



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
Instituto Tecnológico de Cd. Victoria



**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIUDAD VICTORIA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

TESIS

Para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Biología

(Clave de CONAHCYT 002408)

**CONSIDERACIÓN DE LOS HONGOS DEL ORDEN BOLETALES EN LOS ESTUDIOS
TÉCNICOS JUSTIFICATIVOS POR CAMBIO DE USO DE SUELO EN TERRENOS
FORESTALES**

Presenta:

Ing. Ricardo Solano Mora

No de control: **G-22380016**

Director

Dr. Jesús García Jiménez

Coodirector

Dr. Leccinum Jesús García Morales

Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. Diciembre, 2024

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TESIS

Ciudad Victoria, Tam., a 22/noviembre/2024
OFICIO: DEPI-309/2024

C. RICARDO SOLANO MORA
CANDIDATO AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN BIOLOGÍA
NO. DE CONTROL: G-22380016
PRESENTE.

Por recomendación de su H. Comité Tutorial, se le **AUTORIZA** imprimir y reproducir digitalmente la tesis: "**CONSIDERACIÓN DE LOS HONGOS DEL ORDEN BOLETALES EN LOS ESTUDIOS TÉCNICOS JUSTIFICATIVOS POR CAMBIO DE USO DE SUELO EN TERRENOS FORESTALES**", que tuvo a bien desarrollar en la División de Estudios de Posgrado e Investigación de este instituto.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
"Verdad, Honestidad y Servicio"



ADRIANA MEXICANO SANTOYO
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



INSTITUTO TECNOLÓGICO
DE CD. VICTORIA
DEPARTAMENTO DE
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN

c. c. p. Expediente



Bldv. Emilio Portes Gil No. 1301, C.P. 87010 Cd. Victoria, Tamaulipas Tel. (834) 153-2000, Ext. 385
e-mail: dposgrado@cdvictoria.tecnm.mx tecnm.mx | cdvictoria.tecnm.mx



CARTA DE AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TESIS

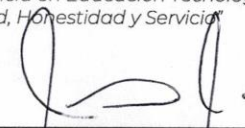
Ciudad Victoria, Tam., a 20/11/2024

C. ADRIANA MEXICANO SANTOYO
JEFE DE LA DEPI
PRESENTE

Los miembros del Comité Tutorial del estudiante Ricardo Solano Mora del programa de Maestría en Ciencias en Biología, con Número de Control G-22380016, certificamos que después de haber sometido a revisión académica la tesis titulada: "Consideración de los hongos del Orden Boletales en los Estudios Técnicos Justificativos por Cambio de Uso de Suelo en Terrenos Forestales", que fue dirigida por el C. Jesús García Jiménez, acordamos la ACEPTACIÓN del documento para obtener el grado de "MAESTRO EN CIENCIAS EN BIOLOGÍA", dado que cumple con los criterios expresados en los lineamientos para la Operación de Estudios de Posgrado del Tecnológico Nacional de México.

ATENTAMENTE

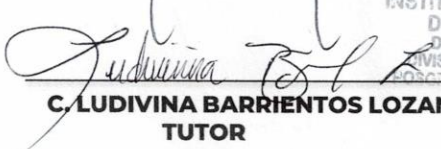
Excelencia en Educación Tecnológica®
"Verdad, Honestidad y Servicio"



C. JESÚS GARCÍA JIMÉNEZ
DIRECTOR



C. LECCINUM JESÚS GARCÍA MORALES
CODIRECTOR



C. LUDIVINA BARRIENTOS LOZANO
TUTOR



C. GONZALO GUEVARA GUERRERO
TUTOR SUPLENTE

c. c. p. Expediente



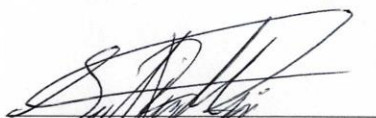
Bldv. Emilio Portes Gil No. 1301, C.P. 87010 Cd. Victoria, Tamaulipas Tel. (834) 153-2000, Ext. 385
e-mail: dposgrado@cdvictoria.tecnm.mx | tecnm.mx | cdvictoria.tecnm.mx



CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

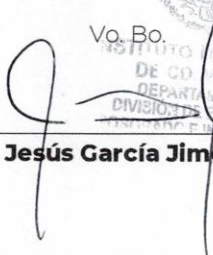
En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Tecnológico Nacional de México, campus Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, el que suscribe, **C. Ricardo Solano Mora** como estudiante de la Maestría en Ciencias en Biología de esta Institución, con No. de Control **G-22380016**, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas o académicas, de procedencia nacional o internacional, que deriven del trabajo de investigación que realicé bajo la dirección del Profesor, **C. Jesús García Jiménez**. Por tal motivo, **OTORGO LOS DERECHOS DE AUTORÍA DE MI TESIS "Consideración de los hongos del Orden Boletales en los Estudios Técnicos Justificativos por Cambio de Uso de Suelo en Terrenos Forestales" DE DICHA INVESTIGACIÓN** al Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria. Las patentes y secretos industriales que deriven de la tesis serán registrados a nombre del Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria y las regalías económicas distribuidas equitativamente entre esta Institución, el Director de la Tesis y quien suscribe, de acuerdo con las negociaciones entre las tres partes. También, **ME COMPROMETO A NO REALIZAR NINGUNA ACCIÓN** que dañe el proceso de aprovechamiento comercial de dichos productos a favor de ésta misma Institución.

Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, a 21 de noviembre de 2024.



C. Ricardo Solano Mora



Va. Bo.

C. Jesús García Jiménez



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

A QUIEN CORRESPONDA

La que suscribe **C. Itzel Rubí Rodríguez de León** coordinadora del programa de la **Maestría en Ciencias en Biología** del Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, hace constar que la tesis titulada **"Consideración de los hongos del Orden Boletales en los Estudios Técnicos Justificativos por Cambio de Uso de Suelo en Terrenos Forestales"** fue desarrollada por el estudiante **C. Ricardo Solano Mora** con número de control **G-22380016**, bajo la dirección de **C. Jesús García Jiménez** y codirección de **C. Leccinum Jesús García Morales**, que el documento de tesis fue evaluado con el software turnitin y se encontró que presenta una semejanza del **8 %** respecto a contenidos publicados en internet.

Por tal motivo, se extiende la presente CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD en Ciudad Victoria, Tamaulipas, a los veintidós días del mes de noviembre de dos mil veinticuatro.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica
"Verdad, Honestidad y Servicio"



INSTITUTO TECNOLÓGICO
DE CD. VICTORIA
DEPARTAMENTO DE
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN



Dra. Itzel Rubí Rodríguez de León
Coordinadora de la Maestría en Ciencias en Biología

c. c. p. Archivo Coordinación.
c. c. p. Expediente.



Bvld. Emilio Portes Gil No. 1301, C.P. 87010 Cd. Victoria, Tamaulipas Tel. (834) 153-2000, Ext. 385
e-mail: dposgrado@cdvictoria.tecnm.mx | tecnm.mx | cdvictoria.tecnm.mx



Agradecimientos

Agradezco el apoyo del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por haberme proporcionado una beca que me permitió realizar mis estudios de posgrado, así como realizar mi investigación. También agradezco al Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria (ITCV) por haberme facilitado las instalaciones para llevar a cabo mis estudios de posgrado, así como mi investigación. Agradezco profundamente a los miembros de mi comité de tesis, el Dr. Jesús García Jiménez, el Dr. Leccinum Jesús García Morales, la Dra. Ludivina Barrientos Lozano, y el Dr. Gonzalo Guevara Guerrero por haberme brindado su orientación y apoyo durante la realización de mis actividades académicas, así como enriquecer mi conocimiento respecto a las áreas de cada uno, y siempre estar al pendiente de mis necesidades académicas. Agradezco a mi esposa, la Ing. Claudia Soad Orozco Martínez por brindarme todo su conocimiento sobre las áreas destinadas a la administración pública, así como apoyarme en la interpretación de los datos. Agradezco a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) por haberme facilitado la información que requerí para la elaboración de mi tesis.

Dedicatorias

Dedico este trabajo a mi esposa, la Ing. Claudia Soad Orozco Martínez, puesto que fue ella quien me animó a iniciar un posgrado, es quien me ha brindado su apoyo de forma incondicional, es quien me ha ayudado y orientado siempre que lo he necesitado, y sobre todo es quien día a día me ha motivado a mejorar mis capacidades, para dar lo mejor de mí y a mejorar mi persona. Gracias por su apoyo, ayuda, cariño y amor que día a día me motivan a dar lo mejor de mí y a nunca tirar la toalla.

Contenido

1.	Introducción	14
2.	Antecedentes	18
3.	Hipótesis.....	23
4.	Objetivos	24
4.1.	Objetivo General	24
4.1.1.	Objetivos Específicos.....	24
5.	Métodos	25
5.1.	Área de estudio.....	25
5.2.	Vegetación y usos de suelo	27
5.3.	Hidrografía	31
5.4.	Fisiografía.....	33
5.5.	Geomorfología	36
5.6.	Climatología.....	38
5.7.	De los Estudios Técnicos Justificativos (ETJ)	45
5.8.	De los datos abióticos.....	46
5.9.	De los Hongos del Orden Boletales (datos bióticos).....	51
5.10.	De la generación de modelos de distribución potencial	53
5.11.	Del análisis de la distribución e importancia de los hongos del Orden Boletales en los ecosistemas afectados y la especificación de posibles impactos ambientales que pudieron haberse obviado	55
5.12.	De la propuesta de medidas de mitigación y compensación adicionales	55
5.13.	Otras actividades realizadas	55
6.	Resultados	57
6.1.	De los Estudios Técnicos Justificativos (ETJ)	57
6.2.	De los datos abióticos.....	58
6.3.	De los Hongos del Orden Boletales (datos bióticos).....	59
6.4.	De la generación de modelos de distribución potencial	61
6.5.	Del análisis de la distribución e importancia de los hongos del Orden Boletales en los ecosistemas afectados y la especificación de posibles impactos ambientales que pudieron haberse obviado	83
6.6.	De la propuesta de medidas de mitigación y compensación adicionales	88

6.7.	Otras actividades realizadas	90
7.	Discusión.....	94
8.	Conclusiones	97
9.	Literatura consultada	98
10.	Anexos.....	105

Índice de figuras

Figura 1. Representación gráfica del área de estudio (Elaboración propia).....	26
Figura 2. Representación gráfica de los tipos de vegetación y usos de suelo presentes en el estado de Tamaulipas (Elaboración propia).	30
Figura 3. Representación gráfica de la hidrografía superficial presente en el estado de Tamaulipas (Gobierno del estado de Tamaulipas, 2017).....	32
Figura 4. Representación gráfica de la fisiografía presente en el estado de Tamaulipas (Elaboración propia).....	35
Figura 5. Representación gráfica de la geomorfología presente en el estado de Tamaulipas (Elaboración propia).....	37
Figura 6. Representación gráfica de los tipos de clima presentes en el estado de Tamaulipas (Elaboración propia).....	44
Figura 7. Generación de la petición de consulta de información en el portal del Instituto Nacional de Transparencia, Acceso a la Información y Protección de Datos Personales (INAI).....	45
Figura 8. Acuse de recepción generado en la plataforma del Instituto Nacional de Transparencia, Acceso a la Información y Protección de Datos Personales (INAI), sobre la consulta de los Estudios Técnicos Justificativos (ETJ) autorizados para el Estado de Tamaulipas.....	46
Figura 9. Visualización de la interfaz del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), de donde se descargaron parte de los datos para la caracterización abiótica y biótica.	47
Figura 10. Visualización de la interfaz del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), de donde se descargaron parte de los datos para la caracterización abiótica.	47
Figura 11. Representación gráfica de la exposición del terreno en el estado de Tamaulipas (Elaboración propia).....	49
Figura 12. Vista de la página oficial de Worldclim de donde se descargaron los archivos de las variables bioclimáticas.	51
Figura 13. Vista de una porción de la base de datos que se generó sobre el registro de la colección micológica del Herbario del Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria (ITCV).	52
Figura 14. Uso de la herramienta Maxent para la generación de los modelos de distribución potencial.	53
Figura 15. Generación y edición de mapas en el programa ArcGIS 10.5.....	56
Figura 16. Respuesta de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) sobre los Estudios Técnicos Justificativos (ETJ) solicitados para el Estado de Tamaulipas.	57
Figura 17. Ubicación de las especies de hongos del Orden Boletales, por tipo de vegetación (Serie VII de Uso de Suelo y tipos de Vegetación (USV), Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI)) para el Estado de Tamaulipas (Elaboración propia).	60

Figura 18. Representación del modelo de Maxent para <i>Leccinellum griseum</i>	81
Figura 19. Representación del modelo de Maxent para <i>Chroogomphus jamaicensis</i>	82
Figura 20. Representación del modelo de Maxent para <i>Exsudoporus floridanus</i>	82
Figura 21. Modelo de distribución potencial de la especie <i>Leccinellum griseum</i> , donde se muestra la sobreposición con las isoyetas e isothermas para el Estado de Tamaulipas (Elaboración propia).	91
Figura 22. Modelo de distribución potencial de la especie <i>Chroogomphus jamaicensis</i> , donde se muestra la sobreposición con las isoyetas e isothermas para el Estado de Tamaulipas (Elaboración propia).	92
Figura 23. Modelo de distribución potencial de la especie <i>Exsudoporus floridanus</i> , donde se muestra la sobreposición con las isoyetas e isothermas para el Estado de Tamaulipas (Elaboración propia).	93

Índice de tablas

Tabla 1. Tipos de vegetación y usos de suelo presentes en el estado de Tamaulipas (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 2018).	27
Tabla 2. Tipos de clima presentes en el estado de Tamaulipas (Elaboración propia basado en información de Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (2008))......	39
Tabla 3. Precisión del modelo de acuerdo con el Área Bajo la Curva (AUC).	54
Tabla 4. Interpretación mediante intervalos para los valores obtenidos a partir del Área Bajo la Curva (AUC).	54
Tabla 5. Tipos de vegetación y/o usos del suelo afectados por la autorización de cambio de uso del suelo en terrenos forestales, del año 2010 al 2024 (Elaboración propia con base en la información de Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (2018))......	57
Tabla 6. Muestras totales, muestras de entrenamiento, iteraciones, el Área Bajo la Curva (AUC) de entrenamiento y porcentaje de contribución de las variables bioclimatológicas por especie (Elaboración propia).	62
Tabla 7. Mayor porcentaje de contribución de cada variable bioclimática para las especies <i>Chroogomphus jamaicensis</i> , <i>Leccinellum griseum</i> y <i>Exsudoporus floridanus</i>	72
Tabla 8. Probabilidad de encontrar a la especie <i>Chroogomphus jamaicensis</i> , <i>Leccinellum griseum</i> o <i>Exsudoporus frostii</i> en una determinada superficie de un Estudio Técnico Justificativo (ETJ) autorizado (ha), por tipo de vegetación y/o uso de suelo, por especie (Elaboración propia).	85

Resumen

La legislación ambiental mexicana contempla solicitar ante la SEMARNAT, mediante Estudios Técnicos Justificativos por Cambio de Uso del Suelo (ETJ), el cambio de uso de suelo en terrenos forestales, y su evaluación en materia de impacto ambiental, previo a realizar cualquier actividad productiva. En dichos estudios se debe demostrar que la biodiversidad de los ecosistemas afectados se mantenga, por lo cual, es de suponerse que en tales documentos también se consideró la presencia de organismos esenciales como son los hongos del Orden Boletales, que para este tema de investigación se enfocará en los estudios ingresados en el estado de Tamaulipas. La presente investigación propone analizar si fueron considerados los hongos del Orden Boletales en los ETJ, y en caso de no haberlo hecho determinar las especies probables que pudieron estar presentes en cada ecosistema afectado, y proponer medidas adicionales de mitigación y compensación. Se solicitó a la SEMARNAT la totalidad de ETJ que se han solicitado y autorizado en Tamaulipas del año 2010 al año 2024. Se revisaron los listados florísticos y micológicos de 93 ETJ, sin encontrar especies micológicas; se trabajó con 965 registros de 118 especies del Orden Boletales de la Colección Micológica del Herbario del Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria (ITCV); mediante el uso del software MAXENT se generaron 118 modelos de distribución potencial de hongos; se elaboró cartografía de la distribución potencial de cada especie sobrepuesta con los polígonos de ETJ autorizados, y se generaron medidas adicionales de mitigación y compensación ambiental. Se concluyó que no se consideran los hongos del Orden Boletales en los procesos de evaluación de los ETJ y no se dio cumplimiento al precepto legislativo del artículo 93 de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS). Sin embargo, los resultados de este estudio podrían ser una herramienta que fortalezca las capacidades de la SEMARNAT.

1. Introducción

El Estudio Técnico Justificativo (ETJ) por Cambio de Uso de Suelo en Terrenos Forestales (CUSTF), *“es el documento que el interesado debe presentar junto con la solicitud de autorización de cambio de uso de suelo en terrenos forestales ante la autoridad competente de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)”* (SEMARNAT, 2017). Estos documentos contienen información técnica y científica sobre el impacto ambiental de un proyecto o actividad en particular, que para este estudio se referirá al cambio de uso de suelo en terrenos forestales, y el cómo afectará a los recursos bióticos y abióticos. Estos estudios se generan para evaluar las consecuencias ambientales de un proyecto, identificar problemas y riesgos potenciales, con el fin de proponer medidas de mitigación para minimizar los impactos negativos. Los estudios técnicos justificativos también son necesarios para cumplir con las regulaciones y leyes ambientales. Por ejemplo, si un terreno forestal es propuesto para un desarrollo urbano, es necesario realizar estudios técnicos justificativos para evaluar los impactos ambientales y proponer medidas para minimizar los impactos negativos en la biodiversidad y el ecosistema. Lo anterior se hace con la finalidad de generar bastante evidencia para demostrar que la remoción de la vegetación es viable en un terreno forestal, y por ende obtener la autorización de CUSTF por excepción, en los términos establecidos el artículo 93 de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (SEMARNAT, 2017).

A su vez, conviene hacer la aclaración que aquellos que pueden realizar el trámite de CUSTF son todas aquellas *“personas físicas, morales y entidades y dependencias de la administración pública que acrediten la propiedad, derecho o posesión de los terrenos donde se pretenda realizar el CUSTF”* (SEMARNAT, 2015a).

Ahora bien, todo ETJ que se presente ante la SEMARNAT deberá acompañarse de una Manifestación de Impacto Ambiental (MIA), ya sea en modalidad particular o regional, y ésta también tendrá que evaluarse en cuanto al aspecto del impacto ambiental que tendrá determinado proyecto en los recursos bióticos y abióticos del área forestal. La MIA *“es un documento con base en estudios técnicos con el que las personas (físicas o morales) que desean realizar alguna(s) obra(s) o actividad (es), analizan y describen las condiciones ambientales previas a la realización del proyecto con la finalidad de evaluar los impactos potenciales que la construcción y operación*

de dichas obras o la realización de las actividades que pudieran causar al ambiente, definen y proponen las medidas necesarias para prevenir, mitigar y/o compensar los impactos ambientales generados por el proyecto” (SEMARNAT, 2015b).

Los documentos anteriores son indispensables para obtener las autorizaciones correspondientes en materia forestal y de impacto ambiental, para llevar a cabo cualquier proyecto que se pretenda realizar en áreas forestales que son competencia de la Federación. Ambos tienen su origen en la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS) y en la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), pues ambas tienen como propósito el *“garantizar el derecho de toda persona a vivir en un medio ambiente sano para su desarrollo, salud y bienestar”* (Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, 2022), así como *“conservar y restaurar el patrimonio natural y contribuir al desarrollo social, económico y ambiental del país, mediante el manejo integral sustentable de los recursos forestales en las cuencas hidrográficas. También se tiene como objetivo el promover la prevención y el manejo integral de los agentes disruptivos que afecten a los ecosistemas forestales, mitigar sus efectos y restaurar los daños causados por éstos”* (Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, 2022).

Ahora bien, de forma específica la LGDFS establece en su artículo 93, párrafo primero, lo siguiente: *“La Secretaría solo podrá autorizar el cambio de uso de suelo en terrenos forestales por excepción, previa opinión técnica de los miembros del Consejo Estatal Forestal de que se trate y con base en los estudios técnicos justificativos cuyo contenido se establecerá en el Reglamento, los cuales demuestren que la biodiversidad de los ecosistemas que se verán afectados se mantenga, y que la erosión de los suelos, la capacidad de almacenamiento de carbono, el deterioro de la calidad del agua o la disminución en su captación se mitiguen en las áreas afectadas por la remoción de la vegetación forestal”* (Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, 2022). Lo anterior nos indica que la evaluación se realizará para *“autorizar el cambio de uso de suelo en terrenos forestales”*, pero ¿qué es un terreno forestal? La misma Ley lo define como se escribe a continuación: *“Es el que está cubierto por vegetación forestal o vegetación secundaria nativa, y produce bienes y servicios forestales”* (Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, 2022). Si bien el concepto aclara qué es un terreno forestal, también conviene aclarar a qué se refiere exactamente por concepto de vegetación forestal. A continuación, se escribe la definición legal de

vegetación forestal: *“Es el conjunto de plantas y hongos que crecen y se desarrollan en forma natural, formando bosques, selvas, zonas áridas y semiáridas, y otros ecosistemas, dando lugar al desarrollo y convivencia equilibrada de otros recursos y procesos naturales”* (Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, 2022).

Como puede leerse en párrafos anteriores, la finalidad del ETJ y la MIA en materia de CUS es analizar los impactos ambientales que se generarán sobre las plantas, hongos, fauna, los recursos y procesos naturales de la vegetación forestal. Es aquí donde podemos encontrar la aparición de los factores bióticos y abióticos. Ahora bien, nos enfocaremos en el grupo de los hongos. *“La mayoría de los hongos son pluricelulares y sus cuerpos están constituidos por filamentos tubulares microscópicos, denominados hifas, que se ramifican y entrecruzan. Un conjunto de hifas se conoce como micelio. Lo que vemos sobre la superficie con diversas formas y a veces con “sombbrero” y que también llamamos hongos son los órganos reproductivos de uno de los grupos. Para alimentarse, los hongos primero descomponen su alimento en pequeñas moléculas que después absorben a través de las paredes celulares de sus células. La mayoría se alimentan de materia orgánica muerta (saprobios), otros son parásitos y algunos son depredadores. Durante la reproducción sexual o asexual, los hongos producen esporas que permiten su dispersión hacia nuevos lugares o les ayudan a sobrevivir en condiciones adversas, como la deshidratación o la congelación. También pueden desarrollarse a partir de cualquier fragmento de micelio, por pequeño que sea, aunque esto no ocurre frecuentemente”* (CONABIO, 2022a).

De acuerdo con datos oficiales de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), se tiene un registro en el mundo de la existencia de 70,000 especies de hongos, de las cuales 7,000 se han descubierto en México (CONABIO, 2022b). No obstante, se estima que en el mundo existen entre 2.2 y 3.8 millones de especies, por lo cual aún se requiere mucha investigación taxonómica al respecto (INECOL,2022). Dentro del grupo de los hongos existen varios Ordenes, entre los que destaca el Orden Boletales ya que *“contiene hongos con cuerpos fructíferos variables, como yesqueros, estructuras subterráneas más o menos esféricas, estructuras con forma de estrella, masas negras pulverulentas semisubterráneas, o más frecuentemente setas con pie y sombrero típico, ya sea con el tejido fértil con poros o con láminas”* (Taxateca, n.d.).

El Orden Boletales es un grupo morfológicamente heterogéneo de hongos formadores de setas. En la base de datos de GBIF (2024) se tienen registradas 2,600 especímenes para el Estado de Tamaulipas (GBIF, 2024) que, a pesar de contar con registros variados, estos deben ser “curados” y muchas veces no son confiables, por lo cual se obviaron para el presente estudio. La estimación más actual de hongos para México, con base en la propuesta de Mueller *et al.* (2007), infiere la posibilidad de que dentro del país existe gran diversidad de macrohongos, estimando entre 9 mil y 11 mil especies. Por otra parte, Guzmán (1994, 1995) realizó un análisis para estimar la cantidad de hongos que podrían existir en México, basándose en los criterios de Hawksworth (1991) obteniendo una estimación de entre 120,000 y 140,000 especies de macrohongos y microhongos. A su vez, Guzmán (1998a) realizó un análisis sobre el desarrollo de los estudios micológicos, y encontró que desde el siglo XVI, y hasta mediados del siglo XX existían 665 publicaciones relacionadas con los hongos; el 70% de dichos estudios fueron elaborados por autores extranjeros y citaron aproximadamente 1,000 especies para México. Guzmán (1998a) estima que en México se conocen 4,500 especies de macrohongos y 2,000 de microhongos, basando su análisis en revisiones bibliográficas y especímenes de colecciones. Dichos datos representaban el 6.6% de dichas especies conocidas para el mundo, tomando en cuenta lo señalado por Kirk *et al.* (2008) donde mencionan que, a la fecha, existían 97,861 especies descritas de hongos en el mundo. Sin embargo, en una estimación más reciente y considerando las propuestas de estimación de Hawksworth, se calcula que en México habría más de 200,000 especies de hongos (Guzmán, 1998a, b), por lo que sólo se conoce el 3.2% de las que crecen en el país. Ahora bien, de acuerdo con García (2013), el Orden Boletales para los estados de Tamaulipas, Nuevo León y Coahuila comprende 165 taxones registrados del grupo de hongos mencionado, basados en la clasificación de Singer (1986) y de Binder & Hibbett (2006). Asimismo, García (2013) actualizó el listado de macrohongos para el estado de Tamaulipas, registrando 1,036 taxones. En una estimación más actual, para Tamaulipas se reportan 1,303 especies distribuidas en 184 familias y 549 géneros (García *et al.*, 2024).

2. Antecedentes

La primera Ley Forestal fue expedida el sábado 24 de abril de 1926 por el entonces Presidente Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos, Plutarco Elías Calles. Con el paso de los años se fue modificando el contenido de dicha Ley hasta la publicación en el Diario Oficial de la Federación, de la nueva Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable que se encuentra vigente en la actualidad, y que tuvo su última reforma el 01 de abril de 2024 (Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, 2022).

A su vez, el Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable también ha sufrido modificaciones en su estructura, siendo expedido y publicado el primer Reglamento de la Ley Forestal el 28 de junio de 1944 (Diario Oficial, 1944), hasta la publicación del Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable el 9 de diciembre de 2020 (Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, 2020).

Desde la publicación de la Ley Forestal en el año 1926 ya se consideraba el aprovechamiento de los recursos forestales, así como la conservación de estos (Diario Oficial, 1926), sin embargo, el término Estudio Técnico fue acuñado en el Reglamento de la Ley Forestal del 15 de septiembre de 1950 (Diario oficial, 1950). Previo a este año el primer estudio relativo al tema forestal fue acuñado en el Reglamento de la Ley Forestal del 28 de junio de 1944 como “Estudio Dasonómico” (Diario Oficial, 1944). El contenido de dichos estudios ha variado en cada Reglamento, pues inicialmente la orientación de los mismos era al aprovechamiento de los recursos forestales, así como el espacio que ocupaban, no obstante, ya eran consideradas las fianzas como medio de garantía para asegurar que cualquier daño ocasionado al medio ambiente pudiese subsanarse con la aplicación del recurso económico que el solicitante depositase al Fondo establecido en la Ley Forestal publicada el miércoles 17 de marzo de 1943 (Diario Oficial, 1943). Actualmente dicho Fondo se denomina Fondo Forestal Mexicano (Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, 2022).

El objetivo final de los Estudios Técnicos Justificativos por Cambio de Uso del Suelo en Terrenos Forestales es que la SEMARNAT autorice el cambio de uso de suelo en terrenos

forestales únicamente por excepción, y con base en el contenido del estudio técnico justificativo, a fin de demostrar los siguientes supuestos: *“que la biodiversidad de los ecosistemas que se verán afectados se mantenga, y que la erosión de los suelos, la capacidad de almacenamiento de carbono, el deterioro de la calidad del agua o la disminución en su captación se mitiguen en las áreas afectadas por la remoción de la vegetación forestal. Lo anterior solo se puede realizar previa opinión técnica positiva de los miembros del Consejo Estatal Forestal”* (Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, 2018).

En dichos estudios se vierte información técnica sobre el proyecto en cuestión, así como información legal y vinculatoria con los instrumentos regulatorios en materia ambiental, así como otras materias referentes a los sectores productivos. Sin embargo, la fuente principal de información que se analiza corresponde a factores bióticos y abióticos. Entre los factores abióticos se considera al suelo, al agua y al aire, mientras que en los factores bióticos se considera a la flora, la fauna y el carbono almacenado en la vegetación que será removida. No obstante, existen varios factores de peso que no se han considerado en la elaboración de dichos estudios técnicos (no se encontraron antecedentes sobre su inclusión), como lo son los hongos, los insectos y los microorganismos presentes en cada ecosistema forestal. En el presente documento se tratará específicamente el tema de los hongos, no sin antes rescatar los antecedentes de estos en el estado de Tamaulipas, así como aquellos investigadores que han contribuido en gran medida al conocimiento micológico de este grupo tan abundante y tan poco estudiado en épocas pasadas.

El estado de Tamaulipas es una entidad federativa que no cuenta con tradición culinaria del consumo de hongos, en comparación con otros estados de la República Mexicana como son Oaxaca, Hidalgo, Puebla o el estado de México (Higiene Ambiental, 2009). Sin embargo, debido a lo accidentado de la orografía del estado Tamaulipeco es posible encontrar un gran número de ecosistemas que son propicios para la presencia de un gran número de especímenes de hongos macromicetos micorrizógenos, tanto epígeos como hipogeos. Algunos de los colectores y/o investigadores micólogos que han contribuido al conocimiento de hongos en el estado de Tamaulipas son los siguientes: E. Céspedes; E. Cazares; F. E. San Martín; G. Guevara; G. Guzmán; G. Heredia; G. M. Mueller; G. Zúñiga; G. Guevara; G. Bonito; J. García-Jiménez; J. Trappe; L. Montoya; M. Castellano; R. Valenzuela; S. Chacón Jiménez; V. M. Bandala; F. Hernández. del

Valle, M. Sánchez Flores, O. Ayala Vásquez, J. de la Fuente, A. Vázquez, A. Guerrero, J. García (*com pers*) entre otros.

La mayoría de los trabajos desarrollados son a nivel taxonómico, mientras que otros pocos se han enfocado en determinar algunos índices de similitud en cuanto a la presencia de especies similares en distintos tipos de ecosistemas, así como gradientes altitudinales. El trabajo taxonómico ha sido necesario puesto que en el Estado de Tamaulipas se tenía poco conocimiento sobre hongos, por lo cual desarrollar cualquier otro trabajo relacionado con la estimación de la diversidad y/o la distribución potencial de especies no resultaba factible puesto que la información era escasa.

Entre los micólogos destacados en Tamaulipas, se encuentra García (1999, 2013), pues en dos tesis de posgrado que son de su autoría (“Estudio sobre la taxonomía, ecología y distribución de algunos hongos de la familia Boletaceae (Basidiomycetes, agaricales) de México para obtener el grado de Maestría en Ciencias Forestales” y; “Diversidad de macromicetos en el estado de Tamaulipas, México para obtener el grado de Doctor en Ciencias con especialidad en manejo de recursos naturales”). En la tesis de maestría, el García (1999) estudió 1,500 especímenes de hongos, de los cuales logró identificar 212 taxa (García, 1999), mientras que el mismo autor en su estudio doctoral analizó 1,036 especímenes de hongos, de los cuales 402 resultaron ser micorrícicos (García, 2013).

En este sentido podríamos seguir citando trabajos de más investigadores que han realizado aportes sobre el conocimiento micológico del Estado, como el trabajo de Vargas *et al* (2021) en el que describen parte de la riqueza de hongos micorrícicos arbusculares en el Área Natural Protegida de Altas Cumbres, no obstante, el punto principal de este trabajo no consiste en realizar una recopilación y transcripción de dichos trabajos, sino más bien realizar un análisis de los ETJ, en particular de los listados florísticos y/o micológicos así como los tipos de vegetación de cada proyecto, determinar la presencia de hongos del Orden Boletales, así como generar modelos de distribución potencial de los hongos de este Orden con base en datos de las colectas García J. J., así como de otras fuentes disponibles.

Cabe hacer una aclaración fundamental sobre la disponibilidad de la información de los estudios técnicos justificativos por cambio de uso del suelo en terrenos forestales, y es que a pesar de ser considerados desde la Ley Forestal publicada en el Diario Oficial de la federación el 28 de junio de 1944, los estudios técnicos que cuentan con memoria digital fueron elaborados a partir de la publicación en el DOF de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable el 25 de febrero de 2003 (Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, 2018; Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, 2014).

Otro punto importante para tratar es el apartado de la evaluación de impacto ambiental que se hizo con base en los listados florísticos de cada ETJ. En la administración pública federal es necesario ingresar dos trámites a evaluación con el fin de solicitar la autorización de cambio de uso de suelo en terrenos forestales. El primero de ellos es el ETJ que ya describimos anteriormente, y el segundo es una Manifestación de Impacto Ambiental (MIA), ya sea en modalidad Particular que requiera cambio de uso de suelo, o modalidad Regional. Dentro de la MIA se encuentra la metodología desarrollada para realizar la evaluación del impacto ambiental considerando los factores bióticos y abióticos de las áreas destinadas para la realización de diversos proyectos acordes con el sector productivo al que pertenecen.

La gran mayoría de los ETJ y MIA no consideran al grupo de hongos en sus evaluaciones, sin embargo, el número de estudios que no lo consideran es incierto puesto que no se ha realizado este tipo de trabajo anteriormente, ya que no se encuentran antecedentes sobre este tema. Por tal motivo, no es posible explicar aún el fenómeno que se pretende estudiar, y tampoco existen teorías sobre el mismo.

En cuanto a la generación de modelos de distribución potencial para hongos para la República Mexicana, Zamora (2024) estimó la “*distribución conocida y potencial de 48 especies de hongos silvestres comestibles en la región central del país (Distrito Federal, Guanajuato, Hidalgo, Estado de México, Morelos, Puebla, Querétaro, Veracruz y Tlaxcala)*”, generando modelos para 6 Ordenes (Agaricales, Boletales, Cantharellales, Gomphales, Pezizales, y Russulales), y 12 Familias (Agaricaceae, Amanitaceae, Boletaceae, Cantharellaceae,

Clavulinaceae, Gomphaceae, Helvellaceae, Lyophyllaceae, Morchellaceae, Russulaceae, Suillaceae y Tricholomataceae) (Zamora, 2024).

La CONABIO (2024) cuenta con un mapa que muestra los registros de ejemplares de hongos desde el año 1760 hasta el año 2023 con 6,714 especies, y cuyos registros pueden consultarse en el Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB). No obstante, dichos registros solo figuran como puntos de registro y no como áreas de distribución potencial (CONABIO, 2024).

De la información encontrada resalta la de Islas *et al* (2008) para algunos taxones de la Clase Agaricomycetes, detalla que se generaron modelos de distribución potencial para las especies *Amanita cesarea* (Islas *et al*, 2008), *Amanita rubescens* (Islas *et al*, 2008 *ibid*), *Amanita vaginata* (Islas *et al*, 2008 *ibid*), *Boletus aestivalis* (Islas *et al*, 2008 *ibid*), *Boletus edulis* (Islas *et al*, 2008 *ibid*), *Cantharellus cibarus* (Islas *et al*, 2008 *ibid*), *Gomphus floccosus* (Islas *et al*, 2008 *ibid*) *Lycoperdon perlatum* (Islas *et al*, 2008 *ibid*), *Lycoperdon pyriforme* (Islas *et al*, 2008 *ibid*), *Russula brevipes* (Islas *et al*, 2008 *ibid*), *Russula lutea* (Islas *et al*, 2008 *ibid*), *Suillus granulatus* (Islas *et al*, 2008 *ibid*), *Tricholoma flavovirens* (Islas *et al*, 2008 *ibid*) y *Tricholoma magnivelare* (Islas *et al*, 2008 *ibid*), no obstante, dichos trabajos de distribución potencial únicamente se generaron para el estado de Oaxaca.

Derivado de los antecedentes encontrados, resalta que para el Estado de Tamaulipas no se han realizado trabajos similares al que se presenta, puesto que no se conocen modelos de distribución potencial específicamente generados para hongos del Orden Boletales, y que a su vez se analice la consideración de estos en la elaboración, análisis y autorización de los ETJ que se presentan ante la SEMARNAT.

3. Hipótesis

La presencia de hongos del Orden Boletales en un ecosistema forestal es un indicador de un buen estado ambiental. Por lo tanto, si el Cambio de Uso de Suelo en Terrenos Forestales (CUSTF) de un proyecto debe incluir los factores bióticos y abióticos de los ecosistemas que se pretenden afectar, entonces los hongos del Orden Boletales también debieron ser considerados en dicha evaluación, ya que obviar su presencia podría indicar un impacto negativo en el ecosistema, y requerir medidas de mitigación y compensación adicionales.

4. Objetivos

4.1. Objetivo General

Analizar la consideración de los hongos del Orden Boletales en la elaboración de los ETJ; determinar las especies probables que pudieron estar presentes en dichos ecosistemas y los posibles impactos ambientales que se hayan obviado en aquellos casos donde no se hayan considerado, en Tamaulipas.

4.1.1. Objetivos Específicos

1. Examinar los listados florísticos y micológicos de los ETJ en el periodo del 2010 al 2024.
2. Generar una base de datos de la colección micológica del Herbario del ITCV.
3. Generar modelos de distribución potencial de las especies de hongos del Orden Boletales que se distribuyen en el estado de Tamaulipas.
4. Analizar la distribución e importancia de los hongos del Orden Boletales en los ecosistemas afectados y especificar los posibles impactos ambientales que pudieron haberse obviado.
5. Proponer medidas de mitigación y compensación adicionales.

5. Métodos

5.1. Área de estudio

El estado de Tamaulipas “*está ubicado en el noreste del país, limitando al norte con el río Bravo que lo separa de Estados Unidos, al este con el golfo de México (océano Atlántico), al sur con el estado de Veracruz, al suroeste con el estado de San Luis Potosí y al oeste con el estado de Nuevo León. Tiene una superficie territorial de 80,175 km². Es el sexto estado más extenso, abarcando el 4,1 % de la superficie de total del país. Se divide en 43 municipios*” (Tamaulipas, 2023).

Los registros de las colectas almacenadas en el ITCV provienen principalmente de los municipios de Aldama, Casas, Gómez Farías, Güémez, Hidalgo, Jaumave, Miquihuana, Ocampo, San Carlos y Victoria, siendo los municipios de Gómez Farías, Victoria y Miquihuana los que presentan más registros. Dichos ejemplares se colectaron en la Sierra Madre Oriental, unos pocos en la planicie costera del Golfo, Sierra de Tamaulipas y Sierra de San Carlos.

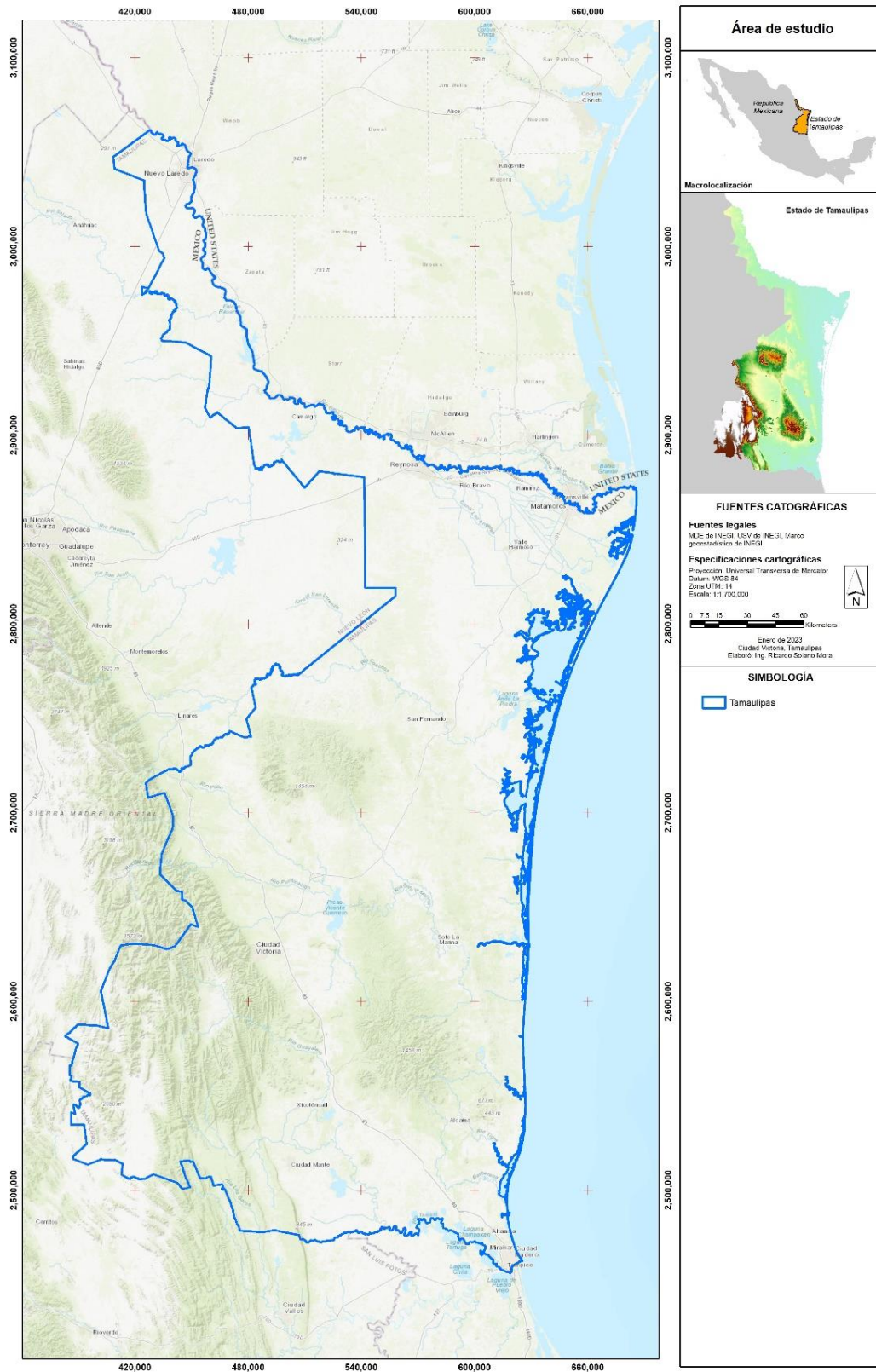


Figura 1. Representación gráfica del área de estudio (Elaboración propia).

5.2. Vegetación y usos de suelo

El estado de Tamaulipas cuenta con una superficie de 7'803,859.71 ha, de las cuales 3'811,600.83 ha presentan cobertura forestal distribuida en 57 tipos de vegetación, y 3'992,258.88 ha presentan 20 usos de suelo distintos al forestal (INEGI, 2018). A continuación, se presenta la tabla de tipos de vegetación y usos de suelo para el estado de Tamaulipas, con la superficie que abarca cada uno:

Tabla 1. Tipos de vegetación y usos de suelo presentes en el estado de Tamaulipas (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 2018).

Tipos de vegetación y usos de suelo	Superficie (ha)
Acuícola	1,247.15
Agricultura de humedad anual	892.33
Agricultura de riego anual	573,334.50
Agricultura de riego anual y permanente	86,022.46
Agricultura de riego anual y semipermanente	18,115.46
Agricultura de riego permanente	45,495.15
Agricultura de riego semipermanente	70,317.23
Agricultura de temporal anual	1,371,603.68
Agricultura de temporal anual y permanente	15,948.52
Agricultura de temporal anual y semipermanente	69,251.45
Agricultura de temporal permanente	4,333.69
Agricultura de temporal semipermanente	12,983.02
Asentamientos humanos	105,654.49
Bosque cultivado	145.98
Bosque de encino	274,537.63
Bosque de encino-pino	65,769.16
Bosque de galería	849.47
Bosque de mezquite	15,641.36
Bosque de pino	27,128.28
Bosque de pino-encino	65,941.47
Bosque de táscate	7,971.71

Tipos de vegetación y usos de suelo	Superficie (ha)
Bosque mesófilo de montaña	21,177.60
Cuerpo de agua	164,058.11
Desprovisto de vegetación	1,819.15
Manglar	4,429.55
Matorral crasicaule	4,410.69
Matorral desértico micrófilo	77,677.34
Matorral desértico rosetófilo	169,842.38
Matorral espinoso tamaulipeco	297,301.58
Matorral submontano	662,238.14
Mezquital tropical	50,783.02
Mezquital xerófilo	100,661.70
Palmar inducido	1,571.42
Palmar natural	682.44
Pastizal cultivado	1,376,234.82
Pastizal halófilo	25,101.28
Pastizal inducido	52,704.54
Pastizal natural	100.01
Selva baja caducifolia	374,746.18
Selva baja espinosa caducifolia	121,623.95
Selva baja subcaducifolia	9,129.83
Selva mediana subcaducifolia	7,180.26
Selva mediana subperennifolia	2,301.02
Sin vegetación aparente	20,525.72
Tular	12,537.18
Vegetación de dunas costeras	16,555.33
Vegetación de galería	4,047.55
Vegetación halófila hidrófila	170,714.98
Vegetación halófila xerófila	10,028.51
Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino	5,088.72
Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino-pino	864.39

Tipos de vegetación y usos de suelo	Superficie (ha)
Vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia	70,729.63
Vegetación secundaria arbórea de selva baja espinosa caducifolia	69,641.72
Vegetación secundaria arbórea de selva baja espinosa subperennifolia	1,171.74
Vegetación secundaria arbórea de selva mediana subperennifolia	81.41
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino	112,358.51
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino-pino	6,554.18
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de mezquite	2,451.23
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino	17,267.83
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino	1,478.53
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de táscate	293.07
Vegetación secundaria arbustiva de matorral crasicaule	553.31
Vegetación secundaria arbustiva de matorral desértico micrófilo	5,196.25
Vegetación secundaria arbustiva de matorral desértico rosetófilo	324.72
Vegetación secundaria arbustiva de matorral espinoso tamaulipeco	570,501.69
Vegetación secundaria arbustiva de matorral submontano	150,903.46
Vegetación secundaria arbustiva de mezquital tropical	327.55
Vegetación secundaria arbustiva de mezquital xerófilo	11,247.00
Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia	134,827.43
Vegetación secundaria arbustiva de selva baja espinosa caducifolia	40,805.91
Vegetación secundaria arbustiva de selva baja subcaducifolia	55.48
Vegetación secundaria arbustiva de selva mediana subcaducifolia	3,320.72
Vegetación secundaria arbustiva de selva mediana subperennifolia	1,932.91
Vegetación secundaria arbustiva de vegetación de dunas costeras	115.05
Vegetación secundaria arbustiva de vegetación halófila hidrófila	1,710.72
Vegetación secundaria arbustiva de vegetación halófila xerófila	118.11
Vegetación secundaria herbácea de selva baja caducifolia	569.97
Total general	7,803,859.71

En la siguiente figura se aprecia la disposición espacial del uso de suelo y tipos de vegetación presentes en el estado de Tamaulipas:

5.3. Hidrografía

La red hidrográfica “inicia en las sierras altas formando corrientes que son alimentadas principalmente por la lluvia, las cuales descienden y recorren a través de importantes afluentes que se van distribuyendo en cuatro regiones hidrológicas: Bravo-Conchos (Región Hidrológica (RH) 24), San Fernando-Soto La Marina (RH25), Panuco-Tamesí (RH 26) y El Salado (RH37). Los Ríos cortos descienden de la zona montañosa, paralelos entre sí y cuyo poco caudal aumenta gradualmente mientras se avanza hacia el sur del Estado. El más caudaloso es el Río Bravo, ubicado en prácticamente el extremo norte del Estado, asimismo, destacan el Bravo y sus afluencias Salado y Sabinas, el San Fernando y el Soto La Marina, en cuyos márgenes se han establecido la mayoría de las poblaciones importantes; hacia el sur las corrientes importantes que encontramos son el Guayalejo, que en su curso inferior recibe el nombre de Tamesí, antes de unirse al caudal del Pánuco y posteriormente desembocar en el Golfo de México” (Gobierno del estado de Tamaulipas, 2017).

En lo que refiere al almacenamiento en los cuerpos de agua, “el Estado cuenta con tres presas principales, cuyo uso principal es la generación de energía eléctrica, riego agrícola y el consumo humano. Al norte del Estado, en el Municipio de Guerrero, se localiza la Presa Falcón, mientras que en los Municipios Camargo se ubica la Presa Marte R. Gómez, así como la Presa Vicente Guerrero, ubicada en el Municipio de Padilla, cuyos afluentes principales son los Ríos Purificación, San Carlos y Pilon. Cabe mencionar que la presa más grande del Estado es la Presa Internacional Falcón, con una capacidad de 5'038,000,000 m³” (Gobierno del estado de Tamaulipas, 2017).

En la **Figura 3** se aprecia la disposición espacial de la hidrografía superficial presente en el estado de Tamaulipas:

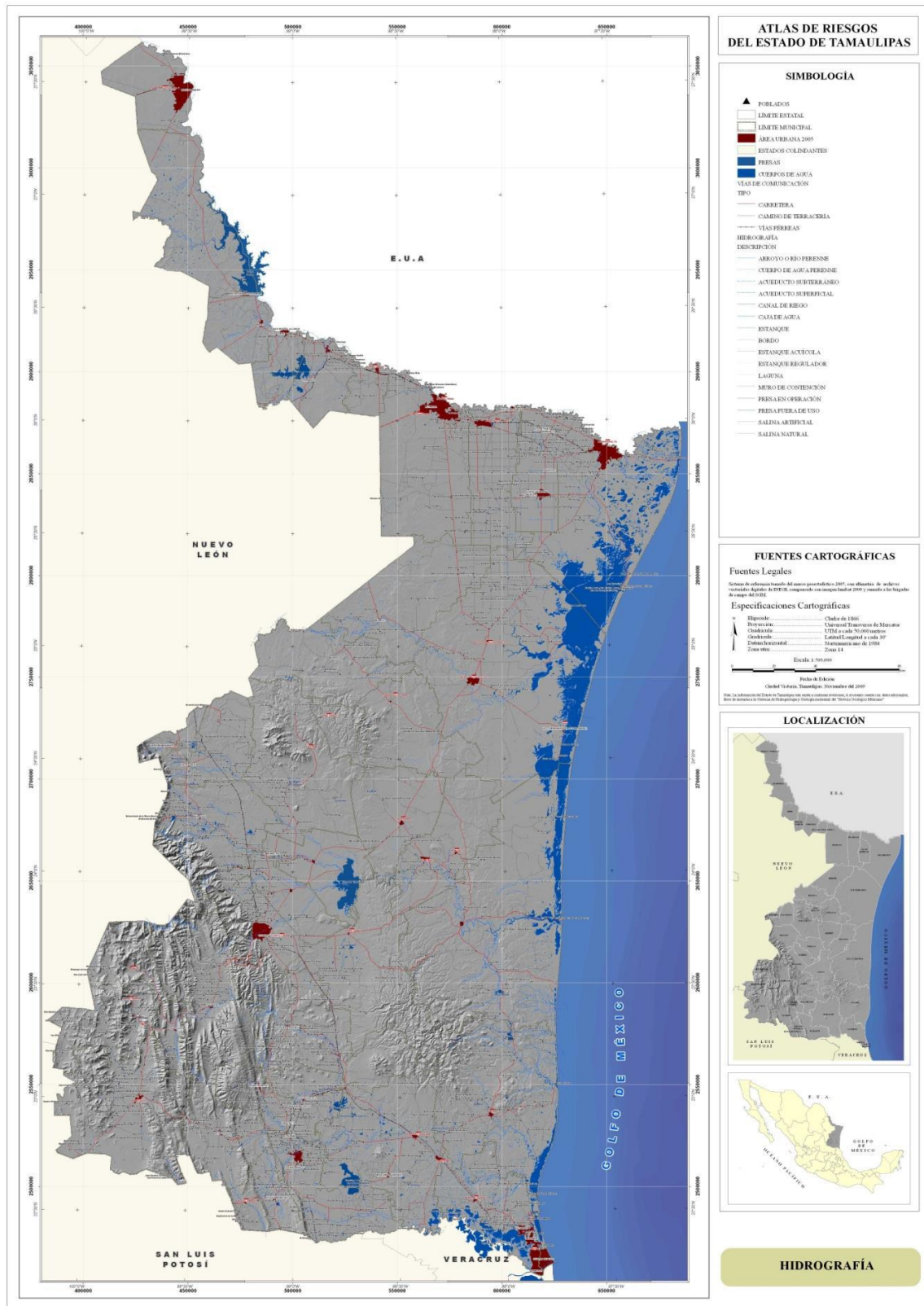


Figura 3. Representación gráfica de la hidrografía superficial presente en el estado de Tamaulipas (Gobierno del estado de Tamaulipas, 2017).

5.4. Fisiografía

“El Estado se ubica dentro de los límites de tres Provincias Fisiográficas que conforman el territorio mexicano, la zona montañosa del suroeste del Estado pertenece a la Provincia Sierra Madre Oriental, las extensas áreas de llanuras costeras, lomeríos y valles, así como las sierras de San Carlos y Tamaulipas que abarcan la mayoría de los terrenos tamaulipecos, corresponden a la Provincia Llanura Costera del Golfo Norte, finalmente hacia la zona noroeste, en la que predominan lomeríos suaves alternados con llanuras dentro de la Provincia Grandes Llanuras de Norteamérica” (Gobierno del estado de Tamaulipas, 2017).

La descripción de las provincias fisiográficas se toma tal cual se describe cada una en el Atlas de riesgos del estado de Tamaulipas (Gobierno del estado de Tamaulipas, 2017), debido a que es una caracterización ya publicada en un documento oficial y la intención de la presente sección es dar a conocer la fisiografía del Estado.

“A. Provincia Fisiográfica Sierra Madre Oriental

La Provincia Sierra Madre Oriental se divide en dos subprovincias: Gran Sierra Plegada y Sierras y Llanuras Occidentales, de manera general están formadas por un conjunto de sierras altas con cumbres, cuyas altitudes oscilan entre 2,000 y 3,000 msnm. Predominan las rocas sedimentarias marinas (calizas, lutitas y areniscas), con edades que varían entre el Cretácico y el Jurásico Superior. En esta provincia abundan cuerpos estructurales de tipo anticlinal y sinclinal, además de una extensa zona de pie de monte, lomeríos, mesetas, llanuras y valles” (Gobierno del estado de Tamaulipas, 2017).

“B. Provincia Fisiográfica Llanura Costera del Golfo Norte

Esta provincia se encuentra subdividida en cuatro subprovincias: Llanuras y Lomeríos, Llanura Costera Tamaulipeca, Sierra de Tamaulipas y Sierra de San Carlos, de manera general se caracteriza por la presencia de relieves contrastantes, desde amplias llanuras interrumpidas por lomeríos, fuerte presencia de sedimentos antiguos ya sea arcillosos y/o arenosos. En el caso

de las llanuras, éstas se encuentran seccionadas por dos sierras: Sierra de Tamaulipas, formada principalmente por calizas afectados por cuerpos intrusivos ácidos, y la Sierra de San Carlos, representada por un conjunto de cuerpos ígneos asociados a calizas. Sus altitudes máximas oscilan entre los 1200 y 1400 msnm. En la zona de la llanura costera destaca la presencia de sedimentos marinos no consolidados en zonas inundables, estos asociados a lomeríos y mesetas aisladas” (Gobierno del estado de Tamaulipas, 2017).

“C. Provincia Fisiográfica Grandes Llanuras de Norteamérica

Representada en el Estado por la Su provincia Llanuras de Coahuila y Nuevo León, a su vez se caracteriza por ser una llanura aluvial con altitudes topográficas máximas entre 300 y 400 msnm. En este caso la zona de llanura es interrumpida por una serie de lomeríos bajos y dispersos, de pendientes suaves, compuestos principalmente por materiales conglomeráticos. Dentro de sus características similares destacan las topoformas formadas por mesetas y valles ubicadas al sur de la provincia” (Gobierno del estado de Tamaulipas, 2017).

En la **Figura 4** se aprecia la disposición espacial de las regiones fisiográficas presentes en el estado de Tamaulipas:

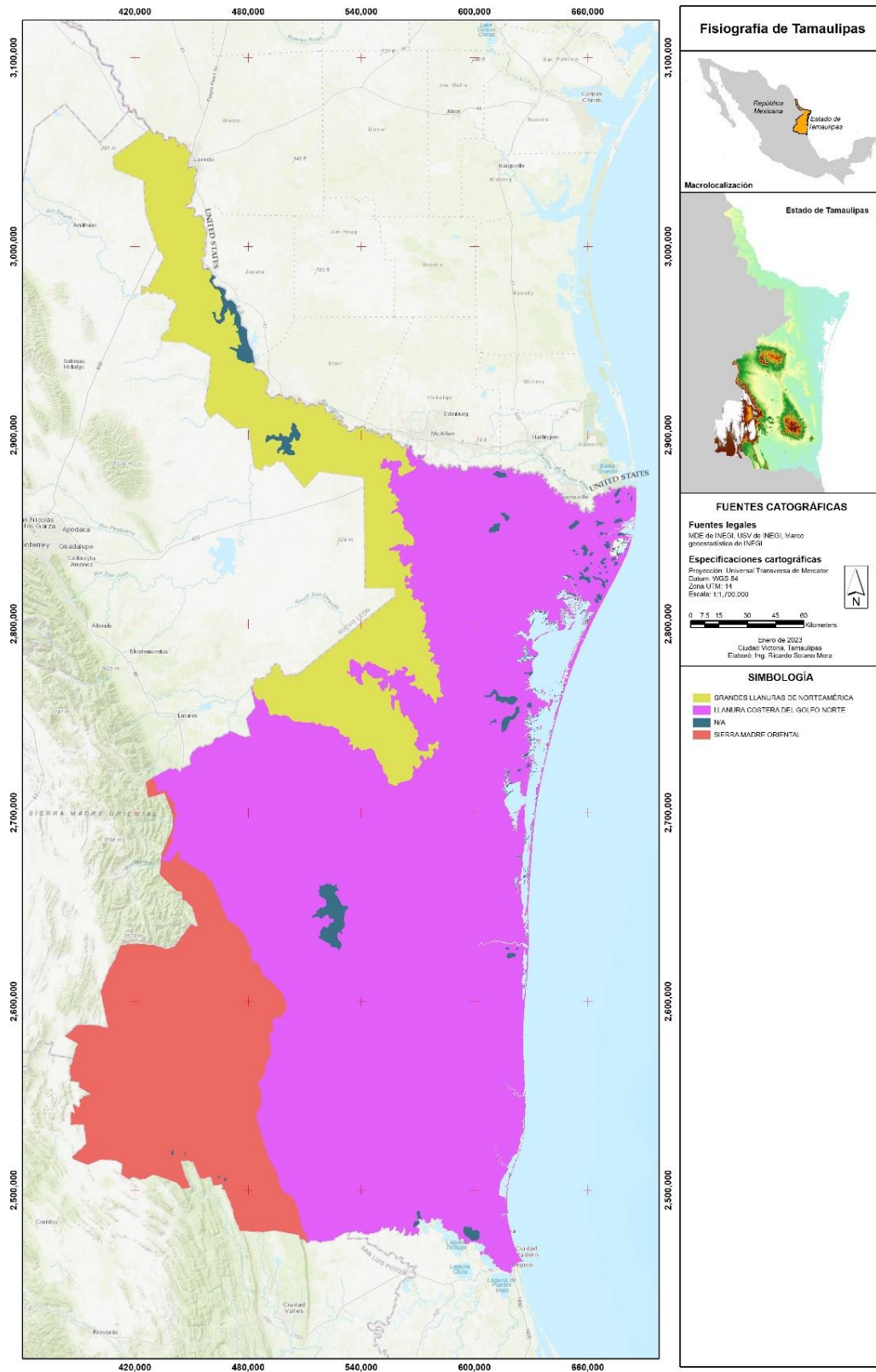


Figura 4. Representación gráfica de la fisiografía presente en el estado de Tamaulipas (Elaboración propia).

5.5. Geomorfología

En el mismo Atlas de riesgos del estado de Tamaulipas (Gobierno del estado de Tamaulipas, 2017), se describe que *“las formas topográficas son una manifestación directa de las estructuras geológicas presentes. Gran parte de las zonas serranas se encuentran en una etapa geomorfológica de juventud, lo anterior a que se tiene la presencia de zonas montañosas con grandes desniveles, vertientes escarpadas y valles estrechos en forma de garganta. Por otro lado, la zona de valles tiende a clasificarse en una etapa geomorfológica de mayor madurez, ya que existe presencia de una serie de fosas sepultadas, vertientes con una inclinación menor, llanuras extensas de inundaciones, además que los ríos principales no presentan grandes cambios de altura topográfica como en la etapa de juventud”* (Gobierno del estado de Tamaulipas, 2017).

En lo que respecta al Estado, *“se caracteriza por la presencia de extensas planicies que se elevan unos cuantos metros sobre el nivel medio del mar, seguido por algunos lomeríos de baja altura. En parte de la superficie estatal se observa un contraste en el relieve topográfico, lo anterior por la presencia de cadenas montañosas altas y alargadas correspondientes a la Sierra Madre Oriental y elevaciones de menor tamaño representadas por las sierras de Tamaulipas y San Carlos. Existen zonas donde al interior de cuerpos elevados se presentan amplios valles, cañadas profundas, llanos, etc., mientras que en los flancos de las principales sierras se observan extensas zonas de pie de montes”* (Gobierno del estado de Tamaulipas, 2017).

En la **Figura 5** se aprecia la disposición espacial de la geomorfología presente en el estado de Tamaulipas:

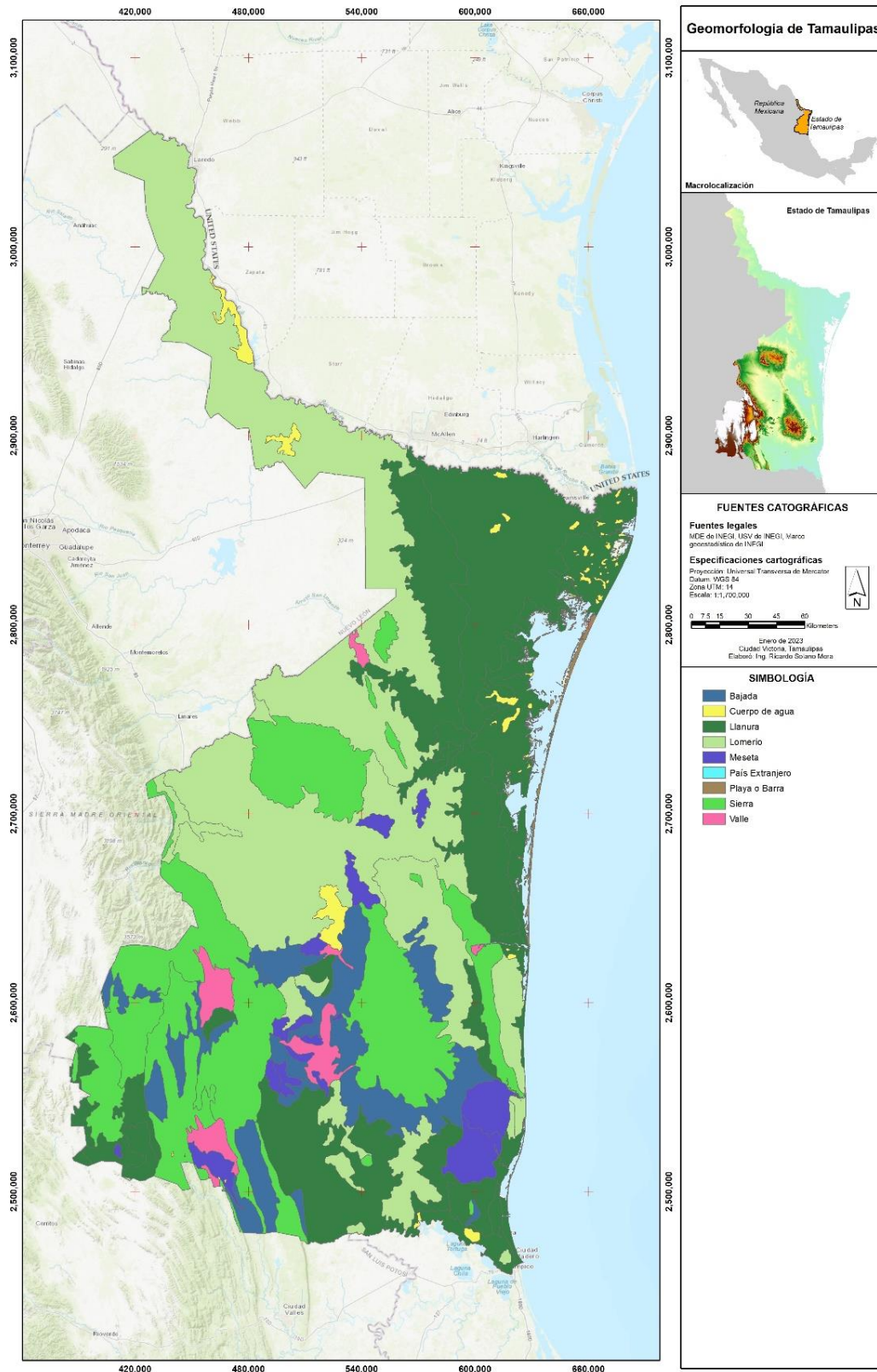


Figura 5. Representación gráfica de la geomorfología presente en el estado de Tamaulipas (Elaboración propia).

5.6. Climatología

Debido a la orografía y topografía del Estado, existe un buen número de climas que tienen presencia sobre el territorio, aunado a que el trópico de cáncer fracciona a la entidad en dos zonas bien definidas: *“el sur con climas cálidos y relativamente húmedos, mientras que en el centro y norte del Estado son más secos con temperaturas extremas más elevadas. La parte cercana al Golfo de México presenta temperaturas menos extremas que el resto de las zonas al interior del Estado”* (Gobierno del estado de Tamaulipas, 2017).

De acuerdo con Köppen, *“en la zona centro y norte del Estado prevalece un clima cálido con lluvias escasas, al sur se registra una temperatura más elevada y húmeda. Siguiendo una línea paralela a la Costa del Golfo de México, la presencia de la Sierra Madre Oriental impide en gran parte que los vientos húmedos lleguen hacia los altiplanos del sur, ocasionando un clima seco; las diferentes altitudes de la sierra determinan la temperatura cálida en la costa, así como un clima templado en el sureste”* (Gobierno del estado de Tamaulipas, 2017).

Resalta que, en el verano, *“la cercanía del mar da lugar a vientos húmedos y ciclones que provocan la precipitación de gran parte de las lluvias anuales; en invierno, las masas de aire polar o “nortes” causan una alta humedad, ocasionando grandes precipitaciones en la zona centro y norte del Estado”* (Gobierno del estado de Tamaulipas, 2017).

En la **Tabla 2** se muestran los tipos de clima presentes en el Estado de Tamaulipas, y se describen las características de temperatura y precipitación, así como la superficie abarcada de cada uno:

Tabla 2. Tipos de clima presentes en el estado de Tamaulipas (Elaboración propia basado en información de Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (2008)).

Tipo de clima	Descripción de la temperatura	Descripción de la precipitación	Superficie (ha)
(A)C(m)	Semicálido húmedo del grupo C, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C.	Lluvias de verano, precipitación del mes más seco mayor de 40 mm; porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.	77,469.30
(A)C(w1)	Semicálido subhúmedo del grupo C, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C.	Precipitación del mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T entre 43.2 y 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% anual.	783,878.68
(A)C(w2)	Semicálido subhúmedo del grupo C, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C.	Precipitación del mes más seco menor a 40 mm; lluvias de verano con índice P/T mayor de 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.	134,040.43
(A)C(o)	Semicálido subhúmedo del grupo C, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura	Precipitación del mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T menor de 43.2, y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.	1,427,663.48

Tipo de clima	Descripción de la temperatura	Descripción de la precipitación	Superficie (ha)
(A)C(o)x'	del mes más caliente mayor de 22°C. Semicálido subhúmedo del grupo C, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C.	Precipitación del mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano, porcentaje de lluvia invernal mayor al 10.2 % del total anual.	1,217,448.72
Aw1	Cálido subhúmedo, temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frío mayor de 18°C.	Precipitación del mes más seco menor de 60 mm; lluvias de verano con índice P/T entre 43.2 y 55.3 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.	174,654.77
Aw2	Cálido subhúmedo, temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frío mayor de 18°C.	Precipitación del mes más seco entre 0 y 60 mm; lluvias de verano con índice P/T mayor de 55.3 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.	204,594.81
Awo	Cálido subhúmedo, temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frío mayor de 18°C.	Precipitación del mes más seco entre 0 y 60 mm; lluvias de verano con índice P/T menor de 43.2 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.	1,219,390.47

Tipo de clima	Descripción de la temperatura	Descripción de la precipitación	Superficie (ha)
BS1(h')(x')	Semiárido, cálido, temperatura media anual mayor de 22°C, temperatura del mes más frío mayor de 18°C.	Lluvias repartidas todo el año y porcentaje de lluvia invernal mayor al 18% del total anual.	487,731.23
BS1(h')w	Semiárido cálido, temperatura media anual mayor de 22°C, temperatura del mes más frío mayor de 18°C.	Lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.	1,216,069.10
BS1h(x')	Semiárido, Semicálido, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C.	Lluvias repartidas todo el año y porcentaje de lluvia invernal mayor al 18% del total anual.	73,648.92
BS1hw	Semiárido, Semicálido, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C.	Lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.	286,161.93
BS1k(x')	Semiárido, templado, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, temperatura del mes más caliente menor de 22°C.	Lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal mayor al 18% del total anual.	117,214.26
BSo(h')(x')	Árido, cálido, temperatura media anual mayor de 22°C,	Lluvias repartidas todo el año, y porcentaje de lluvia invernal mayor al 18% del total anual.	692,159.61

Tipo de clima	Descripción de la temperatura	Descripción de la precipitación	Superficie (ha)
BSohw	temperatura del mes más frío mayor de 18°C. Árido, Semicálido, temperatura entre 18°C y 22°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C.	Lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.	76,474.04
BSok(x')	Árido, templado, temperatura entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, temperatura del mes más caliente menor de 22°C.	Lluvias repartidas todo el año y porcentaje de lluvia invernal mayor al 18% del total anual.	21,844.49
BSokw	Árido, templado, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C.	Lluvias de verano, porcentaje de lluvia invernal entre 5% y 10.2% del total anual.	15,371.65
C(m)	Templado, húmedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C.	Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.	6,865.77
C(w1)	Templado, subhúmedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y	Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T entre 43.2 y 55 y porcentaje de	75,758.01

Tipo de clima	Descripción de la temperatura	Descripción de la precipitación	Superficie (ha)
C(w2)	18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C. Templado, subhúmedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C.	lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual. Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T mayor de 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual.	85,949.17
C(wo)	Templado, subhúmedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C.	Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T menor de 43.2 y porcentaje de precipitación invernal del 5% al 10.2% del total anual.	37,223.69
C(wo)x'	Templado, subhúmedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C.	Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias en verano y porcentaje de lluvia invernal mayor al 10.2% del total anual.	2,860.55
Total			8,434,473.10

En la **Figura 6** se aprecia la disposición espacial de los tipos de clima presentes en el estado de Tamaulipas:

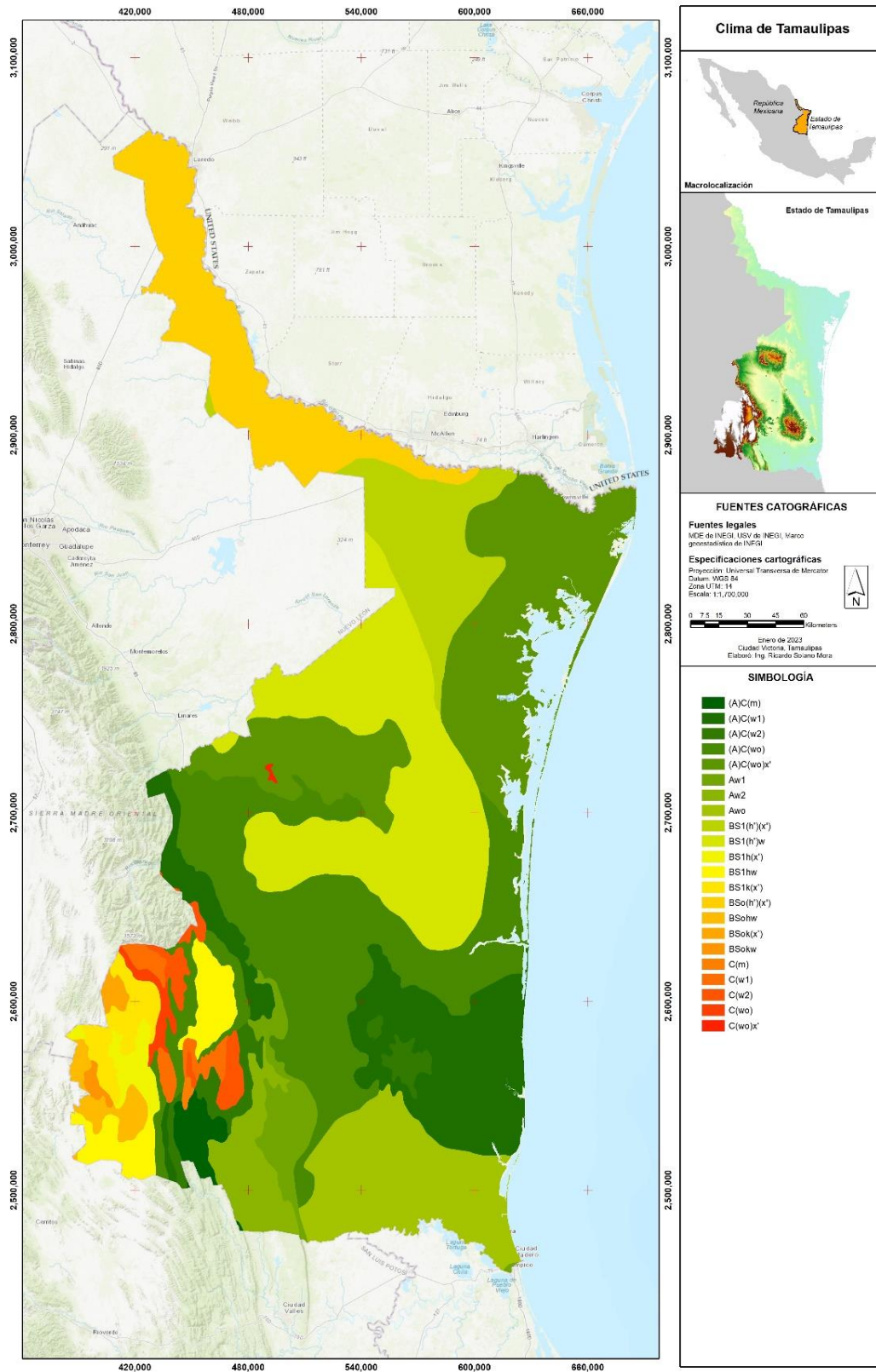


Figura 6. Representación gráfica de los tipos de clima presentes en el estado de Tamaulipas (Elaboración propia).

5.7. De los Estudios Técnicos Justificativos (ETJ)

Para la obtención de los datos correspondientes a los listados florísticos de los ETJ, se hizo uso de la Plataforma Nacional de Transparencia, tomando como referencia lo establecido en los instrumentos legales correspondientes a la LGDFS y la LGEEPA en materia de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), los cuales indican que la información contenida en dichos documentos debe ser de acceso público. Se solicitó la información de todos los ETJ por CUSTF que se ingresaron desde el 2010 hasta el año 2024 para el estado de Tamaulipas.

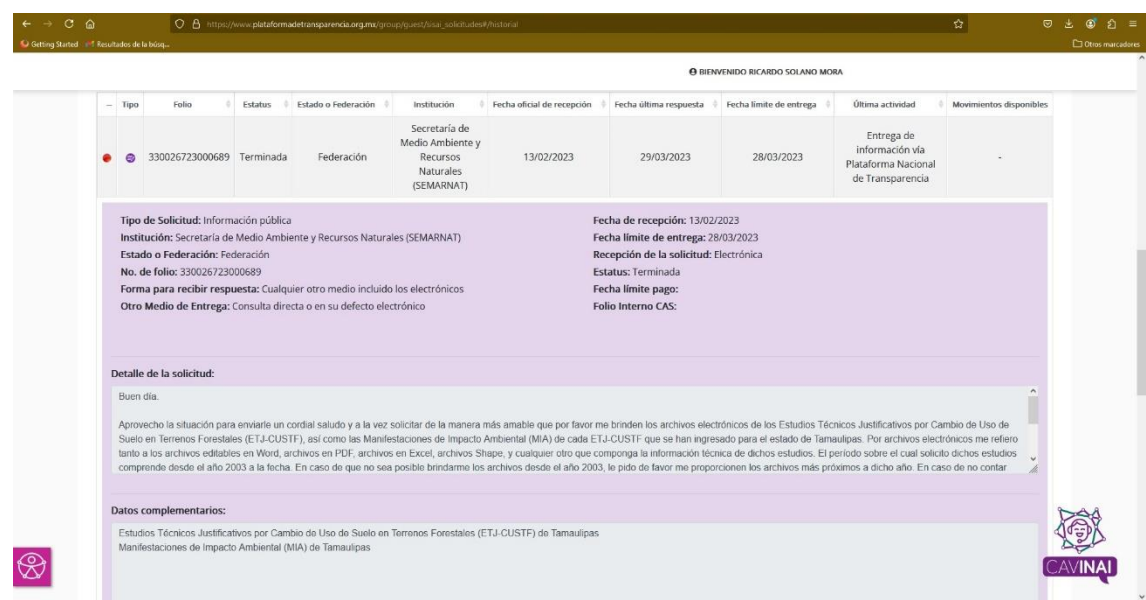


Figura 7. Generación de la petición de consulta de información en el portal del Instituto Nacional de Transparencia, Acceso a la Información y Protección de Datos Personales (INAI).



Plataforma Nacional de Transparencia


13/02/2023 13:32:25 PM

Acuse de recepción de solicitud de acceso

Solicitante

Nombre o razón social	Ricardo Solano Mora Solano Mora
Representante (en su caso)	
Folio	330026723000689

Unidad de Transparencia

Sujeto obligado	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)
-----------------	--

Este acuse contiene sus datos personales por lo que deberá resguardarse en un lugar seguro para evitar su difusión y el uso no autorizado por usted.

Fecha de recepción oficial

Para efecto del cómputo del plazo establecido en el artículo 132 de la Ley General de Transparencia y Acceso a la Información Pública se ha recibido su solicitud con fecha 13/02/2023 (1)

Información importante

La respuesta o cualquier requerimiento que realice el sujeto obligado le será notificado a través de la PNT, salvo que haya señalado otro medio para ello. En caso de que no se pueda realizar la notificación por el medio elegido, la misma se efectuará en los estrados del sujeto obligado.

El seguimiento a su solicitud podrá realizarlo mediante el folio que se indica en este acuse, en la página de internet con dirección:
<https://www.plataformadetransparencia.org.mx>

Si por alguna falla técnica del sistema no pudiera abrir las notificaciones y resoluciones que se pongan a su disposición en esta página, deberá informarlo a la Unidad de Transparencia del sujeto obligado al que solicitó información, para que este le notifique por cualquier otro medio, cuando ello sea procedente.

Figura 8. Acuse de recepción generado en la plataforma del Instituto Nacional de Transparencia, Acceso a la Información y Protección de Datos Personales (INAI), sobre la consulta de los Estudios Técnicos Justificativos (ETJ) autorizados para el Estado de Tamaulipas.

Posteriormente se analizaron los tipos de vegetación de cada ETJ, así como los listados florísticos y micológicos que los acompañan.

5.8. De los datos abióticos

Los datos abióticos como tipo de suelo, pendiente, exposición del terreno, se obtuvieron de la página del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), mediante la descarga de la capa vectorial de tipos de suelo, así como el archivo ráster correspondiente al Continuo de Elevación Mexicano (CEM) (**Figura 9**), mientras que la temperatura, precipitación, humedad se obtuvieron a partir de los datos de las Normales climatológicas que se descargaron de la página del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) (**Figura 10**). Se descargaron los datos que abarcaron todo el territorio correspondiente al estado de Tamaulipas.

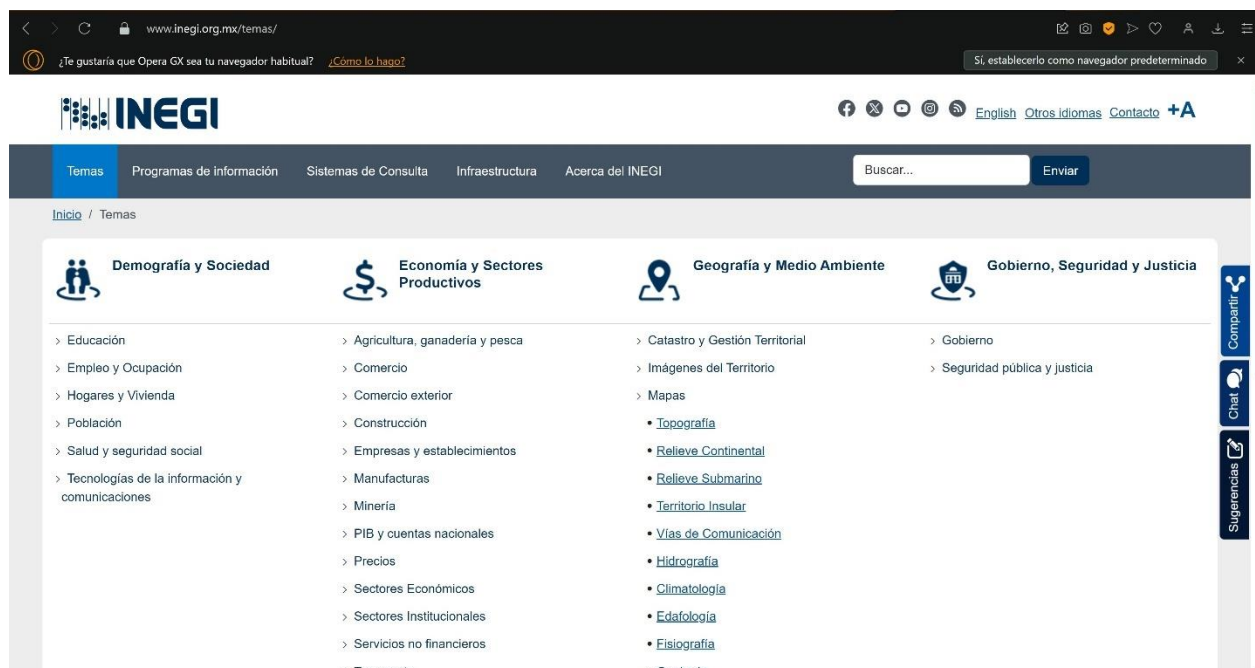


Figura 9. Visualización de la interfaz del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), de donde se descargaron parte de los datos para la caracterización abiótica y biótica.



Figura 10. Visualización de la interfaz del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), de donde se descargaron parte de los datos para la caracterización abiótica.

Posteriormente mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica se hicieron interpolaciones de los datos de las estaciones meteorológicas del territorio Tamaulipeco para generar una capa vectorial de isoyetas y otra capa vectorial de isotermas, así como una capa vectorial de humedad relativa.

El tipo de suelo del territorio Tamaulipeco se recortó de la capa vectorial de tipos de suelo a nivel nacional. Posteriormente las capas vectoriales generadas fueron transformadas en archivos ráster para su posterior procesamiento.

Para la obtención de la pendiente se tomó el archivo del CEM y se aplicó un recorte sobre el área que corresponde exclusivamente al territorio Tamaulipeco. Posteriormente se calculó la pendiente de la capa resultante mediante la herramienta “Slope” de ArcGIS, y la pendiente resultante se obtuvo en grados. Después, mediante el uso de calculadora Ráster, se aplicó la siguiente ecuación:

$$\text{Pendiente [\%]} = \tan (\text{inclinación grados}) \times 100$$

Donde:

Pendiente (%) = Pendiente del terreno

tan (inclinación grados) = Tangente de la inclinación en grados del terreno

Lo anterior permitirá convertir la pendiente de grados a porcentaje.

Para la obtención de la exposición del terreno se usó el CEM que fue recortado previamente para el estado de Tamaulipas, y se hizo uso de la herramienta “Aspect” de ArcGIS. Esta herramienta permitió generar las exposiciones del terreno que son las siguientes: cenital, norte, noreste, noroeste, sur, sureste, suroeste, este, y oeste (**Figura 11**).

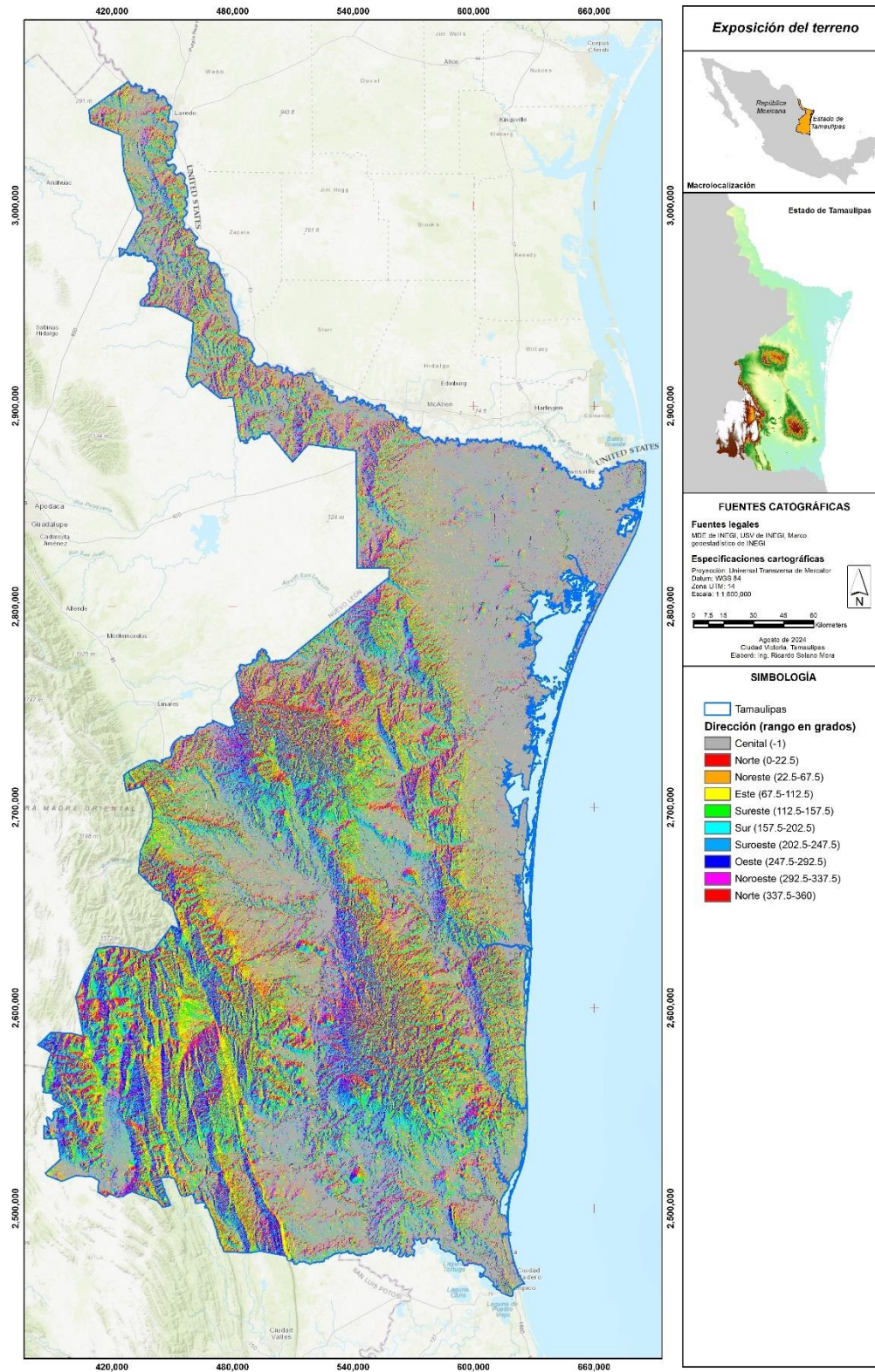


Figura 11. Representación gráfica de la exposición del terreno en el estado de Tamaulipas (Elaboración propia).

En cuanto a los datos bioclimatológicos se descargaron los contenidos en la página WorldClim (**Figura 12**). Estas variables son el promedio para los años 1970-2000 de las siguientes variables (Fick e Hijmans, 2017):

- BIO1 = Temperatura Media Anual
- BIO2 = Rango Diurno Medio (Producto de Temperatura Máxima – Temperatura Mínima)
- BIO3 = Isotermalidad (BIO2/BIO7) (x100)
- BIO4 = Temperatura Estacional (Desviación Estándar x100)
- BIO5 = Temperatura Máxima Del Mes Más Cálido
- BIO6 = Temperatura Mínima Del Mes Más Frío
- BIO7 = Rango Anual De Temperatura (BIO5-BIO6)
- BIO8 = Temperatura Media Del Trimestre Más Húmedo
- BIO9 = Temperatura Media Del Trimestre Más Seco
- BIO10 = Temperatura Media Del Trimestre Más Cálido
- BIO11 = Temperatura Media Del Trimestre Más Frío
- BIO12 = Precipitación Anual
- BIO13 = Precipitación Del Mes Más Húmedo
- BIO14 = Precipitación Del Mes Del Más Seco
- BIO15 = Estacionalidad De La Precipitación (Coeficiente De Variación)
- BIO16 = Precipitación Del Trimestre Más Húmedo
- BIO17 = Precipitación Del Trimestre Más Seco
- BIO18 = Precipitación Del Trimestre Más Cálida
- BIO19 = Precipitación Del Trimestre Más Frío
- MDE = Modelo Digital de Elevación del terreno

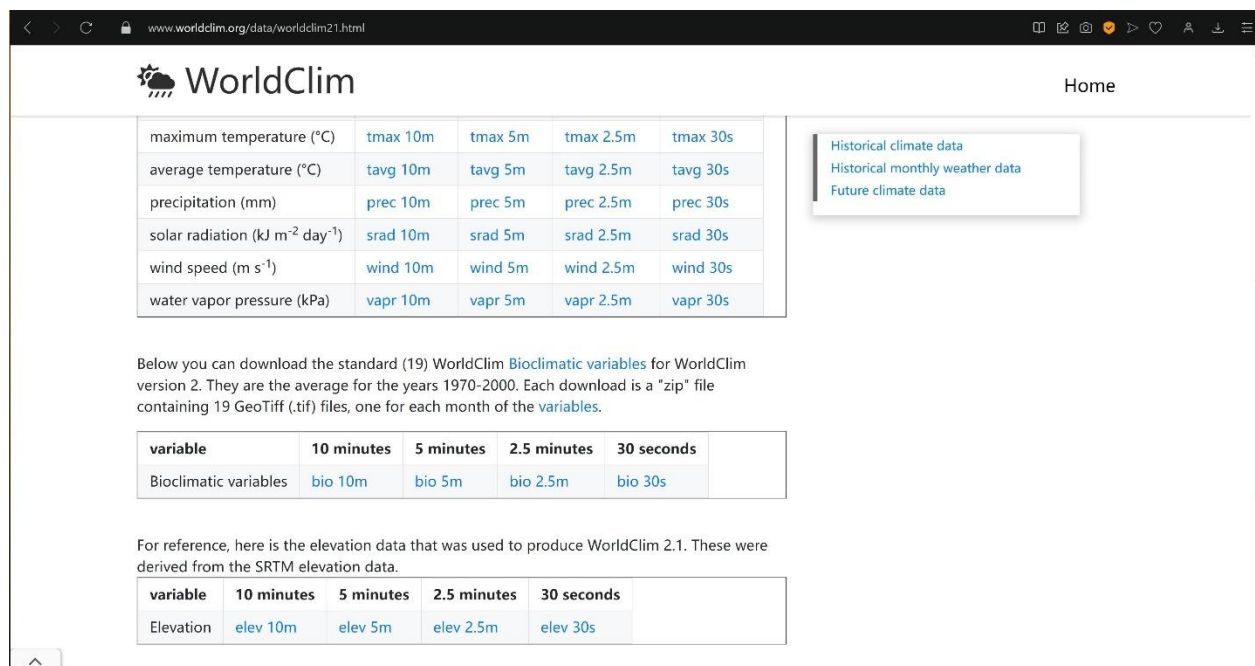


Figura 12. Vista de la página oficial de Worldclim de donde se descargaron los archivos de las variables bioclimáticas.

Dichos datos se encuentran en formato ráster, y constan de un tamaño de celda de 30 segundos equivalente a 1 km², y también se descargó el archivo ráster de elevación del terreno con el mismo tamaño de celda para homogeneizar el tamaño de análisis y generar información más precisa.

5.9. De los Hongos del Orden Boletales (datos bióticos)

Como punto de partida se tomaron los datos de la colección micológica del Herbario del ITCV, la cual está registrada en tres tomos los cuales comprenden desde el año 1978 a la fecha (29 de enero de 2024). Debido a que estos registros se encuentran manuscritos en dichos tomos, se procedió a generar una base de datos mediante el programa Excel donde se capturaron los siguientes campos: Tomo, No. de Página, No. de registro, Especie, Subespecie, Lugar de colecta, Municipio, Estado, Día, Mes, Año, Tipo de ecosistema, Observaciones, Coordenada X, Coordenada Y. No todos los campos fueron rellenados debido a que no todos los registros presentaban la misma información (Figura 13).

Se analizaron a detalle los listados florísticos a fin de determinar si se consideraron especies de hongos del Orden Boletales en los datos que integran cada documento (ETJ).

5.10. De la generación de modelos de distribución potencial

Para la generación de los modelos de distribución potencial todos los datos en formato ráster se convirtieron a formato ASCII, pues así lo establecen los requerimientos del software Maxent. Esta información se corrió varias veces generando diversos modelamientos del hábitat potencial de cada especie de hongos del Orden Boletales con la versión 3.4.4 de Maxent, hasta lograr identificar las variables ambientales que presentaron mayor relevancia para la especie analizada. Los modelos se evaluaron comparando los resultados, así como los indicadores sobre arrojados sobre su rendimiento, con base en el apoyo de literatura.

Luego de tener el archivo CSV, así como el archivo ráster correspondiente a los datos bioclimatológicos, se usó el programa MAXENT para generar modelos de distribución potencial de las especies de hongos en los tipos de vegetación presentes en el estado de Tamaulipas (**Figura 14**).

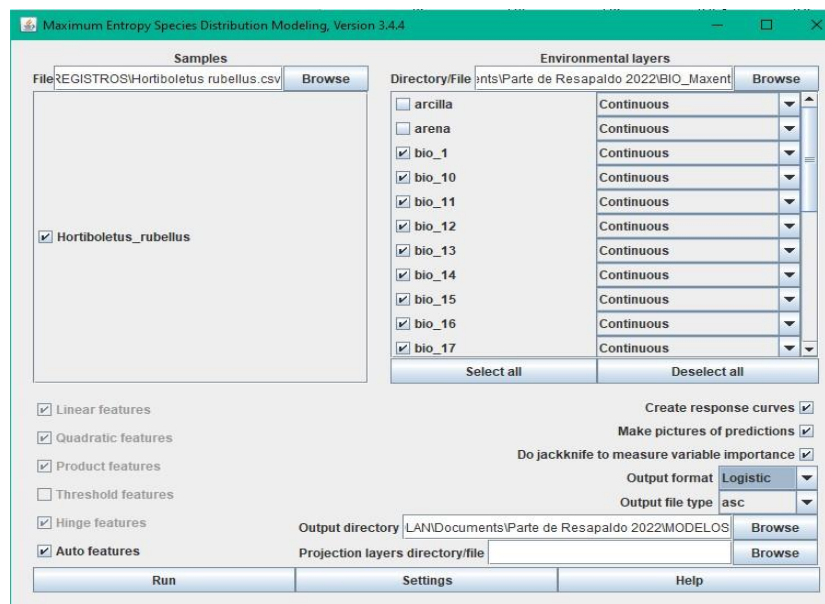


Figura 14. Uso de la herramienta Maxent para la generación de los modelos de distribución potencial.

Una vez generados los modelos de distribución potencial, se procedió a realizar comparaciones entre los tipos de vegetación que abarca cada ETJ, y con ello se determinó la posible presencia de especies de hongos del Orden Boletales que fueron obviados en dichos documentos.

Dentro de los parámetros de Maxent se seleccionó que se crearan las curvas de respuesta, así como hacer la prueba de jackknife para determinar la importancia y la contribución de las variables. Las pruebas de Jackknife se emplearon para analizar el peso de la contribución y la importancia de cada variable, y de acuerdo con Swets (1988) la precisión del modelo se puede clasificar de la siguiente manera de acuerdo con el área bajo la curva (AUC):

Tabla 3. Precisión del modelo de acuerdo con el Área Bajo la Curva (AUC).

Precisión	Valor
Excelente	0.9 – 1.0
Buena	0.8 – 0.9
Fallo	0.5 – 0.6

Para interpretar las curvas ROC generadas en Maxent se establecieron los intervalos para los valores de AUC que se presentan a continuación (Curva ROC, 2024):

Tabla 4. Interpretación mediante intervalos para los valores obtenidos a partir del Área Bajo la Curva (AUC).

Rango	Precisión
0.5	100% aleatorio
0.5 – 0.6	Test malo
0.6 – 0.75	Test regular
0.75 – 0.9	Test bueno
0.9 – 0.97	Test muy bueno
0.97 – 1.00	Test excelente

5.11. Del análisis de la distribución e importancia de los hongos del Orden Boletales en los ecosistemas afectados y la especificación de posibles impactos ambientales que pudieron haberse obviado

Posterior a haber generado los modelos de distribución potencial para cada especie de hongos del Orden Boletales, se procedió a cruzar la información de los tipos de vegetación presentes en las áreas donde se autorizaron los ETJ, con los modelos generados para determinar la probabilidad de encontrar a determinada especie de hongo, por tipo de vegetación y/o uso de suelo, en determinada superficie de distribución potencial. Sobre cada ecosistema se generó una descripción de las consideraciones sobre la importancia que tienen los hongos dentro de los ecosistemas forestales, con base en revisión de literatura. Por último, se determinaron los posibles impactos ambientales que se generaron sobre el recurso fúngico, y que pudieron haber sido obviados debido ya que no se consideraron al momento de la elaboración de los ETJ.

5.12. De la propuesta de medidas de mitigación y compensación adicionales

Luego, se generó una propuesta de medidas de mitigación y compensación que fuesen adicionales a las ya consideradas en los ETJ que se analizaron. Esto se hizo con base en la identificación previa de los impactos ambientales que pudieron haberse obviado, y tomando en cuenta la importancia de estos organismos en los ecosistemas afectados. Con base en ello, y tomando como base la literatura especializada en acciones de restauración de ecosistemas, se generaron propuestas adicionales que permitan mitigar los efectos de los proyectos que sean similares a los ya analizados en los ETJ, así como medidas de compensación que permitan eficientar los tiempos de recuperación de los ecosistemas forestales con base en acciones encaminadas a la sustentabilidad.

5.13. Otras actividades realizadas

Una vez generados los modelos de distribución potencial de las especies de hongos del Orden Boletales, se generó la cartografía para cada una de las especies, en la cual se pueden apreciar las variables ambientales correspondientes a temperatura media anual, precipitación anual y forma del terreno. Para la generación de la cartografía se empleó el software ArcGIS 10.5 (**Figura 15**).

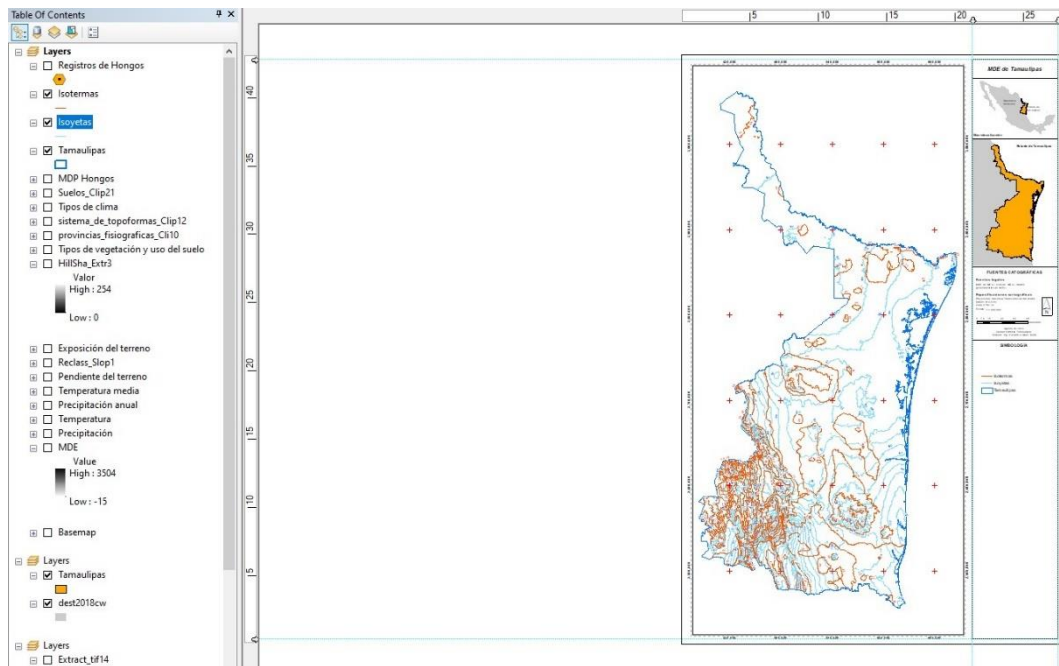


Figura 15. Generación y edición de mapas en el programa ArcGIS 10.5.

6. Resultados

6.1. De los Estudios Técnicos Justificativos (ETJ)

La SEMARNAT brindó la información de 93 estudios correspondientes a ETJ autorizados en el Estado de Tamaulipas (**Figura 16**). Debido que se siguió manteniendo contacto con personal de esta dependencia también me brindaron el acceso a la información de ETJ hasta el mes de agosto del año 2024, por lo cual los resultados que se presentan comprenden del 1 de enero del año 2010 al 21 de agosto del año 2024. La superficie forestal autorizada por la SEMARNAT equivale a 5,730.45 ha, las cuales se distribuyen en los ecosistemas que se muestran en la **Tabla 5**:



Figura 16. Respuesta de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) sobre los Estudios Técnicos Justificativos (ETJ) solicitados para el Estado de Tamaulipas.

Tabla 5. Tipos de vegetación y/o usos del suelo afectados por la autorización de cambio de uso del suelo en terrenos forestales, del año 2010 al 2024 (Elaboración propia con base en la información de Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (2018)).

Clave	Tipo de vegetación y/o uso del suelo	Superficie (ha)
RA	Agricultura de riego anual	3.28
RAP	Agricultura de riego anual y permanente	0.19
RP	Agricultura de riego permanente	0.01

Clave	Tipo de vegetación y/o uso del suelo	Superficie (ha)
TA	Agricultura de temporal anual	592.34
TAS	Agricultura de temporal anual y semipermanente	1.72
AH	Asentamientos humanos	9.16
BQ	Bosque de encino	196.48
MK	Bosque de mezquite	0.23
BJ	Bosque de táscate	9.03
H2O	Cuerpo de agua	111.18
ADV	Desprovisto de vegetación	2.48
MC	Matorral crasicaule	14.93
MDR	Matorral desértico rosetófilo	0.30
MET	Matorral espinoso tamaulipeco	1,164.23
MSM	Matorral submontano	57.90
MKX	Mezquital xerófilo	217.84
PC	Pastizal cultivado	201.31
PI	Pastizal inducido	30.93
SBC	Selva baja caducifolia	1,778.70
SBK	Selva baja espinosa caducifolia	33.02
VU	Vegetación de dunas costeras	13.06
VHH	Vegetación halófila hidrófila	770.57
VSa/BJ	Vegetación secundaria arbustiva de bosque de táscate	5.95
VSa/MET	Vegetación secundaria arbustiva de matorral espinoso tamaulipeco	459.96
VSa/MSM	Vegetación secundaria arbustiva de matorral submontano	6.15
VSa/MKX	Vegetación secundaria arbustiva de mezquital xerófilo	37.61
VSa/SBC	Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia	10.92
VSh/SBC	Vegetación secundaria herbácea de selva baja caducifolia	0.99
Total		5,730.45

Se revisaron los listados florísticos y micológicos de cada ETJ, sin embargo, en ninguno de ellos se encontró alguna especie de hongos.

6.2. De los datos abióticos

La información correspondiente a la delimitación del área de estudio, tipo de clima, fisiografía, geomorfología, tipos de vegetación y uso del suelo, pendiente del terreno, exposición del terreno, tipo de suelo, así como el Modelo Digital del Terreno, se muestran en la cartografía temática con

el fin de realizar la caracterización total del Estado de Tamaulipas. Los mapas generados se presentan en la sección de Anexos (ANEXO 1).

En cuanto a las variables bioclimáticas, se usaron las 19 que se descargaron de la información de WorldClim, no obstante, al correr los procesos de generación de modelos de distribución potencial resaltó que no todas las variables tuvieron relevancia al momento del cálculo y la generación. Este dato se aborda más a fondo en los siguientes apartados de los Resultados.

6.3. De los Hongos del Orden Boletales (datos bióticos)

De los registros existentes en la colección micológica del Herbario del ITCV, en total se capturaron 22,022 registros. Del total de dichos registros únicamente se tomaron en cuenta aquellos correspondientes a hongos del Orden Boletales, obteniendo 5,098 registros. Posteriormente se hizo un filtrado de dicha información debido a que algunos de los registros únicamente se encontraban identificados hasta género, quedando 3,241. Por último, se hizo una filtración de estos registros para conservar únicamente aquellos que fueron encontrados dentro del Estado de Tamaulipas, quedando un total de 967. Dentro de estos 965 registros se identificaron 47 Géneros, siendo el más abundante *Boletus* con 135 ejemplares, seguido del Género *Suillus* con 91 ejemplares, y en tercer lugar al Género *Tylopilus* con 83 ejemplares. En cuanto a las especie, la más abundante fue *Hortiboletus rubellus* con 76 registros, seguida de *Suillellus luridus* y *Suillus granulatus* con 33 registros cada una, y en cuarto lugar a las especies *Austroboletus neotropicalis* y *Boletus paulae* con 31 registros.

Con la base de datos de los hongos del Orden Boletales que se capturaron de la colección micológica del Herbario del ITCV, así como la información de los tipos de vegetación correspondientes a la Serie VII de Uso de Suelo y Tipos de Vegetación de los datos vectoriales del INEGI, se elaboró el siguiente mapa (**Figura 17**):

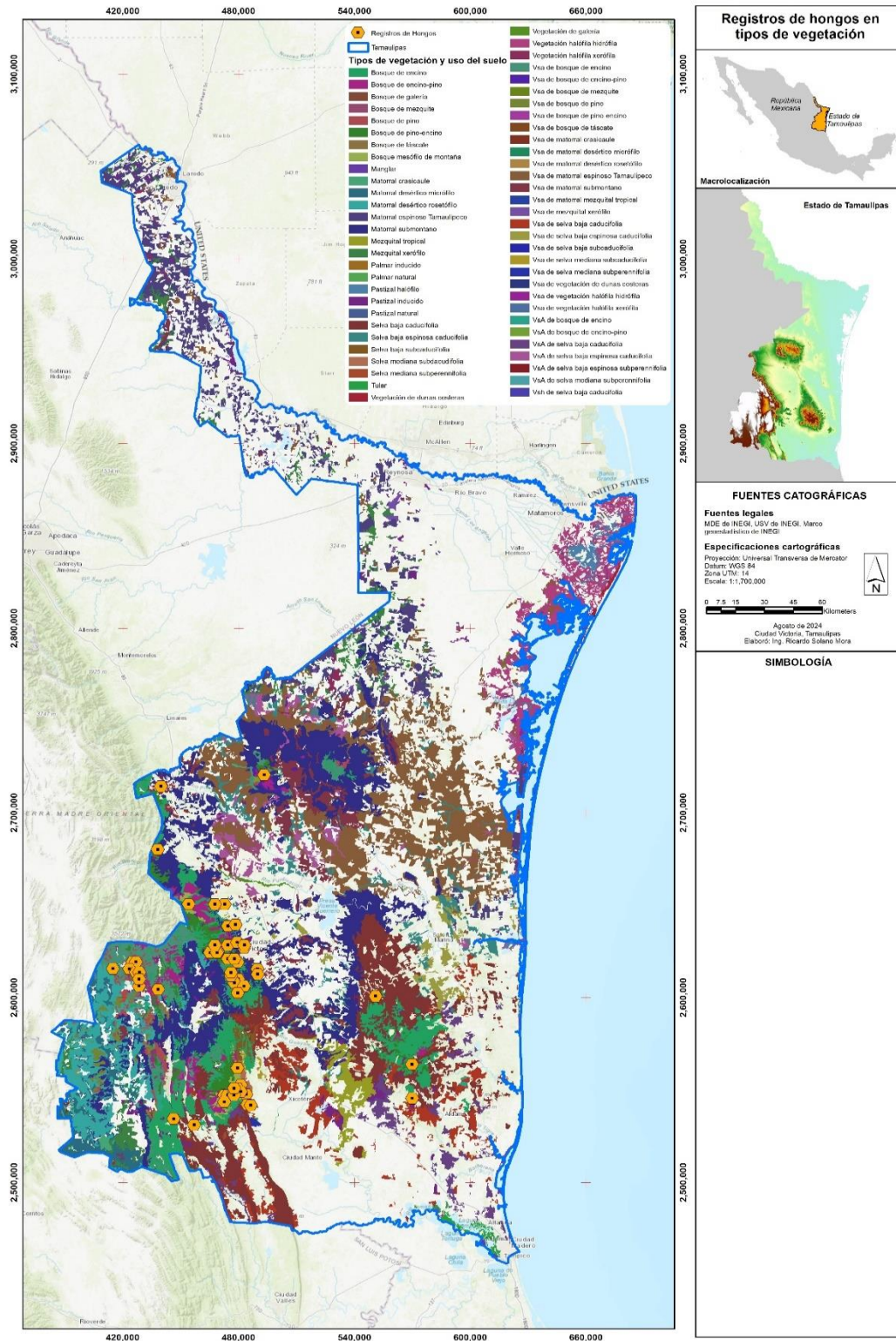


Figura 17. Ubicación de las especies de hongos del Orden Boletales, por tipo de vegetación (Serie VII de Uso de Suelo y tipos de Vegetación (USV), Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI)) para el Estado de Tamaulipas (Elaboración propia).

6.4. De la generación de modelos de distribución potencial

En total se generaron 118 modelos de distribución potencial para las 118 especies de hongos del Orden Boletales de los cuales se tiene registro de presencia en el Estado de Tamaulipas. De la totalidad de estos 118 modelos generados, 75 presentan un Área Bajo la Curva (AUC por sus siglas en inglés) superior a 0.9, mientras que 11 modelos presentan un AUC entre 0.8 y 0.9, y 30 modelos presentan un AUC con valor inferior a 0.6, el cual se considera como valor de fallo, por lo que dichos modelos no son confiables para predecir la distribución potencial de dichas especies.

Por otra parte, el análisis de los resultados efectuados a partir de los intervalos contenidos en la **Tabla 4**, arroja que 49 modelos presentan un AUC entre 0.97 y 1.00 que se clasifica como **excelente**; 26 modelos presentan un AUC entre 0.90 y 0.97 que se clasifica como **muy bueno**; 13 modelos presentan un AUC entre 0.75 y 0.90 que se clasifica como **bueno**; y 30 modelos presentan un AUC de 0.50 que se clasifica como **100% aleatorio**. Debido a que 30 modelos presentan un valor de 0.5, y no son idóneos para determinar la probabilidad de distribución potencial de las especies para las cuales fueron generados, solo se considerarán los 88 modelos que tuvieron un valor de AUC mayor a 0.5 (**Tabla 6**).

Como 75 de los 118 modelos generados presentan un AUC igual o superior a 0.90, se considera que dichos modelos tienen de buena a excelente probabilidad de predecir la distribución potencial de aquellas especies para las que fueron generados.

Tabla 6. Muestras totales, muestras de entrenamiento, iteraciones, el Área Bajo la Curva (AUC) de entrenamiento y porcentaje de contribución de las variables bioclimatológicas por especie (Elaboración propia).

Nombre científico	Muestras totales	#Training samples	Iterations	Training AUC	Contribución																				MDE
					bio_1	bio_10	bio_11	bio_12	bio_13	bio_14	bio_15	bio_16	bio_17	bio_18	bio_19	bio_2	bio_3	bio_4	bio_5	bio_6	bio_7	bio_8	bio_9		
<i>Astraeus hygrometricus</i> (Pers.) Morgan 1889	11	9	80	0.946											2.82					26.44				71.47	
<i>Aureoboletus auriporus</i> (Peck) Pouzar 1957	6	6	240	0.873					0.93				0.27					0.13		98.38	0.28			0.84	
<i>Aureoboletus innixus</i> (Frost) Halling, A.R. Bessette & Bessette 2015	1	1	20	0.500																					
<i>Aureoboletus moravicus</i> (Vacek) Kľofac 2010	1	1	20	0.500																					
<i>Aureoboletus russellii</i> (Frost) G. Wu & Zhu L. Yang 2016	10	8	180	0.951									0.84	59.71	1.17	0.78		3.33		18.25		1.18		7.20	
<i>Austroboletus neotropicalis</i> Singer, J. García & L.D. Gómez 1991	31	14	300	0.966					0.54	0.35	0.40	0.43	5.17	26.31	8.22			1.59	1.77	0.35	3.82	1.27	14.54	8.55	
<i>Baorangia bicolor</i> (Kuntze) G. Wu, Halling & Zhu L. Yang 2015	1	1	20	0.500																					
<i>Boletellus ananas</i> (M.A. Curtis) Murrill 1909	28	9	140	0.935											7.46	3.35	0.39	2.78	5.15	9.44		1.57		6.98	
<i>Boletellus coccineus</i> (Sacc.) Singer 1992	17	9	340	0.970	0.16		0.41						2.11	14.44	1.64						7.17	46.86	1.43	11.26	15.30
<i>Boletellus flocculosipes</i> (Murrill) Perr.-Bertr. 1965	14	11	260	0.973					1.50	0.20		1.33	1.56	39.51	1.63			3.22	3.15		19.16		16.61	12.31	
<i>Boletellus pseudochrysenteroides</i> A.H. Sm. & Thiers 1971	10	5	260	0.927					0.27		3.80			0.59		0.33			1.27		58.16	6.37		3.18	
<i>Boletinellus rompelii</i> (Pat. & Rick) Watling, 1997	27	8	140	0.893							1.84				57.62					0.35	3.74		1.11		
<i>Boletus aureissimus</i> (Murrill) Murrill 1938	6	3	180	0.987									1.20	81.85	2.75	1.18	4.43	5.82			2.72		0.89		
<i>Boletus auripes</i> Peck 1898	1	1	20	0.500																					
<i>Boletus bicoloroides</i> A.H. Sm. & Thiers 1971	1	1	20	0.500																					
<i>Boletus edulis</i> Bull. 1782	2	2	240	0.964			0.28		4.12	5.29	41.43		19.59		27.19	2.19									
<i>Boletus fairchildianus</i> (Singer) Singer 1978	3	3	100	0.893									0.71					9.71			89.58				
<i>Boletus flavissimus</i> (Murrill) Murrill 1938	8	6	140	0.911									0.54	1.67	0.75		0.29				86.47		0.17	1.55	
<i>Boletus luridellus</i> (Murrill) Murrill 1938	10	7	160	0.838					3.65		4.94			6.19					0.35	68.76				16.11	
<i>Boletus mahoganicoloroides</i> B. Ortiz, Both & T.J. Baroni 2007	1	1	60	0.995																				1.00	
<i>Boletus miniato-olivaceus</i> Frost 1874	6	3	120	0.870			0.42				0.17									98.94		0.48			

Nombre científico	Muestras totales	#Training samples	Iterations	Training AUC	Contribución																			MDE
					bio_1	bio_10	bio_11	bio_12	bio_13	bio_14	bio_15	bio_16	bio_17	bio_18	bio_19	bio_2	bio_3	bio_4	bio_5	bio_6	bio_7	bio_8	bio_9	
<i>Boletus nobilis</i> Peck 1905	7	3	300	0.997	1.88		0.95			19.34			13.61	3.62	9.27		0.15	6.40			4.70		4.36	0.85
<i>Boletus paulae</i> J. García, Singer & F. Garza-Ocañas 2013	31	12	480	0.965			1.67		2.70	0.96		2.00	3.25	33.54	3.42	1.30		3.47		6.34	15.73	0.73	14.65	11.35
<i>Boletus pseudopeckii</i> A.H. Sm. & Thiers 1971	1	1	20	0.500																				
<i>Boletus pseudoseparans</i> Grand & A.H. Sm. 1971	1	1	20	0.500																				
<i>Boletus quercophilus</i> Halling & G.M. Muell. 1999	2	2	200	0.985						2.65	86.42	3.35		6.60		0.26				0.72				
<i>Boletus singeri</i> J. García, Estrada-Castill. & R. Valenz. 2013	4	4	220	0.948									5.24		12.72		0.43	11.94		5.18	52.68			11.83
<i>Boletus speciosus</i> Frost 1874	3	1	60	0.995																				1.00
<i>Boletus subvelutipes</i> Peck 1889	18	10	300	0.975					0.74	0.17			3.25	14.94	1.58		0.14			0.51	48.77	2.17	12.64	16.64
<i>Boletus tamaulipanensis</i> García et Garza ad. int.	4	3	240	0.993						0.12		4.19	2.97		3.56		0.79	5.65		6.32	49.67			27.82
<i>Boletus variipes</i> Peck 1888	24	12	300	0.968					0.16	0.47	0.85	1.19	7.54	19.29	1.53		0.49	9.49			29.14	2.90	9.15	9.23
<i>Boletus gertrudiae</i> Peck, 1911	1	1	20	0.500																				
<i>Buchwaldoboletus</i> <i>lignicola</i> (Kallenb.) Pilát 1969	1	1	20	0.500																				
<i>Butyriboletus peckii</i> (Frost) Kuan Zhao & Zhu L. Yang 2015	1	1	20	0.500																				
<i>Butyriboletus appendiculatus</i> (Schaeff.) D. Arora & J.L. Frank,	1	1	60	0.995																				1.00
<i>Caloboletus inedulis</i> (Murrill) Vizzini 2014	10	5	160	0.914					7.84				1.32	14.19						62.56		5.72		9.13
<i>Chalciporus piperatus</i> (Bull.) Bataille 1908	4	3	120	0.990							0.82			0.15	3.65		2.61	13.48						8.58
<i>Chalciporus rubinellus</i> (Peck) Singer 1973	2	2	500	0.987	0.12	0.22			0.18				2.27		2.43		8.95	4.52	17.64		28.82	24.62	2.00	
<i>Chroogomphus jamaicensis</i> (Murrill) O.K. Mill. 1964	2	2	80	0.764						0.66					99.93									
<i>Chroogomphus ochraceus</i> (Kauffman) O.K. Mill. 1964	1	1	20	0.500																				
<i>Chroogomphus rutilus</i> (Schaeff.) O.K. Mill. 1964	1	1	20	0.500																				
<i>Chroogomphus vinicolor</i> (Peck) O.K. Mill. 1964	4	4	140	0.972						0.21					0.74						41.35		3.65	54.48
<i>Coniophora puteana</i> (Schumach.) P. Karst. 1868	1	1	20	0.500																				
<i>Cyanoboletus</i> <i>percyanescens</i> (ad int.)	10	1	20	0.500																				

					Contribución																			
Nombre científico	Muestras totales	#Training samples	Iterations	Training AUC	bio_1	bio_10	bio_11	bio_12	bio_13	bio_14	bio_15	bio_16	bio_17	bio_18	bio_19	bio_2	bio_3	bio_4	bio_5	bio_6	bio_7	bio_8	bio_9	MDE
<i>Exsudoporus frostii</i> (J.L. Russell) Vizzini, Simonini & Gelardi 2014	13	7	120	0.945									1.53		3.95					56.28				38.25
<i>Exsudoporus floridanus</i> (Singer) Vizzini, Simonini & Gelardi, 2014	3	2	440	1.000	3.99		0.26			2.35		0.15	5.85		0.56		0.61		7.84	11.74	24.59	0.98		41.88
<i>Gomphidius smithii</i> Singer 1948	1	1	60	0.998																				1.00
<i>Gyroporus castaneus</i> (Bull.) Quél. 1886	27	16	500	0.993			0.12			0.19	3.96		4.66	39.17	2.25		1.46	0.16		8.85	1.26	0.47		39.26
<i>Gyroporus subalbellus</i> Murrill 1910	3	2	80	0.800											48.33				2.88	48.78				
<i>Gyroporus subpurpurinus</i> Harrya chromipes (Frost) Halling, Nuhn, Osmundson & Manfr. Binder 2012	3	3	140	0.904			12.36		1.83		84.24				0.25		0.25						1.53	
<i>Heimioporus ivoryi</i> (Singer) E. Horak 2004	5	4	240	0.974			18.33		1.67	1.24	27.40		0.16				0.50		7.43	0.46			44.81	
<i>Hemileccinum rubropunctum</i> (Peck) Halling & B. Ortiz 2020	13	7	300	0.984	3.51					1.92				33.65	2.80		0.14	2.74	6.26		33.82	0.56	12.62	2.80
<i>Hemileccinum subglabripes</i> (Peck) Halling 2015	6	5	120	0.971								0.76	2.39							11.34	47.30			38.29
<i>Hortiboletus rubellus</i> (Krombh.) Simonini, Vizzini & Gelardi 2015	76	22	500	0.982		0.13	0.13			1.73	2.86		0.19	51.44	4.74		0.52	0.88		7.98			2.75	27.90
<i>Imleria badia</i> (Fr.) Vizzini 2014	1	1	20	0.500																				
<i>Leccinellum albellum</i> (Peck) Bresinsky & Manfr. Binder 2003	13	7	180	0.952									1.90	54.80	2.27					24.14		5.95	11.93	
<i>Leccinellum griseum</i> (Quél.) Bresinsky & Manfr. Binder 2003	17	5	120	0.953										85.73	0.46	0.26				3.40		8.27	2.58	
<i>Leccinellum pseudoscabrum</i> (Kallenb.) Mikšik 2017	2	2	100	0.991											4.14			6.75	3.39		31.71			
<i>Leccinellum quercophilum</i> M. Kuo 2013	3	3	460	0.999			0.23	5.75	5.58	18.40	0.21	0.67	6.14	3.82	0.68	0.30			2.95		18.14		9.78	1.36
<i>Leccinellum rugosiceps</i> (Peck) C. Hahn 2020	28	15	440	0.987	0.17					0.52	4.51		3.16	46.24	2.61		2.11			5.69	2.59			33.20
<i>Leccinum longicurvipes</i> (Snell & A.H. Sm.) M. Kuo & B. Ortiz 2020	8	4	160	0.988									0.28	74.33	1.36		4.49	2.53			11.14		6.48	
<i>Leccinum scabrum</i> (Bull.) Gray 1821	1	1	20	0.500																				
<i>Phlebopus mexicanus</i> Cifuentes, Cappello, T.J. Baroni & B. Ortiz 2015	13	2	80	0.817											37.63					0.98	61.95			
<i>Phylloporus arenicola</i> A.H. Sm. & Trappe 1972	1	1	60	0.998																				1.00

Nombre científico	Muestras totales	#Training samples	Iterations	Training AUC	Contribución																			
					bio_1	bio_10	bio_11	bio_12	bio_13	bio_14	bio_15	bio_16	bio_17	bio_18	bio_19	bio_2	bio_3	bio_4	bio_5	bio_6	bio_7	bio_8	bio_9	MDE
<i>Phylloporus mulensis ad int.</i>	1	1	20	0.500																				
<i>Phylloporus rhodoxanthus (Schwein.) Bres. 1900</i>	2	2	200	0.998						4.94			4.83	45.33	3.94			4.18		22.13		15.96		
<i>Phylloporus victoriensis García y Neves ad int.</i>	2	1	20	0.500																				
<i>Pisolithus arhizus (Scop.) Rauschert 1959</i>	2	1	20	0.500																				
<i>Pisolithus tinctorius (Mont.) E. Fisch. 1900</i>	12	9	80	0.798											5.72					85.36			8.93	
<i>Porphyrellus cyaneotinctus (A.H. Sm. & Thiers) Singer 1991</i>	15	6	180	0.947									3.65	3.18	7.26		4.37	8.27		45.49		0.79		
<i>Porphyrellus porphyrosporus (Fr.) E.-J. Gilbert 1931</i>	1	1	20	0.500																				
<i>Porphyrellus zaragozae Singer & J. García 1991</i>	4	3	80	0.974											1.55					3.14			68.36	
<i>Pseudomerulius aureus (Fr.) Jülich 1979</i>	2	2	240	0.976			0.40			1.65			7.72		7.79			3.81		5.18	0.79	2.13		
<i>Pseudomerulius curtisii (Berk.) Redhead & Ginns</i>	3	3	180	1.000					11.66	11.96					54.63		0.88		0.78	1.86		1.75	8.29	
<i>Pulchroboletus rubricitrinus (Murrill) Farid & A.R. Franck 2017</i>	8	4	80	0.846													1.89	15.14		74.77				
<i>Pulveroboletus ravenelii (Berk. & M.A. Curtis) Murrill 1909</i>	5	4	280	0.990			1.20			0.59			1.61	13.25	6.15		0.35			13.17	34.73		26.49	3.18
<i>Retiboletus griseus (Frost) Manfr. Binder & Bresinsky 2002</i>	3	3	300	0.992					4.29				3.27		5.42		7.82	1.82		5.36	3.12	12.24	18.90	1.79
<i>Retiboletus retipes (Berk. & M.A. Curtis) Manfr. Binder & Bresinsky 2002</i>	23	12	300	0.966		1.44			2.19	1.39			4.57	49.27	4.12			6.43	3.00		8.79		9.21	1.32
<i>Rhizopogon pinyonensis K.A. Harrison & A.H. Sm. 1968</i>	1	1	20	0.500																				
<i>Rhizopogon vinicolor A.H. Sm. 1966</i>	2	2	100	0.998											3.74		0.92			0.19			95.14	
<i>Scleroderma areolatum Ehrenb. 1818</i>	5	4	320	0.994					0.99				12.16	0.29	12.83		0.36	4.87			31.79	13.23		23.79
<i>Scleroderma cepa Pers. 1801</i>	2	2	360	0.987						2.45			18.33		2.34			29.65	0.64	0.94	27.60	0.70		
<i>Scleroderma texense Berk. 1845</i>	1	1	20	0.500																				
<i>Serpula lacrymans (Wulfen) J. Schröt. 1888</i>	1	1	60	0.995											1.00									
<i>Strobilomyces confusus Singer 1945</i>	14	9	180	0.937									2.15	33.21	1.23	0.63				0.78	47.51		6.93	0.66
<i>Strobilomyces strobilaceus (Scop.) Berk. 1851</i>	22	13	440	0.980							2.43	0.43	9.29	0.64	13.97			9.46		0.32	42.13	8.77	3.94	9.19
<i>Suillellus hypocarycinus (Singer) Murrill 1948</i>	3	3	480	0.928	0.56		4.99								1.68		5.49	9.36	6.49		67.25	3.45	0.83	

Nombre científico	Muestras totales	#Training samples	Iterations	Training AUC	Contribución																			MDE
					bio_1	bio_10	bio_11	bio_12	bio_13	bio_14	bio_15	bio_16	bio_17	bio_18	bio_19	bio_2	bio_3	bio_4	bio_5	bio_6	bio_7	bio_8	bio_9	
<i>Suillellus luridus</i> (Schaeff.) Murrill 1909	33	16	500	0.968						0.27	2.25		2.90	54.84	1.43	0.58	0.52	0.44		5.23	0.76			32.64
<i>Suillellus</i> <i>pictiformis</i> Murrill, 1943	5	3	200	0.989			14.11			0.32	0.40		0.25	19.70				2.81	2.64		3.58		27.86	1.66
<i>Suillus brevipes</i> (Peck) Kuntze 1898	4	3	440	0.997				2.68	1.86	8.89			1.26	23.15		0.43					46.84		15.67	
<i>Suillus brunnescens</i> A.H. Sm. & Thiers 1964	1	1	60	0.995										1.00										
<i>Suillus cothurnatus</i> Singer 1945	16	8	200	0.926				1.54		0.15	0.45		0.43	0.53	6.68			14.49			63.58		7.32	5.29
<i>Suillus granulatus</i> (L.) Roussel 1796	33	21	500	0.974			0.34		0.19	4.39	4.16		0.25	43.67	5.48		0.31		2.74	1.28	0.89		4.87	32.24
<i>Suillus hirtellus</i> (Peck) Kuntze 1898	3	2	500	0.996	9.51				9.23				1.57		8.98		0.93		0.33	6.32	13.30		9.42	31.49
<i>Suillus lakei</i> (Murrill) A.H. Sm. & Thiers 1964	3	1	60	0.998																				1.00
<i>Suillus pseudobrevipes</i> A.H. Sm. & Thiers 1964	3	2	80	0.968											3.67						88.85		7.48	
<i>Suillus tomentosus</i> Singer, Snell & E.A. Dick 1960	28	12	240	0.968						0.95		1.86	3.26	3.97	9.13	0.67		11.34	3.46	0.53	21.14		16.25	1.37
<i>Sutorius eximius</i> (Peck) Halling, Nuhn & Osmundson 2012	3	3	120	0.854					1.72		97.98					0.32								
<i>Tapinella atrotomentosa</i> (Batsch) Šutara 1992	1	1	20	0.500																				
<i>Tapinella panuoides</i> (Fr.) E.-J. Gilbert 1931	5	5	120	0.844						0.11					14.42						78.74		0.66	6.53
<i>Tylopilus alboater</i> (Schwein.) Murrill 1909	1	1	20	0.500																				
<i>Tylopilus balloui</i> (Peck) Singer 1947	3	1	20	0.500																				
<i>Tylopilus ferrugineus</i> (Kuntze) Singer 1947	25	9	160	0.849									0.96	1.58	3.90						91.37	0.37		3.34
<i>Tylopilus griseocarneus</i> Wolfe & Halling 1989	3	1	20	0.500																				
<i>Tylopilus minor</i> Singer, 1945	8	5	420	0.988			1.12			0.54	0.32	0.70	3.54		13.97			7.58		0.55	44.30	1.99	0.14	16.34
<i>Tylopilus</i> <i>plumbeoviolaceus</i> (Snell & E.A. Dick) Snell & E.A. Dick 1941	21	11	240	0.944									9.19	15.99	12.75			2.78			49.43	0.16	3.48	7.28
<i>Tylopilus subcellulosus</i> Singer & J. García 1991	19	9	200	0.971						1.18			0.23	66.53	0.56	0.64			6.20		7.82		11.28	5.57
<i>Tylopilus tabacinus</i> (Peck) Singer 1944	1	1	20	0.500																				
<i>Tylopilus williamsii</i> Singer & J. García 1991	2	1	20	0.500																				
<i>Xanthoconium affine</i> (Peck) Singer 1944	13	7	140	0.963						0.19				77.47	0.45	0.14			5.53		3.19		1.36	2.94
<i>Xanthoconium</i> <i>separans</i> (Peck) Halling & Both, 1998	4	3	220	0.984	2.11				15.88				4.57							11.28	15.48			51.19

					Contribución																			
Nombre científico	Muestras totales	#Training samples	Iterations	Training AUC	bio_1	bio_10	bio_11	bio_12	bio_13	bio_14	bio_15	bio_16	bio_17	bio_18	bio_19	bio_2	bio_3	bio_4	bio_5	bio_6	bio_7	bio_8	bio_9	MDE
<i>Xerocomellus truncatus</i> (Singer, Snell & E.A. Dick) Klofac 2011	6	4	320	0.994	0.16		1.39			3.56	0.92		15.69		13.93		0.78	12.13			46.60	0.56	4.35	
<i>Xerocomus</i> <i>carminosquamulosus</i>	1	1	20	0.500																				
<i>Xerocomus</i> <i>ferrugineus</i> (Schaeff.) Alessio, 1985	4	3	500	0.990	0.75		9.26			2.43		0.74	4.60	15.92	3.70		0.36	2.58	6.23	1.61	28.90	0.68	22.33	
<i>Xerocomus hemixanthus</i> Singer 1945	2	2	240	0.979				1.00			22.70	74.17			0.57	0.85	1.20				0.28			
<i>Xerocomus illudens</i> (Peck) Singer 1945	7	7	180	0.947									4.83	57.73	8.27		8.34	4.51			13.38		2.97	
<i>Xerocomus subtomentosus</i> (L.) Quél. 1887	5	4	160	0.983									3.55	65.69	4.21		3.44	13.44			6.82		2.87	0.65

NOTA: **BIO1** = Temperatura Media Anual; **BIO2** = Rango Diurno Medio (Producto de Temperatura Máxima – Temperatura Mínima); **BIO3** = Isotermalidad (BIO2/BIO7) (x100); **BIO4** = Temperatura Estacional (Desviación Estándar x100); **BIO5** = Temperatura Máxima Del Mes Más Cálido; **BIO6** = Temperatura Mínima Del Mes Más Frío; **BIO7** = Rango Anual De Temperatura (BIO5-BIO6); **BIO8** = Temperatura Media Del Trimestre Más Húmedo; **BIO9** = Temperatura Media Del Trimestre Más Seco; **BIO10** = Temperatura Media Del Trimestre Más Cálido; **BIO11** = Temperatura Media Del Trimestre Más Frío; **BIO12** = Precipitación Anual; **BIO13** = Precipitación Del Mes Más Húmedo; **BIO14** = Precipitación Del Mes Del Más Seco; **BIO15** = Estacionalidad De La Precipitación (Coeficiente De Variación); **BIO16** = Precipitación Del Trimestre Más Húmedo; **BIO17** = Precipitación Del Trimestre Más Seco; **BIO18** = Precipitación Del Trimestre Más Cálida; **BIO19** = Precipitación Del Trimestre Más Frío; **MDE** = Modelo Digital de Elevación del terreno.

Tal como se aprecia en la **Tabla 6**, son muchos los modelos generados, por lo cual, se tomó la decisión de mostrar de forma detallada los resultados para los modelos con valores de AUC mínimo (0.764), máximo (1.000) y promedio (0.954), resultando seleccionadas las siguientes especies: *Chroogomphus jamaicensis*, *Exsudoporus floridanus* y *Leccinellum griseum* (éste último presentó un valor de 0.953, sin embargo, es el más cercano al valor promedio).

En el **Gráfico 1** de la AUC de la especie *Leccinellum griseum*, donde se aprecia el valor de 0.953 que se clasifica como **Muy Bueno**, de acuerdo con lo presentado en la **Tabla 3** y en la **Tabla 4**.

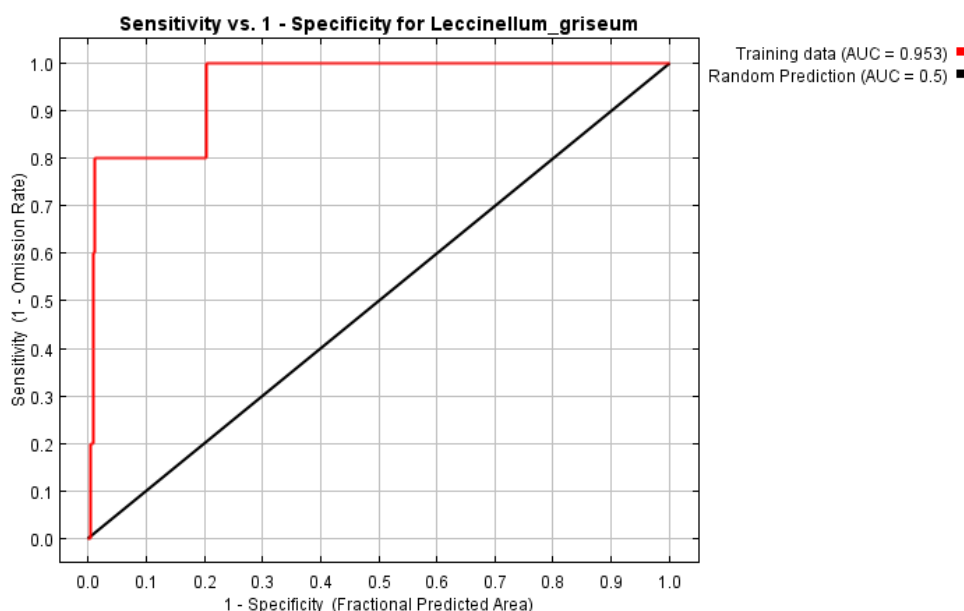


Gráfico 1. Gráfico que muestra el AUC para la especie *Leccinellum griseum*, mostrando muy buena capacidad para predecir la distribución potencial de dicha especie.

En cambio, el AUC para la especie *Chroogomphus jamaicensis* es de 0.764 que se clasifica como **Bueno**, de acuerdo con lo presentado en la **Tabla 4**, y su gráfico correspondiente (**Gráfico 2**).

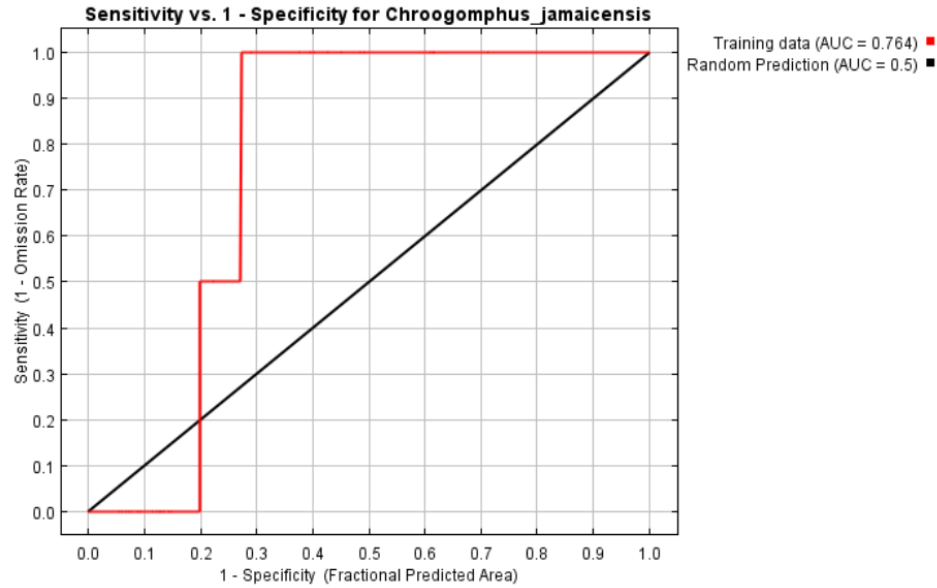


Gráfico 2. Gráfico que muestra el AUC para la especie *Chroogomphus jamaicensis*, mostrando muy buena capacidad para predecir la distribución potencial de dicha especie.

También se tiene el resultado del AUC para la especie *Exsudoporus floridanuses*, que es de 1.000 y se clasifica como **Excelente**, de acuerdo con lo presentado en la **Tabla 3** y la **Tabla 4**, y su gráfico correspondiente (**Gráfico 3**).

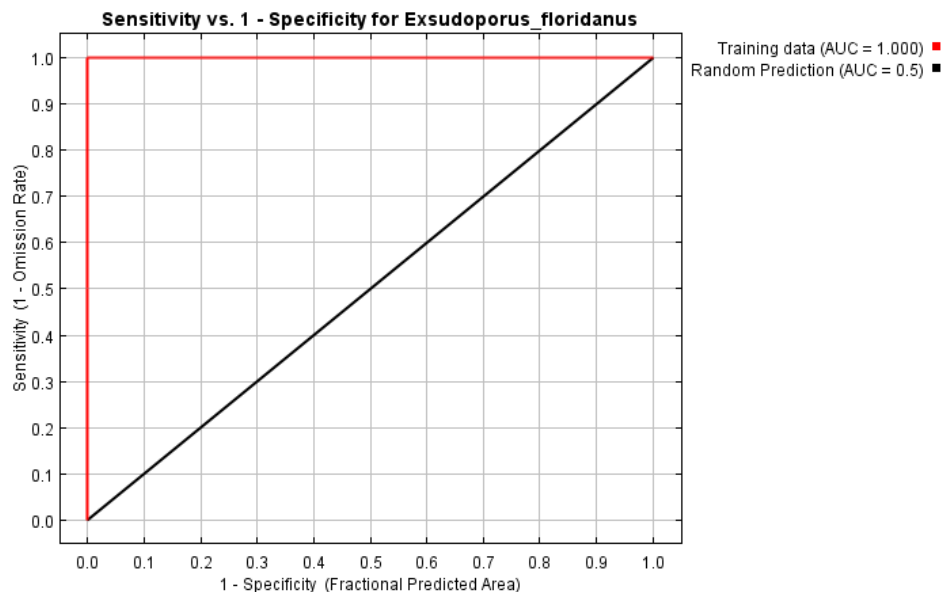


Gráfico 3. Gráfico que muestra el AUC para la especie *Exsudoporus floridanuses*, mostrando muy buena capacidad para predecir la distribución potencial de dicha especie.

La totalidad de los gráficos correspondientes al AUC para cada modelo, por especie, se presentan en la sección de anexos, en el ANEXO 2.

Las variables más importantes en el modelo de *Leccinellum griseum* se estimaron al correr una prueba de jackknife. Se observa que las variables bio_18, bio_12, bio_16 y bio_7 son más útiles que el resto para estimar la distribución de *Leccinellum griseum* (**Gráfico 4**), no obstante y de acuerdo con la documentación de apoyo que se puede encontrar en la página del American Museum of Natural History (de donde se descarga el programa Maxent), “las barras azul claro sugieren que ninguna variable contiene una cantidad sustancial de información útil, que no esté contenida en las otras variables, dado que no decrece de manera considerable la ganancia del entrenamiento cuando se omite una variable dada” (Steven, 2024).

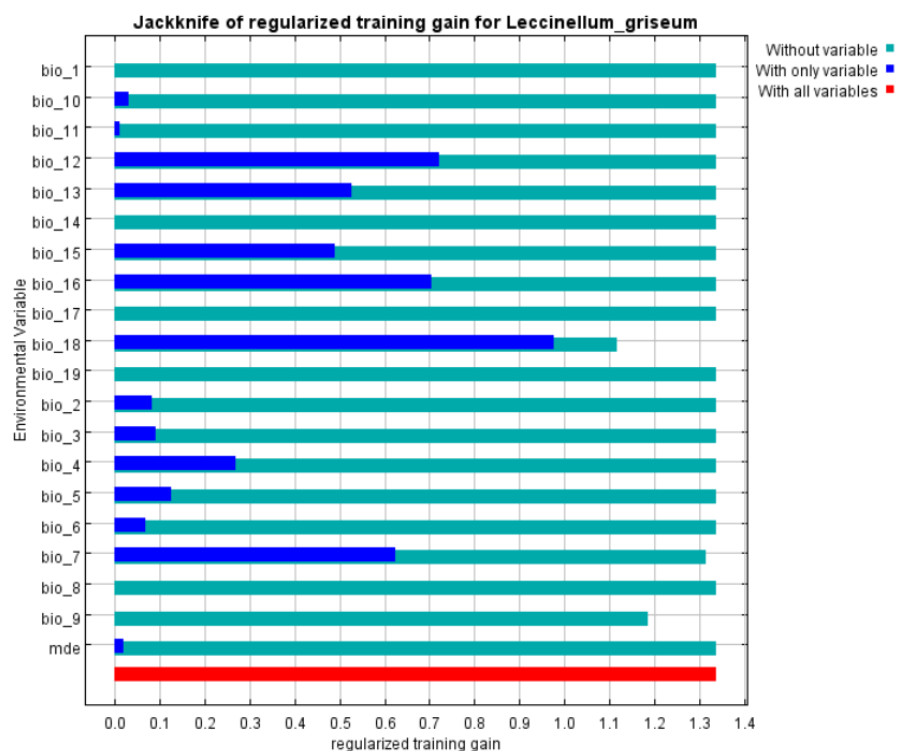


Gráfico 4. Prueba de jackknife para el modelo de *Leccinellum griseum*, donde se aprecian las variables bioclimáticas son las más útiles en la generación del modelo de distribución potencial.

Las variables más importantes en el modelo de *Chroogomphus jamaicensis* se estimaron al correr una prueba de jackknife. Se observa que las variables bio_14, bio_17 y bio_19 son más

útiles que el resto para estimar la distribución de *Chroogomphus jamaicensis* (**Gráfico 5**), no obstante, y de acuerdo con la documentación de apoyo que se puede encontrar en la página del American Museum of Natural History (de donde se descarga el programa Maxent), “las barras azul claro sugieren que ninguna variable contiene una cantidad sustancial de información útil, que no esté contenida en las otras variables, dado que no decrece de manera considerable la ganancia del entrenamiento cuando se omite una variable dada” (Steven, 2024).

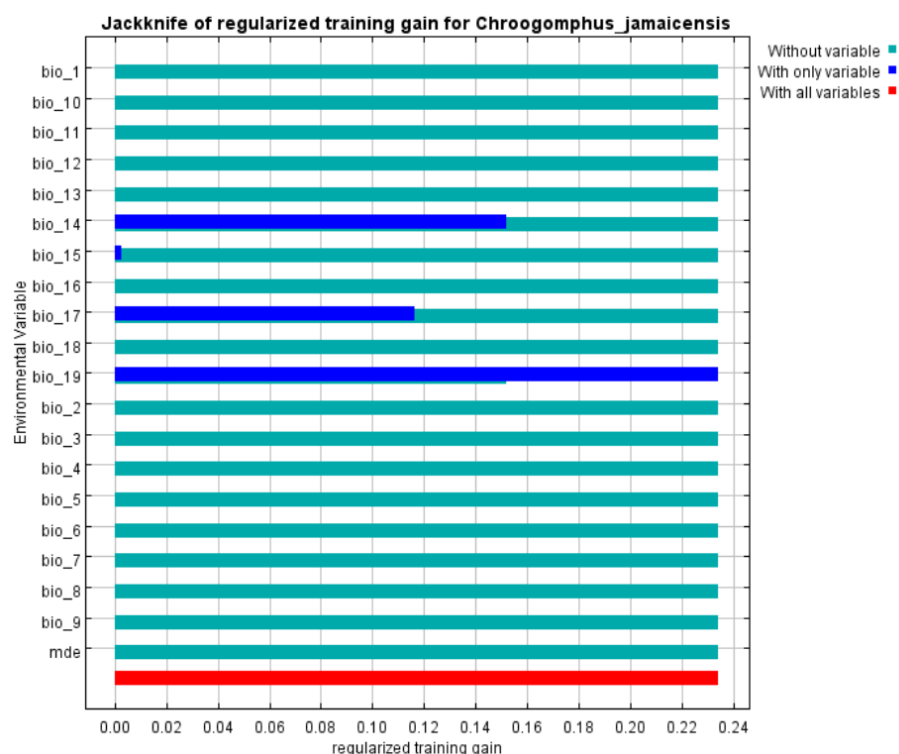


Gráfico 5. Prueba de jackknife para el modelo de *Chroogomphus jamaicensis*, donde se aprecian las variables bioclimáticas son las más útiles en la generación del modelo de distribución potencial.

Las variables más importantes en el modelo de *Exsudoporus floridanuses* se estimaron al correr una prueba de jackknife. Se observa que las variables bio_7 y mde son más útiles que el resto para estimar la distribución de *Exsudoporus floridanuses* (**Gráfico 6**), no obstante, y de acuerdo con la documentación de apoyo que se puede encontrar en la página del American Museum of Natural History (de donde se descarga el programa Maxent), “las barras azul claro sugieren que ninguna variable contiene una cantidad sustancial de información útil, que no esté

contenida en las otras variables, dado que no decrece de manera considerable la ganancia del entrenamiento cuando se omite una variable dada” (Steven, 2024).

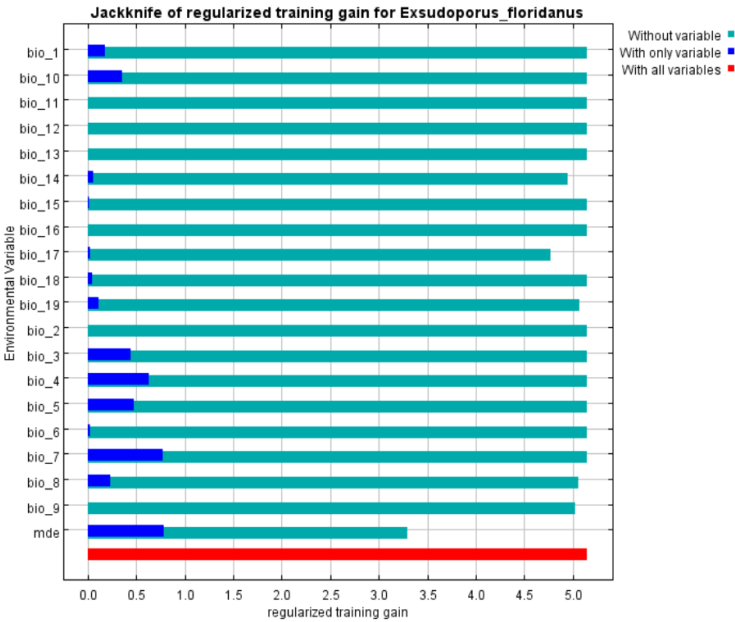


Gráfico 6. Prueba de jacknife para el modelo de *Exsudoporus floridanus*, donde se aprecian las variables bioclimáticas son las más útiles en la generación del modelo de distribución potencial.

La totalidad de los gráficos que muestran la prueba de jacknife para cada modelo, por especie, se muestran en el apartado de Anexos, en el ANEXO 3.

Las variables bioclimáticas que presentan mayor contribución al modelo de la especie *Chroogomphus jamaicensis* es bio_19, mientras que para el modelo de la especie *Leccinellum griseum* la variable con mayor porcentaje de contribución fue bio_18 y, por último, para el modelo de la especie *Exsudoporus floridanus* se encontró que las variables bio_8 y MDE son las que presentan mayor porcentaje de contribución (**Tabla 7**).

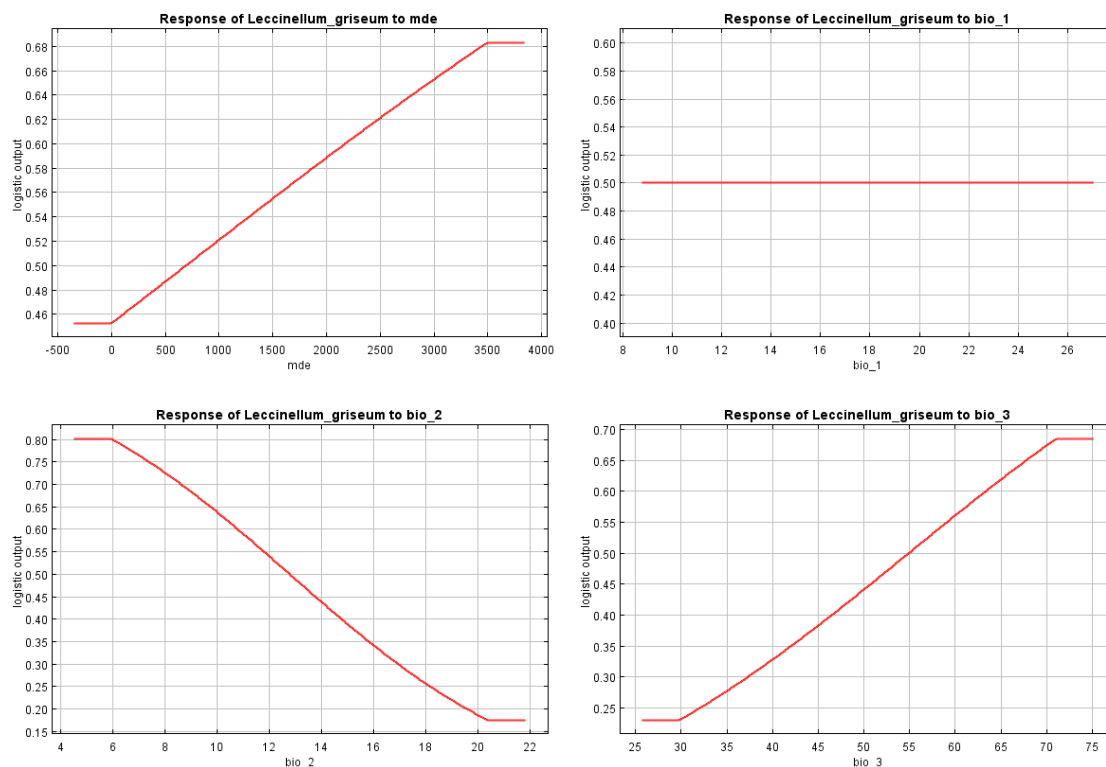
Tabla 7. Mayor porcentaje de contribución de cada variable bioclimática para las especies *Chroogomphus jamaicensis*, *Leccinellum griseum* y *Exsudoporus floridanus*.

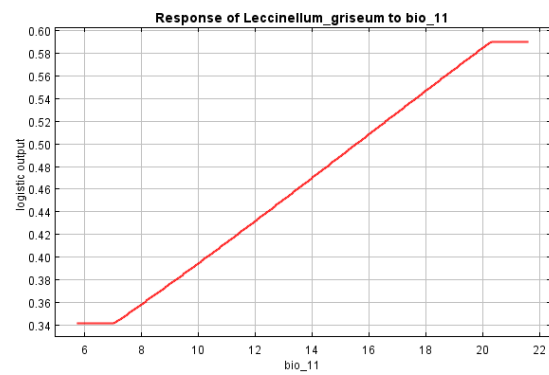
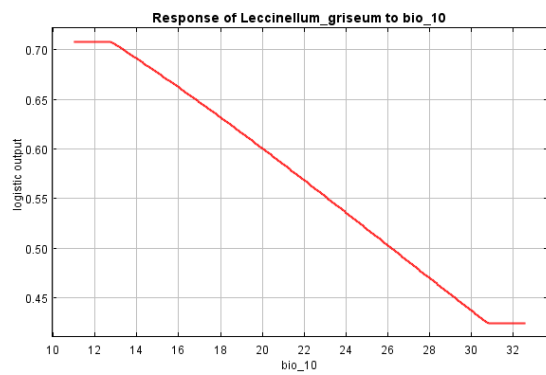
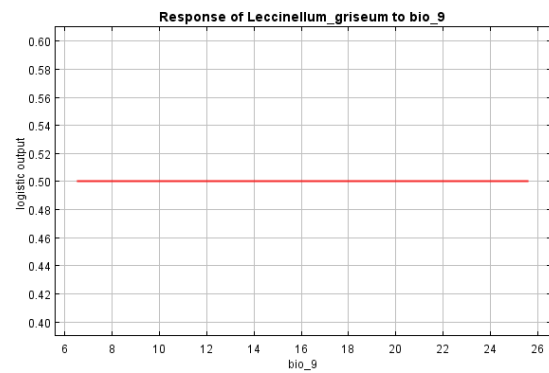
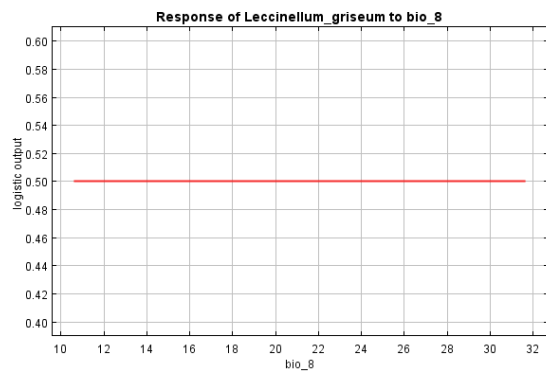
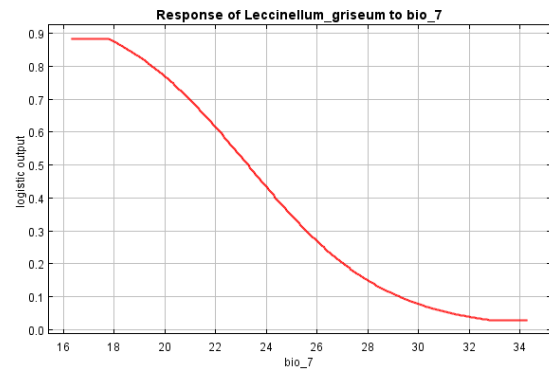
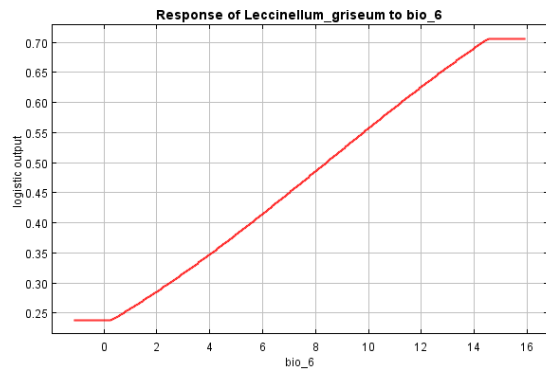
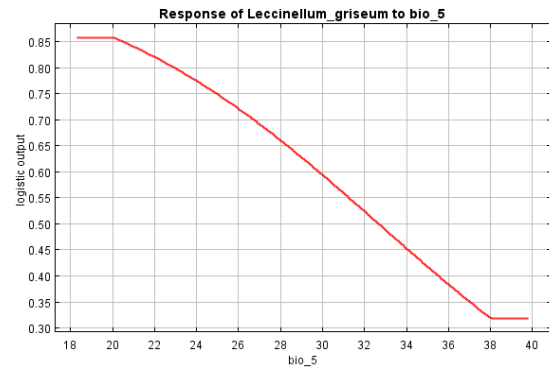
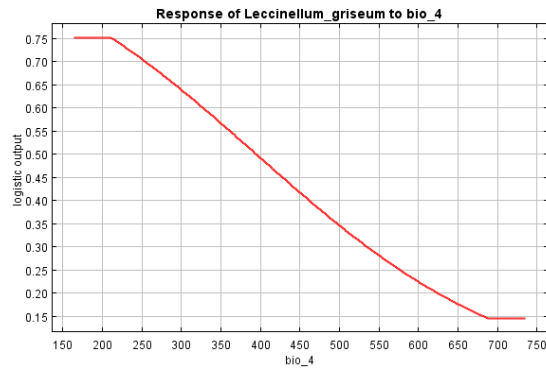
Especies	bio_8	bio_18	bio_19	MDE
<i>Chroogomphus jamaicensis</i>	-	-	99.93	-
<i>Leccinellum griseum</i>	-	85.73	-	27.90

Especies	bio_8	bio_18	bio_19	MDE
<i>Exsudoporus floridanus</i>	24.59	-	-	41.88

La totalidad de las variables bioclimáticas que tuvieron mayor porcentaje de contribución para cada modelo, por especie, se muestran en el apartado de Anexos, en el ANEXO 4.

Otro producto que se obtuvo de Maxent fueron las curvas de representación de cada variable bioclimática, pues se generó un modelo Maxent creado utilizando solo la variable correspondiente. Estos gráficos reflejan la dependencia de la idoneidad que se predice tanto de la variable en uso como de las dependencias inducidas por las correlaciones entre la variable en uso con otras variables (**Gráfico 7, Gráfico 8 y Gráfico 9**).





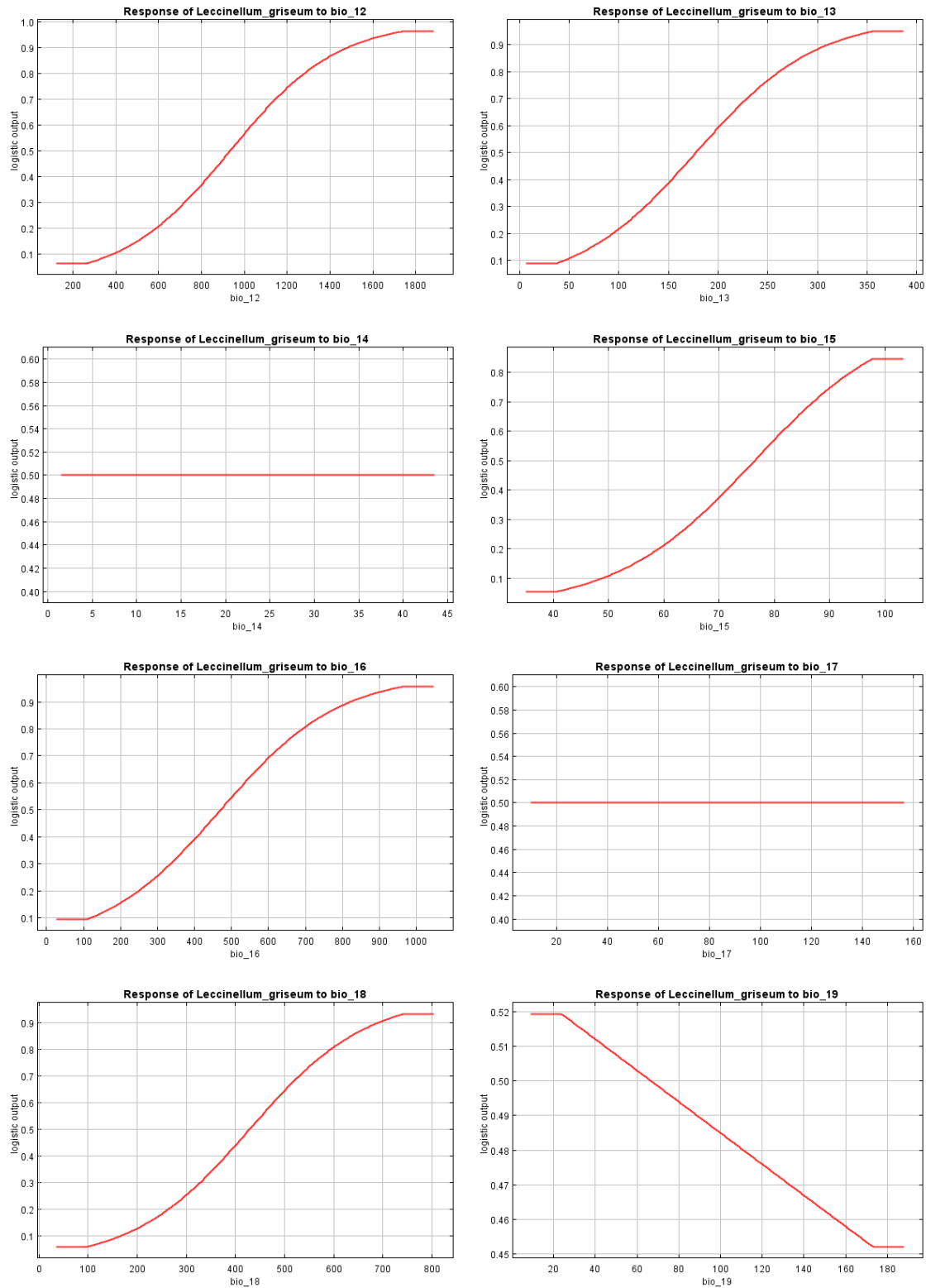
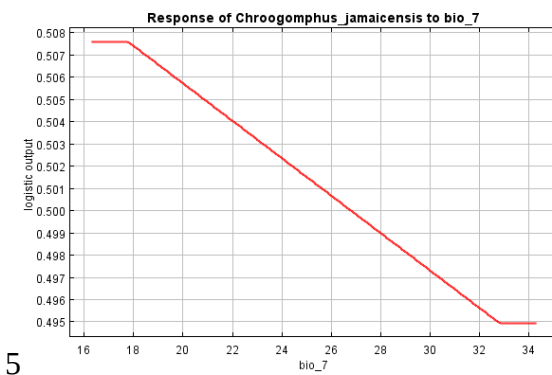
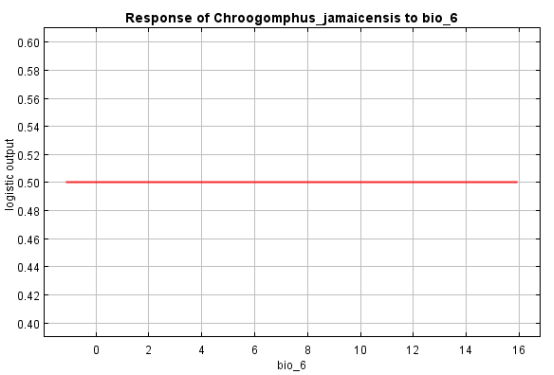
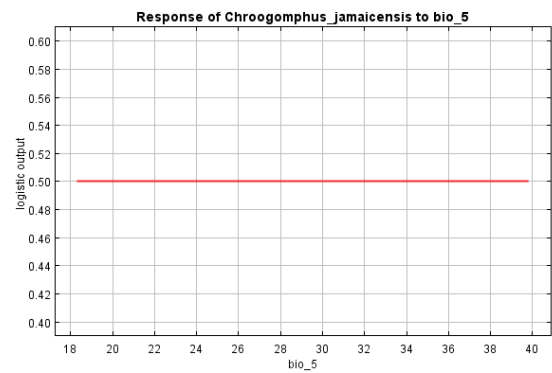
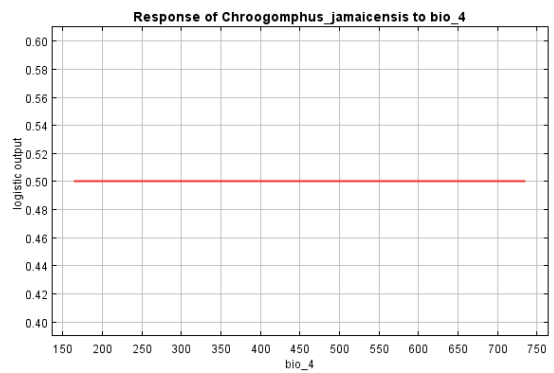
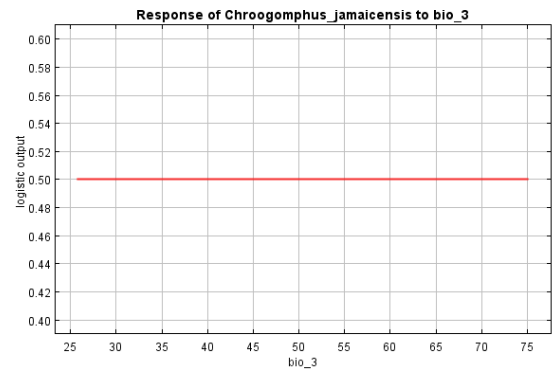
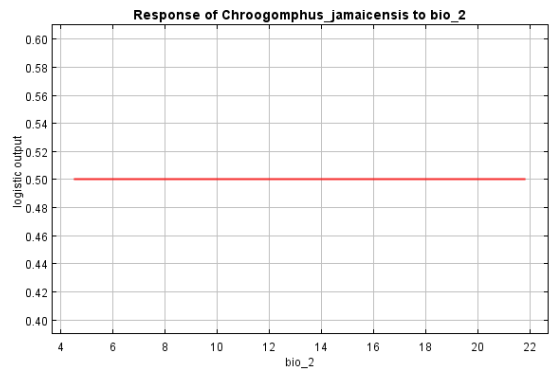
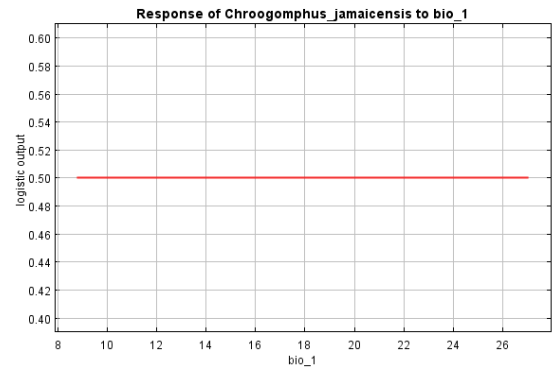
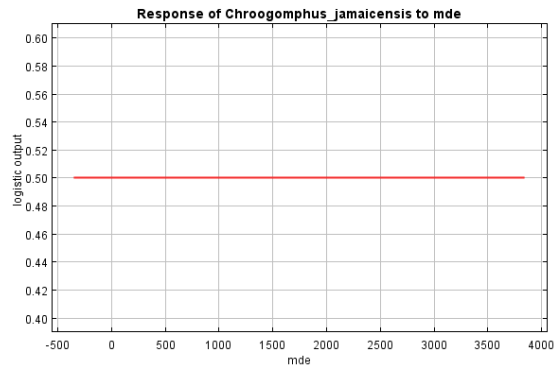
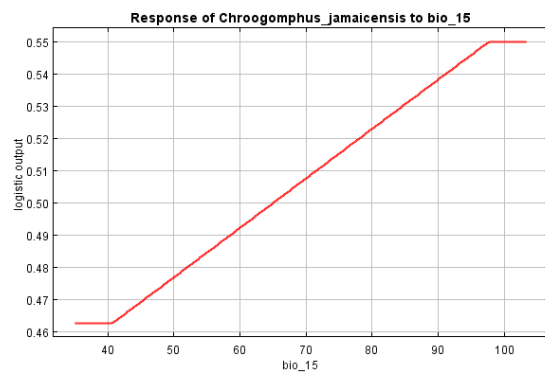
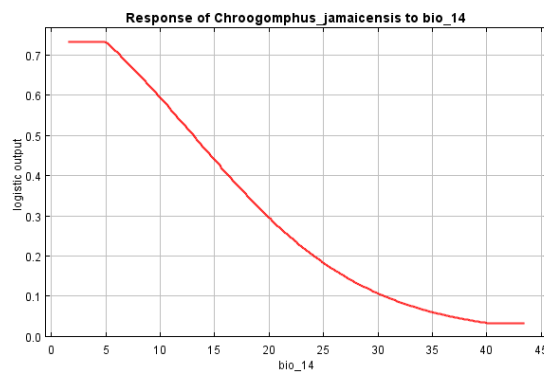
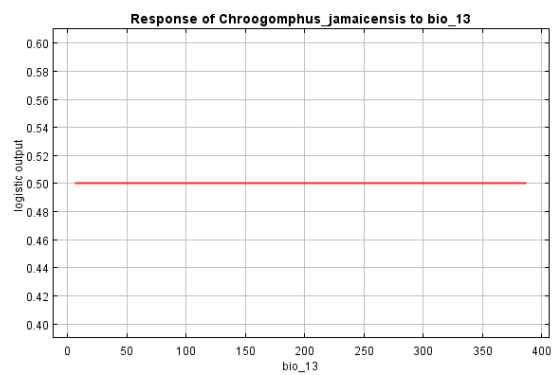
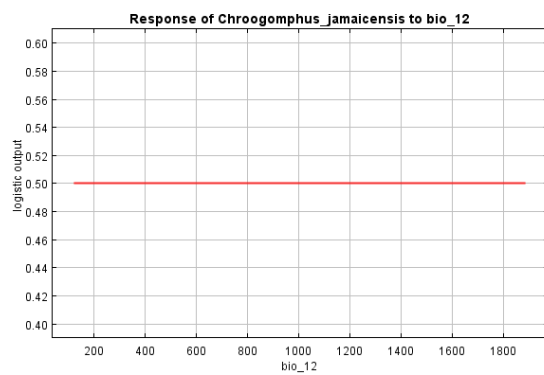
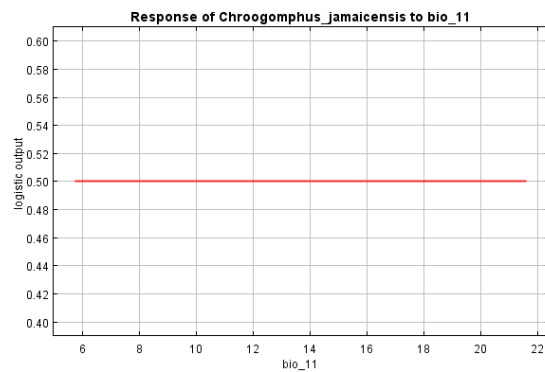
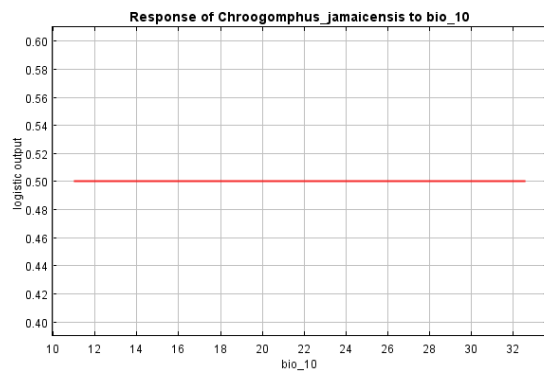
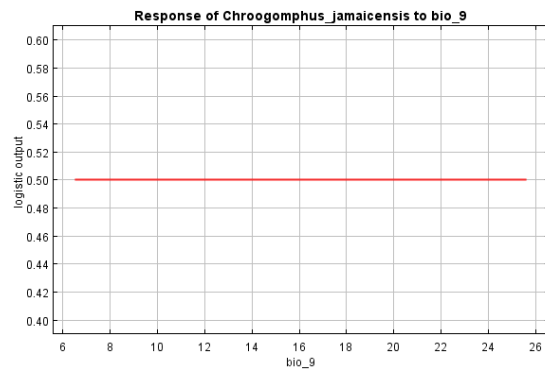
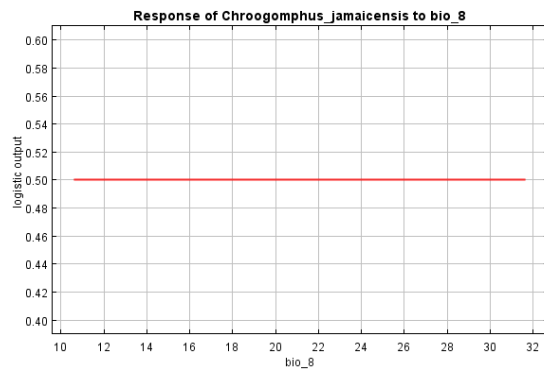


Gráfico 7. Conjunto de curvas generadas por Maxent que representan modelos independientes para cada variable bioclimática, para la especie *Leccinellum griseum*.



5



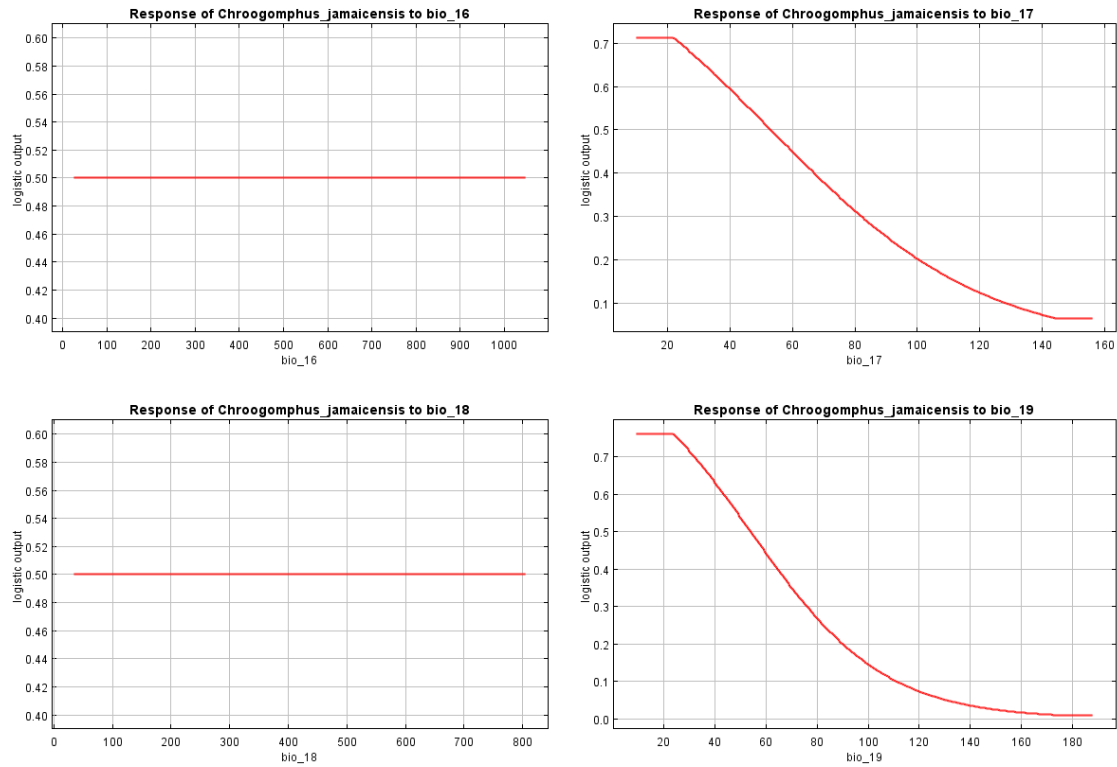
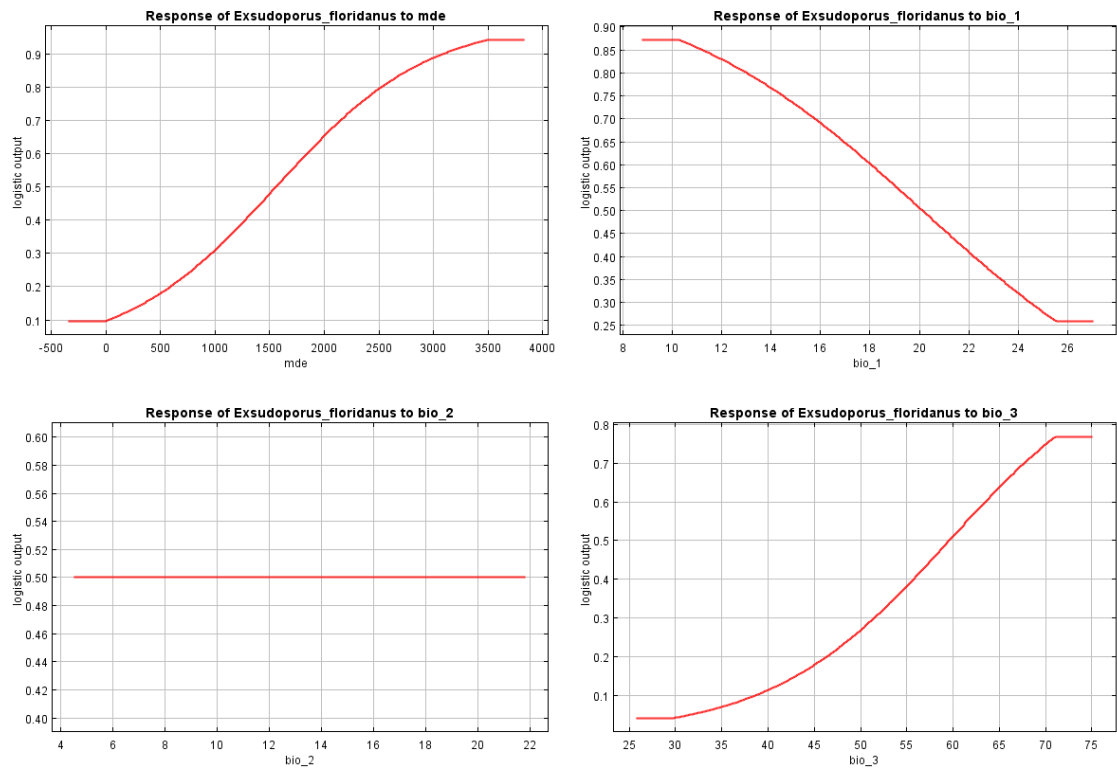
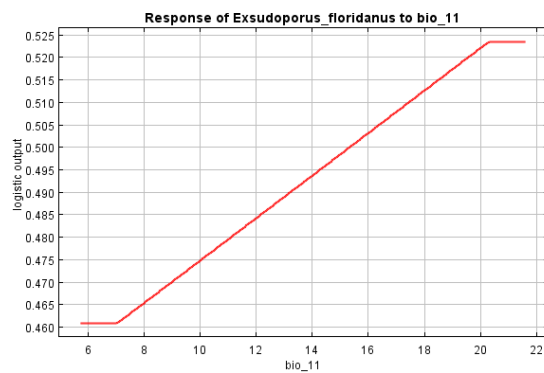
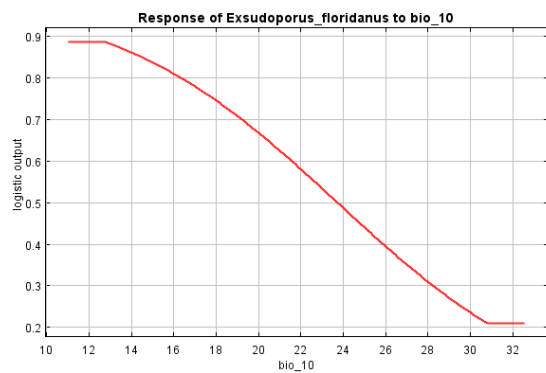
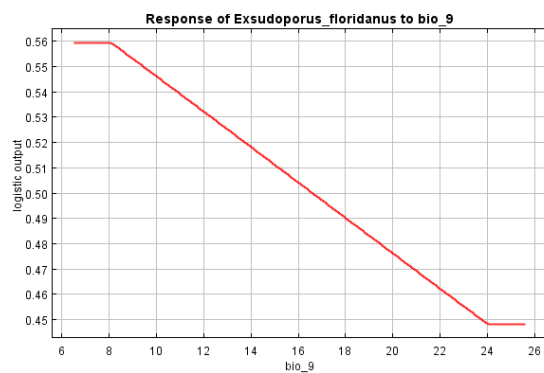
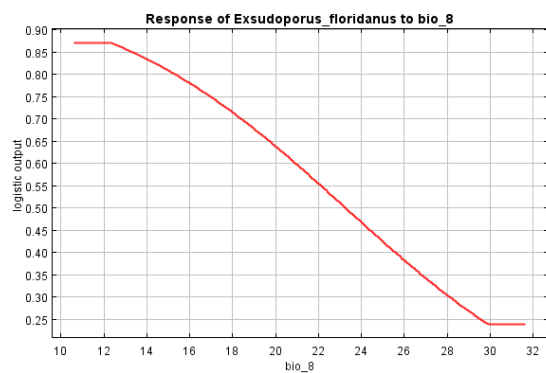
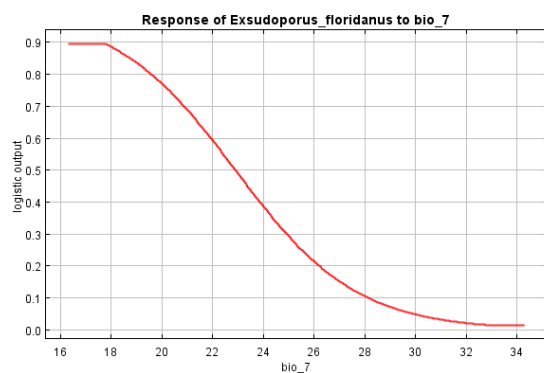
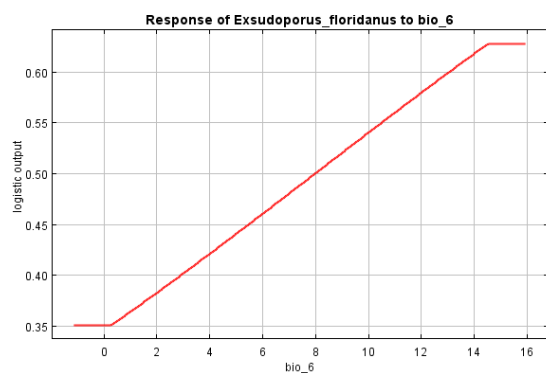
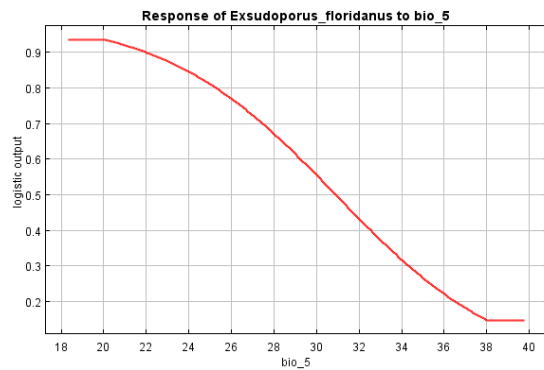
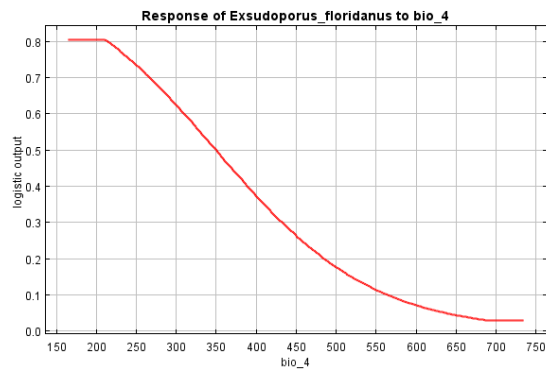


Gráfico 8. Conjunto de curvas generadas por Maxent que representan modelos independientes para cada variable bioclimática, para la especie *Chroogomphus jamaicensis*.





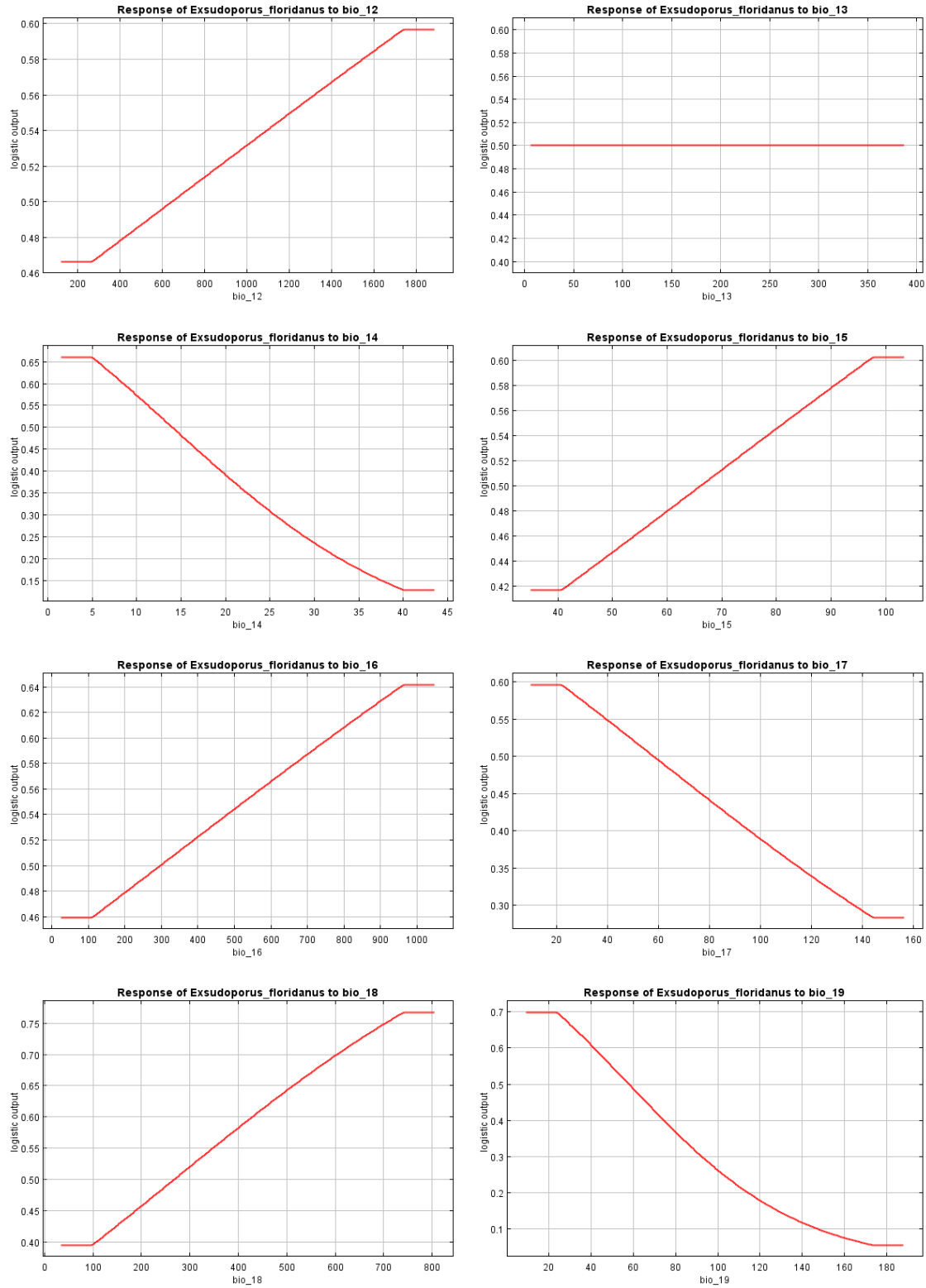


Gráfico 9. Conjunto de curvas generadas por Maxent que representan modelos independientes para cada variable bioclimática, para la especie *Exsudoporus floridanus*.

La totalidad de las curvas generadas por Maxent que representan modelos independientes para cada variable bioclimática para cada especie, se muestran en el apartado de Anexos, en el ANEXO 5.

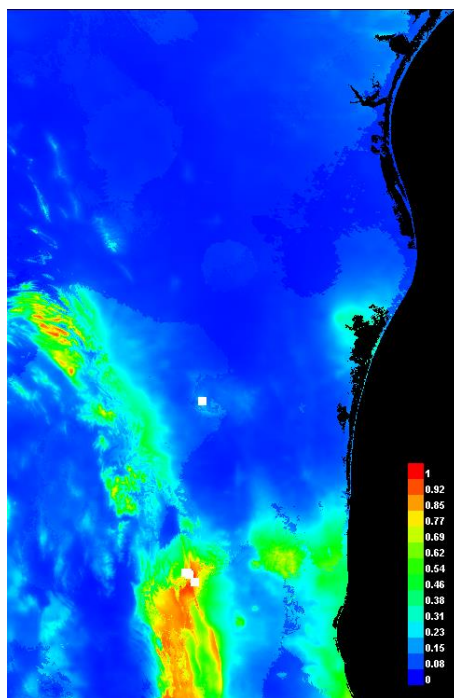


Figura 18. Representación del modelo de Maxent para *Leccinellum griseum*.

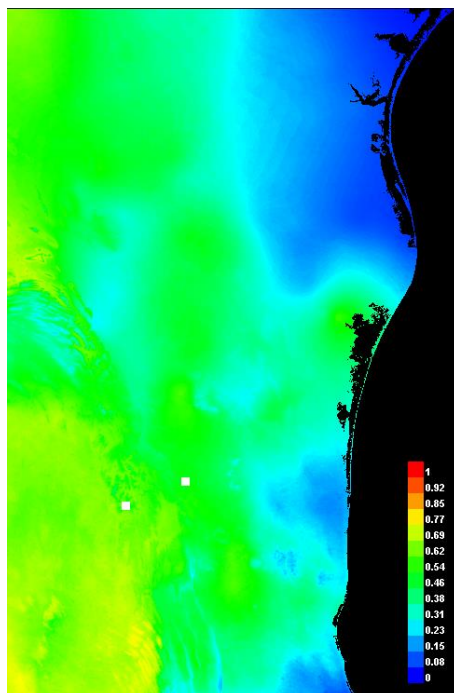


Figura 19. Representación del modelo de Maxent para *Chroogomphus jamaicensis*.

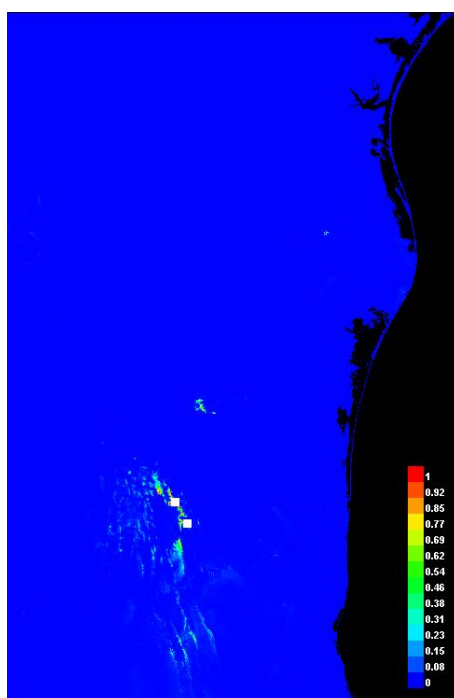


Figura 20. Representación del modelo de Maxent para *Exsudoporus floridanus*.

La totalidad de las imágenes que muestran la probabilidad de los modelos generados para cada especie, se muestran en el apartado de Anexos, en el ANEXO 6.

6.5. Del análisis de la distribución e importancia de los hongos del Orden Boletales en los ecosistemas afectados y la especificación de posibles impactos ambientales que pudieron haberse obviado

La especie *Leccinellum griseum* presentó una distribución potencial de 955.25ha dentro de los polígonos de los ETJ autorizados. Esa superficie está compuesta por 3 usos de suelo (Agricultura de temporal anual y semipermanente, pastizal cultivado y pastizal inducido), así como 3 tipos de vegetación (bosque de encino, selva baja caducifolia y Vegetación secundaria herbácea de selva baja caducifolia. El tipo de vegetación que presentó mayor superficie de distribución potencial fue selva baja caducifolia con 805.11ha, de las cuales 763.65ha presentan una probabilidad de presencia de entre 0.8 – 0.9.

La especie *Chroogomphus jamaicensis* presentó una distribución potencial de 746.80ha dentro de los polígonos de los ETJ autorizados. Esa superficie está compuesta por 4 usos de suelo (Agricultura de riego anual, agricultura de temporal anual, pastizal cultivado y pastizal inducido), así como 10 tipos de vegetación (bosque de encino, bosque de táscate, matorral crasicaule, matorral desértico rosetófilo, matorral submontano, mezquital xerófilo, selva baja caducifolia, Vegetación secundaria arbustiva de bosque de táscate y Vegetación secundaria arbustiva de matorral espinoso tamaulipeco. El tipo de vegetación que presentó mayor superficie de distribución potencial fue bosque de encino con 138.66ha, de las cuales 71.67ha presentan una probabilidad de presencia de entre 0.6 – 0.7.

Debido a que al realizar el análisis de presencia en polígonos autorizados de ETJ sobre la especie *Exsudoporus floridanus*, no se encontraron datos de coincidencia espacial, se decidió tomar como ejemplo los resultados de la especie *Exsudoporus frostii*, ya que era la siguiente en la lista. Esta especie presentó una distribución potencial de 194.38ha dentro de los polígonos de los ETJ autorizados. Esa superficie está compuesta por 2 usos de suelo (agricultura de temporal anual y pastizal inducido, así como 4 tipos de vegetación (bosque de encino, bosque de táscate,

selva baja caducifolia y Vegetación secundaria arbustiva de bosque de táscate. El tipo de vegetación que presentó mayor superficie de distribución potencial fue bosque de encino con 156.26ha, de las cuales 128.10ha presentan una probabilidad de presencia de entre 0.6 – 0.7.

Los valores anteriores pueden ser consultados en la **Tabla 8**, donde se aprecia la probabilidad que presentó cada especie de hongo, por tipo de vegetación y/o uso del suelo, por superficie coincidente con los ETJ autorizados.

La totalidad de los datos de probabilidad generados para cada especie se muestran en el apartado de Anexos, en el ANEXO 7.

Tabla 8. Probabilidad de encontrar a la especie *Chroogomphus jamaicensis*, *Leccinellum griseum* o *Exsudoporus frostii* en una determinada superficie de un Estudio Técnico Justificativo (ETJ) autorizado (ha), por tipo de vegetación y/o uso de suelo, por especie (Elaboración propia).

Tipo de vegetación y uso del suelo por especie	Probabilidad por superficie (ha)										Total general
	0.60	0.70	0.80	0.88261	0.89329	0.89332	0.896	0.897	0.898	0.90	
<i>Leccinellum griseum</i>	31.48	0.94	65.74							857.09	955.25
Agricultura de temporal anual y semipermanente										1.52	1.52
Bosque de encino	24.84	0.74	20.62								46.20
Pastizal cultivado										90.93	90.93
Pastizal inducido	1.86		8.64								10.50
Selva baja caducifolia	4.78	0.20	36.49							763.65	805.11
Vegetación secundaria herbácea de selva baja caducifolia										0.99	0.99
<i>Chroogomphus jamaicensis</i>	637.56	109.24									746.80
Agricultura de riego anual	1.33										1.33
Agricultura de temporal anual	14.67	3.52									18.19
Bosque de encino	66.99	71.67									138.66
Bosque de táscate	0.63	8.40									9.03
Matorral crasicaule	14.93										14.93
Matorral desértico rosetófilo		0.30									0.30
Matorral submontano	49.77	4.98									54.75
Mezquital xerófilo		2.66									2.66
Pastizal cultivado	4.45										4.45
Pastizal inducido	4.41	11.76									16.17
Selva baja caducifolia	1.35										1.35
Selva baja espinosa caducifolia	33.02										33.02
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de táscate		5.95									5.95
Vegetación secundaria arbustiva de matorral espinoso tamaulipeco	446.00										446.00
<i>Exsudoporus frostii</i>	62.80	131.58									194.38
Agricultura de temporal anual	2.45										2.45
Bosque de encino	28.16	128.10									156.26

Tipo de vegetación y uso del suelo por especie	Probabilidad por superficie (ha)										Total general
	0.60	0.70	0.80	0.88261	0.89329	0.89332	0.896	0.897	0.898	0.90	
Bosque de táscate	9.03										9.03
Pastizal inducido	8.14	3.02									11.16
Selva baja caducifolia	12.74	0.46									13.20
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de táscate	2.28										2.28

En lo que respecta al análisis de los tipos de vegetación, consistió en dividirlos con base en ecosistemas similares que comparten, quedando de la siguiente manera:

- Grupo 1: bosque de encino, bosque de táscate y vegetación secundaria arbustiva de bosque de táscate
- Grupo 2: bosque de mezquite, matorral crasicaule, matorral desértico rosetófilo, vegetación secundaria arbustiva de matorral espinoso tamaulipeco matorral submontano, vegetación secundaria arbustiva de matorral submontano y mezquital xerófilo
- Grupo 3: pastizal cultivado y pastizal inducido
- Grupo 4: selva baja caducifolia, vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia
- Vegetación secundaria herbácea de selva baja caducifolia, selva baja espinosa caducifolia,
- Grupo 5: vegetación de dunas costeras
- Grupo 6: agricultura de riego anual, agricultura de temporal anual, agricultura de temporal anual y semipermanente, asentamientos humanos, desprovisto de vegetación

La importancia de los hongos macroscópicos en los ecosistemas forestales radica en lo siguiente: *“los hongos tienen un papel relevante en el funcionamiento de los ecosistemas forestales,..., donde la simbiosis ectomicorrízica hongo-planta es fundamental para el mantenimiento de la salud del arbolado,..., además de participar de manera importante en el ciclo de los nutrientes, y en la absorción del agua, entre otras funciones”* (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, 2023). Adicionalmente, *“los hongos de los ecosistemas templados tienen gran importancia culinaria, pues éstos se recolectan y se desarrollan en ecosistemas como bosques templados y templados fríos; organismos que tradicionalmente se producen en México, y de los cuales existe un registro aproximado de 370 especies, y son alrededor de 100 especies las que se comercializan durante la temporada de lluvias”* (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, 2022). E. Medina *et al* (2008) sugirieron que la simbiosis fúngica puede desempeñar un papel importante en la vinculación del ciclo de Carbono aéreo y subterráneo en los pastizales semiáridos en el centro de México. A su vez, los hongos también

ayudan a descomponer el Carbono contenido en el tejido vegetal y atraparlo en la tierra (Gibbens, 2021).

En lo que corresponde a los usos de suelo destinados a actividades antrópicas, específicamente de los usos de suelo predominantes en las áreas donde fueron autorizados los ETJ para el estado de Tamaulipas, no se tiene registro de hongos macroscópicos pertenecientes al Orden Boletales, sin embargo, de acuerdo con los procesos de evaluación de la SEMARNAT, estas áreas sí presentaron vegetación de tipo forestal, por lo cual en su momento también se consideraron para la autorización del CUSTF.

En cuanto a los impactos ambientales que pudieron haberse obviado se encuentran los siguientes:

- Posible pérdida de biodiversidad fúngica
- Pérdida de la capacidad productiva del suelo
- Disminución en la degradación y reincorporación de nutrientes al suelo
- Disminución de la mico-remediación
- Disminución en la captura de carbono atmosférico
- Alteración de la capacidad de control biológico natural
- Modificación del ciclo del agua
- Afectación negativa en las relaciones simbióticas

6.6. De la propuesta de medidas de mitigación y compensación adicionales

En todos los ETJ analizados se encontró que se propusieron programas de rescate y reubicación de flora, así como programas de reforestación. Los programas de rescate y reubicación de flora silvestre presentaron distintos criterios para la determinación de las especies y cantidad de individuos por especie a rescatar, sin embargo, se encontró que en los últimos 4 años se ha comenzado a emplear el Índice de Valor de Importancia (IVI) para la determinación de las especies a rescatar, y a partir de ello se han empleado distintos métodos para determinar la cantidad por especie. Sin embargo, a pesar de ser 93 ETJ analizados, ninguno de ellos cuenta

con un listado micológico que permita identificar las especies de hongos presentes en dichas áreas, y tampoco aquellos que estén asociados a las especies de flora silvestre rescatadas. Lo mismo ocurre con el programa de reforestación, donde solo se encontró que se proponen distintas especies adaptadas a los ecosistemas afectados, pero no se consideran especies de hongos específicas para las plantas que se proponen. Lo que sí se encontró es que en algunos de los estudios y programas sí se menciona la importancia del uso de las micorrizas para tener éxito en las reforestaciones y reubicaciones de flora rescatada, pero se hace de forma general. No obstante, en dos ETJ (uno del municipio de Altamira y el otro del municipio de Nuevo Laredo) que fueron elaborados por mi persona, propuse que, durante las actividades de restauración, reubicación de flora silvestre, y reforestación se apliquen hongos micorrícicos nativos de las áreas donde se llevaron a cabo los CUSTF.

A partir del resultado encontrado se proponen las siguientes medidas de mitigación y/o compensación ambiental adicionales que se sugiere sean consideradas en la elaboración de los ETJ que se presenten en el futuro:

Medidas de Mitigación adicionales

- Realizar inventarios durante las temporadas de lluvia de acuerdo con los climogramas generados para las áreas de cada proyecto.
- Debido a que las especies de hongos presentan distintos tiempos para emitir el brote del cuerpo fructífero, se deberán realizar recorridos con tiempo de separación de una semana entre cada recorrido, para identificar la mayor cantidad de especies posible de hongos.
- Algunas especies de hongos no emiten cuerpo fructífero cada año, por lo cual se sugiere que el recorrido y monitoreo se realice durante las temporadas de lluvia de cada año.
- Se debe realizar un estudio de las características físicas y químicas de la capa y suelo orgánicos del área del proyecto para determinar el entorno de desarrollo y crecimiento de los hongos.
- Deberán considerarse las condiciones específicas de crecimiento de los hongos, e intentar reproducir dichas condiciones para llevar a cabo el cultivo de especies silvestres de hongos.

Medidas de Compensación ambiental adicionales

- La planta que se produzca para la reforestación deberá inocularse con las especies de hongos con las cuales tengan una relación específica.
- También se podrán aplicar las cepas de hongos una vez que las plantas hayan sido establecidas en campo.
- En el caso de las plantas que se rescaten y reubiquen se deberá poner especial atención en el sustrato, ya que lo idóneo es extraer los ejemplares con el cepellón lo más íntegro posible para conservar la carga micro biótica.
- Se deberá dar seguimiento continuo a la reforestación y la reubicación de flora silvestre por al menos 10 años hasta observar si existe brote de cuerpos fructíferos de hongos. Dichos cuerpos fructíferos deberán ser identificados hasta especie para generar un antecedente de la recuperación de los suelos y la capa vegetal.
- Hacer uso de especies de hongos descomponedores de materia orgánica para acelerar la reincorporación de nutrientes al suelo.

6.7. De las otras actividades realizadas

Se generaron 88 mapas para las especies que presentan un AUC superior a 0.6, sin embargo, en esta sección se presentan los mapas de distribución potencial generados para las especies *Chroogomphus jamaicensis*, *Exsudoporus floridanus* y *Leccinellum griseum*. De forma particular, estos mapas se muestran con las isoyetas e isotermas sobrepuestos para que el lector visualice las condiciones ambientales de precipitación y temperatura que pueden favorecer la presencia de determinadas especies de hongos. Por otra parte, en lo que respecta a la totalidad de los 88 mapas, éstos se generaron sobreponiendo el modelo generado sobre un fondo de color oscuro mostrando la delimitación municipal para que se aprecie de mejor manera la distribución potencial de cada especie. Dichos mapas se muestran en el apartado de Anexos, en tamaño doble carta para mejor visualización, en el ANEXO 8.

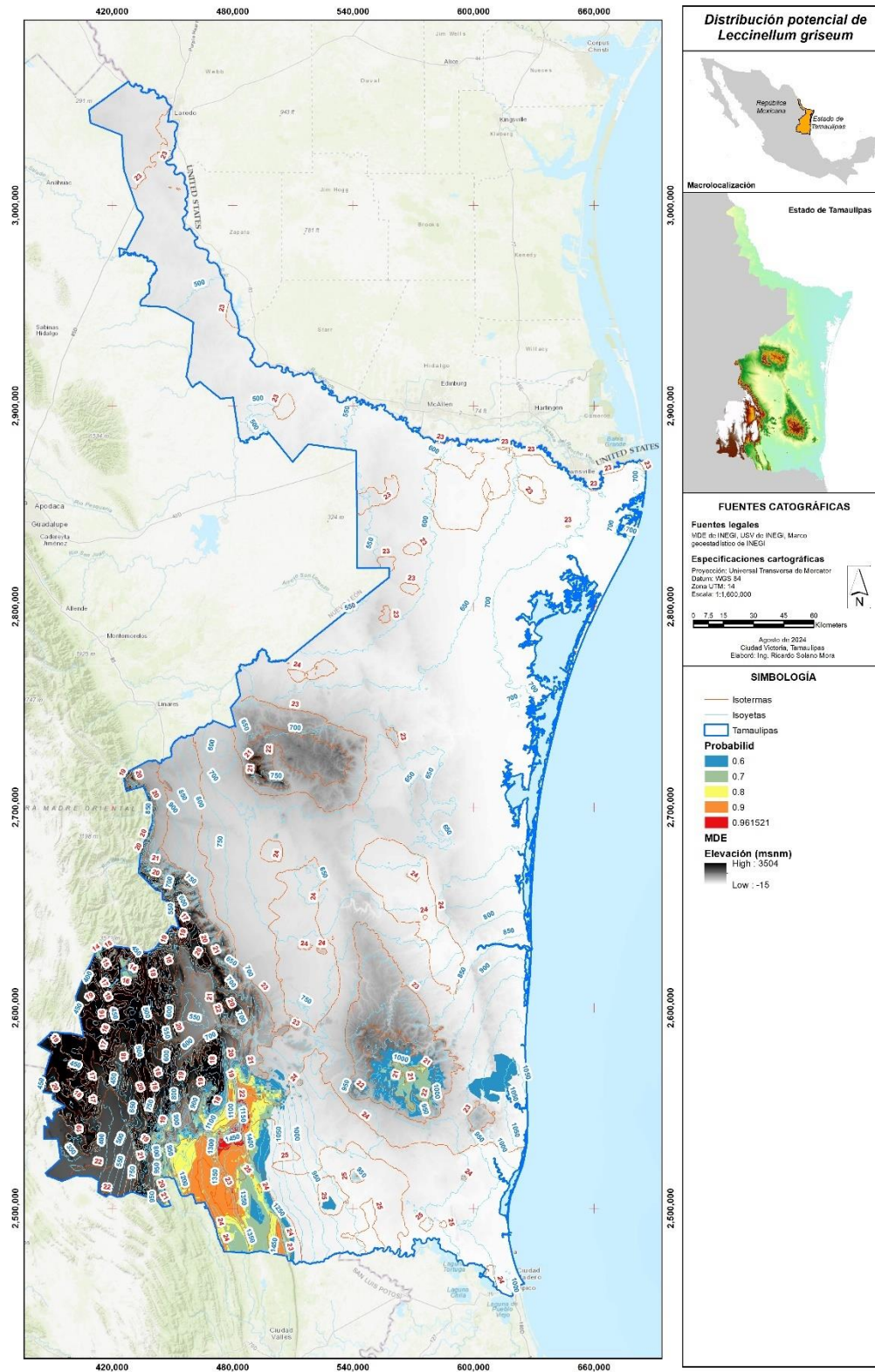


Figura 21. Modelo de distribución potencial de la especie *Leccinellum griseum*, donde se muestra la sobreposición con las isoyetas e isotermas para el Estado de Tamaulipas (Elaboración propia).

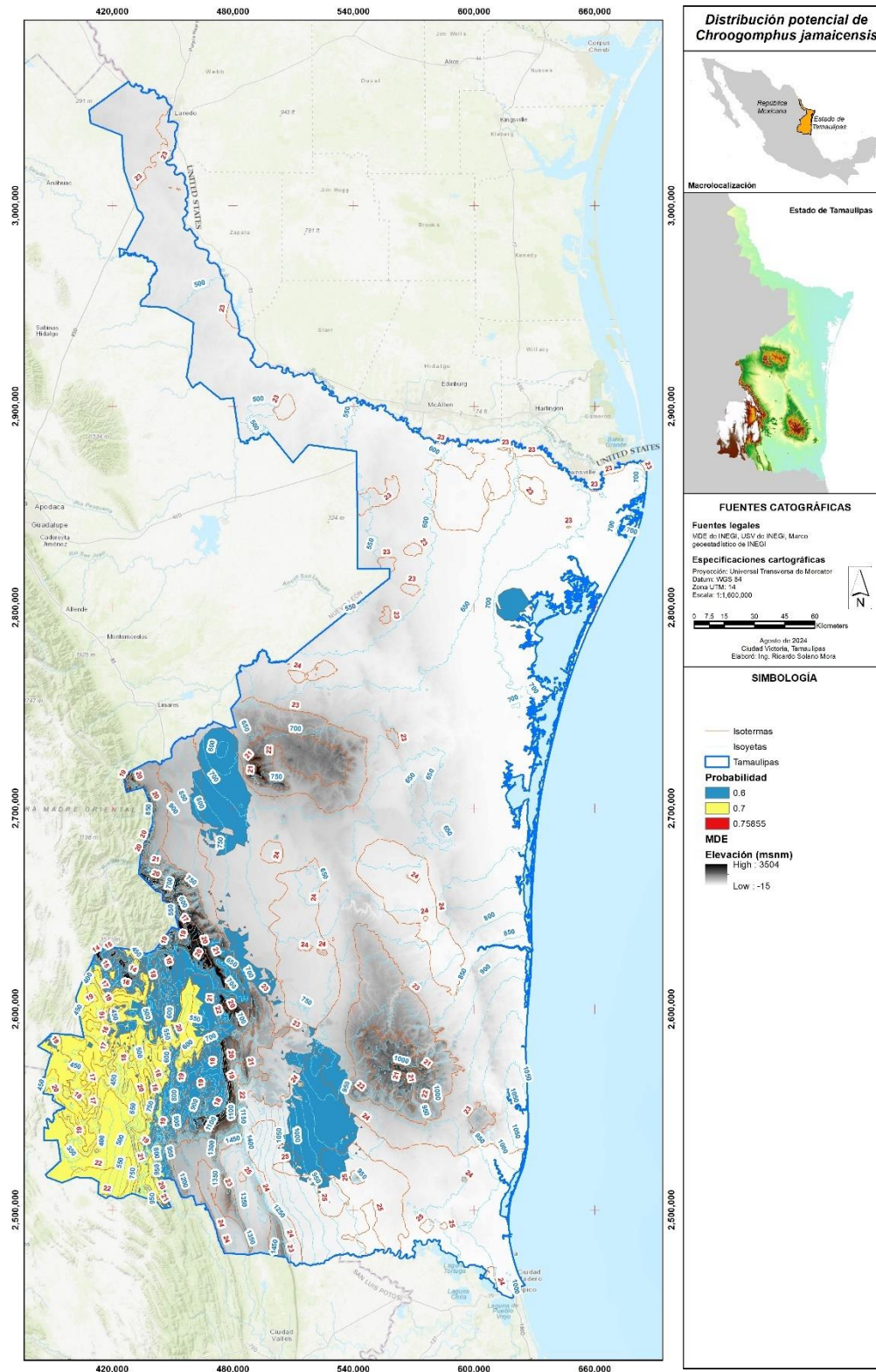


Figura 22. Modelo de distribución potencial de la especie *Chroogomphus jamaicensis*, donde se muestra la sobreposición con las isoyetas e isotermas para el Estado de Tamaulipas (Elaboración propia).

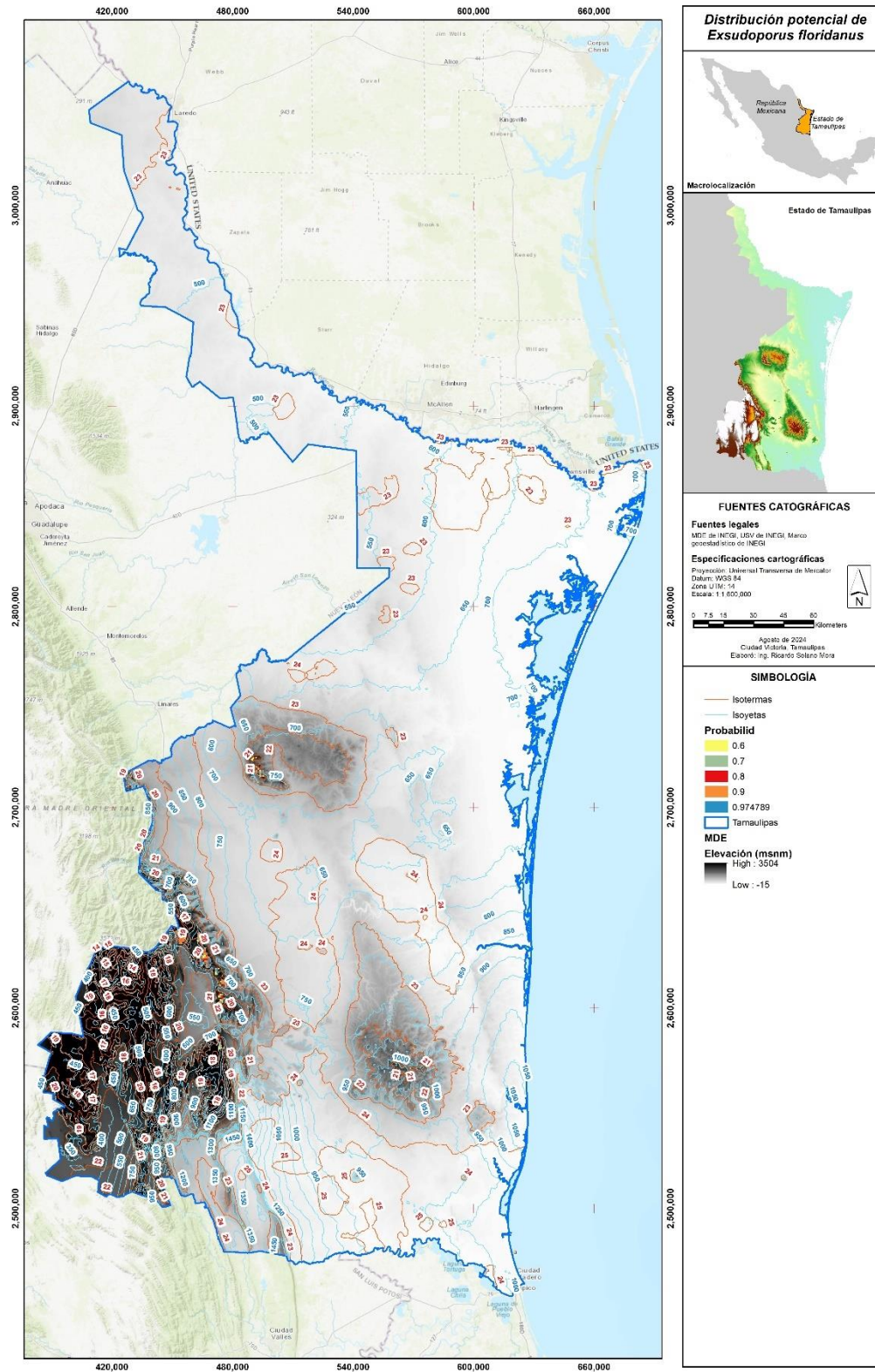


Figura 23. Modelo de distribución potencial de la especie *Exsudoporus floridanus*, donde se muestra la sobreposición con las isoyetas e isotermas para el Estado de Tamaulipas (Elaboración propia).

7. Discusión

El artículo 93 de la LGDFS es claro en los supuestos que deben cumplirse para que se autorice el CUSTF por excepción, sin embargo, al examinar la inclusión de los hongos en la formulación y elaboración de los ETJ resaltó que en ninguno de ellos se ha considerado el grupo micológico, por lo cual se está incumpliendo el precepto de mantener la biodiversidad de los ecosistemas que han sido afectados. En este sentido, la SEMARNAT debería robustecer la metodología de evaluación que se aplica al momento de analizar y evaluar la totalidad de la información contenida en los ETJ, y dar importancia a todos los grupos biológicos que conforman la biodiversidad de un ecosistema y no centrarse únicamente en los grupos grandes de flora y fauna, para así dar total cumplimiento a la excepción que se describe en el artículo 93 de la LGDFS. Por lo anterior, el ejercicio que se desarrolló y se describe en el presente documento podría favorecer la consideración de los hongos en la elaboración de los ETJ, puesto que se generaron modelos de distribución potencial que, si bien pueden mejorarse con la aplicación de más trabajo de campo para la generación de nuevos registros, por el momento los modelos generados pueden servir como guía para futuros estudios y la aplicación más estricta de los preceptos legislativos para la autorización por excepción del CUSTF.

Por otra parte, los modelos de distribución potencial que se generaron para las especies de hongos del Orden Boletales pueden mejorarse mediante mayor exploración en las áreas que se estiman con probabilidad de presencia de dichas especies, así como en otras áreas donde no se cuente con información suficiente sobre la diversidad micológica. Además, si bien la mayoría de los modelos generados presentan un AUC superior a 0.6, y varios de ellos presentan valores superiores a 0.9, cabe recordar que los modelos de distribución potencial no corresponden a modelos de zonificación, pues únicamente representan la probabilidad de encontrar la especie que se está modelando, pero falta trabajo de campo que robustezca la información generada, es decir, realizar trabajo de campo exploratorio en las áreas con distribución potencial que han sido generadas para corroborar que la probabilidad de presencia es fidedigna, así como trabajo exploratorio fuera de las áreas donde no se contó con registros de hongos de dichas especies. Este trabajo permitirá mejorar el porcentaje de probabilidad de los modelos de distribución potencial y robustecerá la confianza del lector y/o investigador para futuros trabajos, así como

también podría brindar una poderosa herramienta a las autoridades ambientales, en particular a la SEMARNAT, para las evaluaciones en materia de CUSTF.

Adicionalmente, resalta que no se encontraron estudios y/o documentos de carácter científico que refieran al tema específico que se desarrolló en el presente documento, puesto que muchos de los trabajos de micología se centran en la taxonomía y descripción de nuevas especies, y/o registros de presencia nuevos. Otros trabajos se centran en la producción de hongos silvestres para uso principalmente culinario y medicinal, y en menor medida se investigan los hongos que pudieran tener algún uso para la industria farmacéutica y para otras áreas de investigación. Otros trabajos se centran en la evaluación de la relación simbiótica entre las plantas y los hongos (micorrizas), y muy pocos trabajos se han enfocado en generar modelos de distribución potencial de las especies de hongos. Ahora bien, en cuanto a estudios relacionados con el CUSTF se encontraron varios que analizan el impacto ambiental que éstos pueden generar, pero muchos de ellos se basan únicamente en revisión de literatura, y no precisamente se centran en la diversidad micológica. Derivado de lo anterior, se considera que este trabajo es pionero al considerar la distribución e importancia de los hongos en los CUSTF, y derivado de este trabajo se pueden realizar una gran cantidad de estudios que se enfoquen en este componente, se analice de forma más precisa el impacto que se genera sobre el recurso micológico, se generen modelos de distribución potencial más detallados y con mayor confiabilidad, se robustezca aún más la información de la diversidad de hongos, entre muchos otros temas.

En lo que respecta a las autorizaciones de los ETJ de los municipios de Altamira y Nuevo Laredo, propuse a la SEMARNAT la consideración del uso de hongos micorrícicos en las actividades de reforestación, reubicación de flora nativa, y restauración del hábitat, y a su vez esta Secretaría expidió los correspondientes Resolutivos donde quedó asentado dicho uso para fines de restauración, lo cual puede servir como precedente para futuras autorizaciones que consideren el uso de hongos de forma específica, es decir, estudios más robustos que detallen las especies de hongos que deban emplearse en las actividades de mitigación y compensación ambiental.

Por último, se han pasado por alto los impactos ambientales que se han generado sobre el recurso micológico en los CUSTF que se han autorizado por excepción para el Estado de Tamaulipas. Este aspecto es alarmante puesto que los hongos desarrollan un papel crucial en la dinámica de los ecosistemas naturales. Esta práctica no es favorecedora para el mantenimiento de la diversidad natural, puesto que el desconocimiento no permite desarrollar técnicas de mejora continua que puedan implementarse, medirse y dar seguimiento para la recuperación de los ecosistemas. Derivado de lo anterior, se espera que las medidas de mitigación y compensación propuestas en este documento permitan a la SEMARNAT mejorar la metodología de evaluación que realizan sobre los ETJ que se ingresan a dicha dependencia, y que los modelos de distribución potencial le sirvan como una herramienta que fortalezca sus capacidades en pro de la protección y recuperación de ecosistemas degradados y/o áreas que hayan perdido la vegetación.

8. Conclusiones

Se concluye que la hipótesis se rechaza debido a que no se encontraron especies de hongos del Orden Boletales en los listados florísticos y micológicos de los ETJ, puesto que de origen nunca se consideraron ni por los técnicos que elaboraron los estudios, ni por los evaluadores de la SEMARNAT. Sin embargo, los resultados de este estudio podrían contribuir a la mejora en el proceso de evaluación para el personal de la SEMARNAT, y con ello dar cumplimiento al precepto legislativo del artículo 93 de la LGDFS (mantener la biodiversidad de los ecosistemas afectados). Las principales aportaciones de este estudio radican en la generación de modelos de distribución potencial de las especies de hongos estudiadas, que se puedan emplear para determinar la presencia (probable) de diversidad micológica, y a su vez considerarla en la elaboración de los estudios al proponer medidas de mitigación y compensación que permitan mantener dicha diversidad y mejorar las técnicas de recuperación de ecosistemas degradados, así como los procesos de reubicación de flora silvestre y reforestación.

9. Literatura consultada

Binder, M. & D. S. Hibbett. 2006. Molecular systematics and biological diversification of Boletales. *Mycologia* 98(6): 971-981.

CONABIO. (2022a). Hongos, México, CDMX. <https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/gfamilia/4/index>. Recuperado el 26 de enero de 2023.

CONABIO. (2022b). ¿Cuántas especies hay?, México, CDMX. <https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/cuantasesp>. Recuperado el 26 de enero de 2023.

CONABIO. 2024. Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad. Registros de ejemplares de hongos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Consulta de 49 proyectos realizada el 2024-02-07 <http://geoportal.conabio.gob.mx/acceso/hongos/2024/02/07> Ciudad de México, México.

Curva ROC. (2024, 11 de abril). Wikipedia, La enciclopedia libre. Fecha de consulta: 11:54, abril 11, 2024 desde https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Curva_ROC&oldid=159359571.

Diario Oficial (D.O.). SEGUNDA SECCIÓN: Reglamento de la Ley Forestal. 28 de junio de 1944, (México).

Diario Oficial (D.O.). ÚNICA SECCIÓN: Ley Forestal. 17 de marzo de 1943, (México).

Diario Oficial (D.O.). ÚNICA SECCIÓN: Ley Forestal. 24 de abril de 1926, (México).

Diario Oficial (D.O.). ÚNICA SECCIÓN: Reglamento General de la Ley Forestal. 15 de septiembre de 1950, (México).

- E. Medina-Roldán, J.T. Arredondo, E. Huber-Sannwald, L. Chapa-Vargas, V. Olalde-Portugal. (2008). Grazing effects on fungal root symbionts and carbon and nitrogen storage in a shortgrass steppe in Central Mexico. *Journal of Arid Environments*. Volume 72. Issue 4. Pages 546-556.
- Fick, S.E. y R.J. Hijmans, 2017. WorldClim 2: nuevas superficies climáticas de resolución espacial de 1 km para áreas terrestres globales. *International Journal of Climatology* 37 (12): 4302-4315.
- García J., J. 1999. ESTUDIO SOBRE LA TAXONOMÍA, ECOLOGÍA Y DISTRIBUCIÓN DE ALGUNOS HONGOS DE LA FAMILIA BOLETACEAE (BASIDIOMYCETES, AGARICALES) DE MÉXICO. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Nuevo León, Linares.
- García J., J. 2013. DIVERSIDAD DE MACROMICETOS EN EL ESTADO DE TAMAULIPAS, MÉXICO. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Nuevo León, Linares.
- García-Jiménez, J., J.F. Hernández-Del-Valle, R. Valenzuela, T. Raymundo, A. Huereca, S. Bautista-Hernández, G. Guevara-Guerrero, F. Garza_Ocañas, L.J. García_Morales, M. Sánchez_Flores, J. Guzmán_Guillermo y J.I. de la Fuente. 2024. Hongos. En: La biodiversidad en Tamaulipas. Etudio de Estado. Vol. II. CONABIO, México, pp. 31-50.
- GBIF.org (28 October 2024) GBIF Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.6j djme>
- Gibbens, S. (2021, marzo 24). Los hongos son fundamentales para la supervivencia. ¿Los estamos protegiendo? National Geographic. Recuperado el 08 de septiembre de 2024. <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2021/03/hongos-son-fundamentales-para-supervivencia-los-estamos-protegiendo>

- Gobierno del estado de Tamaulipas. 2017. Atlas de riesgos del estado de Tamaulipas. Disponible en <https://www.tamaulipas.gob.mx/proteccioncivil/wp-content/uploads/sites/36/2017/09/ATLAS-DE-RIESGOS-DEL-ESTADO-DE-TAMAULIPAS.pdf>
- Guzmán G. 1994. Análisis cualitativo y cuantitativo sobre la diversidad de los hongos en México. En: Halffter, O, edr. La diversidad biológica en Iberoamérica. Vol. 2, Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, Xalapa (en prensa).
- Guzmán G. 1995. La biodiversidad micológica en México. Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM (en prensa).
- Guzmán, G. 1998a. Análisis cualitativo y cuantitativo de la diversidad de los hongos en México (Ensayo sobre el inventario fúngico del país). La diversidad biológica de Iberoamérica II, G. Halffter (ed.). Acta Zoológica Mexicana, nueva serie vol. Especial, CYTED e Instituto de Ecología, Xalapa. p. 111-175.
- Guzmán, G. 1998b. Inventorying the fungi of Mexico. Biodiversity and Conservation 7:369-384
- Hawksworth D. L. 1991. The fungal dimension of biodiversity: magnitude, significance, and conservation. Mycological Research 95: 641-655.
- Higiene Ambiental. (21 de julio de 2009). El aire está lleno de hongos. Higiene ambiental. Disponible en <https://higieneambiental.com/calidad-de-aire-interior/el-aire-esta-lleno-de-hongos>.
- INECOL. 2022. Los hongos en los ecosistemas. <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/1835-los-hongos-en-los-ecosistemas>. Recuperado el 26 de enero de 2023.

INEGI. 2018. Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VII. Conjunto Nacional. Disponible en <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463842781>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2008. Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000. Unidades climáticas. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267568>, el día 25 de octubre de 2024

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, A. y. (2 de marzo de 2023). Propagación de hongos silvestres comestibles en bosques templados. Recuperado el 19 de agosto de 2024, de Gobierno de México: <https://www.gob.mx/inifap/articulos/propagacion-de-hongos-silvestres-comestibles-en-bosques-templados?idiom=es>

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, A. y. (25 de febrero de 2022). Los hongos comestibles pueden ser utilizados como suplementos alimenticios. Recuperado el 08 de septiembre de 2024, de <https://www.gob.mx/inifap/articulos/propagacion-sustentable-de-hongos-comestibles-para-produccion-a-escala?idiom=es>

Islas-Gutiérrez F., M. C. Zamora-Martínez, C. R. López, O. E. Velasco-Bautista, L. López-Valdez, R. Quero, J. Jiménez, (2008). '*Amanita caesarea* (yema de huevo), '*Amanita rubescens* (amanita rojiza), '*Amanita vaginata* (hongo de ardilla), '*Boletus aestivalis* (cema), '*Boletus edulis* (hongo cemitita rey), '*Cantharellus cibarius* (rebozuelo), '*Gomphus floccosus* (corneta), '*Lycoperdon perlatum* (pedo de coyote), '*Lycoperdon pyriforme* (huevoito), '*Russula brevipes* (hongo enchilado), '*Russula lutea* (amarillo), '*Suillus granulatus* (panza babosa), '*Tricholoma flavovirens* (coyote), '*Tricholoma magnivelare* (ocote). Distribución potencial en el estado de Oaxaca', escala: 1:250000. edición: 1. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales. Proyecto: AS005, Distribución actual y potencial de veinte especies de hongos silvestres comestibles en los bosques de coníferas del estado de Oaxaca. El Proyecto fue

- financiado por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y el fondo sectorial SEMARNAT - CONACYT- 2002 - C01- 0423. México, D. F.
- Kirk, P. M., P. F. Canon, D. W. Minter y J. A. Stalpers (eds.). 2008. Ainsworth & Bisby's Dictionary of the Fungi. 10 ed. International Mycological Institute, CAB International, Wallingford. 784 p.
- Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS), Reformada. Diario Oficial de la Federación (D.O.F.), 28 de abril de 2022 (México).
- Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS), Reformada. Diario Oficial de la Federación (D.O.F.), 19 de enero de 2018 (México).
- Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, (LGEEPA), Reformada, Diario Oficial de la Federación (D.O.F.), 11 de abril de 2022, (México).
- Mueller, G.M., J.P. Schmit, P.R.Leacock et al. 2007. Global diversity and distribution of macrofungi. Biodiversity and Conservation 16:37-48.
- Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (RLGDFS). Diario Oficial de la Federación (D.O.F.), 9 de diciembre de 2020 (México).
- Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (RLGDFS). Reformado. Diario Oficial de la Federación (D.O.F.), 31 de octubre de 2014 (México).
- SEMARNAT. 2015a. Trámite SEMARNAT-02-001. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, CDMX. <https://www.gob.mx/semarnat/documentos/tramite-semarnat-02-001>; Recuperados 26 de enero de 2023.

- SEMARNAT. 2015b. Trámite SEMARNAT-02-001. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, CDMX. <https://www.gob.mx/tramites/ficha/autorizacion-de-la-mia-particular-sin-actividad-altamente-riesgosa/SEMARNAT465>; Recuperados el 26 de enero de 2023.
- SEMARNAT. 2017. Guía para la Elaboración de Estudios Técnicos Justificativos Cambio de Uso de Suelo en Terrenos Forestales (CUSTF). Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental; Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos, México, Ciudad de México.
- Singer, R. 1986. Agaricales in Modern Taxonomy. 4a. ed. Koeltz Scientific Books, Koenigstein.
- Steven J. Phillips, Miroslav Dudík, Robert E. Schapire. [Internet] Maxent software for modeling species niches and distributions (Version 3.4.1). Available from url: http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/. Accessed on 2024-10-25.
- Swets, J. A. (1988). Measuring the Accuracy of Diagnostic Systems Author(s): John A. Swets Source: Science, 240(4857), 1285-1293.
- Tamaulipas. (10 de enero de 2023). Wikipedia, La enciclopedia libre. Fecha de consulta: 19:37 de 30 de enero de 2023 desde <https://es.wikipedia.org/wiki/Tamaulipas>.
- Taxateca. (n.d.). Orden Boletales. Taxateca. <https://taxateca.com/ordenboletales.html>
- Vargas, V., Sánchez, N., Hernández, L. y Guevara, G. 2021. Riqueza de especies de hongos micorrízicos asociados a plantas de la familia Euphorbiaceae en el Área Natural Protegida Altas Cumbres, Tamaulipas, México. Revista Ciencia UAT, CienciaUAT vol.16 no.1 Ciudad Victoria jul./dic. 2021 Epub 13-Dic-2021. Recuperado el 26 de enero de 2023, de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-78582021000200006.

Zamora Martínez M, Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad C (2024). Distribución conocida y potencial de 48 especies de hongos silvestres comestibles en la región central del país. Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/vcb3mg> accessed via GBIF.org on 2024-09-03.

10. Anexos

Anexo 1: Cartografía Temática De Caracterización Del Área De Estudio

Anexo 2: Gráficos De Área Bajo La Curva De Cada Especie De Hongo

Anexo 3: Gráficos De Contribución De Cada Variable Para Cada Modelo De Distribución Potencial Generado Para Cada Especie De Hongo

Anexo 4: Variables Bioclimáticas Que Tuvieron Mayor Contribución En La Generación De Cada Modelo De Distribución Potencia De Cada Especie, Así Como Las Muestras Totales, Muestras De Entrenamiento, Iteraciones Y AUC De Entrenamiento Por Especie

Anexo 5: Conjunto De Curvas Generadas Por Maxent Que Representan Modelos Independientes Para Cada Variable Bioclimática, Y La Contribución De Cada Variable Conforme Se Realizan Más Iteraciones (se incluye como enlace de descarga)

Anexo 6: Figuras Generadas Por Maxent Que Representan Los Modelos De Distribución Potencial Para Cada Especie De Hongo

Anexo 7: Probabilidad De Encontrar Una Determinada Especie De Hongo En Un Determinado Tipo De Vegetación y/o Uso Del Suelo, En Una Determinada Superficie De Hectáreas

Anexo 8: Mapas De La Distribución Potencial De Cada Especie De Hongo, Tomando Como Base Las Probabilidades Mayores A 0.5