un rango de 5 mm, al igual que a la variable de la

temperatura media con sus Isotermas correspondientes variando en un rango de 0,2 °C. Como se mencionó anteriormente se utilizaron las 8 estaciones REMMAQ para poder realizar la interpolación de los valores ambientales.

**Figura 22**

*Representación gráfica de la precipitación con sus isoyetas y la temperatura media con sus isothermas.*



**Fuente:** La investigación

Es importante destacar que se escogió el método IDW ya que permite interpolar valores de

muestra considerados pequeños, pero en el caso de nuestra microcuenca la zona inferior izquierda encerrada con una circunferencia roja la interpolación es errónea ya que los datos son muy lejanos a las estaciones y esa zona de estudio va hacer descartada para la toma de decisión del modelo óptimo de máxima entropía. Este error se da porque el método de ponderación de distancia inversa estima los valores de las celdas donde encontramos datos verdaderos y proyectados, mientras más datos se aporte al método la interpolación es más fiable, pero en este caso los picos que se observan en la microcuenca es la delimitación de la provincia de Pichincha con la provincia de Napo y el modelo no lo reconoce por esta razón lo grafica como una línea continua.

#### **4.3. Resultados de la Especie *Dalea coerulea***

Para los resultados de los modelos de la especie *Dalea coerulea*, se analizaron los datos de presencia en el test que son 7, los datos de presencia para el entrenamiento 32 y los datos de fondo se utiliza las ausencias/background de la especie *Dalea coerulea* siendo 111 datos, dando un resultado de 150 datos. Para el modelo 1 se utilizan todas las variables ambientales y como datos de fondo las ausencias comprobadas en campo, para el modelo 1.1 se utilizan variables ambientales específicas y como datos de fondo las ausencias comprobadas en campo. Para el modelo 2 se utilizaron todas las variables ambientales y como datos de fondo al background definido aleatoriamente por el código en R, para el modelo 2.1 se utilizan variables ambientales específicas y como datos de fondo al background definido aleatoriamente por el código en R

##### **4.3.1. Modelo 1 de la especie *Dalea coerulea***

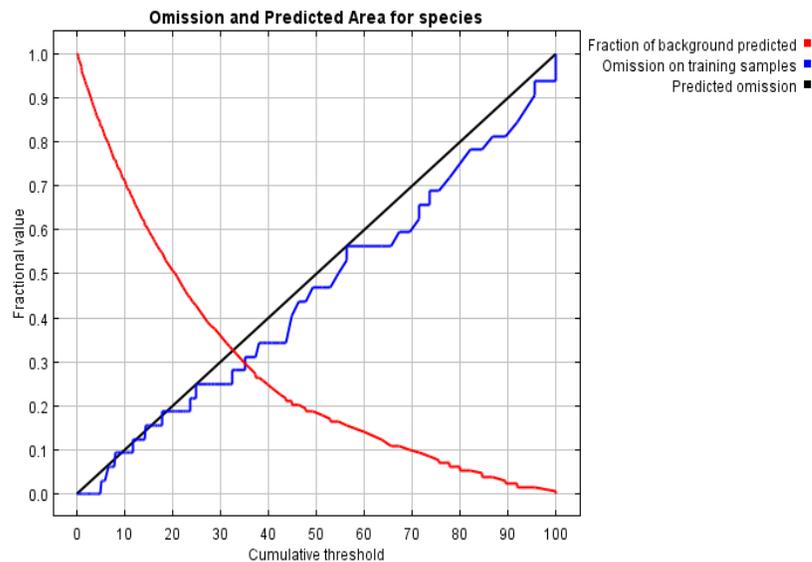
**4.3.1.1. Resultados de las curvas del área de omisión y predicción.** En los resultados de la Figura 23, se puede apreciar como los datos de fondo considerados como valores

de ausencia, se contrastan con los datos de presencia, según (Merow et al., 2013), mientras más cercanos se encuentren las líneas de omisión de datos de entrenamiento con los datos de presencia, el modelo podrá ser considerado como aceptable.

En el modelo 1 de la especie *Dalea Coerulea* de la Figura 23, podemos apreciar que los puntos de intercepción entre la curva de la predicción de las fracciones aleatorias de los datos de fondo con los datos de presencia tienen un valor de 32 en el umbral acumulativo, y en relación con las fracciones de los puntos de presencia ubicados por fuera del área potencial tiene un valor de 35 en el umbral acumulativo. Los datos de omisión de entrenamiento recorren el umbral acumulativo la evaluación del fraccionamiento de los datos en el rango threshold 25 al 57 y 58 al 95 los datos presentan un alejamiento de los datos de presencia.

### Figura 23

*Resultado del área de omisión y predicción de la especie Dalea Coerulea del Modelo 1*



**Fuente:** La investigación

**4.3.1.2. Variables Ambientales que aportaron en el modelo 1 de Maxent de la especie *Dalea coerulea*.** A continuación, en la Tabla 6 podremos observar que se utilizan las 12 variables ambientales para el modelo 1, la permutación de las variables que interactúan con el modelo son 8.

**Tabla 6**

*Valores de contribución y permutación de las variables ambientales de la especie Dalea Coerulea del modelo 1*

<i>Variable</i>	<i>Percent contribution</i>	<i>Permutation importance</i>
<i>Altitude</i>	82,3	62,7
<i>Wind speed</i>	7	18,5
<i>Maximum temperature</i>	6,9	2,1
<i>Annual temperature range</i>	1,9	0
<i>Precipitation</i>	1,1	13,6
<i>Minimum temperature</i>	0,4	1,7
<i>Intermediate daytime temperature seasonality</i>	0,2	0
<i>Medium temperature</i>	0,1	1,4
<i>Barometric pressure</i>	0	0
<i>isothermality</i>	0	0
<i>humidity</i>	0	0

**Fuente:** La investigación

**4.3.1.3. Evaluación del modelo 1 de Máxima Entropía de la especie *Dalea coerulea*.** Podemos observar en la Figura 24, los resultados obtenidos de la evaluación del modelo 1 donde obtenemos un AUC para los datos de test de 0,6743, una evaluación del punto de corte en la curva COR es de 0,1756, también expresa el valor máximo de las tasas de verdaderos positivos con verdaderos negativos (TPR+TNR) dando un valor de 0,35.

El AUC para los datos de entrenamiento es de 0,8052, una evaluación del punto de corte en la curva COR es de 0,5206, también expresa el valor máximo de las tasas de verdaderos positivos

con verdaderos negativos (TPR+TNR) dando un valor de 0,61.

## Figura 24

*Resultado obtenido de la herramienta RStudio de la evaluación de los datos de test y entrenamiento utilizados en el modelo MaxEnt del modelo 1 de la especie Dalea coerulea*

```
> e1 <- dismo::evaluate(ma, p =m1odel20test
> e1
class           : ModelEvaluation
n presences     : 7
n absences      : 111
AUC             : 0.6743887
cor            : 0.1755893
max TPR+TNR at : 0.3480295
> ee1 <- dismo::evaluate(ma, p =m1odel80tra
s)
> ee1
class           : ModelEvaluation
n presences     : 32
n absences      : 111
AUC             : 0.8051802
cor            : 0.5206023
max TPR+TNR at : 0.609122
```

**Fuente:** La investigación

Podemos observar en la Figura 25, los resultados obtenidos en la evaluación del modelo 1 analizando el total de datos, donde obtenemos un AUC de 0,7817, una evaluación del punto de corte en la curva COR de 0,4954, también expresa el valor máximo de las tasas de verdaderos positivos con verdaderos negativos (TPR+TNR) dando un valor de 0,61.

## Figura 25

Resultado obtenido de la herramienta RStudio de la evaluación de los datos totales utilizados en el modelo MaxEnt del modelo 1 de la especie *Dalea coerulea*

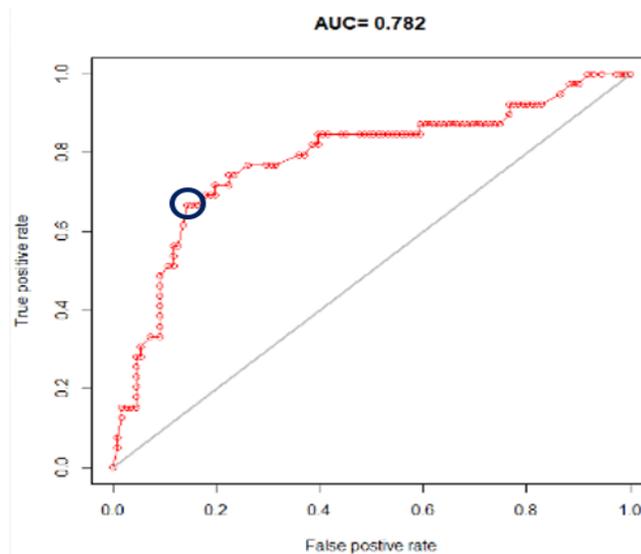
```
> e1
class      : ModelEvaluation
n presences : 39
n absences  : 111
AUC        : 0.7817048
cor        : 0.495446
max TPR+TNR at : 0.609122
```

Fuente: La investigación

A continuación, podemos observar en la Figura 26 el gráfico ROC que ilustra la sensibilidad y la especificidad de cada uno de los puntos de corte el cual es de 0,61 el cual se lo puede observar encerrado en un círculo azul dando el área bajo la curva de 0,782.

## Figura 26

Representación gráfica del área bajo la curva de la especie *Dalea coerulea*



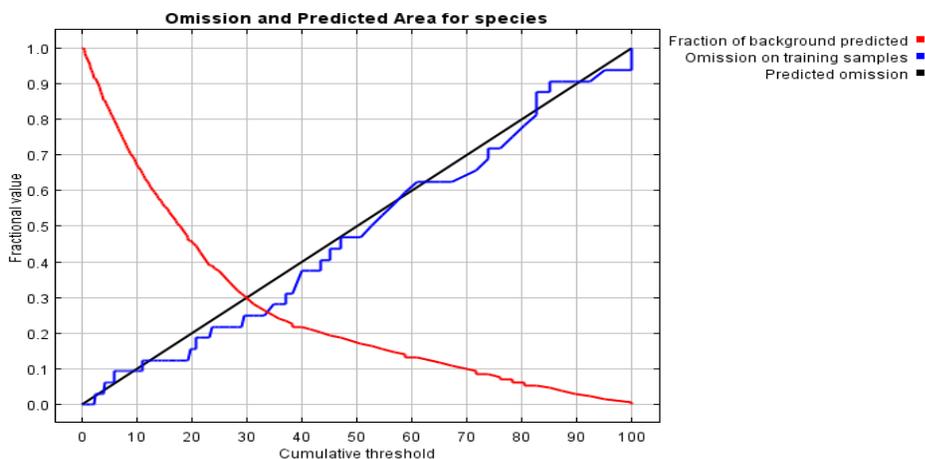
Fuente: La investigación

### 4.3.2. Modelo 1.1 de la especie *Dalea coerulea*

**4.3.2.1. Resultados de las curvas del área de omisión y predicción.** Mientras, en el modelo 1.1 como se aprecia en la Figura 27 los puntos de intercepción entre la curva de la predicción de las fracciones aleatorias de los datos de fondo con los datos de presencia tienen un valor de 30 en el umbral acumulativo, y en relación con las fracciones de los puntos de presencia ubicados por fuera del área potencial tiene un valor de 35 en el umbral acumulativo. Mientras que los datos de omisión de entrenamiento recorren el umbral acumulativo, la evaluación del fraccionamiento de los datos en el threshold los datos presentan una estabilidad media con los datos de presencia de la especie.

#### Figura 27

Resultado del área de omisión y predicción de la especie *Dalea coerulea* del Modelo 1.1



Fuente: La investigación

**4.3.2.2. Variables Ambientales que aportaron en el modelo 1.1 de Maxent de la especie *Dalea coerulea*.** En el modelo 1.1 de la Tabla 7, no se evaluaron algunas variables ambientales como velocidad del viento, rango anual de temperatura, isotermalidad y humedad. Al

extraer del análisis estas variables ambientales la permutación mayor recae en la precipitación con un valor de 73,4%.

De igual manera en el porcentaje de contribución las variables ambientales como la temperatura media y presión barométrica son considerados para el análisis del modelo 1.1 pero no son consideradas para la permutación.

**Tabla 7**

*Valores de contribución y permutación de las variables ambientales de la especie Dalea coerulea del modelo 1.1*

<i>Variable</i>	<i>Percent contribution</i>	<i>Permutation importance</i>
<i>Altitude</i>	80,8	18,9
<i>Precipitation</i>	9,7	73,4
<i>Maximum temperature</i>	0	1,5
<i>Medium temperature</i>	3,7	0
<i>Minimum temperature</i>	2,7	6,3
<i>Intermediate daytime temperature seasonality</i>	2,4	0
<i>Barometric pressure</i>	0,1	0
	0,5	0

**Fuente:** La investigación

**4.3.2.3. Evaluación del modelo 1.1 de Máxima Entropía de la especie Dalea**

*coerulea*. Podemos observar en la Figura 28, los resultados obtenidos de la evaluación del modelo 1.1 donde obtenemos un AUC para los datos de test de 0,6654, una evaluación del punto de corte en la curva COR es de 0,1690, también expresa el valor máximo de las tasas de verdaderos positivos con verdaderos negativos (TPR+TNR) dando un valor de 0,35.

El AUC para los datos de entrenamiento es de 0,8066, una evaluación del punto de corte en la curva COR es de 0,5169, también expresa el valor máximo de las tasas de verdaderos positivos

con verdaderos negativos (TPR+TNR) dando un valor de 0,6.

### Figura 28

*Resultado obtenido de la herramienta RStudio de la evaluación de los datos de test y entrenamiento utilizados en el modelo MaxEnt del modelo 1.1 de la especie Dalea coerulea*

```
> e1 <- dismo::evaluate(ma, p =m1odel20test
als)
> e1
class      : ModelEvaluation
n presences : 7
n absences  : 111
AUC        : 0.6653797
cor        : 0.1690095
max TPR+TNR at : 0.3516034
> eel <- dismo::evaluate(ma, p =m1odel80tra
btals)
> eel
class      : ModelEvaluation
n presences : 32
n absences  : 111
AUC        : 0.8065878
cor        : 0.5168768
max TPR+TNR at : 0.6043805
```

**Fuente:** La investigación

Podemos observar en la Figura 29, los resultados obtenidos de la evaluación del modelo 1.1 analizando el total de los datos, donde obtenemos un AUC de 0,7866, una evaluación del punto de corte en la curva COR es de 0,4928, también expresa el valor máximo de las tasas de verdaderos positivos con verdaderos negativos (TPR+TNR) dando un valor de 0,62.

### Figura 29

*Resultado obtenido de la herramienta RStudio de la evaluación de los datos totales utilizados en el*

modelo MaxEnt del modelo 1.1 de la especie *Dalea coerulea*

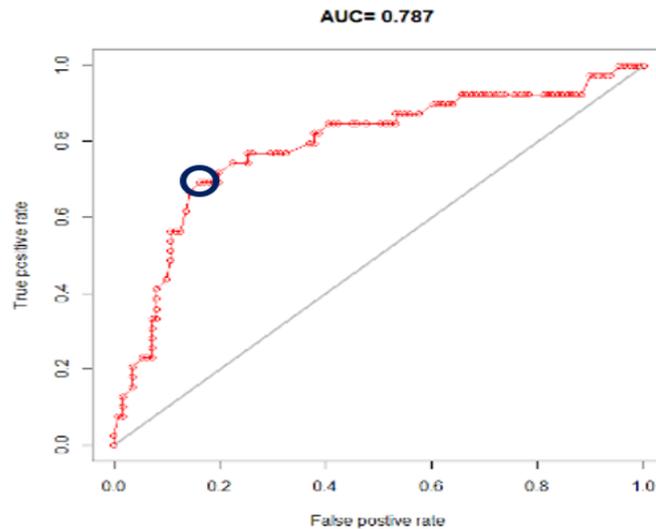
```
> e1
class      : ModelEvaluation
n presences : 39
n absences  : 111
AUC        : 0.7865558
cor        : 0.4927509
max TPR+TNR at : 0.6190714
```

**Fuente:** La investigación

A continuación, podemos observar en la Figura 30, el gráfico ROC que ilustra la sensibilidad y la especificidad de cada uno de los puntos de corte el cual es de 0,62 el cual se lo puede observar encerrado en un círculo azul dando el área bajo la curva de 0,787.

**Figura 30**

*Representación gráfica del área bajo la curva de la especie *Dalea coerulea**



**Elabo Fuente:** La investigación

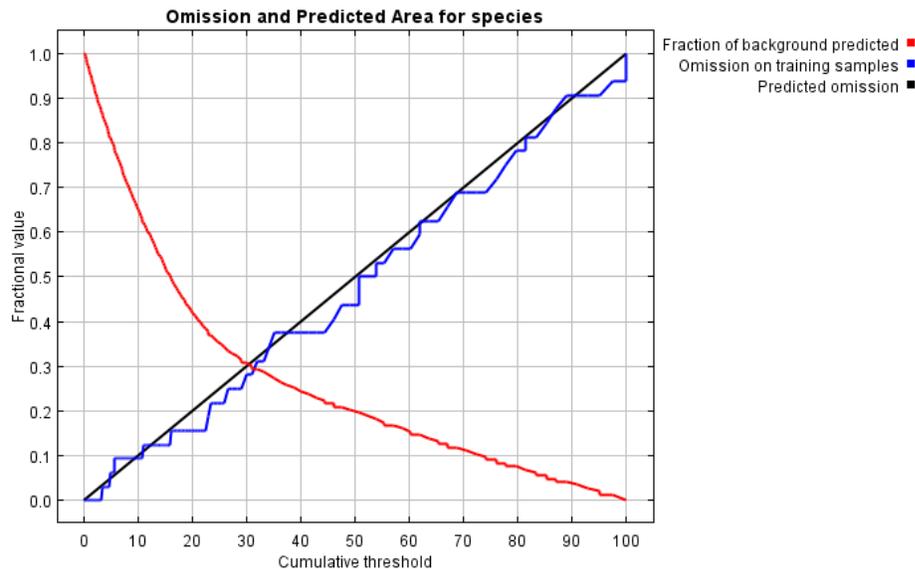
### 4.3.3. Modelo 2 de la especie *Dalea coerulea*

#### 4.3.3.1. Resultados de las curvas del área de omisión y predicción. A

continuación, podemos observar en la Figura 31, como se relacionan directamente las líneas de omisión y predicción en un punto de intercepción entre la curva de la predicción de las fracciones aleatorias de los datos de fondo, las fracciones de los puntos de presencia ubicados por fuera del área potencial y con los datos de presencia en el modelo 2 tienen un valor de 30 en el umbral acumulativo, presenta una estabilidad fuerte entre los datos de omisión de entrenamiento y los datos de presencia según van recorriendo el umbral acumulativo.

**Figura 31**

*Resultado del área de omisión y predicción de la especie Dalea coerulea del Modelo 2*



**Fuente:** La investigación

**4.3.3.2. Variables Ambientales que aportaron en el modelo 2 de Maxent de la especie *Dalea coerulea*.** En la Tabla 8, se determinó en el modelo 2 la condición ambiental para la permutación considerada mayoritaria para el análisis es la humedad con un valor de 15,9% y la altitud con 75,6%, en comparación con el modelo 1 (Tabla 6) que también se utilizan todas las variables ambientales, existe una contribución de 6 variables ambientales para el modelo 2 y para

la permutación 4 variables ambientales que son altitud, humedad, velocidad del viento y la temperatura máxima.

**Tabla 8**

*Valores de contribución y permutación de las variables ambientales de la especie Dalea coerulea del modelo 2*

<i>Variable</i>	<i>Percent contribution</i>	<i>Permutation importance</i>
<i>Altitude</i>	88,2	75,6
<i>Wind speed</i>	0,3	5,4
<i>Maximum temperature</i>	0	3,2
<i>Precipitation</i>	4,7	0
<i>Intermediate daytime temperature</i>	1,4	0
<i>isothermality</i>	2,4	0
<i>humidity</i>	3	15,9
<i>Annual temperature range</i>	0	0
<i>Minimum temperature</i>	0	0
<i>seasonality</i>	0	0
<i>Medium temperature</i>	0	0
<i>Barometric pressure</i>	0	0

**Fuente:** La investigación

#### **4.3.3.3. Evaluación del modelo 2 de Máxima Entropía de la especie *Dalea***

*coerulea*. Podemos observar en la Figura 32, los resultados obtenidos de la evaluación del modelo 2 donde obtenemos un AUC para los datos de test de 0,8938, una evaluación del punto de corte en la curva COR es de 0,3791, también expresa el valor máximo de las tasas de verdaderos positivos con verdaderos negativos (TPR+TNR) dando un valor de 0,52.

El AUC para los datos de entrenamiento es de 0,8181, una evaluación del punto de corte en la curva COR es de 0,4825, también expresa el valor máximo de las tasas de verdaderos positivos con verdaderos negativos (TPR+TNR) dando un valor de 0,44.

### Figura 32

Resultado obtenido de la herramienta RStudio de la evaluación de los datos de test y entrenamiento utilizados en el modelo MaxEnt del modelo 2 de la especie *Dalea coerulea*

```
> e1 <- dismo::evaluate(ma, p =m1odel20test)
> e1
class      : ModelEvaluation
n presences : 7
n absences  : 111
AUC         : 0.8931789
cor         : 0.3791392
max TPR+TNR at : 0.5218303
> ee1 <- dismo::evaluate(ma, p =m1odel80tra
s)
> ee1
class      : ModelEvaluation
n presences : 32
n absences  : 111
AUC         : 0.8181306
cor         : 0.4825479
max TPR+TNR at : 0.4381985
```

**Fuente:** La investigación

Podemos observar en la Figura 33, los resultados obtenidos de la evaluación del modelo 2 analizando el total de los datos, donde obtenemos un AUC de 0,8184, una evaluación del punto de corte en la curva COR es de 0,5124, también expresa el valor máximo de las tasas de verdaderos positivos con verdaderos negativos (TPR+TNR) dando un valor de 0,45

### Figura 33

Resultado obtenido de la herramienta RStudio de la evaluación de los datos totales utilizados en el modelo MaxEnt del modelo 2 de la especie *Dalea coerulea*

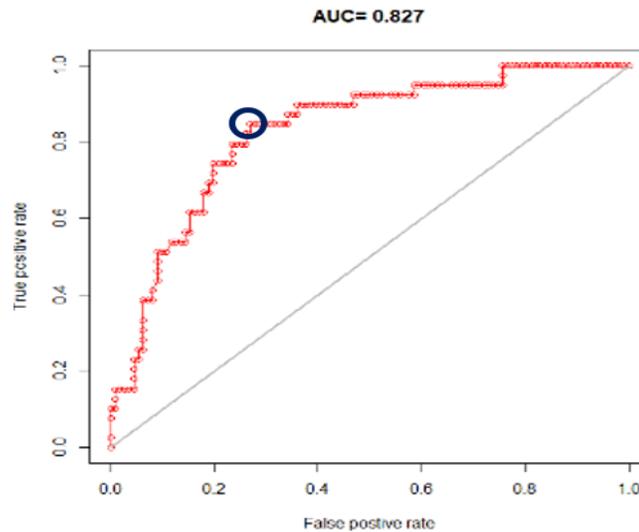
```
> e1
class      : ModelEvaluation
n presences : 39
n absences  : 111
AUC         : 0.8184338
cor         : 0.5124307
max TPR+TNR at : 0.4467258
```

**Fuente:** La investigación

A continuación, podemos observar en la Figura 34 el gráfico ROC que ilustra la sensibilidad y la especificidad de cada uno de los puntos de corte el cual es de 0,8 el cual se lo puede observar encerrado en un círculo azul dando el área bajo la curva de 0,8184.

### Figura 34

*Representación gráfica del área bajo la curva de la especie Dalea coerulea*



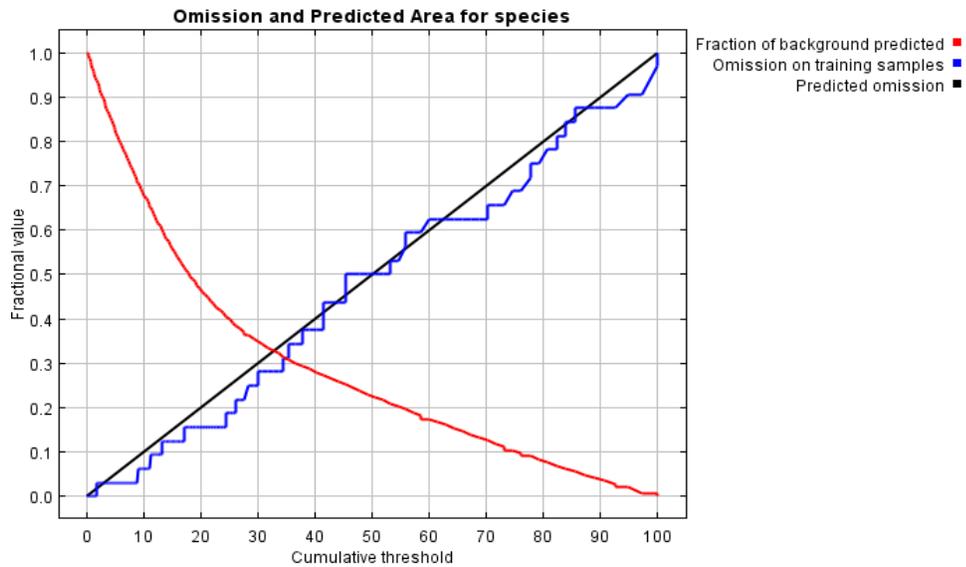
**Fuente:** La investigación

#### 4.3.4. Modelo 2.1 de la especie *Dalea coerulea*

**4.3.4.1. Resultados de las curvas del área de omisión y predicción.** En el modelo 2.1 podemos apreciar en la Figura 35 que los puntos de intercepción entre la curva de la predicción de las fracciones aleatorias de los datos de fondo con los datos de presencia tienen un valor de 33 en el umbral acumulativo, y en relación con las fracciones de los puntos de presencia ubicados por fuera del área potencial tiene un valor de 34 en el umbral acumulativo, presentan una estabilidad fuerte entre los datos de omisión de entrenamiento y los datos de presencia según van recorriendo el umbral acumulativo.

**Figura 35**

*Resultado del área de omisión y predicción de la especie Dalea coerulea del Modelo 2.1*



**Fuente:** La investigación

**4.3.4.2. Variables Ambientales que aportaron en el modelo 2.1 de Maxent de la especie *Dalea coerulea*.** A continuación, en la Tabla 9 podremos observar a las variables ambientales que se utilizaron para el modelo 2.1 para el desarrollo del modelo consideran 7 variables ambientales, las de mayor porcentaje de contribución. En la permutación del modelo para correlacionar los datos de presencia con las variables ambientales en la codificación matemática del modelo de máxima entropía en el modelo 2.1 utilizo 4 variables.

**Tabla 9**

*Valores de contribución y permutación de las variables ambientales de la especie Dalea coerulea del modelo 2.1*

<i>Variable</i>	<i>Percent contribution</i>	<i>Permutation importance</i>
<i>altitude</i>	84,2	87,4
<i>Intermediate daytime temperature</i>	5	9,3
<i>Medium temperature</i>	3,7	0
<i>Maximum temperature</i>	3,2	0
<i>Precipitation</i>	2,3	2,3
<i>Minimum temperature</i>	0,8	1,1
<i>Annual temperature range</i>	0,7	0
<i>Barometric pressure</i>	0	0
<i>seasonality</i>	0	0

**Fuente:** La investigación

#### **4.3.4.3. Evaluación del modelo 2.1 de Máxima Entropía de la especie *Dalea***

*coerulea*. Podemos observar en la Figura 36, los resultados obtenidos de la evaluación del modelo 1 donde obtenemos un AUC para los datos de test de 0,8623, una evaluación del punto de corte en la curva COR es de 0,333, también expresa el valor máximo de las tasas de verdaderos positivos con verdaderos negativos (TPR+TNR) dando un valor de 0,75.

El AUC para los datos de entrenamiento es de 0,8086, una evaluación del punto de corte en la curva COR es de 0,4769, también expresa el valor máximo de las tasas de verdaderos positivos con verdaderos negativos (TPR+TNR) dando un valor de 0,45.

#### **Figura 36**

*Resultado obtenido en la herramienta RStudio de la evaluación de los datos de test y entrenamiento*

utilizados en el modelo MaxEnt del modelo 2.1 de la especie *Dalea coerulea*

```
> e1 <- dismo::evaluate(ma, p =m1ode120test)
> e1
class      : ModelEvaluation
n presences : 7
n absences  : 111
AUC        : 0.8622909
cor        : 0.3330392
max TPR+TNR at : 0.7458287
> ee1 <- dismo::evaluate(ma, p =m1ode180tra)
> ee1
class      : ModelEvaluation
n presences : 32
n absences  : 111
AUC        : 0.8085586
cor        : 0.4769524
max TPR+TNR at : 0.4480792
>
```

**Fuente:** La investigación

Podemos observar en la Figura 37, los resultados obtenidos de la evaluación del modelo 2.1 analizando el total de datos, donde obtenemos un AUC de 0,8270, una evaluación del punto de corte en la curva COR es de 0,5173, también expresa el valor máximo de las tasas de verdaderos positivos con verdaderos negativos (TPR+TNR) dando un valor de 0,47.

### Figura 37

*Resultado obtenido de la herramienta RStudio de la evaluación de los datos totales utilizados en el modelo MaxEnt del modelo 2.1 de la especie Dalea coerulea*

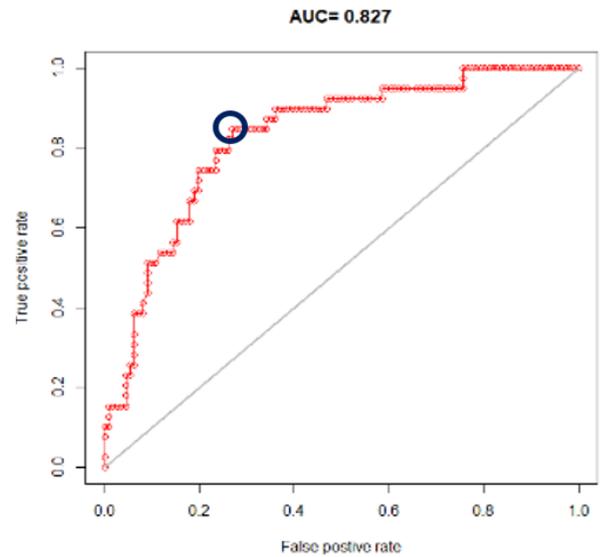
```
> e1
class      : ModelEvaluation
n presences : 39
n absences  : 111
AUC        : 0.8269808
cor        : 0.517327
max TPR+TNR at : 0.4733625
```

**Fuente:** La investigación

A continuación, podemos observar en la Figura 38 el gráfico ROC que ilustra la sensibilidad y la especificidad de cada uno de los puntos de corte el cual es de 0,52 se lo puede identificar encerrado en un círculo azul dando el área bajo la curva de 0,827.

### Figura 38

Representación gráfica del área bajo la curva de la especie *Dalea coerulea*



Fuente: La investigación

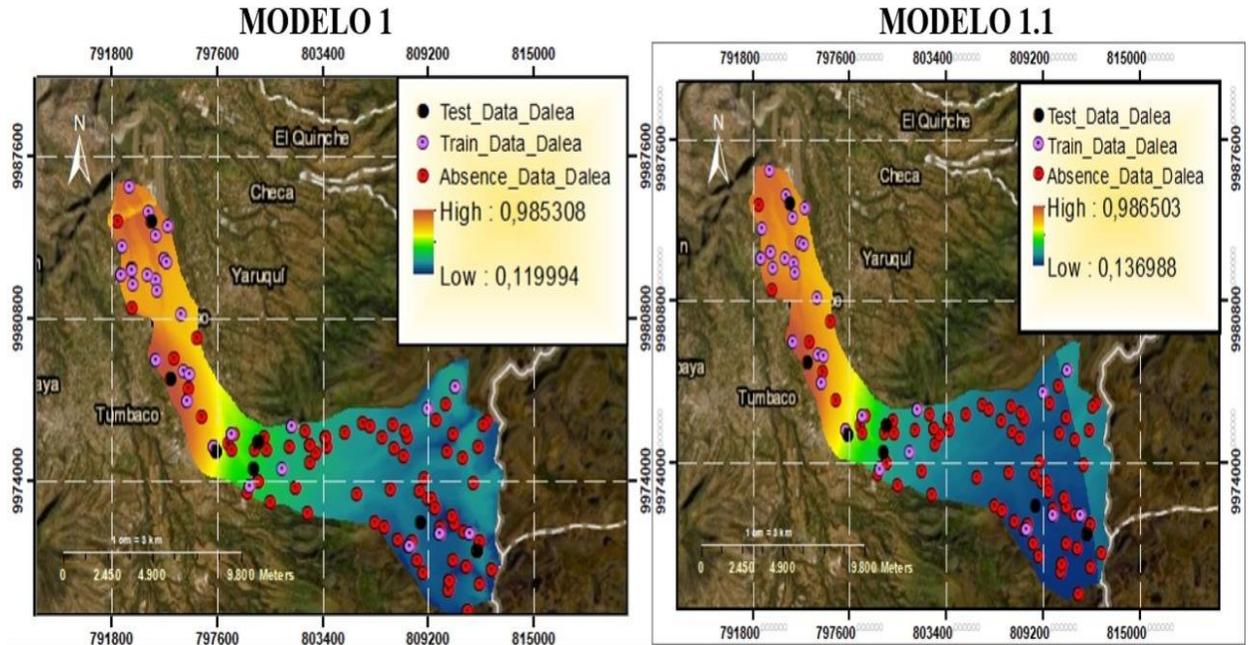
#### 4.3.5. Resultados gráficos de la predicción de la distribución potencial del modelo de Máxima Entropía de la especie *Dalea coerulea* en los modelos 1, 1.1, 2 y 2.2.

A continuación, se puede observar en la Figura 39 los resultados de los modelos 1 y 1.1 de la especie *Dalea coerulea*. El color negro se observa los datos seleccionados para el test del modelo, el color morado podemos observar los datos seleccionados para el entrenamiento del modelo, el color rojo los datos de ausencia utilizados como fondo. Mediante la escala gráfica de colores se puede identificar que el valor más bajo es de 0,119 para el modelo 1; y 0,1369 para el modelo 1.1, se entiende que el color azul es la probabilidad de la especie de que exista o su desarrollo sea nulo, mientras que el valor más alto en la escala colorimétrica es de 0,9853 para el modelo 1; y 0,9865 para el modelo 1.1, el color rojo es la probabilidad de que la especie exista o

su desarrollo sea óptimo.

### Figura 39

Representación gráfica de los modelos de máxima entropía de la especie *Dalea coerulea*.



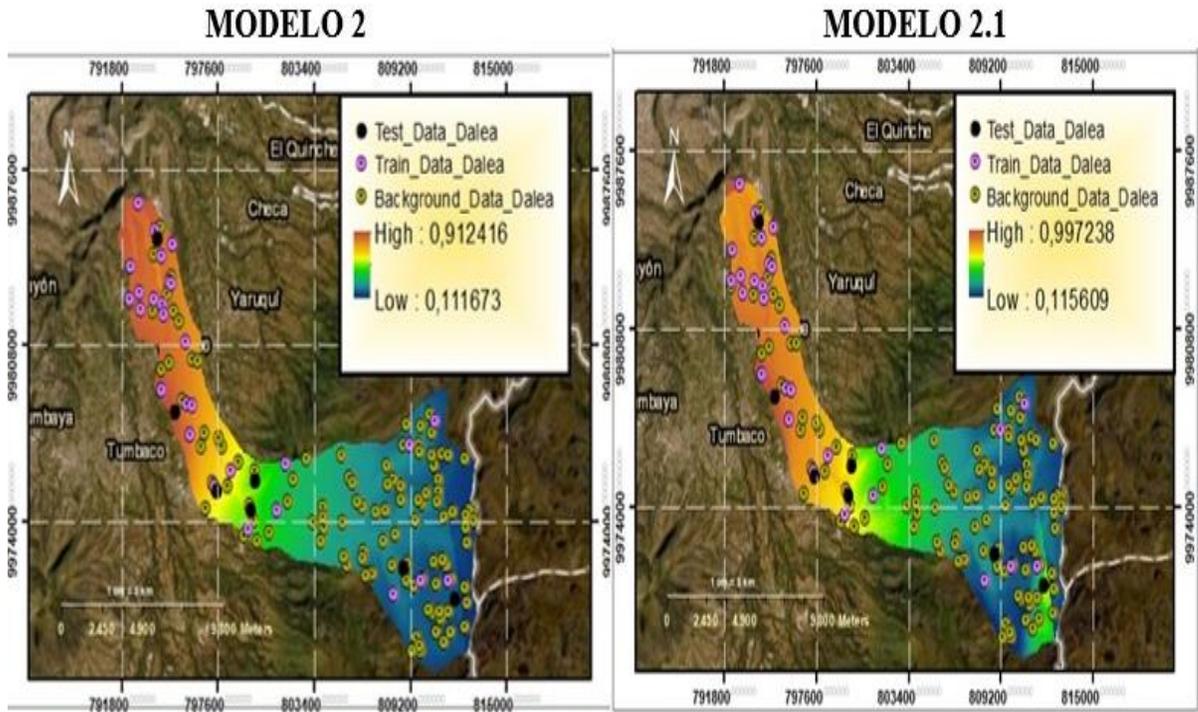
Fuente: La investigación

A continuación, podemos apreciar los resultados de la especie *Dalea Coerulea* en la Figura 40, se representa una escala grafica de colores siendo el valor más bajo 0,111 para el modelo 2; y 0,115 para el modelo 2.1, de color azul donde la probabilidad de que la especie exista o se desarrolle es nula, mientras que el valor más alto 0,9124 para el modelo 2; y 0,9972 para el modelo 2.1, de color rojo donde la probabilidad de que la especie exista o se desarrolle es óptima.

En la leyenda el punto de color negro podemos observar los datos seleccionados para el test del modelo, de color morado podemos observar los datos seleccionados para el entrenamiento del modelo, de color mostaza los datos de background utilizados como fondo.

**Figura 40**

*Representación gráfica del modelo 2.1 de máxima entropía de la especie Dalea coerulea*



**Fuente:** La investigación

#### **4.4. Resultados de la Especie *Solanum nigrescens***

Para los resultados de los modelos de la especie *Solanum nigrescens*, se analizaron los datos de presencia en el test que son 12, los datos de presencia para el entrenamiento 52 y los datos de fondo se utiliza las ausencias de la especie *Solanum nigrescens* siendo 86 datos, dando un resultado de 150 datos. Para el modelo 1 se utilizan todas las variables ambientales y como datos de fondo las ausencias comprobadas en campo, para el modelo 1.1 se utilizan variables ambientales específicas y como datos de fondo las ausencias comprobadas en campo. Para el modelo 2 se utilizaron todas las variables ambientales y como datos de fondo al background definido

aleatoriamente por el código en R, para el modelo 2.1 se utilizan variables ambientales específicas y como datos de fondo al background definido aleatoriamente por el código en R

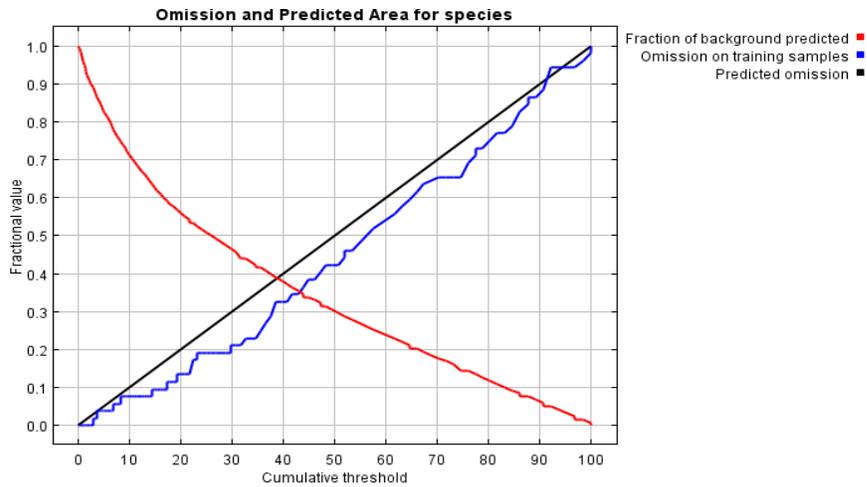
#### **4.4.1. Modelo 1 de la especie *Solanum nigrescens***

**4.4.1.1. Resultados de las curvas del área de omisión y predicción.** En los resultados de la Figura 41, se puede apreciar como los datos de fondo considerados como valores de ausencia, se contrastan con los datos de presencia, según (Merow et al., 2013), mientras más cercanos se encuentren las líneas de omisión de datos de entrenamiento con los datos de presencia, el modelo podrá ser considerado como aceptable.

En el modelo 1 de la especie *Solanum nigrescens* de la Figura 41, podemos apreciar que los puntos de intercepción entre la curva de la predicción de las fracciones aleatorias de los datos de fondo con los datos de presencia tienen un valor de 39 en el umbral acumulativo, y en relación con las fracciones de los puntos de presencia ubicados por fuera del área potencial tiene un valor de 42 en el umbral acumulativo. Mientras que los datos de omisión de entrenamiento recorren el umbral acumulativo, la evaluación del fraccionamiento de los datos en el rango threshold presentan un alejamiento de los datos de presencia de notando una estabilidad media.

## Figura 41

Resultado del área de omisión y predicción de la especie *Solanum nigrescens* del Modelo 1



Fuente: La investigación

**4.4.1.2. Variables Ambientales que aportaron en el modelo 1 de MaxEnt de la especie *Solanum nigrescens*.** A continuación, en la Tabla 9 podremos observar que se utilizan las 12 variables ambientales para el modelo 1, las variables que participan directamente en la permutación es la altitud con un valor de 86,3%, velocidad del viento con un valor de 4,5%, precipitación 3,5%, temperatura mínima 3,9%, presión barométrica 1,8%. También las variables que contribuyen en la construcción del modelo son 5 variables en este caso las mismas que participan en la permutación.

**Tabla 10**

*Valores de contribución y permutación de las variables ambientales del modelo 1 de la especie Solanum nigrescens.*

<i>Variable</i>	<i>Percent contribution</i>	<i>Permutation importance</i>
<i>Altitude</i>	87,9	86,3
<i>Wind speed</i>	2,4	4,5
<i>Precipitation</i>	7,1	3,5
<i>Minimum temperature</i>	0,4	3,9
<i>Barometric pressure</i>	2,2	1,8
<i>Maximum temperature</i>	0	0
<i>Annual temperature range</i>	0	0
<i>Intermediate daytime temperature seasonality</i>	0	0
<i>Medium temperature isothermality</i>	0	0
<i>humidity</i>	0	0

**Fuente:** La investigación

**4.4.1.3. Evaluación del modelo 1 de Máxima Entropía de la especie *Solanum nigrescens*.** Podemos observar en la Figura 42, los resultados obtenidos de la evaluación del modelo 1 donde obtenemos un AUC para los datos de test de 0,7204, una evaluación del punto de corte en la curva COR es de 0,2535, también expresa el valor máximo de las tasas de verdaderos positivos con verdaderos negativos (TPR+TNR) dando un valor de 0,6948.

El AUC para los datos de entrenamiento es de 0,7937, una evaluación del punto de corte en la curva COR es de 0,4835, también expresa el valor máximo de las tasas de verdaderos positivos con verdaderos negativos (TPR+TNR) dando un valor de 0,62.

## Figura 42

Resultado obtenido de la herramienta RStudio de la evaluación de los datos de test y entrenamiento utilizados en el modelo MaxEnt del modelo 1 de la especie *Solanum nigrescens*

```
> el <- dismo::evaluate(ma, p =mlodel20tes
tals)
> el
class      : ModelEvaluation
n presences : 12
n absences  : 86
AUC        : 0.7204457
cor        : 0.2535454
max TPR+TNR at : 0.6948623
> eel <- dismo::evaluate(ma, p =mlodel80tr
eentals)
> eel
class      : ModelEvaluation
n presences : 52
n absences  : 86
AUC        : 0.7937165
cor        : 0.4835447
max TPR+TNR at : 0.6188129
```

Fuente: La investigación

Podemos observar en la Figura 43, los resultados obtenidos de la evaluación del modelo 1 analizando el total de datos, donde obtenemos un AUC de 0,7567, una evaluación del punto de corte en la curva COR es de 0,4449, también expresa el valor máximo de las tasas de verdaderos positivos con verdaderos negativos (TPR+TNR) dando un valor de 0,613

## Figura 43

Resultado obtenido de la herramienta RStudio de la evaluación de los datos totales utilizados en el modelo MaxEnt del modelo 1 de la especie *Solanum nigrescens*

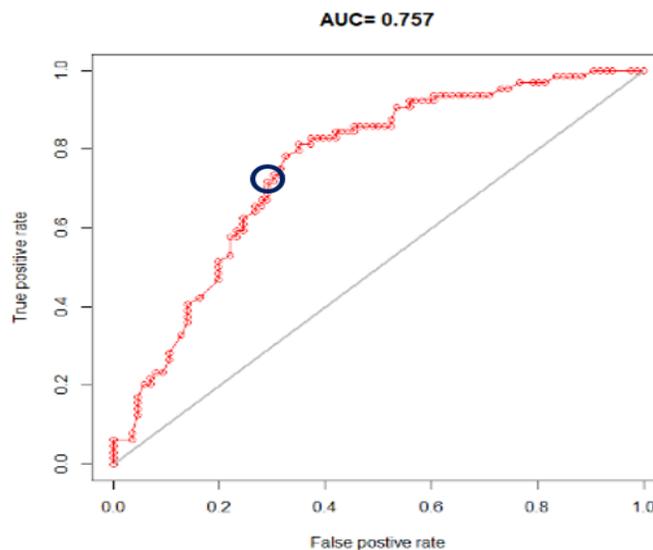
```
> el
class      : ModelEvaluation
n presences : 64
n absences  : 86
AUC        : 0.7567224
cor        : 0.4449459
max TPR+TNR at : 0.61344
```

Fuente: La investigación

A continuación, podemos observar en la Figura 44 el gráfico ROC que ilustra la sensibilidad y la especificidad de cada uno de los puntos de corte el cual es de 0,613 el cual se lo puede observar encerrado en un círculo azul dando el área bajo la curva de 0,7567.

#### Figura 44

*Representación gráfica del área bajo la curva de la especie Solanum nigrescens*



**Fuente:** La investigación

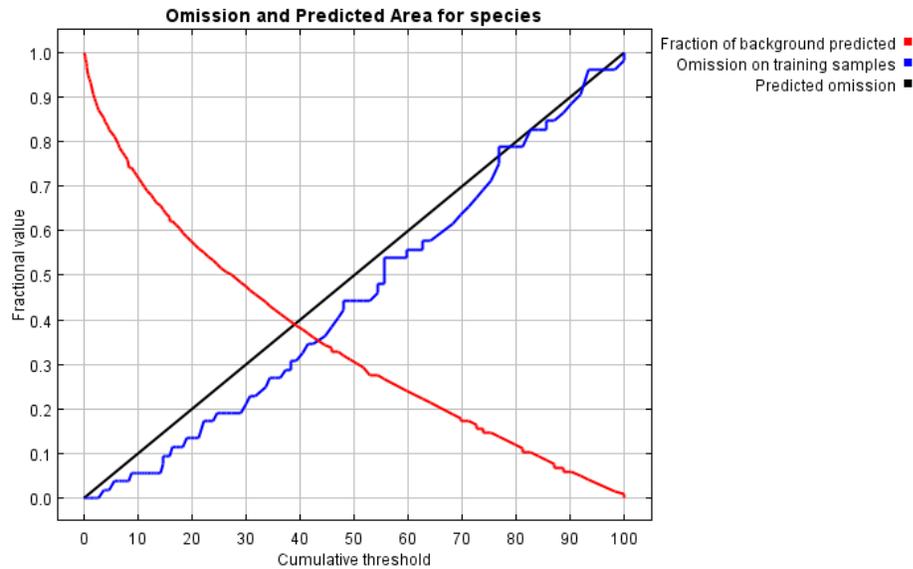
#### 4.4.2. Modelo 1.1 de la especie *Solanum nigrescens*

##### 4.4.2.1. Resultados de las curvas del área de omisión y predicción. A

continuación, podremos apreciar en la Figura 45 el modelo 1.1 los puntos de intercepción entre la curva de la predicción de las fracciones aleatorias de los datos de fondo con los datos de presencia tienen un valor de 40 en el umbral acumulativo, y en relación con las fracciones de los puntos de presencia ubicados por fuera del área potencial tiene un valor de 44 en el umbral acumulativo. Presentan una estabilidad media entre la omisión de datos de presencia de entrenamiento y los datos de presencia de la especie.

**Figura 45**

*Resultado del área de omisión y predicción de la especie Solanum nigrescens del Modelo 1.1*



**Fuente:** La investigación

**4.4.2.2. Variables Ambientales que aportaron en el modelo 1.1 de Maxent de la especie *Solanum nigrescens*.** En el modelo 1.1 extraemos la presión barométrica del análisis y el modelo evalúa a la humedad en reemplazo de la misma véase en la Tabla 11, pero la permutación difiere aumentando su valor en la condición ambiental de la precipitación a 21 %, altitud 66,1%, humedad 4,2%, temperatura mínima 8,7%, mientras que las variables que contribuyen son un total de 5 que son la altitud con un valor de 85,6%, precipitación con un valor de 8%, humedad con un valor de 5,3%, temperatura mínima con un valor de 0,9 % y la velocidad del viento con un valor de 0,3%.

**Tabla 11**

*Valores de contribución y permutación de las variables ambientales de la especie Solanum nigrescens del modelo 1.1*

<i>Variable</i>	<i>Percent contribution</i>	<i>Permutation importance</i>
<i>Altitude</i>	85,6	66,1
<i>Wind speed</i>	0,3	0
<i>Precipitation</i>	8	21
<i>Minimum temperature</i>	0,9	8,7
<i>humidity</i>	5,3	4,2

**Fuente:** La investigación

**4.4.2.3. Evaluación del modelo 1.1 de Máxima Entropía de la especie *Solanum nigrescens*.** Podemos observar en la Figura 46, los resultados obtenidos de la evaluación del modelo 1.1 donde obtenemos un AUC para los datos de test de 0,7834, una evaluación del punto de corte en la curva COR es de 0,2980, también expresa el valor máximo de las tasas de verdaderos positivos con verdaderos negativos (TPR+TNR) dando un valor de 0,59.

El AUC para los datos de entrenamiento es de 0,7584, una evaluación del punto de corte en la curva COR es de 0,446, también expresa el valor máximo de las tasas de verdaderos positivos con verdaderos negativos (TPR+TNR) dando un valor de 0,585.

## Figura 46

*Resultado obtenido de la herramienta RStudio de la evaluación de los datos de test y entrenamiento utilizados en el modelo MaxEnt del modelo 1.1 de la especie Solanum nigrescens*

```
> e1 <- dismo::evaluate(ma, p =mlode120test
als)
> e1
class      : ModelEvaluation
n presences : 12
n absences  : 86
AUC        : 0.7834302
cor        : 0.2980525
max TPR+TNR at : 0.5854117
> eel <- dismo::evaluate(ma, p =mlode180tra
btals)
> eel
class      : ModelEvaluation
n presences : 52
n absences  : 86
AUC        : 0.7583855
cor        : 0.446012
max TPR+TNR at : 0.5854117
```

**Fuente:** La investigación

Podemos observar en la Figura 47, los resultados obtenidos de la evaluación del modelo 1 analizando el total de datos, donde obtenemos un AUC de 0,7644, una evaluación del punto de corte en la curva COR es de 0,4476, también expresa el valor máximo de las tasas de verdaderos positivos con verdaderos negativos (TPR+TNR) dando un valor de 0,6097

## Figura 47

*Resultado obtenido de la herramienta RStudio de la evaluación de los datos totales utilizados en el modelo MaxEnt del modelo 1.1 de la especie Solanum nigrescens*

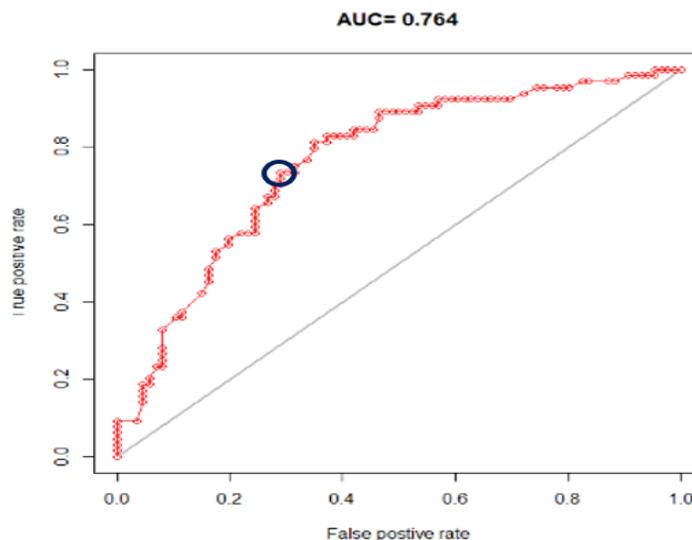
```
> e1
class      : ModelEvaluation
n presences : 64
n absences  : 86
AUC        : 0.7643532
cor        : 0.4476245
max TPR+TNR at : 0.609701
```

**Fuente:** La investigación

A continuación, podemos observar en la Figura 48 el gráfico ROC que ilustra la sensibilidad y la especificidad de cada uno de los puntos de corte el cual es de 0,61 el cual se lo puede observar encerrado en un círculo azul dando el área bajo la curva de 0,764.

### Figura 48

*Representación gráfica del área bajo la curva de la especie Solanum nigrescens*



**Fuente:** La investigación

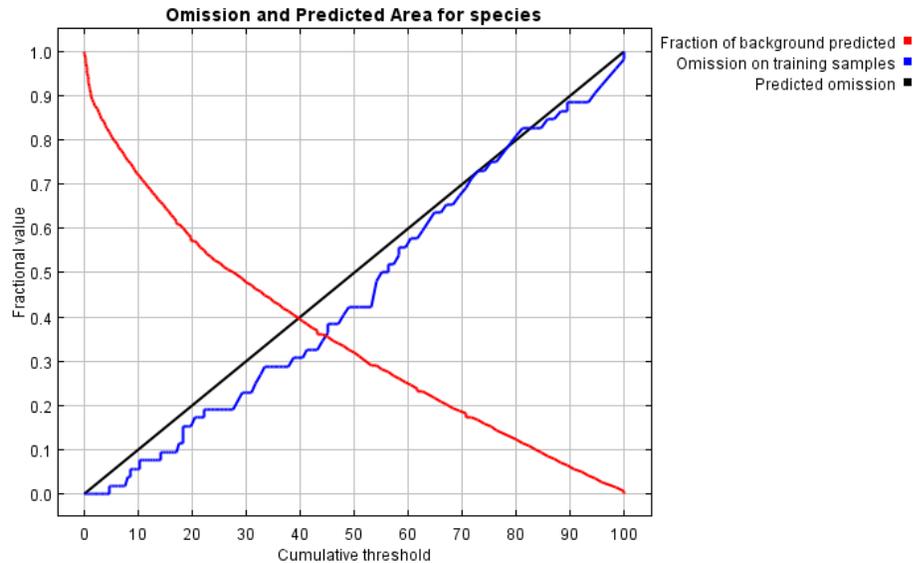
#### 4.4.3. Modelo 2 de la especie *Solanum nigrescens*

##### 4.4.3.1. Resultados de las curvas del área de omisión y predicción. A

continuación, podemos observar en la Figura 49, que el modelo 2 los puntos de intercepción entre la curva de la predicción de las fracciones aleatorias de los datos de fondo con los datos de presencia tienen un valor de 40 en el umbral acumulativo, y en relación con las fracciones de los puntos de presencia ubicados por fuera del área potencial tiene un valor de 46 en el umbral acumulativo, presenta una estabilidad fuerte entre los datos de omisión de entrenamiento y los datos de presencia según van recorriendo el umbral acumulativo.

**Figura 49**

*Resultado del área de omisión y predicción de la especie Solanum nigrescens del Modelo 2*



**Fuente:** La investigación

**4.4.3.2. Variables Ambientales que aportaron en el modelo 2 de MaxEnt de la especie Solanum nigrescens.** Se puede apreciar en la Tabla 12, el modelo 2 donde 5 variables ambientales tiene un porcentaje de contribución que son altitud con un valor de 74,1%, humedad con un valor de 21,9%, precipitación con un valor de 2,8%, velocidad del viento con un valor de 1,1% y temperatura mínima con un valor de 0,1%, mientras que para la importancia en la permutación actúan 6 variables ambientales se añade la temperatura media al análisis con un valor de 0,2%.

**Tabla 12**

*Valores de contribución y permutación de las variables ambientales de la especie Solanum nigrescens del modelo 2*

<i>Variable</i>	<i>Percent contribution</i>	<i>Permutation importance</i>
<i>Altitude</i>	74,1	63,4
<i>Humidity</i>	21,9	23,2
<i>precipitation</i>	2,8	11,1
<i>wind speed</i>	1,1	1,8
<i>Minimum temperature</i>	0,1	0,3
<i>Medium temperature</i>	0	0,2
<i>isothermality</i>	0	0
<i>Intermediate daytime temperature</i>	0	0
<i>seasonality</i>	0	0
<i>Maximum temperature</i>	0	0
<i>Annual temperature range</i>	0	0
<i>barometric pressure</i>	0	0

**Fuente:** La investigación

#### **4.4.3.3. Evaluación del modelo 2 de Máxima Entropía de la especie *Solanum***

*nigrescens*. Podemos observar en la Figura 50, los resultados obtenidos de la evaluación del modelo 2 donde obtenemos un AUC para los datos de test de 0,7723, una evaluación del punto de corte en la curva COR es de 0,2758, también expresa el valor máximo de las tasas de verdaderos positivos con verdaderos negativos (TPR+TNR) dando un valor de 0,6388.

El AUC para los datos de entrenamiento es de 0,7963, una evaluación del punto de corte en la curva COR es de 0,4874, también expresa el valor máximo de las tasas de verdaderos positivos con verdaderos negativos (TPR+TNR) dando un valor de 0,6258.

## Figura 50

Resultado obtenido de la herramienta RStudio de la evaluación de los datos de test y entrenamiento utilizados en el modelo MaxEnt del modelo 2 de la especie *Solanum nigrescens*

```
> e1 <- dismo::evaluate(ma, p =mlode120test ,
+ tals)
> e1
class      : ModelEvaluation
n presences : 12
n absences  : 86
AUC        : 0.7722868
cor        : 0.2757775
max TPR+TNR at : 0.6387959
> eel <- dismo::evaluate(ma, p =mlode180train
+ mbtals)
> eel
class      : ModelEvaluation
n presences : 52
n absences  : 86
AUC        : 0.796288
cor        : 0.4874343
max TPR+TNR at : 0.6257599
```

Fuente: La investigación

Podemos observar en la Figura 51, los resultados obtenidos de la evaluación del modelo 2 analizando el total de los datos, donde obtenemos un AUC de 0,7945, una evaluación del punto de corte en la curva COR es de 0,5036, también expresa el valor máximo de las tasas de verdaderos positivos con verdaderos negativos (TPR+TNR) dando un valor de 0,6

## Figura 51

Resultado obtenido de la herramienta RStudio de la evaluación de los datos totales utilizados en el modelo MaxEnt del modelo 2 de la especie *Solanum nigrescens*

```
> e1
class      : ModelEvaluation
n presences : 64
n absences  : 86
AUC        : 0.7945131
cor        : 0.5036016
max TPR+TNR at : 0.600714
```

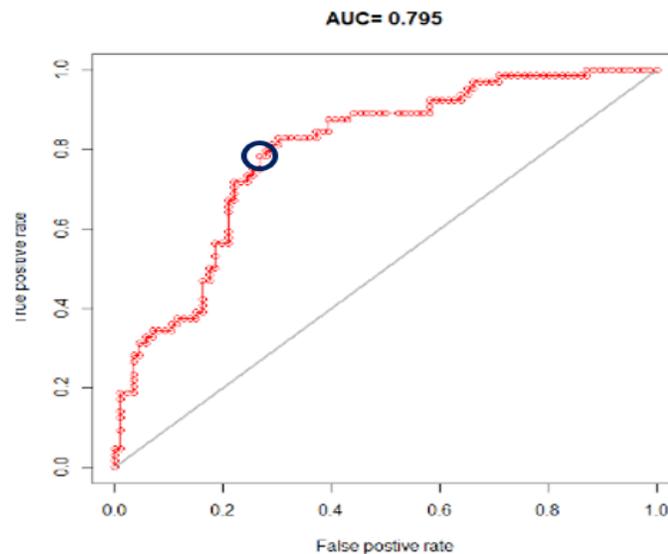
Fuente: La investigación

A continuación, podemos observar en la Figura 52, el gráfico ROC que ilustra la

sensibilidad y la especificidad de cada uno de los puntos de corte el cual es de 0,79 el cual se lo puede observar encerrado en un círculo azul dando el área bajo la curva de 0,795.

## Figura 52

*Representación gráfica del área bajo la curva de la especie Solanum nigrescens*



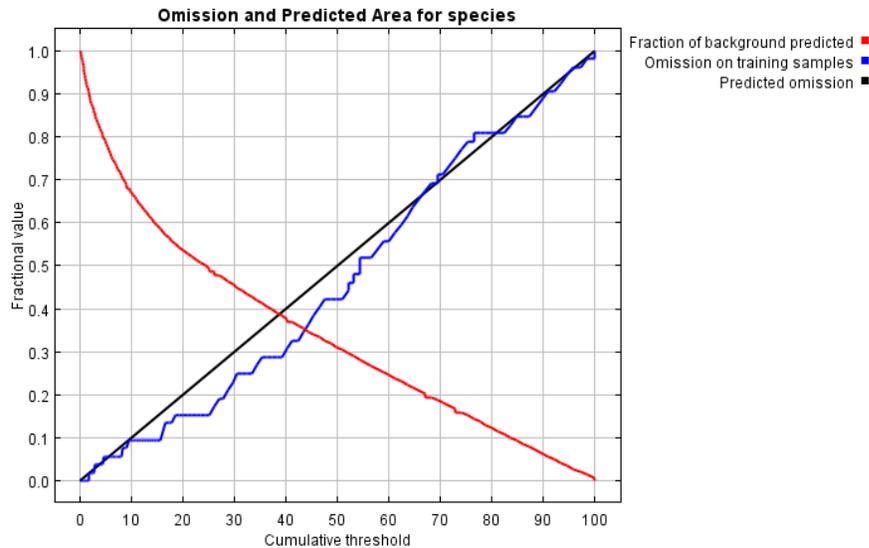
**Fuente:** La investigación

### 4.4.4. Modelo 2.1 de la especie *Solanum nigrescens*

**4.4.4.1. Resultados de las curvas del área de omisión y predicción.** En el modelo 2.1 podemos apreciar en la Figura 53, que los puntos de intercepción entre la curva de la predicción de las fracciones aleatorias de los datos de fondo con los datos de presencia tienen un valor de 39 en el umbral acumulativo, y en relación con las fracciones de los puntos de presencia ubicados por fuera del área potencial tiene un valor de 43 en el umbral acumulativo, presentan una estabilidad media entre los datos de omisión de entrenamiento y los datos de presencia según van recorriendo el umbral acumulativo.

## Figura 53

Resultado del área de omisión y predicción de la especie *Solanum nigrescens* del Modelo 2.1



Fuente: La investigación

**4.4.4.2. Variables Ambientales que aportaron en el modelo 2.1 de Maxent de la especie *Solanum nigrescens*.** A continuación, en la Tabla 13 podremos observar a las variables ambientales que se utilizaron para el modelo 2.1 para el desarrollo del modelo consideran 4 variables ambientales, las de mayor porcentaje de contribución son altitud con un valor de 98%, temperatura mínima con un valor de 1%, precipitación con un valor de 0,8%, velocidad del viento con un valor de 0,1% y la en la permutación del modelo para correlacionar los datos de presencia con las variables ambientales en la codificación matemática del modelo de máxima entropía en el modelo 2.1 utilizo 4 variables que son altitud con un valor de 93%, temperatura mínima con un valor de 2,9%, precipitación con un valor de 3,7% y la humedad con un valor de 0,5%.

**Tabla 13**

*Valores de contribución y permutación de las variables ambientales de la especie Solanum nigrescens del modelo 2.1*

<i>Variable</i>	<i>Percent contribution</i>	<i>Permutation importance</i>
<i>altitude</i>	98	93
<i>Minimum temperature</i>	1	2,9
<i>Precipitation</i>	0,8	3,7
<i>Wind speed</i>	0,1	0
<i>humidity</i>	0	0,5

**Fuente:** La investigación

**4.4.4.3. Evaluación del modelo 2.1 de Máxima Entropía de la especie *Solanum nigrescens*.** Podemos observar en la Figura 54, los resultados obtenidos de la evaluación del modelo 1 donde obtenemos un AUC para los datos de test de 0,63275, una evaluación del punto de corte en la curva COR es de 0,1496, también expresa el valor máximo de las tasas de verdaderos positivos con verdaderos negativos (TPR+TNR) dando un valor de 0,6358.

El AUC para los datos de entrenamiento es de 0,8079, una evaluación del punto de corte en la curva COR es de 0,4827, también expresa el valor máximo de las tasas de verdaderos positivos con verdaderos negativos (TPR+TNR) dando un valor de 0,6594. Para los datos de presencia en el test son 12, los datos de presencia para el entrenamiento son 52 y como datos de fondo se utiliza background generado aleatoriamente por código en la herramienta RStudio siendo 86 datos, dando un resultado de 150 datos analizados para el modelo 1.

## Figura 54

Resultado obtenido en la herramienta RStudio de la evaluación de los datos de test y entrenamiento utilizados en el modelo MaxEnt del modelo 2.1 de la especie *Solanum nigrescens*

```
> e1 <- dismo::evaluate(ma, p =mlodel20test
tals)
> e1
class      : ModelEvaluation
n presences : 12
n absences  : 86
AUC        : 0.6327519
cor        : 0.1495994
max TPR+TNR at : 0.6357788
> eel <- dismo::evaluate(ma, p =mlode180tra
mbtals)
> eel
class      : ModelEvaluation
n presences : 52
n absences  : 86
AUC        : 0.8079159
cor        : 0.4826917
max TPR+TNR at : 0.6594092
```

**Fuente:** La investigación

Podemos observar en la Figura 55, los resultados obtenidos de la evaluación del modelo 2.1 analizando el total de datos, donde obtenemos un AUC de 0,7783, una evaluación del punto de corte en la curva COR es de 0,4792, también expresa el valor máximo de las tasas de verdaderos positivos con verdaderos negativos (TPR+TNR) dando un valor de 0,6285

## Figura 55

Resultado obtenido de la herramienta RStudio de la evaluación de los datos totales utilizados en el modelo MaxEnt del modelo 2.1 de la especie *Solanum nigrescens*

```
class      : ModelEvaluation
n presences : 64
n absences  : 86
AUC        : 0.778343
cor        : 0.4792089
max TPR+TNR at : 0.6284526
```

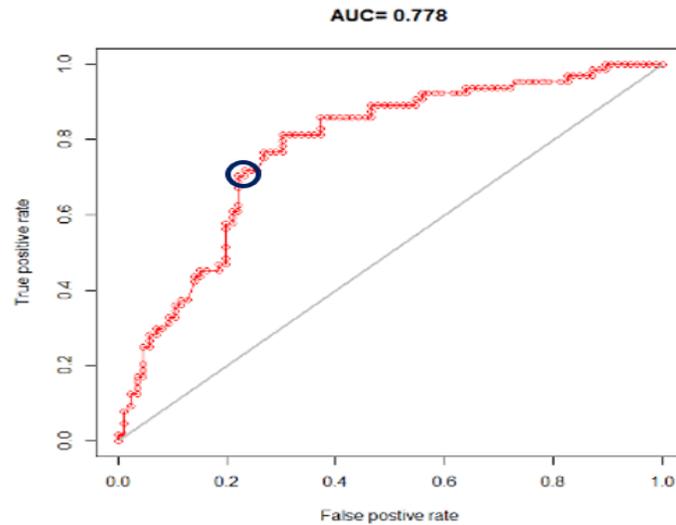
**Fuente:** La investigación

A continuación, podemos observar en la Figura 56, el gráfico ROC que ilustra la

sensibilidad y la especificidad de cada uno de los puntos de corte el cual el más alto es de 0,78 se lo puede identificar encerrado en un círculo azul dando el área bajo la curva de 0,778.

### Figura 56

Representación gráfica del área bajo la curva de la especie *Solanum nigrescens*



Fuente: La investigación

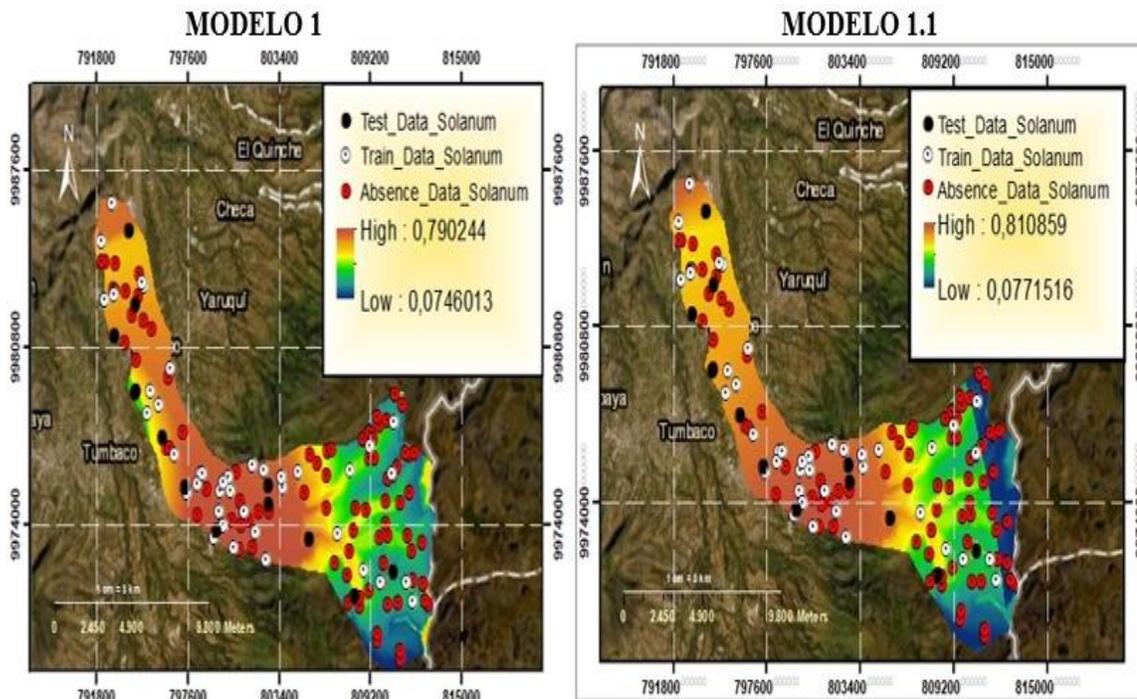
#### 4.4.5. Resultados gráficos de la predicción de la distribución potencial del modelo de Máxima Entropía de la especie *Solanum nigrescens* en los modelos 1, 1.1, 2 y 2.2.

A continuación, se puede observar en la Figura 57 los resultados de los modelos 1 y 1.1 de la especie *Solanum nigrescens*. El color negro se observar los datos seleccionados para el test del modelo, el color morado podemos observar los datos seleccionados para el entrenamiento del modelo, el color rojo los datos de ausencia utilizados como fondo. Mediante la escala grafica de colores se puede identificar que el valor más bajo es de 0,0746 para el modelo 1; y 0,1641 para el modelo 1.1, se entiende que el color azul es la probabilidad de la especie de que exista o su desarrollo sea nulo, mientras que el valor más alto en la escala colorimétrica es de 0,8312 para el

modelo 1; y 0,8636 para el modelo 1.1, el color rojo es la probabilidad de que la especie exista o su desarrollo sea óptimo.

**Figura 57**

*Representación gráfica del modelo 1 y 1.1 de máxima entropía de la especie Solanum nigrescens.*



**Fuente:** La investigación

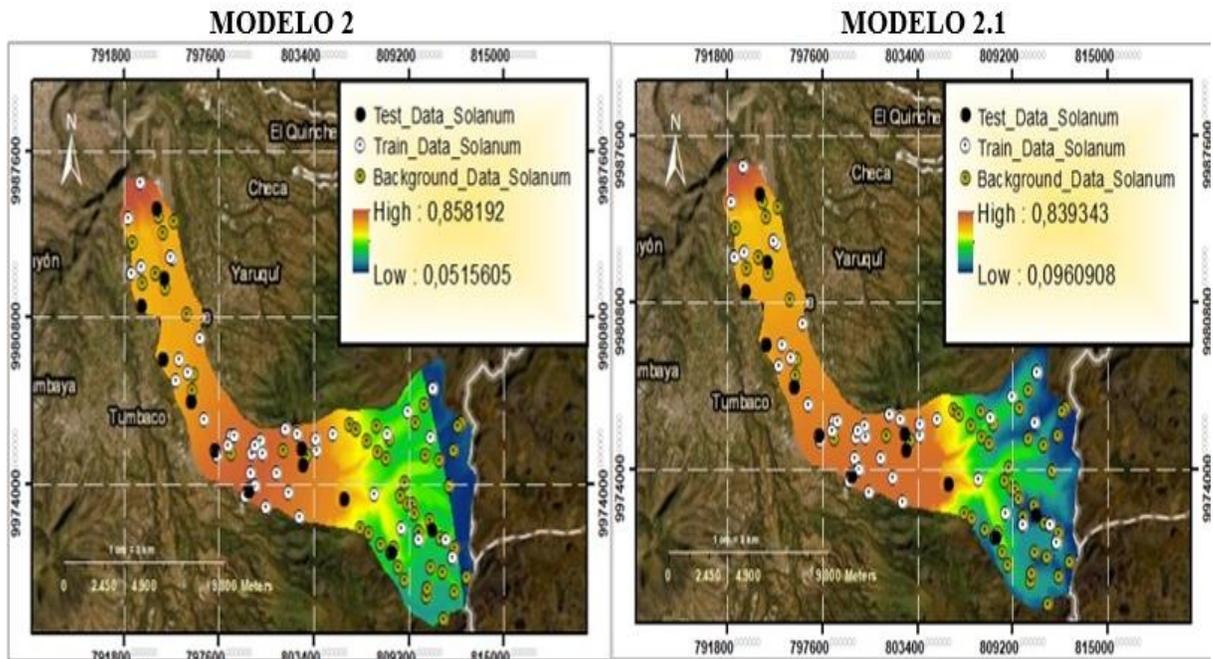
A continuación, podemos apreciar los resultados de la especie *Solanum Nigrescens* en la Figura 58, se representa una escala grafica de colores siendo el valor más bajo 0,05156 para el modelo 2; y 0,096 para el modelo 2.1, de color azul donde la probabilidad de que la especie exista o se desarrolle es nula, mientras que el valor más alto 0,85819 para el modelo 2; y 0,8393 para el modelo 2.1, de color rojo donde la probabilidad de que la especie exista o se desarrolle es óptima.

En la leyenda el punto de color negro podemos observar los datos seleccionados para el test del modelo, de color blanco podemos observar los datos seleccionados para el entrenamiento del

modelo, de color mostaza los datos de background utilizados como fondo

## Figura 58

Representación gráfica de los modelos 2 y 2.1 de máxima entropía de la especie *Solanum nigrescens*.



Fuente: La investigación

### 4.5. Resultados de la Especie *Hypericum laricifolium*

Para los resultados de los modelos de la especie *Hypericum laricifolium*, se analizaron los datos de presencia en el test son 3, los datos de presencia para el entrenamiento son 8 y como datos de fondo se utiliza las ausencias de la especie *Hypericum laricifolium* siendo 139 datos, dando un resultado de 150 datos analizados para el modelo 1. . Para el modelo 1 se utilizan todas las variables ambientales y como datos de fondo las ausencias comprobadas en campo, para el modelo 1.1 se utilizan variables ambientales específicas y como datos de fondo las ausencias comprobadas en

campo. Para el modelo 2 se utilizaron todas las variables ambientales y como datos de fondo al background definido aleatoriamente por el código en R, para el modelo 2.1 se utilizan variables ambientales específicas y como datos de fondo al background definido aleatoriamente por el código en R.

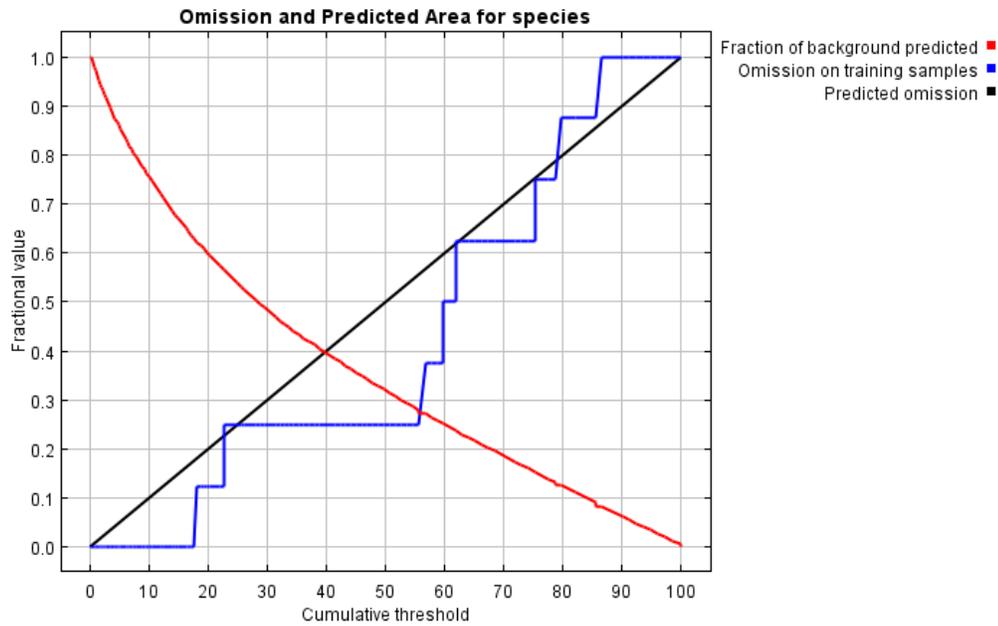
#### **4.5.1. Modelo 1 de la especie *Hypericum laricifolium***

**4.5.1.1. Resultados de las curvas del área de omisión y predicción.** Se puede apreciar en la Figura 59, los puntos fraccionales de la especie *Hypericum Laricifolium*, se representan con una variación menor a los otros modelos presentados, esto se debe por la cantidad de datos de presencia muestreados en campo.

A continuación, podremos observar que en el modelo 1 de la especie *Hypericum Laricifolium* de la Figura 59, los puntos de intercepción entre la curva de la predicción de las fracciones aleatorias de los datos de fondo con los datos de presencia tienen un valor de 40 en el umbral acumulativo, y en relación con las fracciones de los puntos de presencia ubicados por fuera del área potencial tiene un valor de 57 en el umbral acumulativo. Mientras que los datos de omisión de entrenamiento recorren el umbral acumulativo, la evaluación del fraccionamiento de los datos en el rango threshold presentan un alejamiento de los datos de presencia de notando una estabilidad baja pero aceptable para el modelo.

**Figura 59**

*Resultado del área de omisión y predicción de la especie *Hypericum laricifolium* del modelo 1*



**Fuente:** La investigación

**4.5.1.2. Variables Ambientales que aportaron en el modelo 1 de Maxent de la especie *Hypericum laricifolium*.** En la Tabla 14, podemos apreciar que en el modelo 1 la permutación con el 100% es la altitud, mientras que las variables que aportan para el análisis del modelo son 7.

**Tabla 14**

*Valores de contribución y permutación de las variables ambientales de la especie *Hypericum laricifolium* del modelo 1*

<i>Variable</i>	<i>Percent contribution</i>	<i>Permutation importance</i>
<i>Altitude</i>	61,5	100
<i>Wind speed</i>	10,40	0
<i>Maximum temperature</i>	6,9	0
<i>Annual temperature range</i>	0,2	0
<i>Precipitation</i>	0	0
<i>Minimum temperature</i>	5,1	0
<i>Intermediate daytime temperature seasonality</i>	0	0
<i>Medium temperature</i>	6,5	0
<i>Barometric pressure</i>	9,3	0
<i>isothermality</i>	0	0
<i>humidity</i>	0	0

**Fuente:** La investigación

**4.5.1.3. Evaluación del modelo 1 de Máxima Entropía de la especie *Hypericum laricifolium*.** Podemos observar en la Figura 60, los resultados obtenidos de la evaluación del modelo 1 donde obtenemos un AUC para los datos de test de 0,6403, una evaluación del punto de corte en la curva COR es de 0,0831, también expresa el valor máximo de las tasas de verdaderos positivos con verdaderos negativos (TPR+TNR) dando un valor de 0,515.

El AUC para los datos de entrenamiento es de 0,7235, una evaluación del punto de corte en la curva COR es de 0,1707, también expresa el valor máximo de las tasas de verdaderos positivos con verdaderos negativos (TPR+TNR) dando un valor de 0,7190.

**Figura 60**

*Resultado obtenido de la herramienta RStudio de la evaluación de los datos de test y entrenamiento utilizados en el modelo MaxEnt del modelo 1 de la especie *Hypericum laricifolium**

```
> e1 <- dismo::evaluate(ma, p = m1ode120test)
> e1
class           : ModelEvaluation
n presences     : 3
n absences      : 139
AUC             : 0.6402878
cor            : 0.08313107
max TPR+TNR at : 0.5149906
> ee1 <- dismo::evaluate(ma, p = m1ode180tra)
> ee1
class           : ModelEvaluation
n presences     : 8
n absences      : 139
AUC             : 0.7234712
cor            : 0.1706965
max TPR+TNR at : 0.7190348
```

**Fuente:** La investigación

Podemos observar en la Figura 61, los resultados obtenidos de la evaluación del modelo 1 analizando el total de datos, donde obtenemos un AUC de 0,67, una evaluación del punto de corte en la curva COR es de 0,1726, también expresa el valor máximo de las tasas de verdaderos positivos con verdaderos negativos (TPR+TNR) dando un valor de 0,686

### **Figura 61**

*Resultado obtenido de la herramienta RStudio de la evaluación de los datos totales utilizados en el modelo MaxEnt del modelo 1 de la especie *Hypericum laricifolium**

```
> e1
class           : ModelEvaluation
n presences     : 11
n absences      : 139
AUC             : 0.6700458
cor            : 0.1726072
max TPR+TNR at : 0.6866438
```

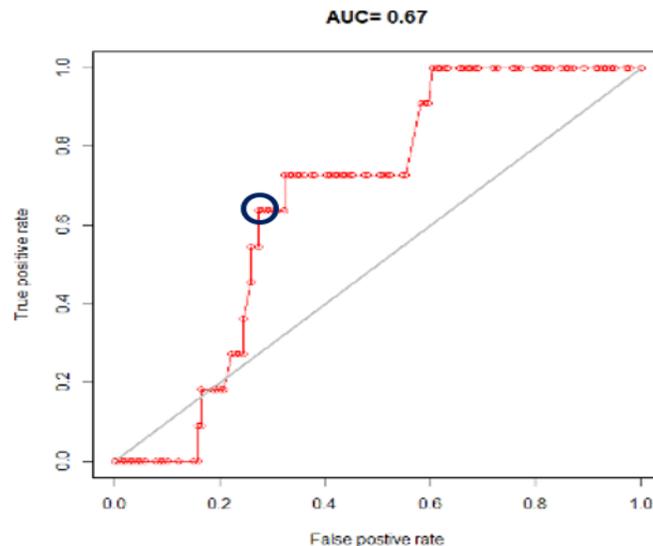
**Fuente:** La investigación

A continuación, podemos observar en la Figura 62 el gráfico ROC que ilustra la sensibilidad y la especificidad de cada uno de los puntos de corte el cual es de 0,68 el cual se lo puede observar

encerrado en un círculo azul dando el área bajo la curva de 0,67.

## Figura 62

*Representación gráfica del área bajo la curva de la especie *Hypericum laricifolium**



**Fuente:** La investigación

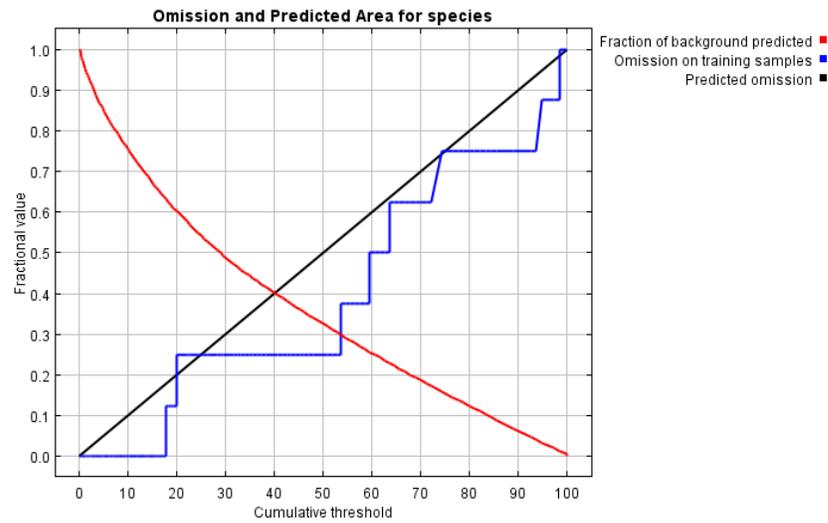
### 4.5.2. Modelo 1.1 de la especie *Hypericum laricifolium*

#### 4.5.2.1. Resultados de las curvas del área de omisión y predicción. A

continuación, en el modelo 1.1 de la Figura 63, los puntos de intercepción entre la curva de la predicción de las fracciones aleatorias de los datos de fondo con los datos de presencia tienen un valor de 40 en el umbral acumulativo, y en relación con las fracciones de los puntos de presencia ubicados por fuera del área potencial tiene un valor de 52 en el umbral acumulativo. Mientras que los datos de la evaluación del fraccionamiento de los datos en el rango threshold presentan una variación considerable pero su estabilidad se la puede considerar baja pero aceptable para el modelo.

## Figura 63

*Resultado del área de omisión y predicción de la especie Hypericum laricifolium del Modelo 1.1*



**Fuente:** La investigación

**4.5.2.2. Variables Ambientales que aportaron en el modelo 1.1 de Maxent de la especie *Hypericum laricifolium*.** En Tabla 15, podemos apreciar que en el modelo 1.1 las variables que se escogieron para el análisis de contribución son la temperatura media con un valor de 76,2%, temperatura mínima con un valor de 14,9%, altitud con un valor de 8,8%, mientras que la permutación interviene la temperatura mínima con un valor de 90,3% y la altitud con un valor de 9,7%.

**Tabla 15**

*Valores de contribución y permutación de las variables ambientales de la especie *Hypericum laricifolium* del modelo 1.1*

<i>Variable</i>	<i>Percent contribution</i>	<i>Permutation importance</i>
<i>Medium temperature</i>	76,2	0
<i>Minimum temperature</i>	14,9	90,3
<i>altitude</i>	8,8	9,7
<i>Wind speed</i>	0	0
<i>Maximum temperature</i>	0	0
<i>precipitation</i>	0	0

**Fuente:** La investigación

**4.5.2.3. Evaluación del modelo 1.1 de Máxima Entropía de la especie**

***Hypericum laricifolium*.** Podemos observar en la Figura 64, los resultados obtenidos de la evaluación del modelo 1 donde obtenemos un AUC para los datos de test de 0,4748, una evaluación del punto de corte en la curva COR es de -0,00258, también expresa el valor máximo de las tasas de verdaderos positivos con verdaderos negativos (TPR+TNR) dando un valor de 0,3967

El AUC para los datos de entrenamiento es de 0,7909, una evaluación del punto de corte en la curva COR es de 0,2094, también expresa el valor máximo de las tasas de verdaderos positivos con verdaderos negativos (TPR+TNR) dando un valor de 0,6870.

**Figura 64**

*Resultado obtenido de la herramienta RStudio de la evaluación de los datos de test y entrenamiento utilizados en el modelo MaxEnt del modelo 1.1 de la especie Hypericum laricifolium*

```
> e1
class      : ModelEvaluation
n presences : 3
n absences  : 139
AUC         : 0.4748201
cor         : -0.002586784
max TPR+TNR at : 0.3967211
> eel <- dismo::evaluate(ma, p =m1ode180tra
mbtals)
> eel
class      : ModelEvaluation
n presences : 8
n absences  : 139
AUC         : 0.7909173
cor         : 0.2094922
max TPR+TNR at : 0.6870268
```

**Fuente:** La investigación

Podemos observar en la Figura 65, los resultados obtenidos de la evaluación del modelo 1 analizando el total de datos, donde obtenemos un AUC de 0,7145, una evaluación del punto de corte en la curva COR es de 0,1948, también expresa el valor máximo de las tasas de verdaderos positivos con verdaderos negativos (TPR+TNR) dando un valor de 0,7088

### **Figura 65**

*Resultado obtenido de la herramienta RStudio de la evaluación de los datos totales utilizados en el modelo MaxEnt del modelo 1.1 de la especie Hypericum laricifolium*

```
> e1
class      : ModelEvaluation
n presences : 11
n absences  : 139
AUC         : 0.7145193
cor         : 0.1948237
max TPR+TNR at : 0.7088445
```

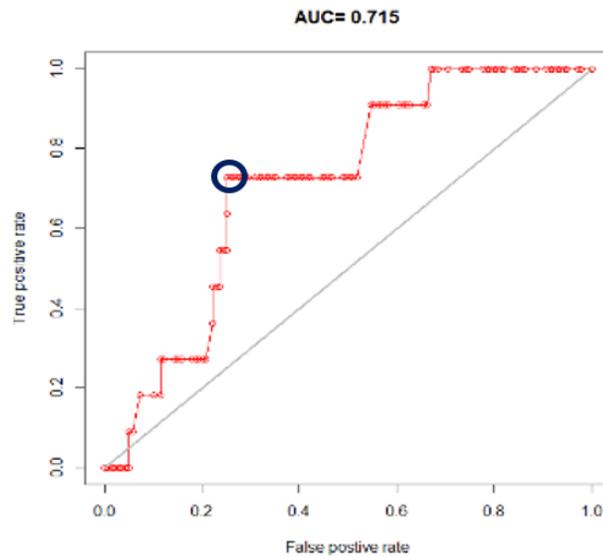
**Fuente:** La investigación

A continuación, podemos observar en la Figura 66 el gráfico ROC que ilustra la sensibilidad y la especificidad de cada uno de los puntos de corte el cual es de 0,7 el cual se lo puede observar

encerrado en un círculo azul dando el área bajo la curva de 0,715.

## Figura 66

Representación gráfica del área bajo la curva de la especie *Hypericum laricifolium*



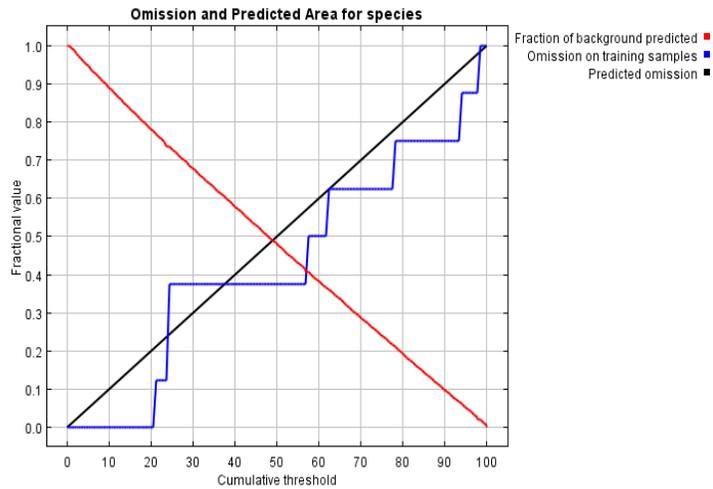
Fuente: La investigación

### 4.5.3. Modelo 2 y 2.1 de la especie *Hypericum laricifolium*

**4.5.3.1. Resultados de las curvas del área de omisión y predicción.** Como se puede observar en la Figura 67 y Figura 68 del modelo 2 del modelo 2.1 las curvas de la predicción de las fracciones aleatorias de los datos de fondo no presentan señales de que se estén usando permutaciones entre datos de presencia, background, por esa razón se gráfica una línea recta y las variables ambientales por estas razones estos dos modelos presentan una estabilidad media en la evaluación del fraccionamiento de datos pero no es aceptable para considerarlos validos en la distribución potencial de la especie *Hypericum Laricifolium*.

## Figura 67

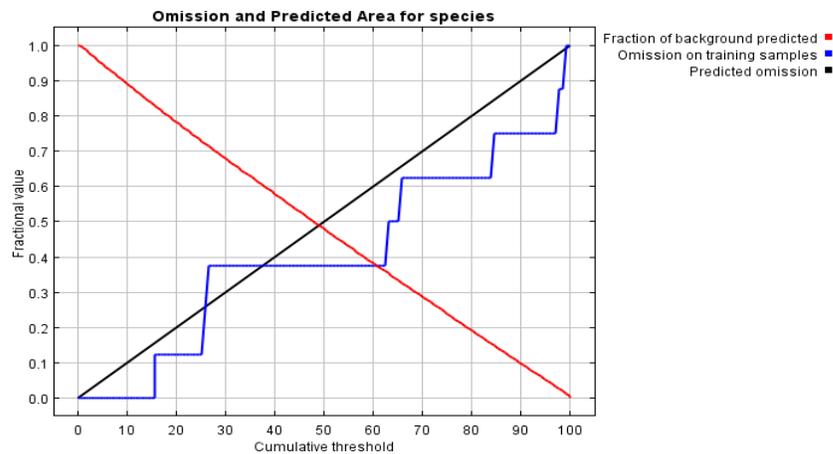
Resultado del área de omisión y predicción de la especie *Hypericum laricifolium* del Modelo 2



Fuente: La investigación

## Figura 68

Resultado del área de omisión y predicción de la especie *Hypericum laricifolium* del Modelo 2.1



Fuente: La investigación

**4.5.3.2. Variables Ambientales que aportaron en el modelo 2 y 2.1 de Maxent de la especie *Hypericum laricifolium*.** En el modelo 2 (Tabla 16), ninguna variable ambiental es considerada como importante para la permutación, mientras que el porcentaje de contribución

recae en 3 variables ambientales que son temperatura media, estacionalidad, temperatura mínima. Si extraemos del análisis la temperatura mínima en el modelo 2.1 (Tabla 17), la importancia de permutación recae en las variables de temperatura media con un valor de 83,5% y estacionalidad con un valor de 16,5%.

**Tabla 16**

*Valores de contribución y permutación de las variables ambientales de la especie *Hypericum laricifolium* del modelo 2*

<i>Variable</i>	<i>Percent contribution</i>	<i>Permutation importance</i>
<i>Altitude</i>	0	0
<i>Wind speed</i>	0	0
<i>Maximum temperature</i>	0	0
<i>Annual temperature range</i>	0	0
<i>Precipitation</i>	0	0
<i>Minimum temperature</i>	4,6	0
<i>Intermediate daytime temperature</i>	0	0
<i>seasonality</i>	10,4	0
<i>Medium temperature</i>	85	0
<i>Barometric pressure</i>	0	0
<i>isothermality</i>	0	0
<i>humidity</i>	0	0

**Fuente:** La investigación

**Tabla 17**

*Valores de contribución y permutación de las variables ambientales de la especie *Hypericum laricifolium* del modelo 2.1*

<i>Variable</i>	<i>Percent contribution</i>	<i>Permutation importance</i>
<i>Medium temperature</i>	88,3	83,5
<i>seasonality</i>	11,7	16,5
<i>Wind speed</i>	0	0
<i>Altitude</i>	0	0

**Fuente:** La investigación

#### 4.5.3.3. Evaluación del modelo 2 y 2.1 de Máxima Entropía de la especie

*Hypericum laricifolium*. Podemos observar en la Figura 69, los resultados obtenidos de la evaluación del modelo 2 donde obtenemos un AUC para los datos de test de 0,5947, el AUC para los datos de entrenamiento es de 0,7909, mientras que en el modelo 2.1 el AUC obtenido para los datos de test es 0,6187 y el AUC para los datos de entrenamiento es 0,6115.

Para los datos de presencia en el test son 3, los datos de presencia para el entrenamiento son 8 y como datos de fondo se utiliza el background generado aleatoriamente por la codificación en la herramienta RStudio siendo 139 datos, dando un resultado de 150 datos analizados para el modelo 2 y 2.1.

### Figura 69

*Resultado obtenido de la herramienta RStudio de la evaluación de los datos de test y entrenamiento utilizados en el modelo MaxEnt de los modelos 2 y 2.1 de la especie Hypericum laricifolium.*

```

> e1 <- dismo::evaluate(ma, p =m1ode120test)
> e1
class      : ModelEvaluation
n presences : 3
n absences  : 139
AUC        : 0.5947242
cor        : 0.07386653
max TPR+TNR at : 0.6318153
> ee1 <- dismo::evaluate(ma, p =m1ode180tra)
> ee1
class      : ModelEvaluation
n presences : 8
n absences  : 139
AUC        : 0.5881295
cor        : 0.07364363
max TPR+TNR at : 0.6124388

> e1 <- dismo::evaluate(ma, p =m1ode120test)
> e1
class      : ModelEvaluation
n presences : 3
n absences  : 139
AUC        : 0.618705
cor        : 0.07754199
max TPR+TNR at : 0.6501566
> ee1 <- dismo::evaluate(ma, p =m1ode180tra)
> ee1
class      : ModelEvaluation
n presences : 8
n absences  : 139
AUC        : 0.6115108
cor        : 0.0820679
max TPR+TNR at : 0.6469932

```

**Nota:** Donde la evaluación de la izquierda pertenece al modelo 2 y la evaluación de la derecha pertenece al modelo 2.1

**Fuente:** La investigación

Podemos observar en la Figura 70, los resultados obtenidos de la evaluación del modelo 2 analizando el total de datos, donde obtenemos un AUC de 0,6799 y en el modelo 2.1 el valor de AUC es 0,64944. Los valores de AUC Representan que los modelos no son óptimos.

## Figura 70

Resultado obtenido de la herramienta RStudio de la evaluación de los datos totales utilizados en el modelo MaxEnt del modelo 1.1 de la especie *Hypericum laricifolium*

```
> e1
class      : ModelEvaluation
n presences : 11
n absences  : 139
AUC        : 0.6799333
cor        : 0.1225985
max TPR+TNR at : 0.7238167

> e1
class      : ModelEvaluation
n presences : 11
n absences  : 139
AUC        : 0.6494441
cor        : 0.1225985
max TPR+TNR at : 0.7238167
```

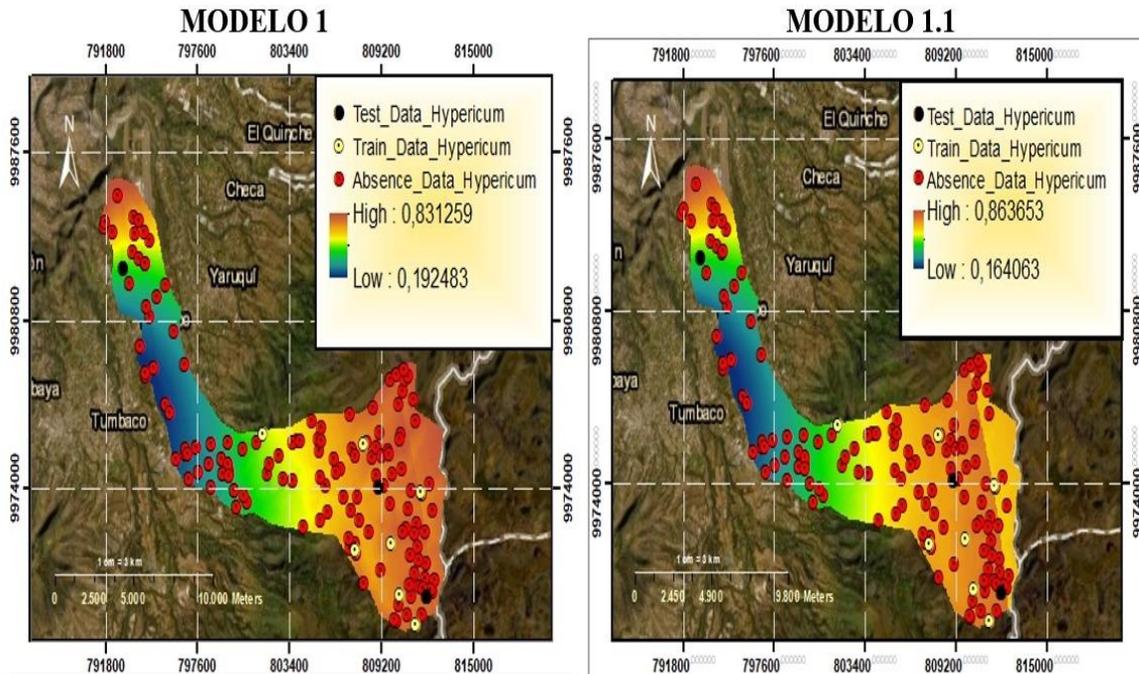
Fuente: La investigación

### 4.5.4. Resultados gráficos de la predicción de la distribución potencial del modelo de Máxima Entropía de la especie *Hypericum laricifolium* en los modelos 1, 1.1, 2 y 2.1

A continuación, se puede observar en la Figura 71 los resultados de los modelos 1 y 1.1 de la especie *Hypericum laricifolium*. El color negro se observa los datos seleccionados para el test del modelo, el color morado podemos observar los datos seleccionados para el entrenamiento del modelo, el color rojo los datos de ausencia utilizados como fondo. Mediante la escala gráfica de colores se puede identificar que el valor más bajo es de 0,1925 para el modelo 1; y 0,1641 para el modelo 1.1, se entiende que el color azul es la probabilidad de la especie de que exista o su desarrollo sea nulo, mientras que el valor más alto en la escala colorimétrica es de 0,8312 para el modelo 1; y 0,8636 para el modelo 1.1, el color rojo es la probabilidad de que la especie exista o su desarrollo sea óptimo

**Figura 71**

*Representación gráfica de los modelos 1 y 1.1 de máxima entropía de la especie *Hypericum laricifolium**

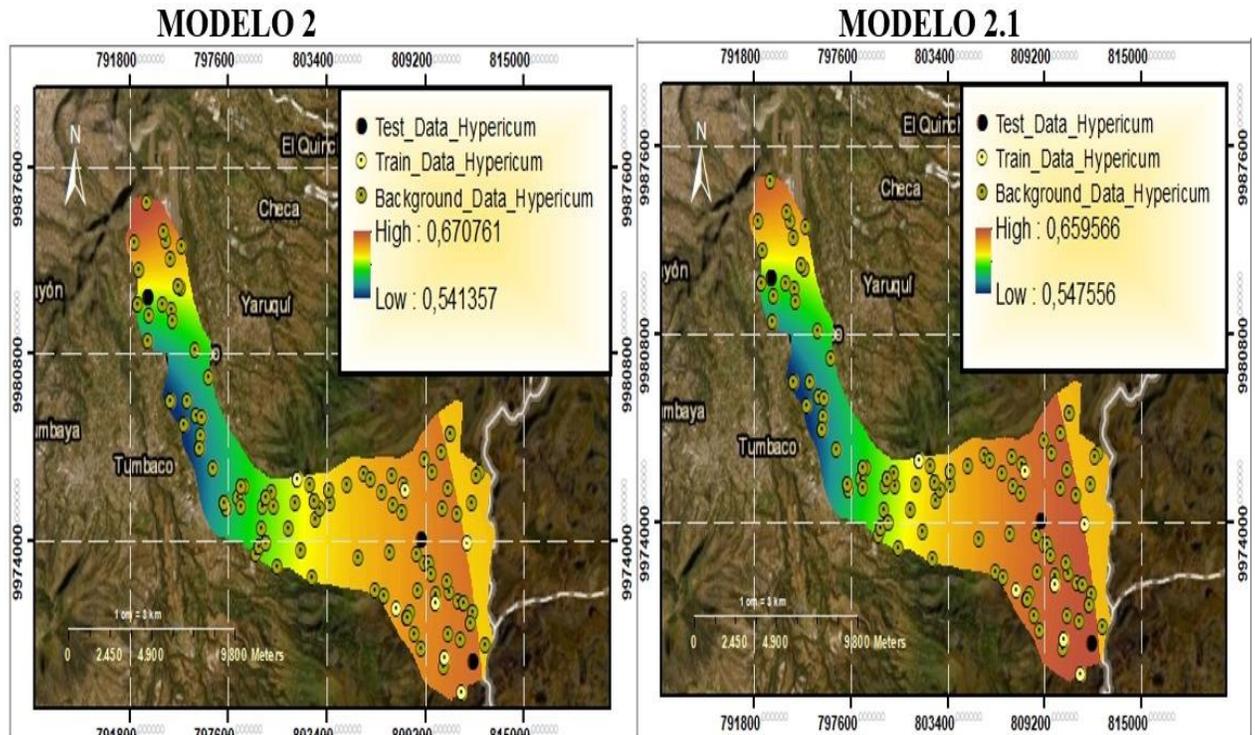


**Fuente:** La investigación

En la Figura 72, podemos apreciar los resultados del modelo 2 y 2.1, donde de color negro podemos observar los datos seleccionados para el test del modelo, de color amarillo podemos observar los datos seleccionados para el entrenamiento del modelo, de color mostaza los datos de background como fondo.

**Figura 72**

*Representación gráfica del modelo 2 y 2.1 de máxima entropía de la especie *Hypericum laricifolium**



Fuente: La investigación

#### 4.6. Valores de Entropía

##### 4.6.1. *Especie Dalea Coerulea*

A continuación, podremos observar que en la Tabla 18 el valor de entropía que menos sesgo representa para la especie *Dalea Coerulea* es el modelo 2.1 con un valor de 4,6489.

**Tabla 18***Valores de máxima entropía de la especie Dalea coerulea*

<b>MODELO</b>	<b>ENTROPIA</b>
1	4,4930
1.1	4,4235
2	4,5728
2.1	4,6489

**Fuente:** La investigación**4.6.2. Especie Solanum Nigrescens**

A continuación, podremos observar que en la Tabla 19 el valor de entropía que menos sesgo representa para la especie *Solanum Nigrescens* es el modelo 2 con un valor de 4,7656

**Tabla 19***Valores de máxima entropía de la especie Solanum nigrescens*

<b>MODELO</b>	<b>ENTROPIA</b>
1	4,6017
1.1	4,5891
2	4,7656
2.1	4,7311

**Fuente:** La investigación**4.6.3. Especie Hypericum Laricifolium**

A continuación, podremos observar que en la Tabla 20 el valor de entropía que menos sesgo representa para la especie *Hypericum laricifolium* es el modelo 1.1 con un valor de 4,9877

**Tabla 20***Valores de máxima entropía de la especie Hypericum laricifolium*

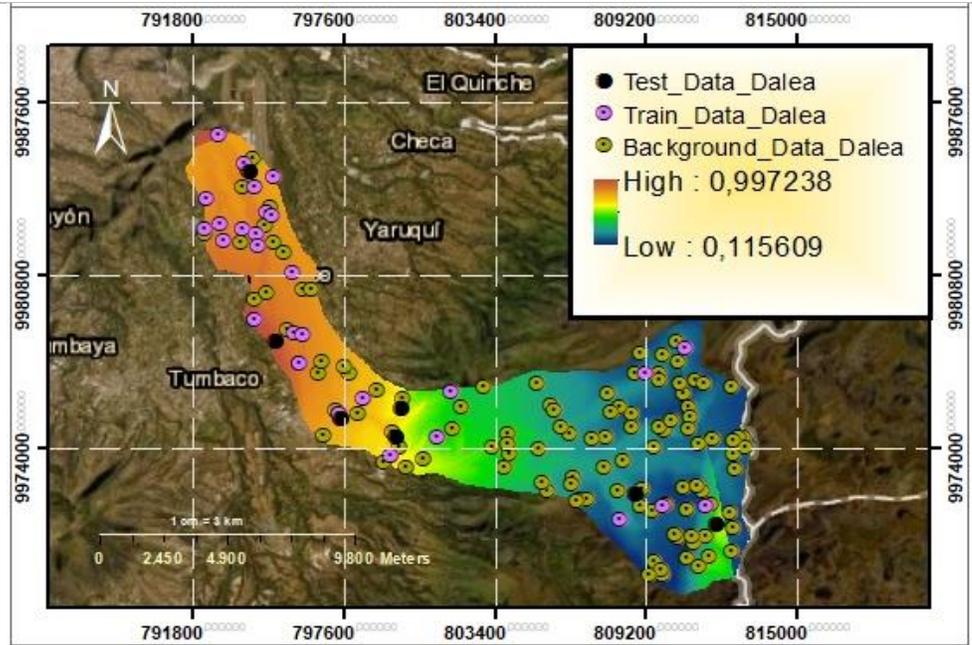
<b>MODELO</b>	<b>ENTROPIA</b>
1	4,8335
1.1	4,9877
2	4,8434

Fuente: La investigación

#### 4.7. Resumen de los Resultados Óptimos que Representan la Distribución Potencial de las tres Especies Vegetales de Estudio

<b>Especie Dalea Coerulea</b>	<b>Resumen del Modelo óptimo</b>	El modelo 2.1 con un AUC de 0,8269. Las variables ambientales que contribuyeron al desarrollo del modelo son altitud, intervalo de temperatura media diurna, temperatura media, temperatura máxima, precipitación, temperatura mínima y rango anual de temperatura todas son continuas. El modelo utiliza como datos de fondo a los generados por el programa de forma aleatoria denominada como background. Consta con una densidad de 36,774 y un valor de entropía de 4,6489. También el aporte de las curvas del área de omisión y predicción de la Figura 34, se puede apreciar como presentan una estabilidad fuerte entre los datos de omisión de entrenamiento y los datos de presencia según van recorriendo el umbral acumulativo. Siendo el modelo que se ajusta mejor de forma visual y estadística para representar la distribución de la especie <i>Dalea coerulea</i> .
	<b>Variables Ambientales</b>	Altitud, intervalo de temperatura media diurna, temperatura media, temperatura máxima, precipitación, temperatura mínima y rango anual de temperatura todas son continuas
	<b>Valor de AUC</b>	0,8269
	<b>Valor de entropía</b>	4,6489

**Mapa de distribución de la especie Dalea Coerulea**



**Especie *Solanum Nigrescens***

**Resumen del Modelo óptimo**

El modelo 2 con un AUC de 0,7945. Las variables ambientales que contribuyeron al desarrollo del modelo son 5 variables ambientales que son altitud, humedad, precipitación, velocidad del viento y temperatura mínima todas son continuas. El modelo utiliza como datos de fondo a los generados por el programa de forma aleatoria conocidos como background. Consta con una densidad normalizada de 64,7682 y un valor de entropía de 4,7656. También podemos decir que el modelo presenta una estabilidad fuerte entre los datos de omisión de entrenamiento y los datos de presencia según van recorriendo el umbral acumulativo. Siendo el modelo que se ajusta mejor de forma visual y estadística para representar la distribución de la especie *Solanum nigrescens*

**Variabes Ambientales**

Altitud, humedad, precipitación, velocidad del viento y temperatura mínima todas son continuas.

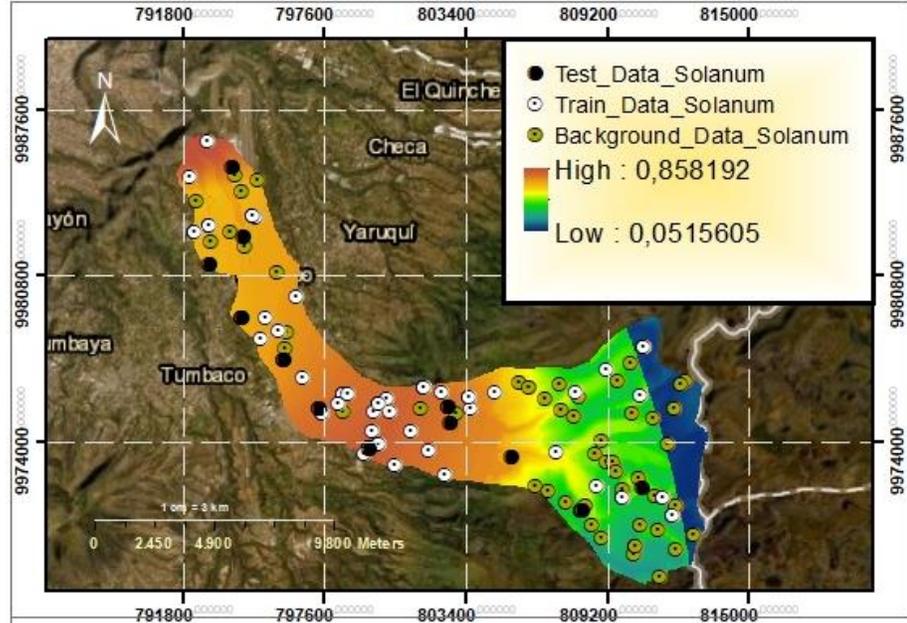
**Valor de AUC**

0,7945

**Valor de entropía**

4,7656

**Mapa de distribución de la especie *Solanum Nigrescens***



**Especie *Hypericum Laricifolium***

**Resumen del Modelo óptimo**

El modelo 1.1 con un AUC de 0,7145. Las variables ambientales que contribuyeron al desarrollo del modelo son temperatura media, temperatura mínima, altitud todas son continuas. El modelo utiliza como datos de fondo a los datos de ausencia conocidos de la especie. Consta con una densidad normalizada de 132,7512 y un valor de entropía de 4,9877. Siendo el modelo que se ajusta mejor de forma visual y estadística para representar la distribución de la especie *Hypericum laricifolium*.

**Variables Ambientales**

Temperatura media, temperatura mínima, altitud todas son continuas

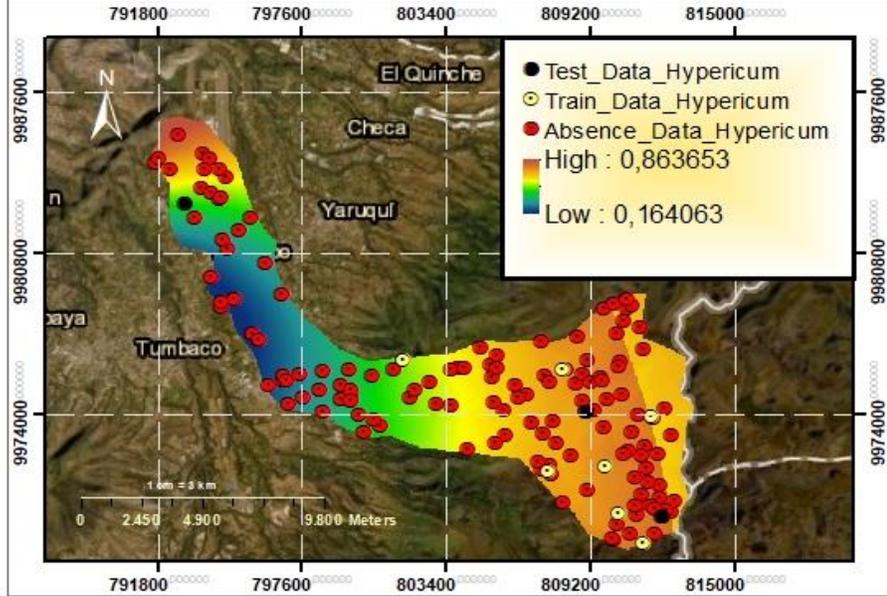
**Valor de AUC**

0,7145

**Valor de entropía**

4,9877

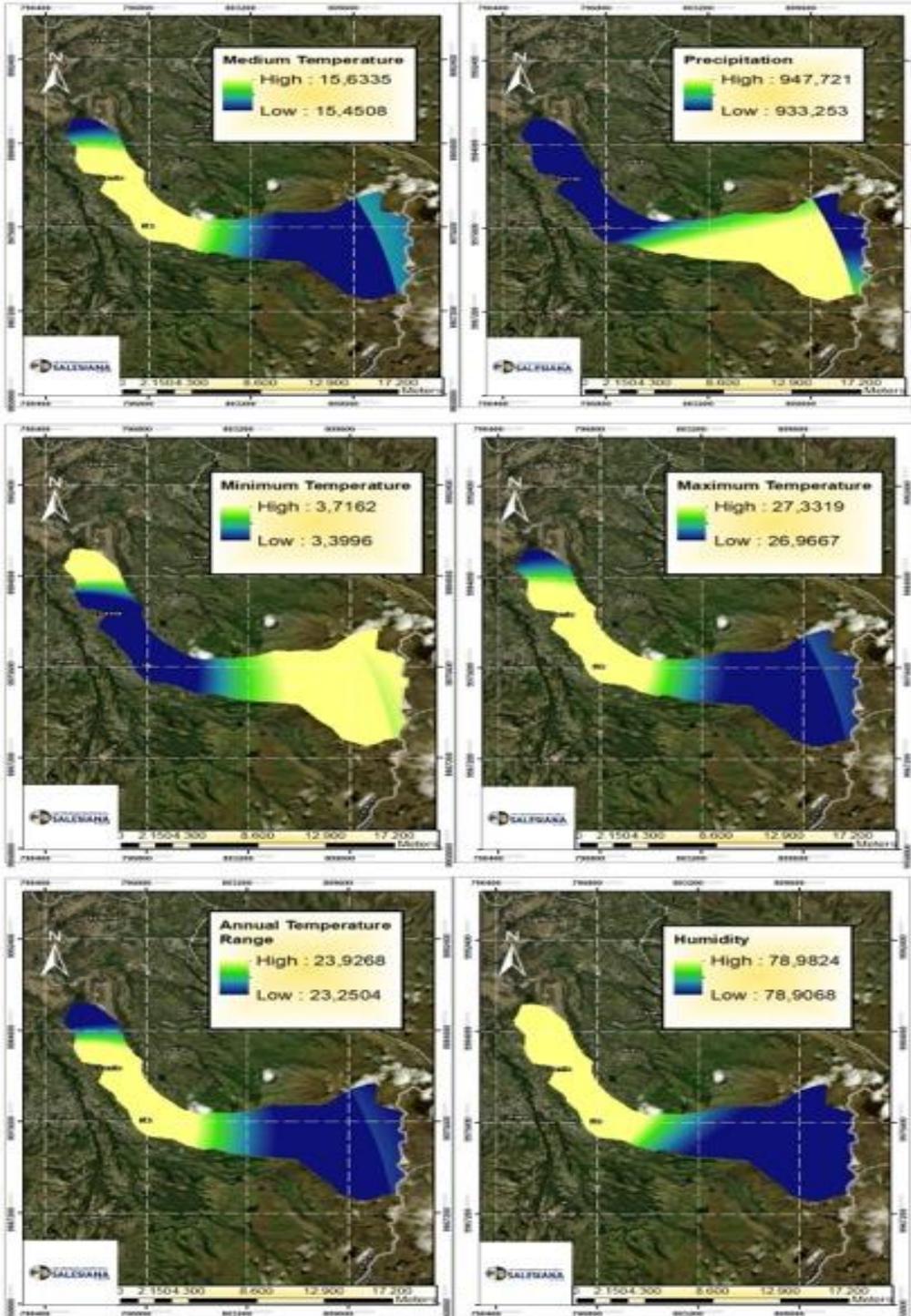
**Mapa de distribución de la especie *Hypericum Laricifolium***



**4.8. Variables Ambientales Utilizados para Simular Escenario de Cambio Climático**

Las variables ambientales (Figura 73) se realizaron por medio de la interpolación IDW con los datos de la (Tabla 5), cabe mencionar que el aumento de los valores hace que los mapas se aprecien igual a las variables ambientales utilizadas para el modelo base, pero con valores aumentados en la colorimetría.

**Figura 73**  
*VARIABLES AMBIENTALES DEL CAMBIO CLIMÁTICO*



Fuente: La investigación

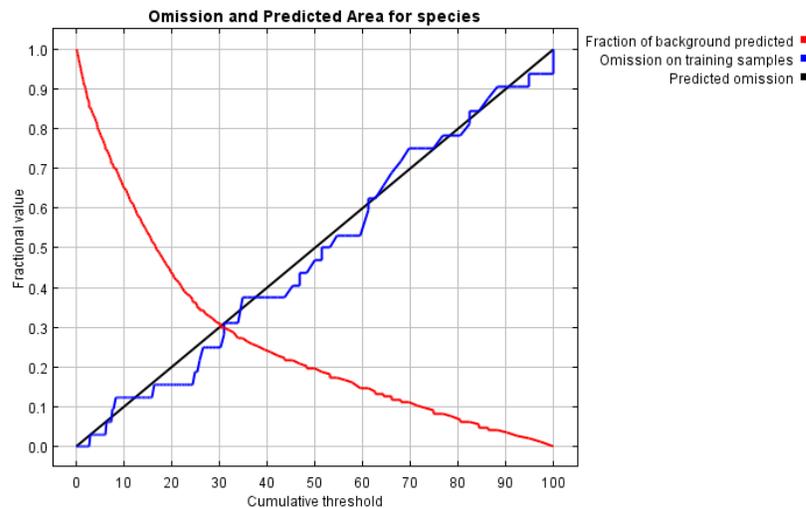
## 4.9. Escenario de Cambio Climático para la Especie *Dalea coerulea*

### 4.9.1. Resultados de las curvas del área de omisión y predicción.

A continuación, podemos observar en la Figura 74, como se relacionan directamente las líneas de omisión y predicción en un punto de intercepción entre la curva de la predicción de las fracciones aleatorias de los datos de fondo, las fracciones de los puntos de presencia ubicados por fuera del área potencial y con los datos de presencia en el modelo de cambio climático tienen un valor de 31 en el umbral acumulativo, presenta una estabilidad fuerte entre los datos de omisión de entrenamiento y los datos de presencia según van recorriendo el umbral acumulativo.

#### Figura 74

*Resultado del área de omisión y predicción de la especie Dalea coerulea del escenario de cambio climático*



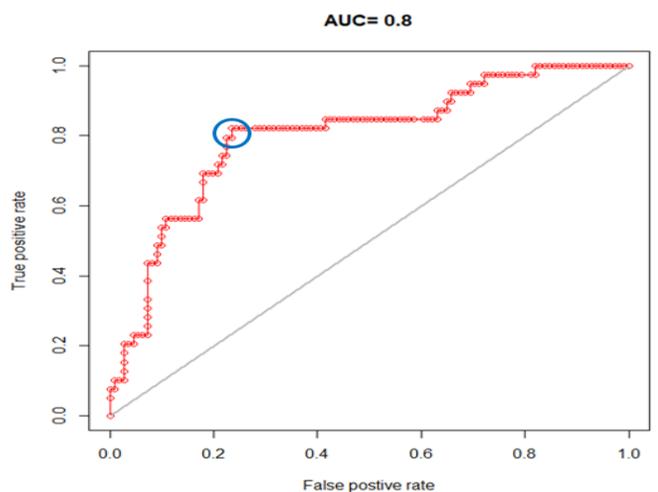
**Fuente:** La investigación

#### 4.9.2. Evaluación del modelo de cambio climático de máxima entropía de la especie *Dalea coerulea*

A continuación, podemos observar en la Figura 75 el gráfico ROC que ilustra la sensibilidad y la especificidad de cada uno de los puntos de corte el cual es de 0,79 el cual se lo puede observar encerrado en un círculo azul dando el área bajo la curva de 0,8.

#### Figura 75

Representación gráfica del área bajo la curva del modelo de cambio climático de la especie *Dalea coerulea*



**Fuente:** La investigación

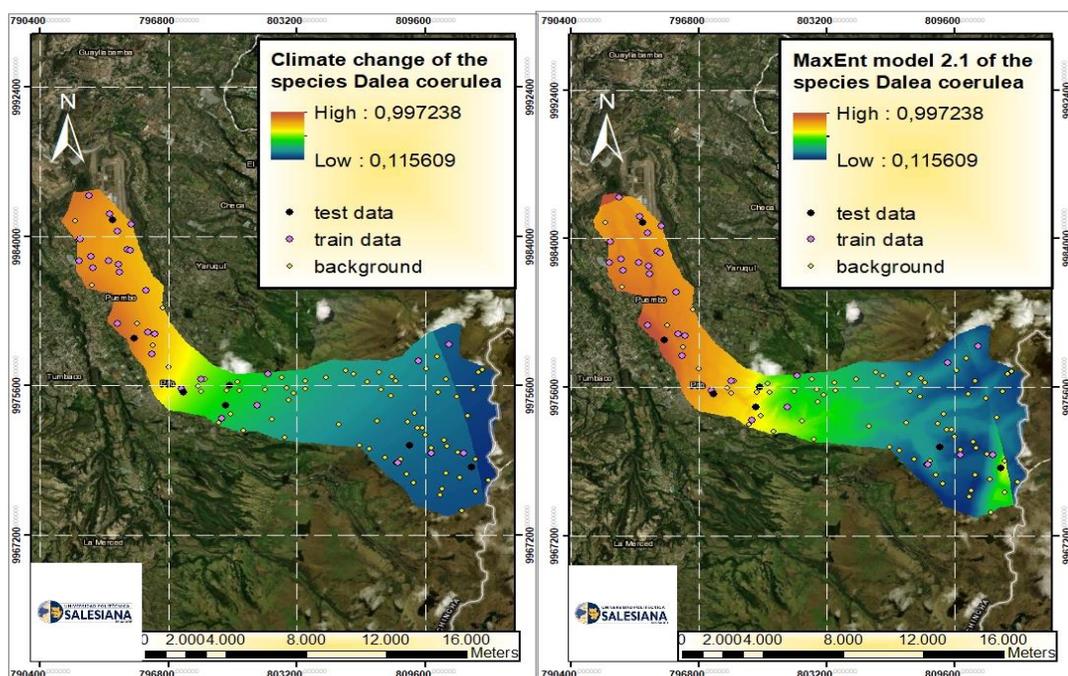
#### 4.9.3. Resultado gráfico analizando la distribución potencial del modelo de Máxima Entropía bajo escenario de cambio climático de la especie *Dalea coerulea*

A continuación, podemos observar en la Figura 76 que en la imagen izquierda se aprecia el escenario de cambio climático para la especie *Dalea coerulea* y en la derecha el modelo óptimo de la especie *Dalea coerulea*. Se puede observar como la especie va disminuyendo su presencia en la zona alta de la microcuenca, en la zona media se repliega hacia la parte baja de la microcuenca

haciendo que la especie disminuya y se agrupe específicamente en la parte baja de la microcuenca del río Guambi donde existía más abundancia, Se ajusta la escala colorimétrica del modelo de cambio climático al modelo óptimo de la especie *Dalea coerulea* a los valores 0,115609 como valor mínimo y 0,997238 como valor máximo en la escala.

**Figura 76**

*Escenario de cambio climático de la especie Dalea coerulea.*



**Fuente:** La investigación

#### 4.10. Escenario de Cambio Climático para la Especie *Solanum nigrescens*

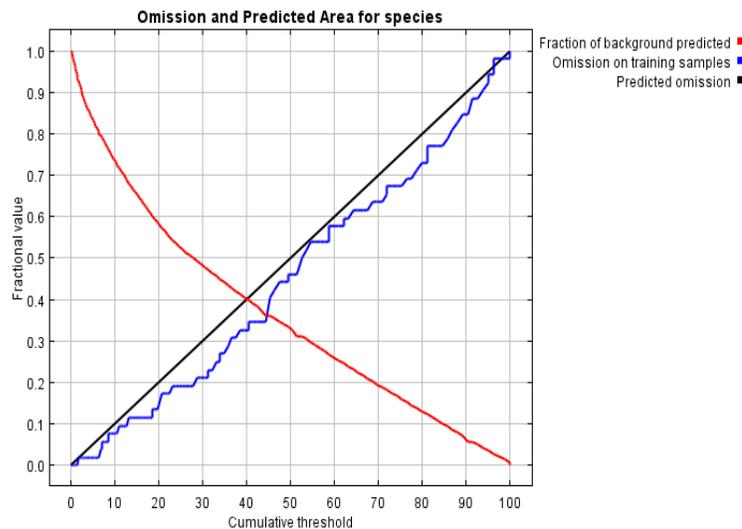
##### 4.10.1. Resultados de las curvas del área de omisión y predicción.

como se aprecia en la Figura 77 los puntos de intersección entre la curva de la predicción de las fracciones aleatorias de los datos de fondo con los datos de presencia tienen un valor de 40 en el umbral acumulativo, y en relación con las fracciones de los puntos de presencia ubicados por

fuera del área potencial tiene un valor de 46 en el umbral acumulativo. Mientras que los datos de omisión de entrenamiento recorren el umbral acumulativo, la evaluación del fraccionamiento de los datos en el threshold los datos presentan una estabilidad media con los datos de presencia de la especie.

### Figura 77

*Resultado del área de omisión y predicción de la especie Solanum nigrescens del Modelo de cambio climático*



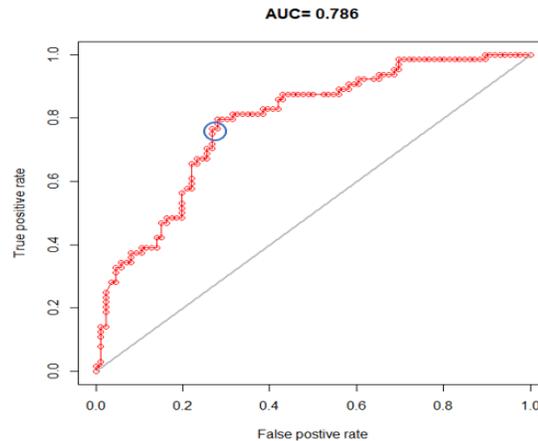
**Fuente:** La investigación

#### ***4.10.2. Evaluación del modelo de cambio climático de Máxima Entropía de la especie Solanum nigrescens***

A continuación, podemos observar en la Figura 78 el gráfico ROC que ilustra la sensibilidad y la especificidad de cada uno de los puntos de corte el cual es de 0,79 el cual se lo puede observar encerrado en un círculo azul dando el área bajo la curva de 0,786.

## Figura 78

Representación gráfica del área bajo la curva del modelo de cambio climático de la especie *Solanum nigrescens*



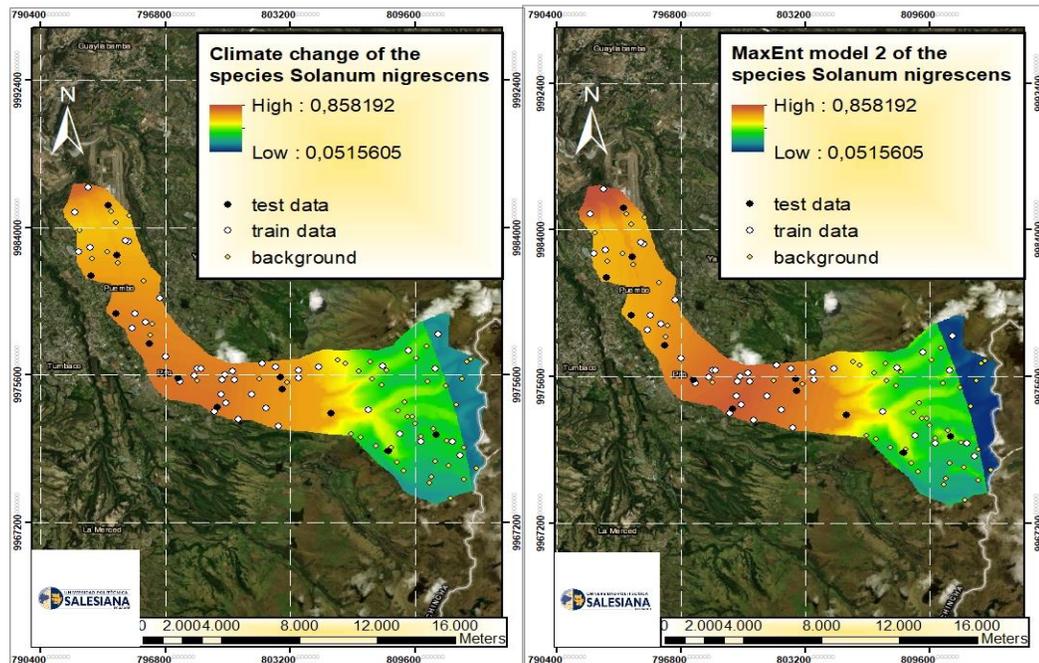
Fuente: La investigación

### 4.10.3. Resultado gráfico analizando la distribución potencial del modelo de Máxima Entropía bajo escenario de cambio climático de la especie *Solanum nigrescens*

A continuación, podemos observar en la Figura 79 que en la imagen izquierda se aprecia el escenario de cambio climático para la especie *Solanum nigrescens* y en la derecha el modelo óptimo de la especie *Solanum nigrescens*. Se puede observar como la especie va disminuyendo su presencia en la zona alta de la microcuenca, pero podemos observar que la resiliencia de la especie hace que se pueda adaptar a las condiciones variantes del clima como se aprecia en la escala de colores de la zona media y baja de la microcuenca del río Guambi. Se ajusta la escala colorimétrica del modelo de cambio climático al modelo óptimo de la especie *Solanum nigrescens* los valores 0,0515605 como valor mínimo y 0,858192 como valor máximo en la escala.

## Figura 79

### *Escenario de cambio climático de la especie Solanum nigrescens*



Fuente: La investigación

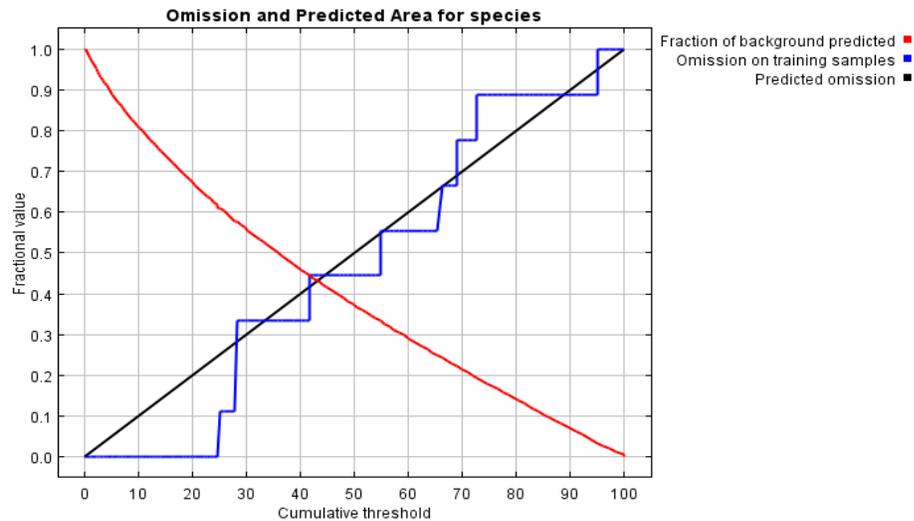
#### 4.11. Escenario de Cambio Climático para la Especie *Hypericum laricifolium*

##### 4.11.1. Resultados de las curvas del área de omisión y predicción.

A continuación, podemos observar en la Figura 80, como se relacionan directamente las líneas de omisión y predicción en un punto de intercepción entre la curva de la predicción de las fracciones aleatorias de los datos de fondo, las fracciones de los puntos de presencia ubicados por fuera del área potencial y con los datos de presencia en el modelo de cambio climático tienen un valor de 45 en el umbral acumulativo, presenta una estabilidad variables y débil esto se debe a la cantidad de datos de presencia que se analiza en el modelo.

## Figura 80

Resultado del área de omisión y predicción de la especie *Hypericum laricifolium* del Modelo de cambio climático



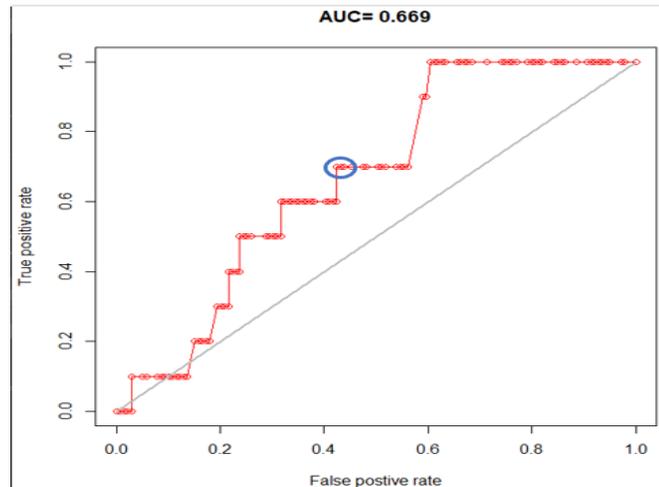
Fuente: La investigación

### 4.11.2. Evaluación del modelo de cambio climático de Máxima Entropía de la especie *Hypericum laricifolium*

A continuación, podemos observar en la Figura 81 el gráfico ROC que ilustra la sensibilidad y la especificidad de cada uno de los puntos de corte el cual es de 0,7 el cual se lo puede observar encerrado en un círculo azul dando el área bajo la curva de 0,7.

## Figura 81

Representación gráfica del área bajo la curva del modelo de cambio climático de la especie *Hypericum laricifolium*



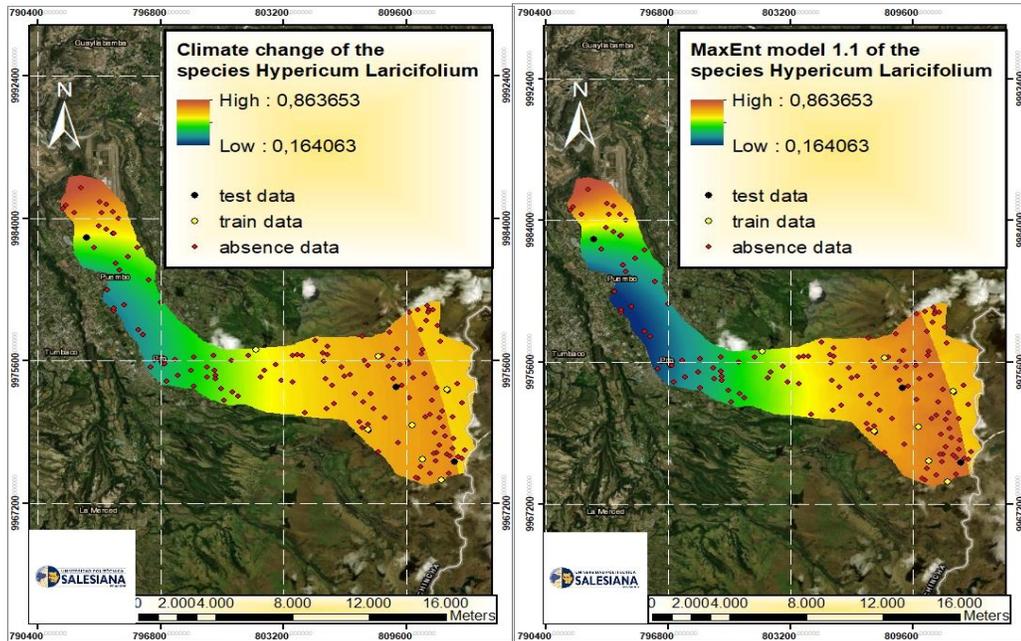
Fuente: La investigación

### 4.11.3. Resultado gráfico analizando la distribución potencial del modelo de Máxima Entropía bajo escenario de cambio climático de la especie *Hypericum laricifolium*

A continuación, podemos observar en la Figura 82 que en la imagen izquierda se aprecia el escenario de cambio climático para la especie *Hypericum laricifolium* y en la derecha el modelo óptimo de la especie *Hypericum laricifolium*. Se puede observar como la especie existe y es óptima en la zona alta y baja de la microcuenca, pero con la variación climática el nicho ecológico de la especie va disminuyendo, pero también se puede observar que la resiliencia de la especie es buena ante las circunstancias climáticas. Se ajusta la escala colorimétrica del modelo de cambio climático al modelo óptimo de la especie *Hypericum laricifolium* los valores 0,164063 como valor mínimo y 0,863653 como valor máximo en la escala.

**Figura 82**

*Escenario de cambio climático de la especie Hypericum laricifolium*



Fuente: La investigación

#### **4.12. Resultados Obtenidos de la Evaluación del Modelo de Cambio Climático para las tres Especies Vegetales**

A continuación, en la Tabla 21 podemos observar un cuadro resumen de los valores de la evaluación de los modelos óptimos de máxima entropía bajo escenario de cambio climático

**Tabla 21**

*Valores de la evaluación de los modelos de cambio climático de las tres especies vegetales*

<b>Tipo de modelo utilizado en el cambio climático</b>	<b>Valor de AUC</b>	<b>Valor de COR</b>	<b>(TPR+TNR)</b>
<b>Modelo 2.1 de la especie Dalea coerulea</b>	<b>0,7999</b>	<b>0,4995</b>	<b>0,38</b>
<b>Modelo 2 de la especie Solanum Nigrescens</b>	<b>0,7872</b>	<b>0,4805</b>	<b>0,65</b>
<b>Modelo 1.1 de la especie Hypericum Laricifolium</b>	<b>0,6694</b>	<b>0,1493</b>	<b>0,56</b>

**Fuente:** La investigación

#### **4.13. Discusión**

Para la abundancia como para los modelos de máxima entropía obtenidos para la distribución potencial de las tres especies vegetales de estudio (Dalea coerulea, Solanum nigrescens, Hypericum laricifolium) están relacionados directamente con las variables ambientales de altitud y temperatura e indirectamente con la precipitación y la velocidad del viento, como expresa (Díaz Vicente et al., 2012), al analizar un macro conjunto de especies vegetales como un bosque de coníferas y encinos permite conocer qué condiciones bióticas y abióticas les permiten aprovechar los recursos de manera óptima y eficiente para su desarrollo, por ende su reproducción manteniendo la permanencia en el ecosistema analizado. En nuestro estudio podemos demostrar que en un mismo nicho ecológico existen varios factores ambientales limitantes para la existencia de cada una de las especies de estudio. En la especie Dalea coerulea se puede observar que en la codificación del modelo MaxEnt tiene la capacidad de evaluar por pixel la microcuenca del río Guambi y escoger las variables ambientales que mejor se interrelacionan con los datos de presencia

por ejemplo en el modelo dos, se utilizan todas las 12 variables ambientales y como datos de fondo un background definido aleatoriamente por código el R; donde MaxEnt considera que 6 variables contribuyen al modelo que son altitud precipitación, humedad, isothermalidad, temperatura intermedia diurna, velocidad del viento y cuatro para la permutación del mismo que son altitud, humedad, velocidad del viento y temperatura máxima. Para el modelo 2.1 se extraen del análisis a las variables ambientales de humedad y de isothermalidad, dando un ajuste del modelo donde contribuyen 7 variables que son altitud, temperatura intermedia diurna, temperatura media, temperatura máxima, precipitación, temperatura mínima y rango anual de temperatura, en la permutación varían las cuatro variables ambientales las cuales son altitud, temperatura intermedia diurna, precipitación y temperatura mínima, dando un ajuste en el valor de AUC y de entropía como un modelo óptimo para la distribución potencial de la especie *Dalea* (S. J. Phillips et al., 2009). Esta consideración en la permutación es aceptable, ya que se conoce que la especie *Dalea coerulea* (Mora María y Ulloa Nathalia, 2020). Es una planta arbustiva que se desarrolla en un rango altitudinal entre 1000 y 4000 msnm, en un rango de temperatura media entre 5 y 35°C, se considera a esta especie dominante en bajas altitudes (Díaz Vicente et al., 2012), como se puede apreciar en la Figura 83, considerando que tiene una resistencia mayor a la sequía o variaciones de precipitación que la especie *Hypericum laricifolium* que se desarrolla en altitudes mayores. Cabe mencionar que las variables ambientales predominantes para los tres modelos óptimos de las tres especies en estudio es la altitud donde podemos encontrar que las especies *Dalea coerulea* y *Solanum nigrescens* son predominantes en la zona media-baja de la microcuenca mientras que la especie *Hypericum laricifolium* se desarrolla en la zona alta de la microcuenca y la temperatura mínima se la considera como base en cada especie para distinguir como la distribución potencial

se comporta en cada zona de la microcuenca, ya que las especies son sensibles ante estos parámetros ambientales según nos indican los distintos modelos aplicados.

Para determinar los mejores modelos que se representen de manera gráfica y estadística, se evalúan los valores de AUC y entropía los cuales mientras el valor sea mayor se interpreta que el sesgo es menor, dando una predicción confiable (S. B. Phillips et al., 2006a), como podemos observar los mejores modelos que representan la distribución potencial de las tres especies en estudio se encuentran en el apartado 4.7 de resultados, el AUC es directamente proporcional al punto de corte máximo entre la sensibilidad y especificidad en la curva COR; y dicha curva es sensible al tipo de datos que se utilicen como fondo y las variables ambientales correlacionadas con los datos de presencia (Jaime Cerda y Lorena Cifuentes, 2011). Si utilizamos las ausencias reales como datos de fondo en un marco de datos pequeño como es el caso del modelo óptimo de la especie *Hypericum laricifolium*, al igual que condicionar las variables ambientales permite ajustar el modelo reduciendo el sesgo reflejado en el valor de AUC en comparación de sus otros tres modelos para dicha especie. En el caso de los modelos óptimos de las especies vegetales *Dalea coerulea* y *Solanum nigrescens* que utilizan el background definido aleatoriamente por el código en R como datos de fondo, su representación se la puede confirmar en la Figura 35 y Figura 49 donde se representan las curvas de las áreas de omisión y predicción, dando como resultado una estabilidad fuerte entre los datos de omisión de los datos de entrenamiento con la omisión predicha y mientras que los datos de la fracción de los datos de fondo formen una curva descendente el modelo se considera aceptable.

Cuando existe una variación en las condiciones climáticas reales como lo enuncia (Quesada Quirós et al., 2016), las especies se comportan de forma única al igual que su nicho ecológico y se

correlacionan entre ellos, por ejemplo la especie *Dalea coerulea* (Mora María y Ulloa Nathalia, 2020) se va replegando hacia la zona baja de la microcuenca donde existen los mayores valores de presencia real, por ende se nota que su nicho ecológico disminuye considerablemente con el cambio climático mientras que la especie *Solanum nigrescens* (Bartolomé y Muñoz, n.d.), frente al cambio climático representa un estado de adaptabilidad y resiliencia ya que aumenta su población en la zona media-baja de la microcuenca, mientras que las especies de la zona alta disminuyen en pocas cantidades pero aún existe presencia de las mismas.

La especie *Hypericum Laricifolium* (Katya Romoleroux et al., 2016), se aprecia que el nicho ecológico no es afectado considerablemente con la variación climática aunque la presencia de la especie si se puede ver afectada ya que en datos reales de campo no se encontraron muchas especies para su registro, por consecuencia una variación leve como en el caso de este modelo afectada un poco en su distribución potencial, pero si la variación de las condiciones climáticas fueran bruscas la especie es probable que tienda a desaparecer con mayor facilidad que las otras dos especies de estudio

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

Una buena herramienta para generar un muestreo aleatorio es ArcMap, una vez generado el mapa de ubicaciones aleatorias en el límite superficial de la microcuenca del río Guambi con sus coordenadas se puede escoger las tres especies que se encontraban en el manual de vegetación del DMQ, confirmando de forma in-situ así encontrando la abundancia de cada especie aplicando la metodología de cuadrantes.

Para poder construir un modelo adecuado que represente la distribución y el nicho ecológico de cada especie de estudio se tomó en cuenta las 8 estaciones REMMAQ para extraer sus datos ambientales y así poder generar rasters que van a permutarse con los datos de presencia de las especies, guardando en los respectivos formatos para que el código de MaxEnt en RStudio pueda pronosticar la distribución potencial más efectiva.

El mejor modelo que representa la distribución de la especie *Dalea Coerulea* en el modelo 2.1 de máxima entropía. El mejor modelo que representa la distribución de la especie *Solanum Nigrescens* en el modelo 2 de máxima entropía. El mejor modelo que representa la distribución de la especie *Hypericum Laricifolium* en el modelo 1.1 de máxima entropía.

Los modelos de cambio climático fueron considerados con una variación de aumento en sus valores reales, se considera una réplica en la variación climática de años anteriores para así dimensionar una especulación real ya que con un registro histórico de ocurrencias se puede modelar y dimensionar la distribución potencial de las especies de estudio frente a un cambio climático que está ocurriendo en la actualidad de forma paulatina y severa.

La resiliencia de la especie *Dalea coerulea* es muy baja esto representa que la especie es muy sensible a las variaciones climáticas y es directamente proporcional a su entorno o nicho ecológico el cual si variamos las condiciones climáticas la especie tiende agruparse en una zona específica para mantener su estabilidad y supervivencia.

El nicho ecológico de la especie *Solanum nigrescens* se lo puede considerar estable ya que la especie se adapta a varias condiciones climáticas y aprovecha de estas para desarrollarse dando así un alto valor en su resiliencia. Se puede concluir de esta especie que frente a cambios climáticos más severos no es tan probable que desaparezca, al contrario, disminuiría su abundancia, pero se adaptaría con facilidad a dicha variación climática extrema.

La especie *Hypericum Laricifolium* es escasa en su abundancia real, pero importante para el ecosistema de la microcuenca del Rio Guambi ya que representa a una planta arbustiva emblemática de los páramos andinos, es difícil de encontrarla ya que es susceptible a las variaciones bruscas del clima, cabe mencionar que, aunque su nicho ecológico se mantenga óptimo la especie puede ser afectada hasta su desaparición por factores indirectos como el cambio climático.

## **5.2. Recomendaciones**

Tomar en cuenta que las posiciones geográficas de los datos aleatorios de muestreo se encuentren disponibles para realizar el levantamiento de información de las tres especies seleccionadas en el estudio y llevar un formato para anotar los datos en el cuadernillo de campo.

Tener actualizada las herramientas informáticas ArcMap, RStudio para poder utilizar todos los comandos en el desarrollo del modelo de distribución potencial de especies.

Para poder utilizar MaxEnt en RStudio debemos cargar los paquetes y librerías correspondientes para utilizar todas las funciones requeridas para el análisis de máxima entropía.

Debemos considerar en la elaboración de los rasters el tamaño de celda, número de columnas y número de filas deben ser los mismos en todos, al igual que el formato que admite MaxEnt para su análisis que debe ser los datos de presencia en csv y las variables ambientales en ASCII.

Para el modelo MaxEnt debemos considerar las entradas en nuestro estudio los datos de presencia en formato dataframe y las variables de entrenamiento en formato dataframe, estos argumentos deben ser especificados por separado en el código RStudio de MaxEnt, al igual que especificar los datos de fondo ya sean ausencias o background.

Es importante evaluar los modelos ya sea de distribución potencial de especies y de cambio climático para estar seguros de que el comportamiento del modelo es claro y refleja datos de importancia ambiental.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, P., & Real, R. (2012). Favourability: Concept, distinctive characteristics and potential usefulness. *Naturwissenschaften*, 99(7), 515–522. <https://doi.org/10.1007/s00114-012-0926-0>
- Adrian Baddeley. (2022). *spatstat*. <https://cran.r-project.org/web/packages/spatstat/index.html>
- Aeropuerto. (n.d.). *El Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre de Quito*. Retrieved January 4, 2022, from <https://www.aeropuertoquito.aero/es/15-conozca-su-aeropuerto/250-conozca-su-aeropuerto.html>
- Bartolomé, A., & Muñoz, M. (n.d.). *HIERBA MORA, CHIPILÍN, JÍCAMA y BLEDO Para alimentarse con calidad y economía*.
- Berger, A. L., della Pietra, V. J., & della Pietra, S. A. (1996). *A Maximum Entropy Approach to Natural Language Processing*.
- Citores, L., Ibaibarriaga, L., Lee, D. J., Brewer, M. J., Santos, M., & Chust, G. (2020). Modelling species presence–absence in the ecological niche theory framework using shape-constrained generalized additive models. *Ecological Modelling*, 418. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.108926>
- Cruz María, & Nathalia Ulloa. (n.d.). *Evaluación de la actividad antimicrobiana y antiinflamatoria de flavonoides presentes en las flores de Dalea coerulea (L.f.) Schinz & Thell*.
- Dang, A. T. N., Kumar, L., Reid, M., & Anh, L. N. T. (2021). Modelling the susceptibility of wetland plant species under climate change in the Mekong Delta, Vietnam. *Ecological*

*Informatics*, 64. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101358>

DataCamp. (n.d.-a). *Maxent*. Retrieved June 12, 2022, from <https://www.rdocumentation.org/packages/dismo/versions/1.3-5/topics/maxent>

DataCamp. (n.d.-b). *stack*. Retrieved June 21, 2022, from <https://www.rdocumentation.org/packages/utils/versions/3.6.2/topics/stack>

Demján, P., Dreslerová, D., Kolář, J., Chuman, T., Romportl, D., Trnka, M., & Lieskovský, T. (2022). Long time-series ecological niche modelling using archaeological settlement data: Tracing the origins of present-day landscape. *Applied Geography*, 141. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2022.102669>

Díaz Vicente, Sosa Ramírez, Joaquín Pérez Salicrup, & Diego R. (2012). *DISTRIBUCIÓN Y ABUNDANCIA DE LAS ESPECIES ARBÓREAS Y ARBUSTIVAS EN LA SIERRA FRÍA, AGUASCALIENTES, MÉXICO TREES AND SHRUBS DISTRIBUTION AND ABUNDANCE IN SIERRA FRIA, AGUASCALIENTES, MEXICO* (Vol. 34). México.

Eduardo, G., Porras, A., Luis, J., Cedeño, V., & Jácome, P. S. (2016). *PROYECCIONES CLIMÁTICAS DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA PARA ECUADOR, BAJO DISTINTOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO*.

Edzer Pebesma. (2022). *sp: Classes and Methods for Spatial Data*. <https://cran.r-project.org/web/packages/sp/index.html>

Elar, I. E., Osorio, C., & Sig, E. (2009). *PRIMERA GUIA*. [https://mappinggis.com/wp-content/uploads/2012/04/MANUAL\\_ARCGIS-basico.pdf](https://mappinggis.com/wp-content/uploads/2012/04/MANUAL_ARCGIS-basico.pdf)

Estefanía Vargas, L., & Mesa Fuquen, E. (2021). *Introducción al análisis de datos con RStudio*.  
[www.cenipalma.org](http://www.cenipalma.org)

Fourcade, Y., Engler, J. O., Rödder, D., & Secondi, J. (2014). Mapping species distributions with MAXENT using a geographically biased sample of presence data: A performance assessment of methods for correcting sampling bias. *PLoS ONE*, 9(5).  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097122>

Guillera-Arroita, G., Lahoz-Monfort, J. J., & Elith, J. (2014). Maxent is not a presence-absence method: A comment on Thibaud et al. *Methods in Ecology and Evolution*, 5(11), 1192–1197.  
<https://doi.org/10.1111/2041-210X.12252>

Hijmans, R. J., & Elith, J. (2021). *Species Distribution Models*.

IGM. (2013). <http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/cartografia-de-libre-acceso-escala-50k/>

J. Ring, M., Lindner, D., F. Cross, E., & E. Schlesinger, M. (2012). Causes of the Global Warming Observed since the 19th Century. *Atmospheric and Climate Sciences*, 02(04), 401–415.  
<https://doi.org/10.4236/acs.2012.24035>

Jaime Cerda, & Lorena Cifuentes. (2011). *Uso de curvas ROC en investigación clínica*.  
[https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0716-10182012000200003#back](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0716-10182012000200003#back)

Mena Valenzuela, Patricio., Carrera, Carlos., & Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales. (2010). *Áreas naturales del Distrito Metropolitano de Quito: diagnóstico bioecológico y socioambiental*. Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales.

[http://inabio.biodiversidad.gob.ec/wp-content/uploads/2018/12/L\\_areas\\_naturales\\_DMQ\\_Bioecologico\\_socioambiental-1.pdf](http://inabio.biodiversidad.gob.ec/wp-content/uploads/2018/12/L_areas_naturales_DMQ_Bioecologico_socioambiental-1.pdf)

Merow, C., Smith, M. J., & Silander, J. A. (2013). A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: What it does, and why inputs and settings matter. *Ecography*, 36(10), 1058–1069. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x>

Mora María, & Ulloa Nathalia. (2020). *Evaluación de la actividad antimicrobiana y antiinflamatoria de flavonoides presentes en las flores de Dalea coerulea (L.f.) Schinz & Thell.*

Mostacedo, B., & Fredericksen, T. S. (n.d.). *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal*. Retrieved January 4, 2022, from <http://www.bionica.info/Biblioteca/Mostacedo2000EcologiaVegetal.pdf>

Navarrete, C. E. (2015). *Distribución potencial de especies Forestales amenazadas y endemias raras mediante modelos de nicho ecológico*. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4038/navarrete-macedo-corina-erika.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Paradis, E., & Ahumada, J. A. (2003). *R para Principiantes*. [https://cran.r-project.org/doc/contrib/rdebuts\\_es.pdf](https://cran.r-project.org/doc/contrib/rdebuts_es.pdf)

Phillips, S. (2010). Network of Conservation Educators & Practitioners A Brief Tutorial on Maxent. In *Source: Lessons in Conservation* (Vol. 3). <http://ncep.amnh.org/linc>

Phillips, S. B., Aneja, V. P., Kang, D., & Arya, S. P. (2006a). Modelling and analysis of the

- atmospheric nitrogen deposition in North Carolina. *International Journal of Global Environmental Issues*, 6(2–3), 231–252. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Phillips, S. B., Aneja, V. P., Kang, D., & Arya, S. P. (2006b). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3–4), 231–259. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLMODEL.2005.03.026>
- Phillips, S. J., Dudiĳk, M., Dudiĳk, D., Elith, J., Graham, C. H., Lehmann, A., Leathwick, J., & Ferrier, S. (2009). Sample selection bias and presence-only distribution models: implications for background and pseudo-absence data. In *Ecological Applications* (Vol. 19, Issue 1).
- Phillips, S. J., & Dudík, M. (2008). *Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation*. <https://doi.org/10.1111/j.2007.0906-7590.05203.x>
- Pucha Franz, Fries Andreas, Cánovas García Fulgencio y, & Oñate Valdivieso Fernando. (2017). *Fundamentos de SIG Water Resources Master Program-UTPL View project Land use and land abandonment View project*. <https://www.researchgate.net/publication/318447525>
- Purcell, C. K. Q., & Stigall, A. L. (2021). Ecological niche evolution, speciation, and feedback loops: Investigating factors promoting niche evolution in Ordovician brachiopods of eastern Laurentia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 578. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2021.110555>
- Quesada Quirós, M., Acosta Vargas, L. G., Arias Aguilar, D., & Rodríguez González, A. (2016). Modelación de nichos ecológicos basado en tres escenarios de cambio climático para cinco especies de plantas en zonas altas de Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 14(34), 01. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v14i34.2991>

R. (n.d.). *Tutorial de R*. Retrieved June 20, 2022, from <https://meet.google.com/vhx-jdum-jtg>

Riedy, C. (n.d.). *Climate Change*. Retrieved December 27, 2021, from [https://www.researchgate.net/publication/311301385\\_Climate\\_Change](https://www.researchgate.net/publication/311301385_Climate_Change)

Robert J. Hijmans. (2022). *raster: Geographic Data Analysis and Modeling*. <https://cran.r-project.org/web/packages/raster/index.html>

Robert J. Hijmans, Steven Phillips, John Leathwick, & Jane Elith. (2021a). *Dismo*. 10–11. <https://cran.r-project.org/web/packages/dismo/dismo.pdf>

Robert J. Hijmans, Steven Phillips, John Leathwick, & Jane Elith. (2021b). *dismo: Species Distribution Modeling*. <https://cran.r-project.org/web/packages/dismo/index.html>

Rodríguez Echeverry, J., & Leiton, M. (2020). Restoration strategies for the páramo of frailejones effected by fires in northern Ecuador. *Ecosistemas*, 29(3). <https://doi.org/10.7818/ECOS.2018>

Roger Bivand. (2022). *rgdal: Bindings for the “Geospatial” Data Abstraction Library*. <https://cran.r-project.org/web/packages/rgdal/index.html>

Rojas Monserrate, A. F., & Resl, R. (n.d.). *Modelamiento con el apoyo de Sistemas de Información Geográfico de los efectos de cambio climático sobre parientes silvestres de cultivos prioritarios para la alimentación y la agricultura: Estudio de caso frijol común*. Retrieved January 4, 2022, from <https://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/2425>

Romo K., Tandalla Daysi, Erler Ralf y, & Navarrete Hugo. (2016). *Plantas vasculares de los bosques de polylepis (Primera)*.

Sierra, R., Campos, F., & Chamberlin, J. (2002). Assessing biodiversity conservation priorities:

Ecosystem risk and representativeness in continental Ecuador. *Landscape and Urban Planning*, 59(2), 95–110. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(02\)00006-3](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(02)00006-3)

Sillero, N., Arenas Castro, S., Enriquez Urzelai, U., Vale, C. G., Sousa Guedes, D., Martínez Freiría, F., Real, R., & Barbosa, A. M. (2021). Want to model a species niche? A step-by-step guideline on correlative ecological niche modelling. *Ecological Modelling*, 456. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2021.109671>

Simon Urbanek. (2021). *rJava: Low-Level R to Java Interface*. <https://cran.r-project.org/web/packages/rJava/index.html>

Soilhi, Z., Sayari, N., Benalouache, N., & Mekki, M. (2022). Predicting current and future distributions of *Mentha pulegium* L. in Tunisia under climate change conditions, using the MaxEnt model. *Ecological Informatics*, 68, 101533. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101533>

Sun, Y., Sun, Y., Yao, S., Akram, M. A., Hu, W., Dong, L., Li, H., Wei, M., Gong, H., Xie, S., Aqeel, M., Ran, J., Degen, A. A., Guo, Q., & Deng, J. (2021). Impact of climate change on plant species richness across drylands in China: From past to present and into the future. *Ecological Indicators*, 132. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108288>

Tababela. (n.d.). *Actualización del Plan de Ordenamiento Territorial de la Parroquia de*. Retrieved January 4, 2022, from [http://sitp.pichincha.gob.ec/repositorio/disenio\\_paginas/archivos/PDOT%20TABABELA%202015.pdf](http://sitp.pichincha.gob.ec/repositorio/disenio_paginas/archivos/PDOT%20TABABELA%202015.pdf)

Terán J. Natalia. (n.d.). *EVALUACIÓNBIOLÓGICA DEL EXTRACTO DE Solanum nigrescensM.*

*Martens & Galeotti, FUNDAMENTADO EN EL USO ETNOBOTÁNICO*. Retrieved July 23, 2022, from <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18114>

Yu, H., Cooper, A. R., & Infante, D. M. (2020). Improving species distribution model predictive accuracy using species abundance: Application with boosted regression trees. *Ecological Modelling*, 432. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109202>

## 7. ANEXOS

### Anexo 1

*Vista de la microcuenca alta, media y baja.*



**Fuente:** La investigación

### Anexo 2

*Reconocimiento de las especies vegetales.*



**Fuente:** La investigación

## CODIGOS DE R

Para implementar el código de los diferentes modelos, lo que está en negrillas se debe considerar como un código adicional para el otro modelo reemplazando los argumentos del

original.

### Anexo 3

#### Códigos de R

#install.packages("raster")	library(rgdal)	library(data.table)
#install.packages("dismo")	library(MaxentVariableSelection)	library(spatstat)
#install.packages("rgeos")	library(shape)	library(ggmap)
#install.packages("sp")	library(ggmap)	library(knitr)
#install.packages("rgdal")	library(readxl)	library(data.table)
#install.packages("rJava")	library(readr)	library(spatstat)
#install.packages("maxent")	library(plyr)	library(ggmap)
#install.packages("sf")	library(plot3D)	library(sp)
#install.packages("ecospat")	library(ggplot2)	library(sf)
#install.packages("knitr")	library(dplyr)	library(WriteXLS)
#install.packages("ecospat")	#install.packages("WriteXLS")	library(readxl)
#install.packages("knitr")	#install.packages("plotly")	

**Fuente:** La investigación

### Anexo 4

#### Código para el modelo 1, 1.1, 2 y 2.1 de la especie *Dalea coerulea*

```
##MODELO 1 y 1.1 (Presencia/Ausencia)
##MODELOS 2 Y 2.1 (Presencia/background)
### Cargar directorio de trabajo
setwd("C:/Users/HP/Desktop/TESIS R W")
###Carga de registros de la especie Dalea Coerulea
daleacsv_coaeru <- read_csv("2_intento/dat_specie/CSVDALEA_COERULAE.csv",
                           col_types = cols(LATI = col_number(),
                                             LONG = col_number(), SPECIE = col_character(),
                                             X = col_number(), Y = col_number()))
###Extraer y trabajar con las coordenadas UTM y transformar en dataframe
daleacsv_coaeru<-daleacsv_coaeru[c(2,3)]
framedalea<-data.frame(daleacsv_coaeru)
###Almacenamiento de los datos
setwd("C:/Users/HP/Desktop/TESIS R W/2_intento/resultado/resultado_maxent/dalea/tablas")
```

```

write.table(framedalea, "1UBICACIÓN_DE_LA_ESPECIE_DALEA_COERULAE")
### Cargar Variables ambientales totales para el modelo 1 y 2
Varia_ambtals<-stack(list.files("C:/Users/HP/Desktop/TESIS R
W/2_intento/arcmgis/formt_ascii", "*.asc$", full.names = T))
### Reemplazar esta línea de código en la variable Varia_ambtals () cuando se requiera cargar
Variables ambientales específicas para el modelo 1.1 y 2.1
Varia_ambtals<-stack(list.files("C:/Users/HP/Desktop/TESIS R
W/2_intento/arcmgis/2formt_ascii", "*.asc$", full.names = T))
###Cargar datos de ausencia para los modelos 1 y 1.1
bkd <- read_csv("C:/Users/HP/Desktop/TESIS R
W/2_intento/dat_specie/csvBACKGROUND_DALEA.csv",
               col_types = cols(LATI = col_number(),
                               LONG = col_number(), X = col_number(),
                               Y = col_number()))
###Extraer y trabajar con las coordenadas UTM y transformar en dataframe
backg<-bkd[c(1,2)]
backg<-data.frame(backg)
###Almacenamiento de los datos
setwd("C:/Users/HP/Desktop/TESIS R W/2_intento/resultado/resultado_maxent/dalea/tablas")
write.table(framedalea,
"1COORDENADAS_DE_AUSENCIA_ESPECIE_DALEA_COERULAE")
###Reemplazar esta línea de código en los datos de ausencia de los modelos 1 y 1.1. Para generar
el background de forma aleatoria por medio de línea de código y almacenar datos
###1. Se utiliza el stack de las variables ambientales
###2. Número de background
###3. Data frame de los puntos de presencia de dalea coerulae
###4. Excluir los datos de presencia
###5. Convertir a data frame
bagnd<-randomPoints(Varia_ambtals,n=111,p=framedalea,prob = TRUE,excludep = TRUE)
bagnd<-as.data.frame(bagnd)
names(bagnd)=c("X","Y")
setwd("C:/Users/HP/Desktop/TESIS R W/maxnt.program/RES_cc")
write.table(bagnd, "2DATOS_DE_FONDO_DALEA_COERULAE")
###Función kfold de datos
###Los datos de presencia de la dalea coerulea se dividen aleatoreamente en 5 grupos
fold1<-kfold(framedalea,k=5)
###Extraer el 20% como datos de test y 80% como datos de entrenamiento de los datos de
presencia de la especie dalea coerulea y almacenarlos
m1odel20test<-framedalea[fold1==3,]
m1odel80train<-framedalea[fold1!=3,]
setwd("C:/Users/HP/Desktop/TESIS R W/2_intento/grap_datos/DALEA")
write.table(m1odel20test,"dalea_test")
write.table(m1odel80train,"dalea_train")
###Vinculacion de los datos de entrenamiento con los de fondo y guardado de datos
t1rainpts<-rbind(m1odel80train,backg)
setwd("C:/Users/HP/Desktop/TESIS R W/2_intento/resultado/resultado_maxent/dalea/tablas")
write.table(t1rainpts,
"1DATOS_DE_PRESENCIA_Y_BACKGROUND_80%_DALEA_COERULAE")
###Codificar la tabla donde 1 representa a los datos de presencia y 0 representa los datos de fondo
presabs1<-c(rep(1,nrow(m1odel80train)),rep(0,nrow(backg)))
presabs1<-as.data.frame(presabs1)
###Entrenamiento de los datos de clima

```

```

###Generamos un data frame de entranamiento donde extraemos las variables ambientales y la
vinculacion de datos de entrenamiento con los de fondo
trainclima<-as.data.frame(extract(Varia_ambtals,t1rainpts))
setwd("C:/Users/HP/Desktop/TESIS R W/2_intento/resultado/resultado_maxent/dalea/tablas")
write.table(trainclima,
"1VARIABLES_AMBIENTALES_VS_DATA_80%_DALEA_COERULAE")
###Para los modelos 2 y 2.1 aumentar estas líneas de código
###Vinculación en forma de columna, los datos de 1 y 0 con la data frame de entrenamiento
paraa.m<-cbind(presabs1,trainclima)
paraa.m<-na.omit(paraa.m)
setwd("C:/Users/HP/Desktop/TESIS R W/2_intento/resultado/resultado_maxent/2_1dalea")
write.table(bagnd, "2PARAA.M")
###Extraemos la primera columna y la guardamos como data frame
presabss.m<-paraa.m[,1]
presabss.m<-data.frame(presabss.m)
setwd("C:/Users/HP/Desktop/TESIS R W/2_intento/resultado/resultado_maxent/2_1dalea")
write.table(presabss.m, "2DATOS_DE_FONDO_80%_DALEA_COERULAE")
###Extaremos las variables ambientales 80% test
trainclima.m<-paraa.m[c(2,3,4,5,6,7)]
trainclima.m<-data.frame(trainclima.m)
str(trainclima.m)
setwd("C:/Users/HP/Desktop/TESIS R W/2_intento/resultado/resultado_maxent/2_1dalea")
write.table(trainclima.m, "2VARIABLES_AMBIENTALES_80%_DALEA_COERULAE")
###Creación del modelo MAXIMA ENTROPIA
###1.x= Entrenamiento de los datos de clima
###2. p= Codificación de la tabla 1 y 0 Data frame de las variables ambientales para 80% de los
datos
###3. Cuando se trabaja en formato dataframe los argumentos arg y silent no se considera en el
modelo
###4. path=Ubicacion de los resultados en una carpeta de interes
ma<-maxent(x = trainclima,p = presabs1,args=NULL,silent=FALSE,
path="C:/Users/HP/Desktop/TESIS R W/2_intento/resultado/resultado_maxent/dalea")
ma
###Predicción de la distribucion potencial de la especie Dalea coerulea
###1.ma= Modelo de máxima entropía
###2. Varia_ambtals= stack de variables ambientales en formato raster
###3. Almacenamiento en formato raster de la predicción de distribución potencial de la especie
s<-predict(ma,Varia_ambtals)
spplot(s,main="DISTRIBUCIÓN DALEA COERULEA")
writeRaster(s,"modelo_1_prediccion.asc")
###Evaluación del modelo de test y curva ROC
e1 <- dismo::evaluate(ma, p =m1odel20test , a=bagnd, x=Varia_ambtals)
e1
plot(e1, 'ROC')
###Evaluar el modelo MaxEnt para los datos de entrenamiento y curva ROC
ee1 <- dismo::evaluate(ma, p =m1odel80train , a=bagnd, x=Varia_ambtals)
ee1
plot(ee1, 'ROC')
###Evaluar el modelo MaxEnt del total de los datos de presencia y curva ROC
ee11 <- dismo::evaluate(ma, p =framedalea , a=bagnd, x=Varia_ambtals)
ee11
plot(ee11, 'ROC')

```

**Fuente:** La investigación

### **Código para el modelo 1, 1.1, 2 y 2.1 de la especie Solanum nigrescens**

Para el desarrollo de los modelos de la especie Solanum nigrescens el único cambio que se debe hacer a las líneas de código originales son las siguientes.

#### **Anexo 5**

##### *Código para el modelo 1, 1.1, 2 y 2.1 de la especie Solanum nigrescens*

```
1. Subir los datos de presencia de la especie Solanum nigrescens
Solanum_Nigrescens <- read_csv("2_intento/dat_especie/CSV/Solanum_Nigrescens.csv",
                             col_types = cols( SPECIE = col_character(),
                                                X = col_number(), Y = col_number()))
2. Subir las variables ambientales específicas para los modelos 1.1 y 2.1
Varia_ambtals<-stack(list.files("C:/Users/HP/Desktop/TESIS R
W/2_intento/arcmgis/5formt_ascii", "*.asc$", full.names = T))
```

**Fuente:** La investigación

### **Código para el modelo 1, 1.1, 2 y 2.1 de la especie Hypericum laricifolium**

Para el desarrollo de los modelos de la especie Hypericum Laricifolium el único cambio que se debe hacer a las líneas de código originales son las siguientes.

#### **Anexo 6**

##### *Código para el modelo 1, 1.1, 2 y 2.1 de la especie Hypericum laricifolium*

```
1. Subir los datos de presencia de la especie Hypericum Laricifolium
Hypericum_Laricifolium <- read_csv("C:/Users/HP/Desktop/TESIS R
W/2_intento/dat_especie/CSV/Hypericum_Laricifolium.csv",
col_types = cols(X = col_number(), Y = col_number()))
2. Subir las variables ambientales específicas para los modelos 1.1 y 2.1
Varia_ambtals<-stack(list.files("C:/Users/HP/Desktop/TESIS R
W/2_intento/arcmgis/4formt_ascii", "*.asc$", full.names = T))
```

**Fuente:** La investigación