

Identificación de la Zona de Transición Bosque/Páramo Presente en la Formación de Alta Montaña de Peña Lisa, Ubicada en el Municipio de Málaga, Santander (Colombia).

Sergio Adonio Orduña Quiroga, Eduar Yesid Gómez Herrera

Trabajo de Grado Para Optar al Título de Ingeniero Forestal

Director

Jorge Andrés Rodríguez Toro,

PhD en Cs. Forestales

Universidad Industrial de Santander

Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia

Programa de ingeniería Forestal

Málaga

2018

Agradecimientos

Los autores del presente trabajo desean expresar sus agradecimientos a las diferentes personas, que se vieron vinculadas en la elaboración y culminación de nuestro trabajo. Es agradable recordar cada una de las contribuciones aportadas, que hicieron posible la realización de este proyecto.

- El principal agradecimiento va dirigido a nuestras familias por su incondicional apoyo durante todo el proceso formativo transcurrido hasta este momento.
- Un profundo agradecimiento al ingeniero Jimmy Fernando Siza, por encaminarnos a la realización de este trabajo, además de, colaborarnos de manera incondicional en las diferentes fases del proyecto.
- Al Dr. Jorge Adres Rodríguez Toro por aceptar dirigir nuestro proyecto
- A nuestros compañeros que nos colaboraron en campo en las actividades de faena: Hernán Enciso, Raúl Leonardo, Edwin Moreno Gómez
- A los propietarios de la finca que muy amablemente nos brindaron hospedaje y alimentación: el señor Honorio Gonzales.

Tabla de contenido

Introducción	16
1. Objetivos	18
1.1 Objetivo general:	18
1.2 Objetivos específicos:	18
2. Antecedentes	19
2.1 Revisión de Literatura.....	21
2.1.1 Marco Histórico.	21
2.1.2 Marco conceptual.....	22
2.1.3 Marco legal.	29
3. Hipótesis.....	30
4. Descripción general del área de estudio.....	31
5. Metodología	32
5.1 Tipo de investigación.....	32
5.2 Selección de áreas para el levantamiento de los inventarios.	32
5.3 Levantamiento de las parcelas en cada una de las estaciones de muestreo.	33
5.4 Metodología para la identificación de los ejemplares botánicos.	35
5.5 Obtención de variables climáticas	35
5.6 Obtención de las variables topográficas.	36
5.7 Metodología para la ejecución de los modelos.....	36
5.8 Formularios de registro.....	36

6.	Procesamiento de datos	37
6.1	Obtención de índices ecológicos	37
6.2	Obtención de índices normalizados de vegetación.....	37
7.	Resultados	38
7.1	Descripción general de los resultados.....	38
7.2	Principales coberturas encontradas y caracterizadas en la formación de alta montaña Peña Lisa.....	44
7.2.1	Herbazal denso de tierra firme con arbustos (321113).	44
7.2.2	Arbustal abierto (3222).....	45
7.2.3	Arbustal denso (3221).....	46
7.2.4	Bosque denso bajo de tierra firme (31121).....	49
7.2.5	Afloramientos rocosos (332).	51
7.3	Resultados de la Adaptación de la Metodología de Marín (2013)	52
7.4	Resultados de los modelos de distribución espacial	53
7.4.1	Cobertura frailejones, con variables climáticas.	53
7.4.2	Cobertura frailejones, con variables topográficas.	57
7.4.3	Cobertura fustal, con variables climáticas.	62
7.4.4	Cobertura fustal con variables topográficas.	67
7.5	Estimación de la zona de transición bosque/páramo	71
7.6	Análisis del comportamiento del LIP con una proyección de cambio climático a 20 años.....	73
8.	Discusión.....	74

9.	Conclusiones	75
10.	Recomendaciones.....	77
	Referencias bibliográficas.....	78
	Apéndices.....	81

Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Especies registradas para la categoría herbazal (rosetas, puyas, suculentas).....</i>	39
Tabla 2. <i>Especies registradas para la categoría Arbustal.....</i>	40
Tabla 3. <i>Especies registradas para la categoría Fustal.</i>	43
Tabla 4. <i>Contribuciones porcentuales de las variables climáticas para el LIP.</i>	55
Tabla 5. <i>Contribuciones porcentuales de las variables topográficas para el LIP.</i>	59
Tabla 6. <i>Contribuciones porcentuales de las variables climáticas para el LSB.</i>	63
Tabla 7. <i>Contribuciones porcentuales de las variables topográficas para el LSB.</i>	68

Lista de Figuras

<i>Figura 1.</i> Zona de Transición Bosque-Páramo	20
<i>Figura 2.</i> Pictogramas, evidencia de culturas prehispánicas (sector cueva pintada)	22
<i>Figura 3.</i> Coberturas del área de estudio.....	31
<i>Figura 4.</i> Tamaño de las parcelas de muestra	33
<i>Figura 5.</i> Diseño de parcela para el registro de la vegetación.	34
<i>Figura 6.</i> Herbazal denso de tierra firme con arbustos (321113).....	45
<i>Figura 7.</i> Arbustal abierto (3222)	46
<i>Figura 8.</i> Arbustal denso (3221)	48
<i>Figura 9.</i> Bosque denso bajo de tierra firme (31121)	50
<i>Figura 10.</i> Afloramientos rocosos (322)	52
<i>Figura 11.</i> Resultados Omisión y Predicción LIP, variables climáticas.	54
<i>Figura 12.</i> Resultados AUC ROC LIP, variables climáticas.	54
<i>Figura 13.</i> Prueba de jackknife con la ganancia de entrenamiento, variables climáticas para el LIP.....	55
<i>Figura 14.</i> Prueba de jackknife con la ganancia datos de prueba, variables climáticas para el LIP.....	56
<i>Figura 15.</i> Jackknife AUC, variables climáticas para el LIP	56
<i>Figura 16.</i> Representación cromática de las variables climáticas para LIP	57
<i>Figura 17.</i> Resultados Omisión y Predicción LIP, variables topográficas	58
<i>Figura 18.</i> Resultados AUC ROC LIP, variables topográficas.....	58
<i>Figura 19.</i> Prueba de jackknife con la ganancia de entrenamiento, variables topográficas para el LIP.....	59

Figura 20. Prueba de jackknife con la ganancia datos de prueba, variables topográficas para el LIP.....	60
Figura 21. Jackknife AUC, variables topográficas para el LIP	60
Figura 22. Representación cromática de las variables topográficas para LIP	61
Figura 23. Resultados Omisión y Predicción LSB, variables climáticas.....	62
Figura 24. Resultados AUC ROC LSB, variables climáticas.....	63
Figura 25. Prueba de jackknife con la ganancia de entrenamiento, variables climáticas para el LSB	64
Figura 26. Prueba de jackknife con la ganancia datos de prueba, variables climáticas para el LSB	64
Figura 27. Jackknife AUC, variables climáticas para el LSB	65
Figura 28. Representación cromática de las variables climáticas para LSB	66
Figura 29. Resultados Omisión y Predicción LSB, variables topográficas	67
Figura 30. Resultados AUC ROC LSB, variables topográficas	68
Figura 31. Prueba de jackknife con la ganancia de entrenamiento, variables topográficas para el LSB	69
Figura 32. Prueba de jackknife con la ganancia datos de prueba, variables topográficas para el LSB	69
Figura 33. Prueba Jackknife AUC, variables climáticas para el LSB	70
Figura 34. Representación cromática de las variables topográficas para LSB.....	71
Figura 35. Modelos: Arbustales y Bosque.....	72
Figura 36. Construcción de la zona de transición bosque/páramo a partir de los modelos arbustales y bosque	73

Lista de Apéndices

Apéndice 1. Mapa de localización del área de estudio	81
Apéndice 2. Composición de falsos colores RGB descargada del satélite Sas – Planet.....	82
Apéndice 3. Temperatura media (A, B)	83
Apéndice 4. Precipitación media (A, B)	84
Apéndice 5 Índices normalizados de vegetación NDVI y SAVI.....	85
Apéndice 6. Identificación de Coberturas	86
Apéndice 7. Evidencia de la producción ganadera dentro de las áreas de bosque.....	87
Apéndice 8. Aprovechamiento forestal de especies de bosque alto-andino	88
Apéndice 9. Áreas de bosque altoandino paramisadas	89
Apéndice 10. Ensamble del instrumento de medida de alturas para fustal	90
Apéndice 11. Proceso de medición de alturas.....	91
Apéndice 12. Verificación y registro de alturas del fustal	92
Apéndice 13. Índice de valor de importancia (IVI) y sus variables, parcela uno	93
Apéndice 14. Índice de valor de importancia (IVI) y sus variables, parcela dos.....	94
Apéndice 15. Índice de valor de importancia (IVI) y sus variables, parcela tres.....	95
Apéndice 16. Índice de valor de importancia (IVI) y sus variables, parcela cuatro	96
Apéndice 17 Índice de valor de importancia (IVI) y sus variables, parcela cinco.....	97
Apéndice 18. Índice de valor de importancia (IVI) y sus variables, parcela seis	98
Apéndice 19. Índice de valor de importancia (IVI) y sus variables, parcela siete	99
Apéndice 20. Índice de valor de importancia (IVI) y sus variables, parcela ocho.....	100
Apéndice 21. Índice de valor de importancia (IVI) y sus variables, parcela nueve.....	101
Apéndice 22. Índice de valor de importancia (IVI) y sus variables, parcela diez.....	102
Apéndice 23. Índice de valor de importancia (IVI) y sus variables, parcela once	103

Apéndice 24. Índice de valor de importancia (IVI) y sus variables, parcela doce	104
Apéndice 25. Índice de valor de importancia (IVI) y sus variables, parcelas uno y dos	105
Apéndice 26. Índice de valor de importancia (IVI) y sus variables, parcelas tres y cuatro ..	106
Apéndice 27. Índice de valor de importancia (IVI) y sus variables, parcelas cinco y seis ...	107
Apéndice 28. Índice de valor de importancia (IVI) y sus variables, parcela siete	108

RESUMEN

TITULO: IDENTIFICACIÓN DE LA ZONA DE TRANSICIÓN BOSQUE/PÁRAMO PRESENTE EN LA FORMACIÓN DE ALTA MONTAÑA DE PEÑA LISA, UBICADA EN EL MUNICIPIO DE MÁLAGA, SANTANDER (COLOMBIA)

AUTOR: SERGIO ADONIO ORDUÑA QUIROGA
EDUAR YESID GÓMEZ HERRERA.

PALABRAS CLAVE: TRANSICIÓN, BOSQUE, PÁRAMO, HERBÁCEAS, BOSQUE ALTO ANDINO

DESCRIPCIÓN:

La alta diversidad vegetal que se encuentra en la zona de transición bosque – páramo es amplia e inexplorada, en escasos 50 m² que mide una parcela se identificaron hasta 12 morfotipos arbustivos sin contar las herbáceas y rosetas para las coberturas de sub páramo, y hasta siete morfotipos en 100 m² para la cobertura boscosa, encontrando morfotipos como el *Bucquetia glutinosa* (L. f.) DC que en las cotas superiores de elevación (3500msnm) presentaban una altura máxima de dos metros y dentro de la cobertura boscosa llegaba a medir hasta los ocho metros, al igual que algunos individuos de *Espeletopsis corymbosa* (Humb. & Bonpl.) Cuatrec con alturas hasta de un metro ochenta. La metodología utilizada fue la establecida en el documento Zona de transición bosque – páramo (2015). En la ejecución de los modelos de distribución espacial con el aplicativo en java de Maxent empleando las variables climáticas (exceptuando la precipitación) y topográficas, se obtuvo que las variables con mayor correlación en la presencia del LSB y el LIP fueron la elevación y la temperatura máxima, con estimados de áreas bajo la curva ROC de 0,740 aproximadamente; caso contrario, ocurrió con la variable curvatura la cual generaba disturbios en la construcción de los modelos.

* Trabajo de Grado

** Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia. Programa de Ingeniería Forestal. Director: Jorge Andrés Rodríguez Toro, PhD en Cs. Forestales

ABSTRACT

TITLE: IDENTIFICATION OF THE TRANSITION ZONE FOREST / FORUM PRESENT IN THE FORMATION OF THE HIGH MOUNTAIN PEÑA LISA, LOCATED IN THE MUNICIPALITY OF MÁLAGA, SANTANDER (COLOMBIA).

AUTOR: SERGIO ADONIO ORDUÑA QUIROGA
EDUAR YESID GÓMEZ HERRARA.

KEYWORDS: TRANSITION, FOREST, PARADISE, HERBACEOUS AND ROSETTE, ALONG ANDEAN FOREST.

DESCRIPCIÓN:

The high plant diversity found in the transition zone forest - páramo is wide and unexplored, in scarce 50 mt² that measures a plot were identified up to 12 shrub morphotypes without counting the herbaceous and rosettes for the coverings of sub páramo, and up to seven morphotypes in 100 m² for forest cover, finding individuals like the *Bucquetia glutinosa*. (L. f.) DC that in the higher elevation elevations (3500msnm) had a maximum height of two meters and within the forest cover it could measure up to eight meters, like some individuals of *Espeletiopsis corymbosa* (Humb. & Bonpl.) Cuatrec with heights up to one meter eighty. The methodology used was that established in the document Forest transition area – páramo (2015). In the execution of the spatial distribution models with the Maxent java application using climatic (except rainfall) and topographic variables, it was obtained that the variables with the highest correlation in the presence of Upper Limit of the Forest and lower limit of the páramo were the elevation and the maximum temperatura with estimates of areas under the curve ROC of 0,740 approximately; opposite case, It happened with the curvature variable which generated disturbances in the construction of the models.

* Bachelor Thesis

** Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia. Programa de Ingeniería Forestal. Director: Jorge Andrés Rodríguez Toro, PhD en Cs. Forestales

Introducción

Estudiar los ecosistemas de páramo y llevar a cabo la identificación de la ZTBP es una misión apriori de la ingeniería forestal y otras carreras relacionadas con el medio ambiente y la administración de los recursos naturales, de manera que se pueda mitigar la transformación abrupta que estos ecosistemas han sufrido producto principalmente de la intervención antrópica, reflejada en la expansión de la frontera agrícola causando la pérdida de suelo y de ecosistemas estratégicos por el mal manejo que se les da a estas tierras.

Con la identificación de la ZTBP se puede conocer el comportamiento de las especies de flora asociadas a la transición (composición florística y cambios estructurales que se puedan presentar en el gradiente altitudinal) y las variables ambientales y topográficas que influyen en el ascenso del límite superior del bosque. Estudios como este pretenden reflejar la importancia del valor ecológico y del impacto que se genera ante cualquier alteración antrópica, para poder iniciar con la formulación de programas de conservación partiendo de la delimitación de la ZTBP y su franja amortiguadora.

El estado de Colombia, mediante la ley 99 de 1993 determinó los Principios Generales Ambientales, en el Artículo 1, Numeral 4, indica: “*Las zonas de páramo, subpáramo, los nacimientos de agua y zonas de recarga de acuíferos serán objeto de protección especial*”. Teniendo en cuenta la afirmación anterior el Ministerio de Medio Ambiente en el 2002 diseñó y promovió el *Programa para el manejo sostenible y restauración de ecosistemas de alta montaña colombiana: páramos*. Donde el objetivo fundamental fue orientar la gestión ambiental nacional, regional y local en ecosistemas de páramo, y de adelantar acciones para su manejo sostenible y restauración

Actualmente existen alternativas socioambientales donde el gobierno plantea pagos por servicios ecosistémicos mediante la ley 1753 de 2015 por la prestación en calidad y cantidad del recurso hídrico para el consumo humano y de la captura de carbono, para contrarrestar el avance de la frontera agrícola, proyectos mineros y extracción de hidrocarburos. La ley en vigencia pretende estimular la conservación de las áreas existentes y el inicio de proyectos de restauración para las zonas transformadas contrarrestando el avance de la frontera agrícola.

Con una correcta identificación de la zona de transición es posible tener mayor precisión en la determinación del LIP. A partir de lo anterior, y sumado al hecho de que los modelos planteados se han ejecutado en áreas de grandes extensiones surge la necesidad de analizar la precisión de los modelos planteados en áreas de pequeñas extensiones, que ofrezcan resultados con detalle a escala local.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general:

Identificar la zona de transición bosque/páramo presente en la formación de alta montaña de Peña lisa, del Municipio de Málaga (Santander).

1.2 Objetivos específicos:

- Caracterizar las diferentes franjas de vegetación vascular presentes entre las cotas de elevación 3100 – 3600.
- Identificar la relación de las variables climáticas y topográficas con la zona de transición bosque/páramo, mediante los modelos de distribución de las especies SDM.
- Contrastar las líneas del límite superior del bosque y límite inferior del páramo, para determinar la zona de transición bosque/páramo.

2. Antecedentes

Colombia cuenta con 2.907.137 ha de superficie reconocida como páramo equivalente al 2,5 % de la superficie del país aproximadamente, conformada en 36 complejos, 5 sectores, 14 distritos, obtenidos de la mapificación a escala 1:100.000 realizada en el 2012 y aplicando los criterios expuestos por ([Rivera & Murcia, 2011](#); [Sarmiento & León, 2015](#)).

En la actualidad es normal encontrar la presencia de diversas actividades económicas como el aprovechamiento forestal de especies maderables que no son tan frecuentes en los páramos, pero si acaban con sus áreas de amortiguación ([Hofstede, Segarra, & Mena, 2003](#)). En algunas áreas las coberturas naturales han sido transformadas por el establecimiento de producciones agrícolas y pastizales para hatos vacunos ([Calderón, 2005](#); [Hofstede et al., 2003](#); [Morales M., 2007](#)); la degradación y el retraso en la regeneración natural es generada principalmente por la ganadería ovina y caprina no estabulada (**Apéndice 7**), la explotación forestal (**Apéndice 8**) y la minería. Por tal motivo, la aplicación de los algoritmos GAM, GML y MaxEnt en áreas de pequeña extensión y alta conservación son importantes, ya que, permiten la construcción de modelos con información de variables climáticas y topográficas del nicho original del LSB y el LIP, para facilitar la mapificación y delimitación de los páramos.

Tratar de orientar la conservación de los páramos con la actual cartografía sería insuficiente, dado a que el comportamiento del LIP se presenta con claras diferencias entre las tres cordilleras, e incluso entre los costados (con relación a la orientación del sol) de una misma formación paramuna. Por lo anterior, se concibe expresar los modelos de distribución potencial de la vegetación categorizando las variables en dos conjuntos simultáneamente, como las climáticas y topográficas, para estimar la probabilidad de presencia del LSB.

La construcción de modelos de distribución de la vegetación a partir de los registros de presencia – ausencia y presencia – pseudo ausencia, pueden llevar a información menos precisa

si tenemos en cuenta diversos factores que pueden alterar la presencia de las masas boscosas como: presencia de cuerpos de agua y / o cañadas, micro costados inversos al costado en el que se encuentra (tomando la orientación E - W), dichos factores favorecen la presencia azonal de las masas boscosas en las áreas de páramo.

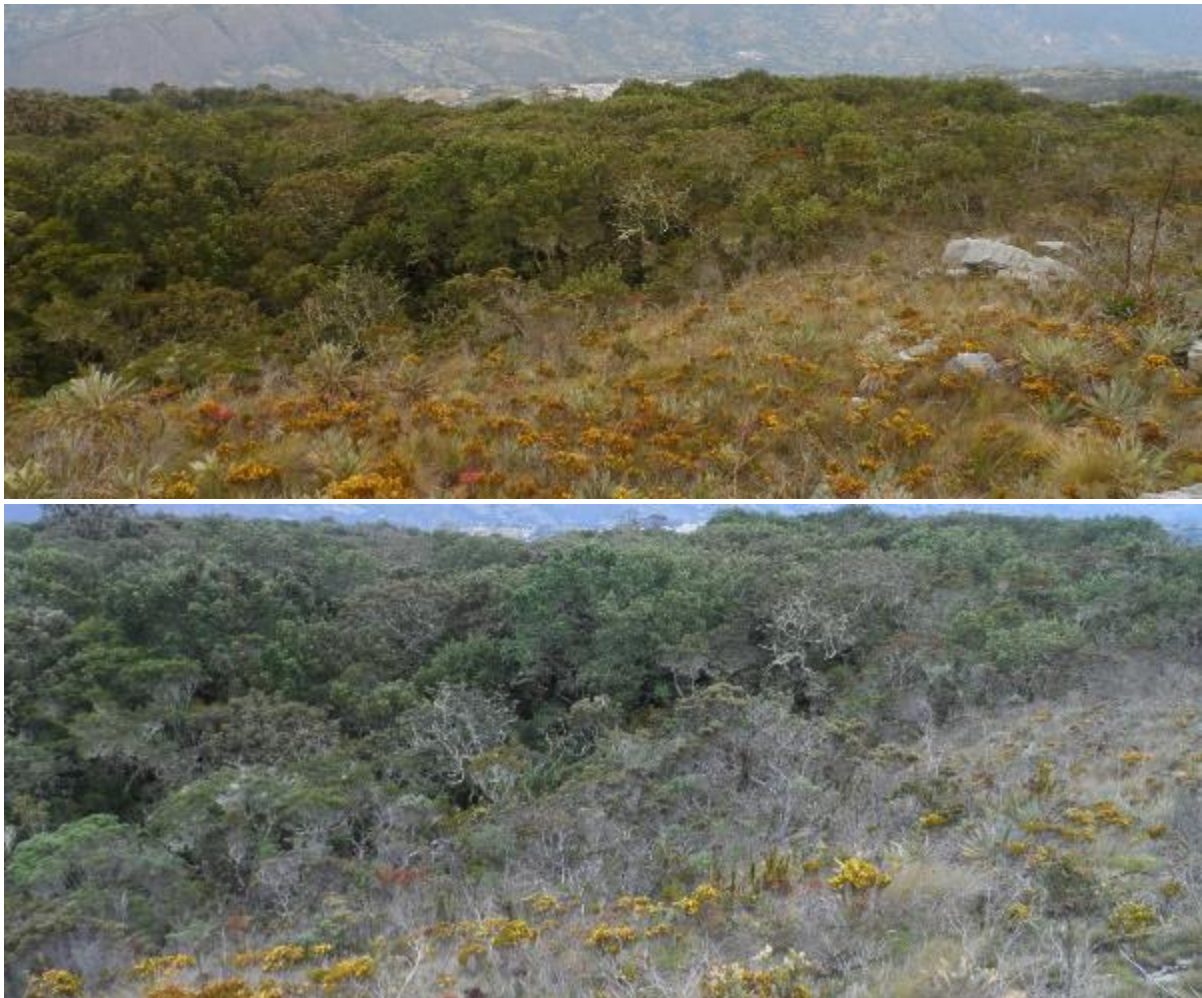


Figura 1. Zona de Transición Bosque-Páramo

Además, la ZTBP posee una alta diversidad en cuanto a su composición florística que puede variar debido al alto re - cambio que se presenta en una diferencia altitudinal muy reducida y de ancho variable. El objetivo a alcanzar, es la identificación de la zona de transición bosque/páramo mediante un modelo que relacione directamente el ascenso del LSB y el descenso del LIP en función de las variables climáticas y topográficas, partiendo de los

registros de presencia en campo obtenidos de la toma de puntos con el GPS y con ayuda de la identificación de coberturas.

Para lograr una mayor representatividad se proponen modelos que expresen la idoneidad de hábitat o probabilidad de presencia para el LSB en función de las variables climáticas y topográficas, dado que con una sola variable como es el caso del descenso de la temperatura en función a la altitud, se estaría afirmando que todos los bosques adyacentes al LIP se distribuyen a lo largo de una misma temperatura, lo cual no es válido en la mayoría de los casos; ya que en la cordillera oriental se suele presentar un fenómeno donde el límite superior del bosque altoandino se encuentra a una menor elevación en su costado oriental, diferenciado del LSB en el costado occidental.

2.1 Revisión de Literatura

Se examinaron las publicaciones científicas de los documentos relacionados con los ecosistemas de páramo en los países latinoamericanos como Perú, Ecuador, Venezuela y Colombia principalmente que se enfoquen en el estado actual de los páramos y delimitación de los mismos, todo esto, con el ánimo de conocer las metodologías aplicadas en el levantamiento de inventarios de vegetación de alta montaña y los modelos de idoneidad de presencia utilizados en la delimitación de los páramos con relación a las dos formas de límite establecidas: el LIP y el LSB.

2.1.1 Marco Histórico. La formación de alta montaña Peña Lisa fue habitada en épocas precolombinas y transitada por los indígenas chibchas, ya que por la parte baja atraviesa la formación un sendero llamado ruta de la sal, proveniente desde las minas de sal de Zipaquirá y los asentamientos del altiplano cundi-boyacense, con destino al lago de Maracaibo (sendero

transitado hasta los años 50). También fue escenario para el primer asentamiento hispánico en la región junto al nacimiento de la quebrada el indio, el 10 de marzo, día en que se celebra la fundación del municipio de Málaga es tomado del calendario de los Chitareros en su romería desde Peña Lisa hasta Sisota (municipio de Guaca), para celebrar el inicio del año lunar para la siembra del maíz. Según lo relatado por el señor Julio Abel Díaz.



Figura 2. Pictogramas, evidencia de culturas prehispánicas (sector cueva pintada)

2.1.2 Marco conceptual.

2.1.2.1 Bases conceptuales sobre los ecosistemas de alta montaña. La inquietud para identificar y caracterizar los ecosistemas de alta montaña se inicia a reportar con los estudios realizados por Alexander von Humboldt (1845-1862), quien elaboró la ilustración de las zonas altitudinales de la vegetación del volcán El Chimborazo en Ecuador, el cual sirvió como precedente para los estudios realizados por los naturalistas Francisco José de Caldas, José Celestino Mutis y José Cuatrecasas, quienes se enfocaron en la tipificación de las franjas altitudinales propias de los ecosistemas tropicales de alta montaña ([Sturm & Rangel, 1985](#)).

En la actualidad existen muchos estudios realizados para los ecosistemas de páramo con base a la definición que se ha logrado complementar a lo largo de las últimas décadas, partiendo

de una primera definición determinada por el biólogo José Cuatrecasas (1958), el cual propone al ecosistema de páramo como exclusivo del Neotropico, propio de extensas zonas que coronan las cordilleras y por lo general se ubica entre el bosque altoandino y el inicio de los ecosistemas nivales, y puede llegar a dividirse en subpáramo, páramo propiamente dicho y superpáramo ([Hofstede et al., 2003.](#))

Para el año de 1982 Guhl plantea una definición desde un punto de vista ecológico, en el cual define al páramo como las regiones montañosas de los Andes ecuatoriales, que se ubican sobre el límite superior del bosque, donde su geomorfología por lo general es de carácter periglaciario; con una alta radiación solar por la baja densidad de la atmosfera. Posterior a esto Van der Hammen en 1997 expone al páramo como un ecosistema con vegetación abierta, semiabierto, arbustiva y boscosa baja que sobrepasa el límite altitudinal del bosque altoandino o vegetación xerofítica que lo reemplaza en las Jalcas Peruanas ([Hofstede et al., 2003.](#))

Publicaciones más recientes como el de Rangel (2000), en la cual incorpora el factor antrópico en su definición, para el cual, el páramo en su conjunto, presenta una morfología ligada a lo largo de la historia por acción del frío y cambios climáticos globales, en la actualidad, con procesos que han acelerado su transformación a causa de la intervención humana.

2.1.2.2 Ecosistemas encontrados en el área de estudio. Según la clasificación propuesta por Holdridge, el área de estudio presenta una transición de Bosque Húmedo montano y el Bosque Húmedo sub alpino, teniendo en cuenta que existen temperaturas que van de los 10° a los 6° y precipitaciones promedio 1600 mm / año; esta descripción no aplica de manera precisa para el área de estudio, debido a que existen claras diferencias entre los climas latitudinales, tropicales y los templados fríos, un ejemplo de ello es la ausencia de las estaciones térmicas en los ecosistemas de alta montaña tropical, pero sí presenta marcadas variaciones de temperatura

entre el día y la noche, lo que genera el crecimiento de otras formas de vida y arreglos arquitecturales diferentes a los presentes en los Alpes y en la Tundra ([Rangel, Lowy, & Aguilar, 1997](#)). Con base a lo anteriormente mencionado, para este trabajo se tomará como base la clasificación realizada por el ecólogo José Cuatrecasas (1958), lo que, para este caso, sería una transición entre la selva andina y el subpáramo.

2.1.2.3 Bases conceptuales sobre los límites presentes entre ecosistemas. Límite: “Zonas de transición, contacto o separación entre elementos contrastantes de un mosaico dentro del paisaje ([Cadenasso et al., 2003](#))”. Borde: “Perímetro de los parches de bosques formados especialmente cuando se dan procesos de fragmentación ([Forman, 1995](#))”. *Ecotono*: “Cambio abrupto usualmente bien marcado entre formaciones vegetales ([Clements, 1907](#)).” *Ecoclina*: “Variaciones graduales y continuas, las cuales son relativamente heterogéneas, pero ambientalmente más estables ([Van der Maarel, 1990](#)).”

2.1.2.4 Coberturas registradas en el área de estudio. Con base en la metodología de, ([IDEAM, 2010](#)) se definirán las cuatro coberturas que conforman el área de estudio:

2.1.2.4.1 Herbazal denso de tierra firme (32111). “Cobertura conformada por una sola comunidad vegetal dominada por elementos típicamente herbáceos desarrollados en forma natral en diferentes densidades y sustratos, los cuales forman una cobertura densa (>70 % de ocupación) o abierta (30% - 70% de ocupación). Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y las características funcionales, con la presencia de elementos arbustivos.”

2.1.2.4.2 *Herbazal denso de tierra firme con arbustos (321113)*. “Corresponde a áreas o superficies dominadas por vegetación natural herbácea con presencia de elementos arbustivos dispersos que ocupan entre el 2% y el 30% del área total de la unidad, los cuales se localizan principalmente en áreas con limitantes edáficas y climáticas, generalmente en alturas entre los 300 a 800 msnm, así como en las zonas de páramo y subpáramo de la alta montaña.”

2.1.2.4.3 *Herbazal abierto rocoso (32122)*. “Corresponde a las áreas dominadas por una vegetación natural herbácea abierta que presenta una cobertura entre el 30% y el 70%. En ningún caso se pueden presentar elementos arbóreos. Se desarrollan sobre sustratos predominantemente rocosos y pedregosos que no retienen humedad.”

2.1.2.4.4 *Arbustal abierto (3222)*. “Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos arbustivos regularmente distribuidos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) discontinuo y cuya cubierta representa entre el 30% y el 70% del área total de la unidad”

2.1.2.4.5 *Arbustal denso (3221)*. “Cobertura constituida por una comunidad vegetal que está dominada por elementos típicamente arbustivos, los cuales forman un dosel irregular, el cual representa más del 70% del área total de la unidad. La unidad puede contener elementos arbóreos dispersos. Esta formación vegetal no ha sido intervenida o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y sus características funcionales”

2.1.2.4.6 *Bosque denso bajo de tierra firme (31121)*. “Corresponde a las áreas con solo vegetación de tipo arbóreo caracterizada por un estrato más o menos continuo cuya área de cobertura arbórea comprende más de 70% del área total de la unidad, y con altura del dosel

entre 5 y 15 m, y que se encuentra localizada en zonas que no presenta procesos de inundación periódicos.”

2.1.2.4.7 Afloramientos rocosos (332). “Son áreas en las cuales la superficie del terreno está constituida por capas de rocas expuestas, si desarrollo de vegetación, generalmente dispuestas en laderas abruptas, formando escarpes y acantilados; así como zonas de rocas desnudas relacionadas con la actividad volcánica o glaciár. Asociados con los afloramientos rocosos se pueden encontrar depósitos de sedimentos finos y gruesos, de bloques o de cenizas.”

2.1.2.5 Bases conceptuales sobre las metodologías utilizadas para el registro de la vegetación en zonas de páramo. [Marín \(2013\)](#) plantea la metodología para el levantamiento de las parcelas de los inventarios en los ecosistemas de alta montaña, en la cual se establecen parcelas para tres tipos de coberturas: herbazales (parcelas de 12,5m x 4m), arbustales (parcelas de 12,5m x 4m) y bosques (parcelas de 25m x 4m). Con el fin de poder registrar los morfotipos representativos para cada una de las coberturas encontradas en la zona de transición y realizar la menor intervención posible.

[Marín y Parra \(2015\)](#) retoma la metodología planteada para el levantamiento de los inventarios en los ecosistemas de alta montaña. De lo cual establece la toma de parcelas en relación al gradiente altitudinal, con el propósito de registrar el recambio de la estructura en la composición florística de las diferentes coberturas que se presentan en la zona de transición, mediante el levantamiento de 5 a 7 estaciones de muestreo por transecto a lo largo del gradiente altitudinal y tres transectos a lo ancho del área de estudio.

2.1.2.6 Bases conceptuales sobre los métodos utilizados en la identificación del LSB y el LIP mediante la aplicación de modelos de la distribución potencial de la vegetación. En las últimas décadas se ha estudiado la distribución de especies de mayor peso ecológico en ecosistemas estratégicos, con el fin de predecir escenarios de presencia o ausencia de las mismas a partir de la construcción de modelos estadísticos que están basados en dos premisas (presencia y presencia-ausencia) que representan la distribución espacial de nicho ecológico fundamental de la especie e indican de una manera más aproximada la distribución del nicho ecológico efectivo respectivamente, para estos tipos de modelamientos se trabaja con los algoritmos basados en registros de solo presencias como Bioclim, Domain, ENFA, GARP y MaxEnt ([Benito & Peñas, 2007](#); [Suárez del Moral & Chacón, 2011](#)).

[Arzac, Chacón, Llambí, y Dulhoste \(2011\)](#) basado en una aplicación del sistema de clasificación propuesto por Hedberg (1964), en el cual definieron 14 formas de vida para este sistema ecotonal, estudió el efecto de las variables topográficas (altitud, pendiente y exposición) sobre la distribución de las formaciones vegetales inmediatamente adyacentes al límite superior del bosque en la Sierra Nevada de Mérida, apreciando notables cambios en la distribución de las coberturas con respecto a la variación del gradiente altitudinal y la exposición.

[Suárez del Moral y \(2009\)](#) observan que la distribución de la zona de transición entre el bosque y el páramo no se encuentra a una misma altitud a lo largo de la matriz principal de la Cordillera de los Andes Venezolanos, donde la zona de transición presenta mayores elevaciones en zonas más húmedas y menores en zonas más secas. Este estudio asocio mediante la aplicación de modelos de distribución potencial de la vegetación (ENFA y Bioclim) variables climáticas y topográficas (temperaturas, régimen hídrico, pendiente y exposición) siendo las principales limitantes ambientales para el establecimiento de las diferentes coberturas

vegetales, donde la relación es inversa entre la disminución de la temperatura y el aumento en la amplitud térmica a medida que aumenta el gradiente altitudinal.

[Suárez del Moral y Chacón \(2011\)](#) Realizaron el modelamiento para la distribución del ecotono bosque páramo, con base en lo obtenido en el estudio del modelamiento de la línea de contacto bosque Páramo con las mismas variables climatológicas y topográficas. Con el propósito de expresar lo que pudiese ocurrir bajo escenarios de cambio climático relacionados a la distribución del bosque prepáramero.

2.1.2.7 Bases conceptuales índices normalizados de vegetación. La reflectancia es una longitud de onda emitida por las coberturas vegetales de acuerdo a la intensidad fotosintética de las mismas y que puede ser interpretada mediante la combinación de diferentes bandas que contiene la información radiométrica del área de estudio. La relación de las bandas para la interpretación de las coberturas se encuentra en la diferencia de la información almacenada de las mismas, puesto que, con el incremento de la absorción del rojo se denota la presencia de vegetación más densa y vigorosa ([Aguadas, 2016](#)).

Los índices de vegetación pueden estar enmarcados como un parámetro calculado con base en los valores de la reflectancia, que son almacenados en las diferentes bandas espectrales y caracterizados por una alta sensibilidad a las coberturas vegetales, además de, atenuar la respuesta de otros factores como el suelo, las condiciones de iluminación y la atmosfera que pueden producir interferencias en la señal radiométrica ([Aguadas, 2016](#)). Con los cuales se busca facilitar la discriminación de las diferentes coberturas que están asociadas en la ZTBP.

Los índices de vegetación, permiten obtener de manera rápida el estado relativo de la vegetación presente en un sitio en particular, a través de un análisis cuantitativo y cualitativo ([Aguadas, 2016](#)). Los resultados que son obtenidos mediante la aplicación de índices de vegetación son válidos o acertados para áreas con coberturas vegetales boscosas superiores al

50%; las áreas con menor porcentaje de cobertura vegetal pueden llegar a ser representadas como suelo desnudo.

Los índices están distribuidos en dos grupos con parámetros diferentes, los que se basan en la pendiente usando el coeficiente de la reflectancia de una banda con relación a otra (Rojo e IR cercano), como lo son: NDVI, TVI, RVI², NRVI³, NDWI. Y los basados en la distancia, que buscan separar la información entre la vegetación y el suelo, se calculan mediante el uso de una línea del suelo y las distancias desde ella, como son: PVI, DVI, SAVI, TSAVI, MSAVI2, WdVI ([Muñoz, 2013](#)).

Dentro de los índices aplicados, los que más se ajustaron a las coberturas presentes fueron: NDVI y SAVI, ya que los valores que se obtienen permiten identificar coberturas vegetales con mayor precisión, discriminando los efectos adversos producidos por el brillo del suelo sobre la reflectividad en el Rojo e IR cercano ([Maita, 2015](#)). Tanto el NDVI como SAVI han demostrado particularidades como: poseer un rango dinámico, sensibilidad para el seguimiento y la evaluación de las variaciones espaciales y temporales, en la cantidad y condiciones de la vegetación ([Maita, 2015](#)), siendo los más usados y recomendados en las investigaciones enfocadas al comportamiento de las coberturas vegetales boscosas.

2.1.3 Marco legal.

2.1.3.1 Ley 99 de 1993. Por la cual se crea el MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental –SINA y se dictan otras disposiciones.

- Art 1: El proceso de desarrollo económico y social del país se orientará según los principios universales y del desarrollo sostenible contenidos en la Declaración de Río de Janeiro de junio de 1992 sobre Medio Ambiente y Desarrollo.
- Art 4: Las zonas de páramos, subpáramos, los nacimientos de agua y las zonas de recarga de acuíferos serán objeto de protección especial.

2.1.3.2 Ley 1753 de 2015. “Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo (2014 - 2018) “Todos por un nuevo país”. Y se establecen los pagos ambientales a ecosistemas estratégicos.

3. Hipótesis

Dado que la temperatura es la variable climática que presenta la variación más evidente en función del ascenso en el gradiente altitudinal, y *si* las asociaciones vegetales se ven directamente afectadas con relación a la variación térmica; *entonces*, el LSB podría localizarse a lo largo de una línea isotérmica, que facilite la delimitación del LIP.

Dado a que la variación de la precipitación se da de manera horizontal y a que existen diferentes formas de páramo en función a la cantidad de precipitación; *entonces* se tiene que no existe relación entre la forma de la distribución de la precipitación y el ascenso de LSB en los ecosistemas de páramo.

Dado que las variables climáticas son cambiantes a lo largo del año y a través de la historia, y *que* las variables topográficas son de carácter más estático, lo que favorece un asentamiento más definido por parte de las asociaciones vegetales presentes en la ZTPB; *entonces*, se proponen a las variables topográficas como las determinantes para el ascenso del LSB.

4. Descripción general del área de estudio

La formación de alta montaña Peña Lisa, se localiza sobre la parte más alta del municipio de Málaga con una altura máxima de 3650 msnm, entre los 6°43'39" Latitud Norte, y 72°45'56" longitud Oeste, siendo una formación paramuna aislada del complejo de Páramos del Almorzadero. La formación de alta montaña Peña Lisa, es la única que se presenta en el municipio donde existe la ZTBP, esta comprende una extensión aproximada de 2,71 Km² (**Apéndice 1**).

La formación Peña Lisa, presenta una temperatura que oscila entre los 7 y los 10°C (**Apéndice 3**) con precipitación media anual de 1584 mm (**Apéndice 4**). Para el acceso, se puede tomar una vía terciaria desviando a mano derecha en el km 10 de la vía Málaga – Los Curos, luego se debe seguir un camino de herradura para llegar a su cumbre o realizar la travesía del área de estudio (**Apéndice 1**).



Figura 3. Coberturas del área de estudio

5. Metodología

Se aplicó en su mayor parte lo propuesto en la publicación de [Sarmiento y León \(2015\)](#), para el análisis de la vegetación, con excepción de algunas variaciones y adiciones, como es el caso de la toma de los morfotipos de porte arbustivo, que presenten una altura menor a un metro, en la cual se propone estimar este tipo de población con el fin de presentar una caracterización más completa en el comportamiento del recambio de especies presente en el gradiente altitudinal.

5.1 Tipo de investigación

Esta investigación es de tipo descriptiva - analítica, porque, se requiere de una compilación de información climática, topográfica y de vegetación del área de estudio para posteriormente ser analizada mediante el software Maxent en el escenario presente y realizar una proyección a futuro frente a un posible cambio climático.

5.2 Selección de áreas para el levantamiento de los inventarios.

Las áreas donde se realizaron los levantamientos de los inventarios, fueron seleccionadas luego de realizar una identificación de las coberturas (**Apéndice 6**) en una imagen satelital de alta resolución (**Apéndice 2**), con ayuda de los índices de vegetación (NDVI y SAVI) y composición de bandas para falsos colores de la vegetación RGB (543). Esto se obtuvo de una imagen Landsat 8, donde luego de efectuar la intersección de los shapes generados para las 7 franjas altitudinales entre las cotas de elevación de 3200 – 3600 (separadas cada 70m) y las coberturas, se obtuvieron las coberturas por franja altitudinal y con ayuda de la herramienta de

investigación, puntos aleatorios del software Qgis, se generaron 3 puntos para cada cobertura por franja, con el ánimo de realizar un inventario para cada una de ellas. Los puntos seleccionados por accesibilidad, fueron referenciados utilizando un sistema de posicionamiento global (GARMIN GPS map 60CSx) personalizado al sistema de proyecciones UTM (Universal Transversal Mercator), tomando como referencia el centro de la parcela.

5.3 Levantamiento de las parcelas en cada una de las estaciones de muestreo.

Para la toma de la información de la vegetación en campo, se realizó una pequeña modificación a la metodología planteada por [Marin \(2013\)](#), el cual propone diferentes áreas de muestreo por formación vegetal.

- formaciones de bosque altoandino = 100 m² en parcelas de 4 m x 25 m divididas en cinco subparcelas de 4 m x 5 m.
- arbustales y herbazales = 50m² en parcelas de 4 m x 12,5 m divididas en 5 subparcelas de 4 m x 2,5 m



Figura 4. Tamaño de las parcelas de muestra. Adaptado de Sarmiento *et al.*, (2015). Transición Bosque/Páramo. Recuperado de: <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/9287>

La modificación que se plantea a esta metodología, tiene el propósito de poder estimar la vegetación que se encuentra entre las dimensiones de 0 a 0,5 m y de 0,5 a 1m (de altura), puesto

que, la mayor parte de la vegetación de porte arbustivo se encuentra en estas dimensiones, para ello tomamos áreas de 2X2 m para el registro de los morfotipos de 0 a 50 cm, donde solo se realizó el conteo. Por último, para los morfotipos de 0,5 a 1 m se tomaron las mismas variables que para los morfotipos mayores a 1 m, dentro de un área de 2,5X2 m. El registro de la información para la modificación de la metodología, se realizó en 2 subparcelas (aleatorias) de cada parcela.



Figura 5. Diseño de parcela para el registro de la vegetación. Adaptación de la metodología, para la toma de información en campo

Bajo la metodología de [Marin \(2013\)](#) se registraron los morfotipos con alturas superiores a un metro, donde las variables que se registraron fueron: la presencia dentro de toda la parcela (abundancia absoluta), número de subparcelas en las cuales está presente la especie (frecuencia absoluta) y diámetro del fuste medido a 30 cm del suelo. Para la modificación planteada se trabajó un IVI simplificado donde solo se registraron las variables abundancia y dominancia (para los morfotipos con alturas entre 0,5 a 1 m). Y para los morfotipos con alturas menores a 0,5 m se hizo un registro de su abundancia.

En vista de la dificultad para el acceso a las masas boscosas altoandinas y al escaso campo de visión, se hizo necesaria la medición de las alturas del fustal de manera directa, mediante la adaptación de tubos de PVC, que ascendían con una cinta métrica hasta alcanzar la copa de los morfotipos (**Apéndice 8-10**).

5.4 Metodología para la identificación de los ejemplares botánicos.

Para la identificación de los ejemplares botánicos se utilizaron las claves taxonómicas de [Gentry \(1996\)](#) catálogos ilustrados sobre flora asociada a ecosistemas de páramo como: el de [Marín y Parra \(2015\)](#), [Madrinán \(2012\)](#), [Chaves \(2010\)](#), entre otros. Además de corroborar con las bases de flora en internet the trópicos y the plants list; también hubo la necesidad de realizar colectas para corroborar algunos morfotipos de porte arbustivo, analizarlos en el Jardín Botánico Eloy Valenzuela por el ingeniero forestal Jimmy Fernando Siza y en la última fase del proyecto se recibió la ayuda del MSc Diego Suescun Carvajal en la corroboración e identificación de algunos morfotipos faltantes para la cobertura de bosque.

5.5 Obtención de variables climáticas

La obtención de las variables climáticas, se realizó mediante una interpolación horizontal para el caso de la precipitación (anual, mes más húmedo, mes más seco) y para la temperatura (promedio anual, mínima mes más frío, máxima mes más cálido), se estimó la variación térmica en función al gradiente altitudinal (disminución de 0,6°C cada 100 metros de diferencia altitudinal), con base, al resumen del comportamiento histórico de los últimos 10 años de las estaciones meteorológicas del IDEAM más cercanas. Para la variable de precipitación se tomaron 14 estaciones (**Apéndice 4**), con una pequeña variante a la temperatura 13 estaciones (3 estaciones diferentes). Para el cálculo de los RASTER que contienen las variables espacialmente georreferenciadas, se realizó en el software Arcgis 10.3 ([ESRI, 2012](#)) la interpolación de tipo IDW, contenida en la caja de herramientas de análisis espacial.

5.6 Obtención de las variables topográficas.

Con base a un modelo digital de elevación del terreno (DEM), obtenido del satélite Alos Palsar con resolución de 12,5m (insumo base para el cálculo de los raster de temperatura en función al gradiente altitudinal), se elaboraron los raster de pendiente, orientación, curvatura y acumulación de flujo, para lo cual se aplicaron las herramientas Slope, Aspect, Curvature, flow dir – Flow accumulation, ejecutadas con el software ([ESRI, 2012](#))

5.7 Metodología para la ejecución de los modelos

Tomando los archivos tipo raster resultado de las variables climáticas y topográficas en formato ASCII junto con los puntos de presencia de las especies indicadoras en formato cvs para cada uno de los casos (LSB y LIP), se ejecutó el aplicativo de MaxEnt ([Phillips, Anderson, & Schapire, 2006](#)), con el ánimo de poder comparar la influencia de los conjuntos de las variables topográficas versus las climáticas en la presencia de los morfotipos característicos de Sub – páramo y poder establecer relaciones entre las mismas, que contribuyan a la delimitación de LIP original en áreas que ya hayan sido transformadas.

5.8 Formularios de registro

Se diseñaron formatos de registro que permitiesen plasmar toda la información a obtener en la fase de campo. Estos se tabularon y almacenaron en medios magnéticos al finalizar las actividades diarias, reconociendo y comparando el comportamiento estructural de las asociaciones vegetales muestreadas. Los casos en que presentan obstrucciones para el acceso

se deben omitir o seleccionar un área contigua con la misma cobertura, contraria a los casos donde se encontraban coberturas de manera azonal, para este caso debe ser descartado.

6. Procesamiento de datos

6.1 Obtención de índices ecológicos

Para el cálculo del Índice de Valor de Importancia IVI para cada una de las coberturas donde se instalaron las estaciones de muestreo se aplicará la siguiente fórmula

$$IVI = Abr + Frr + Domr$$

Donde Abr corresponde a la Abundancia Relativa que se obtiene con el número de individuos de cada especie sobre el total de individuos

Frr corresponde a la Frecuencia Relativa que se obtiene con el número de subparcelas en las que aparece la especie sobre la sumatoria total de frecuencias relativas de todas las especies

Domr corresponde a la Dominancia Relativa la cual se obtiene del área basal relativa o cobertura relativa.

6.2 Obtención de índices normalizados de vegetación

Para calcular los índices vegetación seleccionados se aplican las siguientes fórmulas

$$DNVI = (NIR - RED)/(NIR + RED)$$

Donde DNVI corresponde al índice de Vegetación Diferencial Normalizado, NIR banda del infrarrojo cercano, RED banda del rojo

$$SAVI = \left(\frac{IRC - R}{IRC + R + L} \right) (1 + L)$$

Donde SAVI corresponde al índice de Vegetación Ajustado al Suelo, IRC banda del infrarrojo cercano, R banda del rojo visible, L constante de compensación promedio (0,5)

7. Resultados

Debido a la extensión en la temática requerida para el desarrollo de este trabajo, es preciso realizar la descripción de los resultados en tres partes: descripción general de los resultados, principales coberturas encontradas y caracterizadas en la formación de alta montaña Peña Lisa y resultados de los modelos de distribución espacial

7.1 Descripción general de los resultados

La formación de Peña Lisa, está comprendida desde los 3200 hasta los 3600 msnm (Apéndice 1), elevaciones óptimas para la presencia de diferentes tipos de asociaciones vegetales propias de los ecosistemas de alta montaña, como: el bosque altoandino, subpáramo y páramo propiamente dicho.

En total los morfotipos de tipo vascular registrados en los inventarios fueron 56 especies, distribuidas en 39 géneros y 19 familias. Las familias encontradas con mayor frecuencia Asteraceae, Ericaceae, Melastomataceae, Cunoniaceae, Hypericaceae, Rubiaceae y Primulaceae. A sí mismo, los géneros *Arcytophyllum*, *Espeletia*, *Gaultheria*, *Miconia*, *Hypericum*, *Myrsine*, *Weinmannia*, fueron los que se encontraron con mayor abundancia. Es importante mencionar que en el gradiente altitudinal se lograron identificar un total de 78 morfotipos, debido a que muchas de las especies no lograban ingresar dentro de los inventarios (**Apéndice 9**) Áreas de bosque altoandino parámisadas.

La información recolectada en las estaciones de muestreo, fue tabulada al finalizar las labores del día en la fase de campo. De los 28 puntos generados a inventariar solo se lograron levantar 12 estaciones de muestreo distribuidas de la siguiente forma: siete para las asociaciones de vegetación de tipo arbustivo (**Tabla 2**), dos inventarios para las asociaciones de frailejón (**Tabla 1**) y tres para la asociación de bosque altoandino (**Tabla 3**).

Analizando el comportamiento de especies por cobertura, se encontró que estas se distribuyen en forma de asociaciones vegetales similares a las descritas por [Sturm y Rangel \(1985\)](#), es decir, que para una misma cobertura existen diferentes formas de asociación entre las especies. Para el caso del arbustal, se observaron asociaciones entre solo arbustos (*Arcytophyllum nitidum* - *Hypericum sps* - *Pernettya sps* - *Miconia summa* - *Bucquetia glutinosa*) y arbustos con presencia de rosetas (*Arcytophyllum nitidum* - *Espeletiopsis corimbosa* - *Plutarchia coronaria*); en ambos casos se presentaban morfotipos de manera ocasional de *Myrsine sp1*, *Diplostephium eriophorum*, y *Gaiadendron tagua* con alturas aproximadas de tres (3) metros.

En cuanto a la forma de asociación de las rosetas, estas suelen asociarse de manera más definida, puesto que, en los lugares donde se encontraban grandes extensiones *Espeletia grandiflora* poco existía la presencia del *Espeletiopsis corimbosa*, y viceversa. En el caso del *Espeletiopsis corimbosa* mostraba una mayor tolerancia a la presencia de arbustos como el *Arcytophyllum nitidum* con un porcentaje de cobertura aproximada del 15%.

Tabla 1. Especies registradas para la categoría herbazal (rosetas, puyas, suculentas)

FAMILIA	ESPECIE	CODIGO
ASTERACEAE	<i>Espeletiopsis corymbosa</i> (Humb. & Bonpl.) Cuatrec	Espelesisombosa

ASTERACEAE	<i>Espeletia grandiflora</i> Bonpl.	Espesp1
ASTERACEAE	<i>Espeletia Hartwegiana</i> Sch. Bip. Ex Cuatrec.	Espesp2
APIACEAE	<i>Eryngium humboldtii</i> , f. Delaroche	Eryngboldtii
ERIOCAULACEAE	<i>Paepalanthus</i> sp	Paepalansp
BROMELIACEAE	<i>Puya nitida</i> Mez.	puyamez

Tabla 2. *Especies registradas para la categoría Arbustal*

FAMILIA	ESPECIE	CODIGO
ASTERACEAE	<i>Agerantina sp1</i>	Agerasp1
ASTERACEAE	<i>Ageratina fastigiata</i> Spach.	Ageragiata
ASTERACEAE	<i>Agerantina glyptophebia</i> (B.L. Rob.) R.M. King & H. Rob	Ageraglypto
RUBIACEAE	<i>Arcytophyllum muticum</i> (Wedd.) Standl.	Arcymuti
RUBIACEAE	<i>Arcytophyllum nitidum</i> (Kunth) Schldl.	Arcyniti
MELASTOMATACEAE	<i>Bucquetia glutinosa</i> (L. f.) DC.	Bucqtinosa
ERICACEAE	<i>Bejaria resinosa</i> Mutis ex L. f.,	Bejaresin
OROBANCHACEAE	<i>Castilleja fissifolia</i> L. f.	Castifissi
OROBANCHACEAE	<i>Castilleja integrifolia</i> L. f.	Castintegri
CLETHRACEAE	<i>Clethra fimbriata</i> Kunth	Clethfimb
SOLANACEAE	<i>Cestrum</i> sp	Cessp1
PRIMULACEAE	<i>Cybianthus marginatus</i> (Benth) Pipoly	Cybimargi
MELASTOMATACEAE	<i>Chaetolepis microphylla</i> (Bonpl.) Miq.	Chaemicrfo

ASTERACEAE	<i>Diplostephium eriophorum</i> Weed.	Diploserio
ERICACEAE	<i>Disterigma staphelioides</i> (Planch. ex Wedd.) Nied.	Distestaphe
ERICACEAE	<i>Disterigma alaternoides</i> (Kunth) Nied.	Disternoides
LORANTHACEAE	<i>Gaiadendron sp</i>	Gaiasp
ERICACEAE	<i>Gaultheria mucronata</i> (L.f.) Hook. & Arn.	Gaulcronata
ERICACEAE	<i>Gaultheria sclerophylla</i> Cuatrec.	Gaultsclerop
ERICACEAE	<i>Gaylussacia buxifolia</i> Kunth.	Gaybuxi
ASTERACEAE	<i>Gynoxys sp</i>	Gynosp
ROSACEAE	<i>Hesperomeles goudotiana</i> , (decne.) Killip	Hespegoudo
HYPERICACEAE	<i>Hypericum laricifolium</i> . Juss	Hypelaricif
HYPERICACEAE	<i>Hypericum lancioides</i> ; Cuatrec	Hypelacioi
HYPERICACEAE	<i>Hypericum strictum</i> Kunth	Hypestrict
HYPERICACEAE	<i>Hypericum mexicanum</i> L	Hypemexic
HYPERICACEAE	<i>Hypericum juniperinum</i> Kunth.	Hyperinum
HYPERICACEAE	<i>Hypericum sp 1</i>	Hypesp1
HYPERICACEAE	<i>Hypericum sp 2</i>	Hypesp2
HYPERICACEAE	<i>Hypericum sp 3</i>	Hypesp3
ERICACEAE	<i>Macleania rupestris</i> (Kunth) A.C. Sm.	Maclestris
MELASTOMATAACEAE	<i>Miconia summa</i> Cuatrec.	Misumma
MELASTOMATAACEAE	<i>Monochaetum myrtoideum</i> (Bonpl.) Naudin	Monomyrtoi
PRIMULACEAE	<i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntze	Myrsgnensis
--	<i>Indeterminada 1</i>	
ASTERACEAE	<i>Pentacalia abietina</i> (Willd. ex Wedd.) Cuatrec.	Pentabie

RUBIACEAE	<i>Palicourea sp</i>	Palicosp
ERICACEAE	<i>Pernettya Gaudich.</i>	Perndich
ERICACEAE	<i>Pernettya prostrata</i> (Cav.) DC.	Pernprost
ERICACEAE	<i>Plutarchia coronaria</i> (Linden) A.C. Sm.	Plutarcoro
ASTERACEAE	<i>Senecio sp</i>	Senesp
GENTIANACEAE	<i>Symbolanthus</i> G. Don	Symbosp1
PENTAPHYLACACEAE	<i>Ternstroemia meridionalis</i> Mutis ex Lf.	Ternsnalis
ERICACEAE	<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth.	Vaccidum
CUNONIACEAE	<i>Weinmannia tomentosa</i> L. f.	Weintosa

En el caso de la cobertura boscosa, los morfotipos de porte arbóreo tienden a asociarse de una manera menos variable; los morfotipos que conforman la franja del bosque altoandino se encuentran distribuidos de tal forma que las mismas especies se encuentran a lo largo y ancho de la cobertura, donde la asociación más común está compuesta principalmente por *Weinmannia tomentosa*, *Clusia multiflora* y varios *Miconias sp*. En el recorrido de reconocimiento del área y georreferenciación de las especies indicadoras del LIP y LSB, se encontraron individuos de *Espeletiopsis corimbosa* de manera ocasional dentro de la cobertura boscosa, con una altura aproximada de 1,60m y un diámetro de 0,4 m (medido a 0.3 m del suelo). La distancia máxima a la que se encontraron estos morfotipos del límite superior del bosque fue de 30 m, esta medida fue calculada a través del software ArcGis 10.3, mediante la herramienta Measure.

Tabla 3. *Especies registradas para la categoría Fustal.*

FAMILIA	ESPECIE	CODIGO
ASTERACEAE	<i>Diplostephium eriophorum</i> (Wedd.)	Diploserio
CUNONIACEAE	<i>Weinmannia tomentosa</i> L. f.	Weitosa
MELASTOMATACEAE	<i>Miconia orescia</i> L. Uribe	Miconescia
MELASTOMATACEAE	<i>Centronia dichromanthia</i> L. Uriel	Centromanthia
LAURACEAE	<i>Ocotea sp1</i>	Ocotsp1
LAURACEAE	<i>Ocotea aff pellucida,</i>	nn3
PRIMULACEAE	<i>Cybianthus pastensis.</i> (Mez) agostini	Cybitensis
LAURACEAE	<i>Brunellia subsessilis</i> killip & Cuatr.	Brunsilis
MELASTOMATACEAE	<i>Tibouchina sp1</i>	Tibousp1
ADOXACEAE	<i>Viburnum triphyllum</i> Benth.	Vibullum
CHLORANTHACEAE	<i>Hedyosmum cumbalense</i> H. Karst.	Hedylense
ARALIACEAE	<i>Schefflera trianae</i> (Planch. & Linden ex Marchal)	Scheffsp2
PRIMULACEAE	<i>Myrsine pellucida</i> (R. & P.) Spreng	Myrllucida
PRIMULACEAE	<i>Rapanea melanophoeos</i>	Rapaphoeos
CLUSIACEAE	<i>Clusia multiflora</i> Kunth	Clusflora
PRIMULACEAE	<i>Cybianthus perseoides</i> (Mez) Agost.	Cybioides
ARALIACEAE	<i>Oreopanax discolor</i> (H.B.K.) Deche y Planch	Oreocolor
MELASTOMATACEAE	<i>Miconia sp</i>	Miconi sp1

7.2 Principales coberturas encontradas y caracterizadas en la formación de alta montaña Peña Lisa

Teniendo en cuenta el (**Apéndice 2**), el estado actual de las coberturas encontradas en el área de estudio, presentan un nivel aceptable de conservación, sí bien, como se observa en el Apéndice 2, en las zonas aledañas al área de estudio y correspondientes al bosque alto-andino, sus coberturas han sido transformadas y en la actualidad se encuentran destinados para la producción pecuaria orientadas principalmente a la obtención de leche (**Apéndice 7,b**).

La interpretación de las coberturas se realizó bajo la metodología de [IDEAM \(2010\)](#) (**Apéndice 6**), de lo que, se lograron identificar cuatro tipos de coberturas, predominando el herbazal denso en las cotas superiores (3400 – 3600msnm), arbustal denso en la zona media y bosque denso bajo de tierra firme (3200 – 3400msnm). Existiendo un área escarpada o afloramiento rocoso en la parte superior con una altura aproximada de 200m.

7.2.1 Herbazal denso de tierra firme con arbustos (321113). El herbazal en áreas de páramo, es una cobertura que suele estar relacionada directamente con algún tipo de fuente hídrica ([Avila, 2015](#)). Para el caso de Peña Lisa el cuerpo léntico de agua más grande que se encuentra en la formación se localiza en esta cobertura (Figura 6), además del nacimiento de la quebrada Seca, que abastece de agua potable a la parte alta del municipio y contribuye con el caudal colectado en el Km 5 vía a Bucaramanga para el consumo del casco urbano del municipio. Entre otras cosas, es de ahí la importancia de generar proyectos para la protección de este ecosistema como se indica en el Artículo 1, Numeral 4 de la ley 99 de 1993.



Figura 6. Herbazal denso de tierra firme con arbustos (321113)

7.2.1.1 Índices ecológicos calculados. En esta cobertura se registraron principalmente morfotipos de porte arrosetado (frailejones y puyas), donde el número de morfotipos con mayor dominancia en la cobertura fueron el *Espeletiopsis corimbosa* y el *Espeletia grandiflora* (Apéndice 17) , (Apéndice 19) estas especies por lo general se encontraron asociadas principalmente a la especie *Arcytophilum nitidium* y *Hypericum laricifolium* con alturas que no superaban el metro de altura. Los valores del IVI para esta cobertura.

7.2.2 Arbustal abierto (3222). Para este tipo de coberturas se registraron 13 familias: Asteraceae, Rubiaceae, Melastomataceae, Orobanchaceae, Solanaceae, Ericaceae, Loranthaceae, Rosaceae, Hypericaceae, Primulaceae, Gentianaceae, Pentaphragmaceae, Cunoniaceae.

Esta cobertura posee una composición florística homogénea ya que en las parcelas de muestreo hacen presencia las mismas especies, sobresaliendo en porcentaje de cobertura los géneros *Arcytophyllum*, *Hypericum*, *Diplostephium*, *Gaiadendron*, *Pernettya*, *Macleania* y *Bucquetia*, la mayor parte de arbustos presenta alturas entre 0,8-1,2m aproximadamente. Como especie la mayor dominancia la presentó el *Arcytophyllum nitidum* seguido de morfotipos del género *Hypericum* y *Gaiadendron tagua*.



Figura 7. Arbustal abierto (3222)

Esta cobertura se caracteriza por contener suelos poco profundos y secos, sin la presencia de cuerpos de agua, ya que la roca madre está expuesta evidenciando afloramientos rocosos (morrenas). La vegetación que se encuentra en esta cobertura exterioriza un comportamiento de tipo esclerófilo, además el terreno presenta pendientes superiores al 30%.

7.2.3 Arbustal denso (3221). Esta cobertura se caracteriza por presentar arbustos que forman un dosel irregular, además puede presentar elementos arbóreos dispersos o en el caso del área de estudio se encuentran agrupados en algunas zonas que evidencian afloramientos hídricos o condiciones de humedad y suelos óptimas ([IDEAM, 2010](#)).

Las asociaciones más comunes que se encuentran en este tipo de cobertura están integradas principalmente por los géneros arbóreos como: *Clusia*, *Viburnum*, *Diplostegium*, *Gaiadendron*, *Bucquetia*, estos morfotipos poseen alturas que varían entre 4 – 6 m, otros géneros de porte arbustivo que suelen ser frecuentes en este tipo de cobertura son: *Arcytophyllum*, *Hypericum*, *Macleania*, *Ternstroemia*, *Vaccinium*, *Symbolanthus*, *Pernettya*, *Gaultheria*. En cuanto a la composición florística se obtuvo que las familias con mayor peso ecológico fueron: Ericaceae, Melastomataceae y Asteraceae, en vista que fueron quienes presentaron el mayor número de géneros por familia, sin contar que los morfotipos tenían copas abundantes y de gran tamaño.



Figura 8. Arbustal denso (3221)

7.2.3.1 Índices ecológicos calculados.

7.2.3.1.1 Cobertura arbustal abierto. Para la cobertura mencionada, el IVI tiene un comportamiento diferente entre las parcelas establecidas, para lo cual, el *Arcytophyllum nitidum* fue un individuo que presentó una superioridad media en las parcelas 1, 2, 3 que se registraron para esta cobertura, obteniendo valores del IVI de 64,57, 97,399, 57,1 respectivamente, siendo característico por la abundancia de individuos, mas no por la dominancia. El *Miconia summa* presenta un nivel medio en las parcelas 1 y 3 con valores del IVI de 113,1 y 42,873 respectivamente, donde la principal característica la determina su dominancia, puesto que un individuo presenta copa de gran proporción en comparación con los

demás. En la parcela 2 el *Miconia summa* disminuye su participación considerablemente; el *Bucquetia glutinosa* es otro individuo que se suma a tener un nivel medio de importancia ecológica, obteniendo valores de IVI de 47,3 y 92,76 en las parcelas 2 y 3 respectivamente, disminuyendo su participación en la parcela 1. Las características de los valores del IVI obtenidos, permiten concluir que la cobertura presenta una tasa elevada de diversidad, puesto que no existe una clara dominancia por alguna de las especies, existiendo especies con valores de IVI similares a los individuos mencionados como el *Hipericum juniperinum* y *Gaiadendron tagua*.

7.2.3.1.2 Cobertura arbustal denso. Los valores del IVI para esta cobertura no presenta una dominancia marcada por una especie en particular, donde se evidencia una participación conjunta entre todas las especies, expresándose los valores del IVI más altos por parcela así: parcela 4, *Bucquetia glutinosa* con valor del IVI de 76,762; parcela 5, *Arcytophyllum nitidum* con valor del IVI de 58,279; parcela 6, *Arcytophyllum nitidum* con valor del IVI de 58,073; parcela 7 *Arcytophyllum nitidum* con valor del IVI de 89,238. De igual manera el *Gaiadendron tagua*, tiene una participación destacada por ubicarse con valores de IVI sobresalientes en las cuatro parcelas, lo que no sucede con las demás especies registradas.

7.2.4 Bosque denso bajo de tierra firme (31121). Como anteriormente se mencionó, la cobertura de bosque alto-andino forma una masa densa donde no se logran diferenciar formas de asociación entre sus especies, es decir, las mismas especies se encuentran a lo largo de toda la cobertura donde ninguna de ellas mostraba una dominancia superior sobre las otras. Se registraron 10 familias, entre las cuales se destacan: Cunoniaceae, Clusiaceae, Asteraceae, Areliaceae, Lauraceae, entre otras. Así mismo, las especies: *Weinmannia tomentosa*, *Clusia*

multiflora, *Hedyosmum cumbalense*, *schefflera trianae*, *Brunellia subsessilis*, *Myrsine guianensis*.

Es importante resaltar, que las masas boscosas amortiguadoras del páramo (Bosque altoandino) han sido transformadas especialmente para darle paso al establecimiento de hatos ganaderos (ganado ovino y vacuno) y algunos cultivos principalmente de papa ([Avila, 2015](#)), para el caso de Peña Lisa, las masas boscosas que han sido transformadas se encuentran aledañas al área de estudio, puesto que, los pastizales se pueden encontrar fácilmente a los 3200 msnm.



Figura 9. Bosque denso bajo de tierra firme (31121)

En algunos lugares se puede ver la presencia de ganado vacuno pastando en un claro dentro de la masa boscosa del área de estudio y sin restricción de acceso al bosque (**Apéndice 7**), lo

que a futuro y de ser permanente su presencia, la regeneración natural del bosque se verá altamente afectada, contribuyendo con los procesos de fragmentación del mismo.

7.2.4.1 Índices ecológicos calculados. El IVI en la cobertura de bosque denso bajo estuvo liderado principalmente por las especies *Weinmannia tomentosa*, *Clusia multiflora*, *Brunellia subsessilis*, *Myrsine guianensis*. Donde los valores obtenidos por las especies *Weinmannia tomentosa* y *Myrsine guianensis* se vieron altamente influenciados por su abundancia mas no por la sumatoria de sus áreas basales. Caso contrario ocurrió con las especies *Clusia multiflora*, *Brunellia subsessilis* que dominaban principalmente por el área basal de los pocos individuos registrado (Apéndice 22, Apéndice 23, Apéndice 24)s.

7.2.5 Afloramientos rocosos (332). En cuanto a los afloramientos rocosos, existe una acumulación de material de carácter errático (Morrenas) con extensión aproximada de 1 ha, donde no existía el crecimiento de vegetación de habito arbustivo, pero si, se registraron algunas especies de epifitas (*Masdevallia coccinea* y *Cyrtochilum revolutum*). Desde la cima de la formación en su costado norte, existe un acantilado de 200 metros de caída vertical con presencia de individuos de *Calamagrostis efussa*, *Espeletopsis corimbosa* y morfotipos de porte arbustivo.



Figura 10. Afloramientos rocosos (322)

7.3 Resultados de la Adaptación de la Metodología de Marín (2013)

Analizando los resultados de la adaptación propuesta, se obtuvo que, el *Pernettya prostrata* y el *Gaultheria mucronata* fueron los que presentaron la mayor dominancia para los morfotipos con alturas entre los 0,5 y 1 m, donde la mayor incidencia de estos morfotipos se presentó en las coberturas de Arbustal abierto 3222 y Arbustal denso 3221 (**Apéndice 25, Apéndice 26**).

En la sumatoria de las abundancias absolutas se lograron registrar hasta 17 individuos representados en nueve morfotipos diferentes en escasos cinco metros cuadrados.

Por ultimo para los morfotipos con alturas menores a 0,5 m se lograron registrar hasta 11 individuos en cuatro metros cuadrados, donde el *Pernettya* sp y *Arcytophyllum nitidum* fueron los morfotipos con mayor abundancia.

7.4 Resultados de los modelos de distribución espacial

En cuanto a la ejecución del modelo MaxEnt, se obtuvo que para el límite superior del bosque el modelo de distribución espacial se ajusta con mayor precisión para el LSB mostrando un área bajo la curva del receptor ROC de 0,725 para las variables climáticas (*Figura 24*) y de 0,740 para las variables topográficas (*Figura 30*). Las variables con mayor importancia y contribución para la construcción de los modelos en los dos objetos de estudio (LIP-LSB) fueron: temperatura máxima y elevación, obteniendo los mayores valores de contribución en el conjunto de variables que corresponden (**Tabla 4, Tabla 6**) y al conjunto de variables topográficas (**Tabla 5, Tabla 7**).

7.4.1 Cobertura frailejones, con variables climáticas. En la ejecución de los modelos para el límite inferior del páramo se obtuvo que este presenta una probabilidad de presencia entre 62 y 69% (*Figura 16*) a partir de la cota de elevación 3400 msnm con temperatura promedio de 9 °C, exposición Nororiental. En lo observado en la gráfica de omisión (*Figura 11*) se obtuvo que el modelo es capaz de discriminar entre los valores positivos de los falsos positivos, en vista que la línea azul (omission on training samples) no sobrepasa en ningún punto a la predicción de omisión (predicted omission), con un área bajo la curva ROC de 0,688, lo que lo clasifica como un modelo aceptable (*Figura 12*).

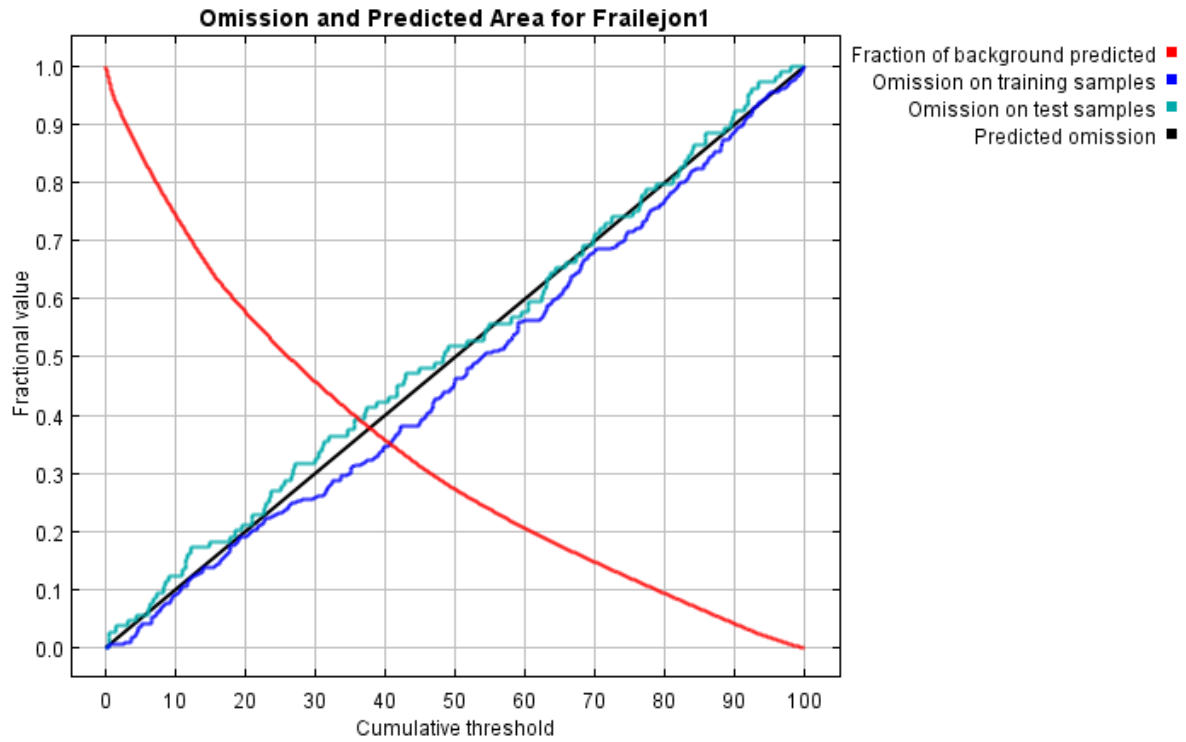


Figura 11. Resultados Omisión y Predicción LIP, variables climáticas.

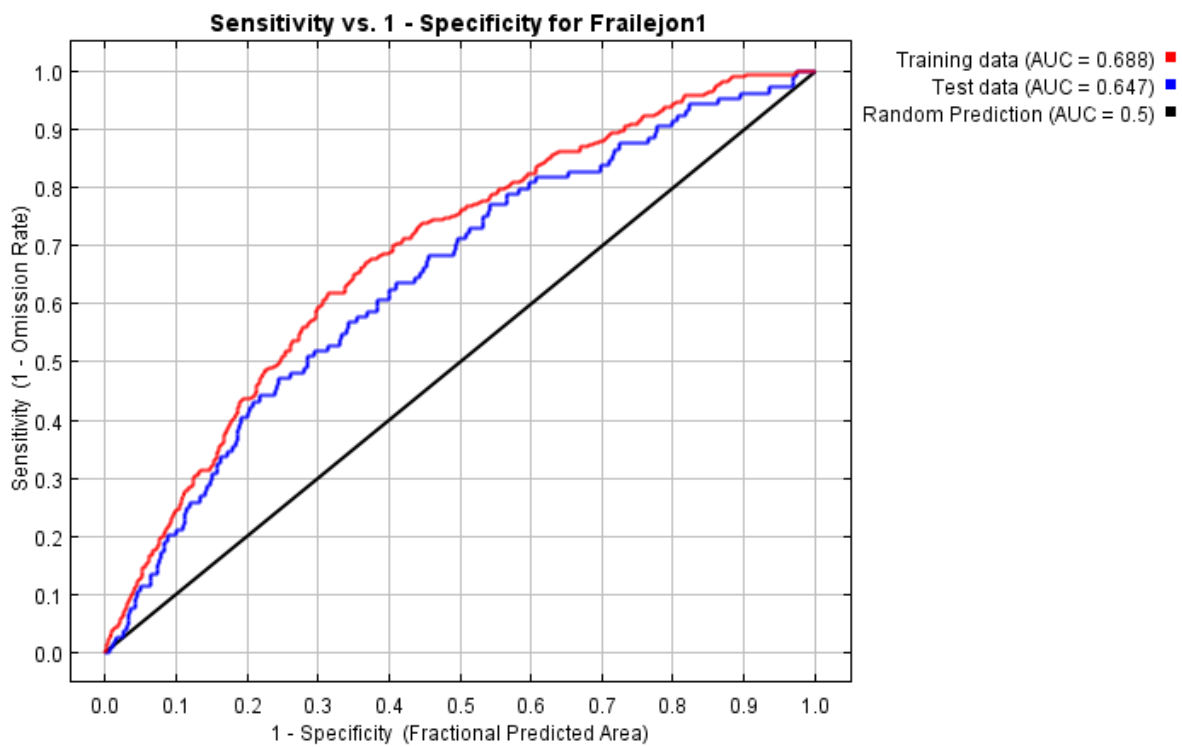


Figura 12. Resultados AUC ROC LIP, variables climáticas.

En la tabla de valores de contribuciones del conjunto de las variables climáticas se obtuvo que la variable temperatura máxima (se registran temperaturas entre 15-16,5 °C) sobresale ampliamente con respecto a las demás, por el contrario, la temperatura mínima (se registran temperaturas entre 1,3-3 °C) para esta prueba represento la más baja contribución porcentual.

Tabla 4. Contribuciones porcentuales de las variables climáticas para el LIP.

Variable	Contribución porcentual	Importancia de la permutación
t-máxima-área	58,2	79,3
t-promedio-área	28,1	0
t-mínima-área	13,7	20,7

La siguiente figura muestra los resultados de la prueba de jackknife de importancia variable. La variable ambiental con mayor ganancia cuando se usa de forma aislada es t-mínima-área, que por lo tanto parece tener la información más útil por sí misma. La variable ambiental que disminuye más la ganancia cuando se omite es t-mínima-área, que por lo tanto parece tener la mayor cantidad de información que no está presente en las otras variables.

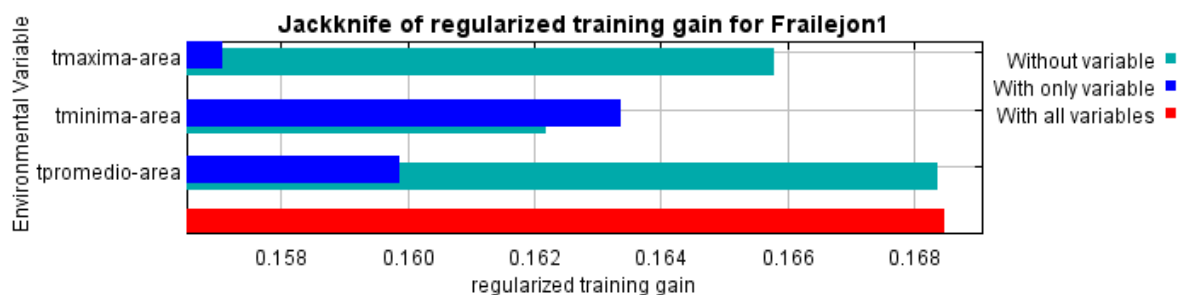


Figura 13. Prueba de jackknife con la ganancia de entrenamiento, variables climáticas para el LIP

La siguiente figura muestra la misma prueba de jackknife, utilizando la ganancia de prueba en lugar de la ganancia de entrenamiento

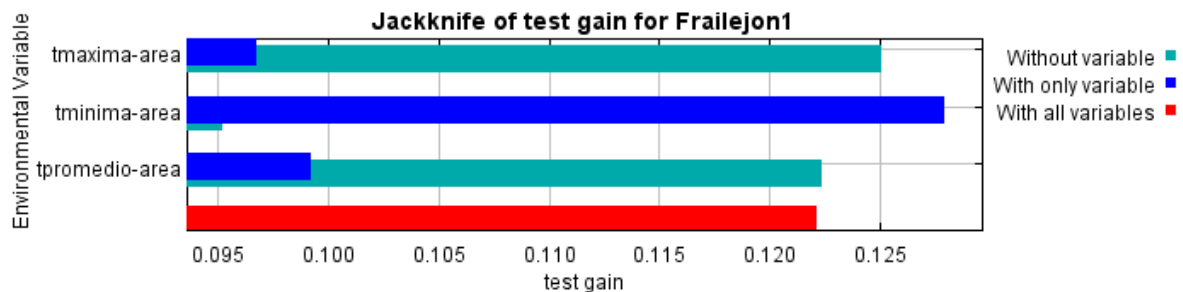


Figura 14. Prueba de jackknife con la ganancia datos de prueba, variables climáticas para el LIP

Por último, tenemos la misma prueba de jackknife, utilizando AUC en los datos de prueba.

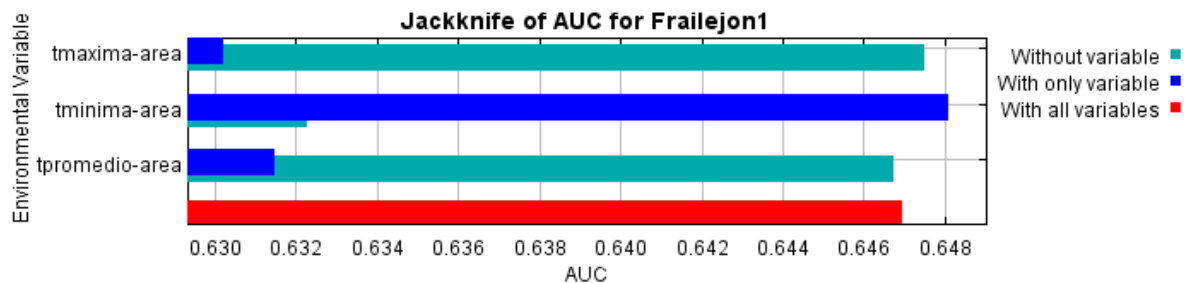


Figura 15. Jackknife AUC, variables climáticas para el LIP

Por último, tenemos la misma prueba de jackknife, utilizando AUC en los datos de prueba. Como resultado del modelo de las variables climáticas para LIP se obtuvo la siguiente representación cromática, donde se observa una probabilidad de presencia óptima hasta el 69%, calculando valores de probabilidad de presencia menor al 10% para los morfotipos que se registraron en áreas de bosque altoandino que fueron deforestadas (**Apéndice 9**). Los puntos

blancos muestran las ubicaciones de presencia utilizadas para el entrenamiento, mientras que los puntos violetas muestran las ubicaciones de prueba.

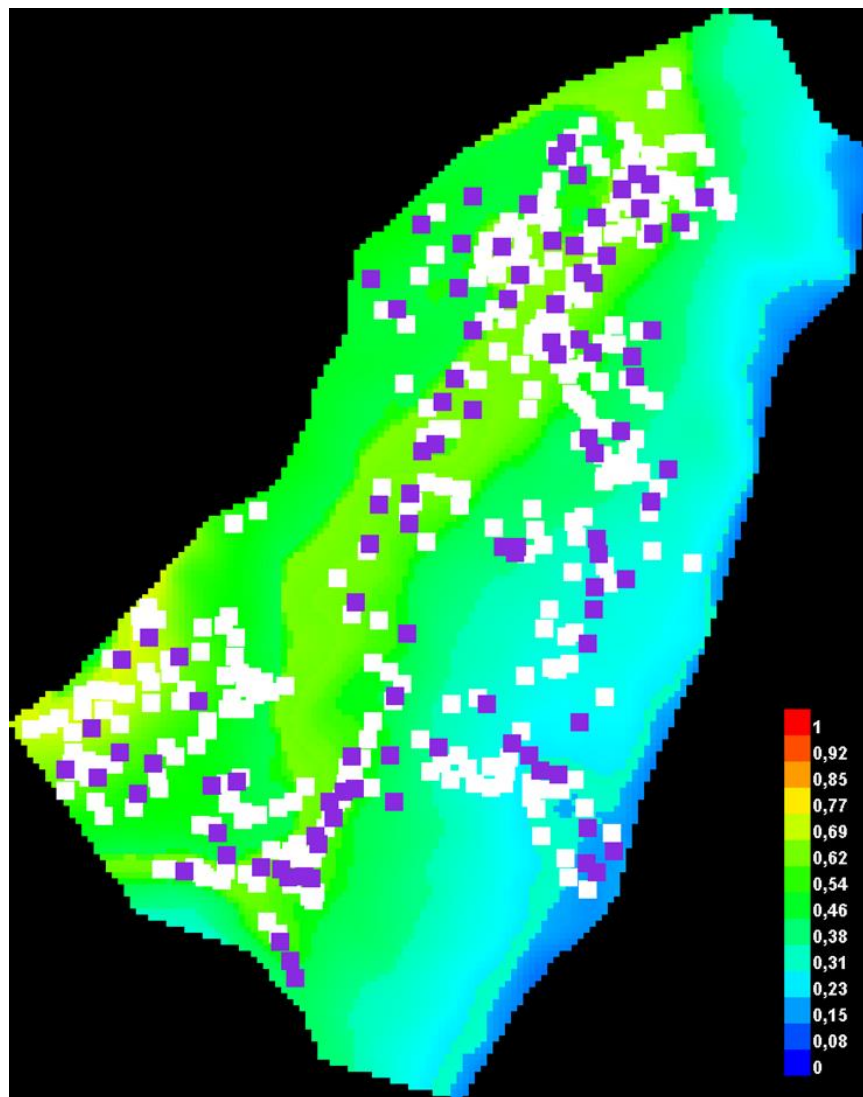


Figura 16. Representación cromática de las variables climáticas para LIP

7.4.2 Cobertura frailejones, con variables topográficas. Al igual que los resultados obtenidos para las variables climáticas, los valores de probabilidad de presencia oscilan entre 62 y 69% (Figura 22), con diferencia de la cota de elevación 3300 msnm. En lo observado en la gráfica de omisión (Figura 17) se obtuvo que el modelo es capaz de discriminar entre los

valores positivos de los falsos positivos, en vista que la línea azul (omission on training samples) no sobrepasa en ningún punto a la predicción de omisión (predicted omission), con un área bajo la curva ROC de 0,721, lo que lo clasifica como un modelo aceptable (Figura 18).

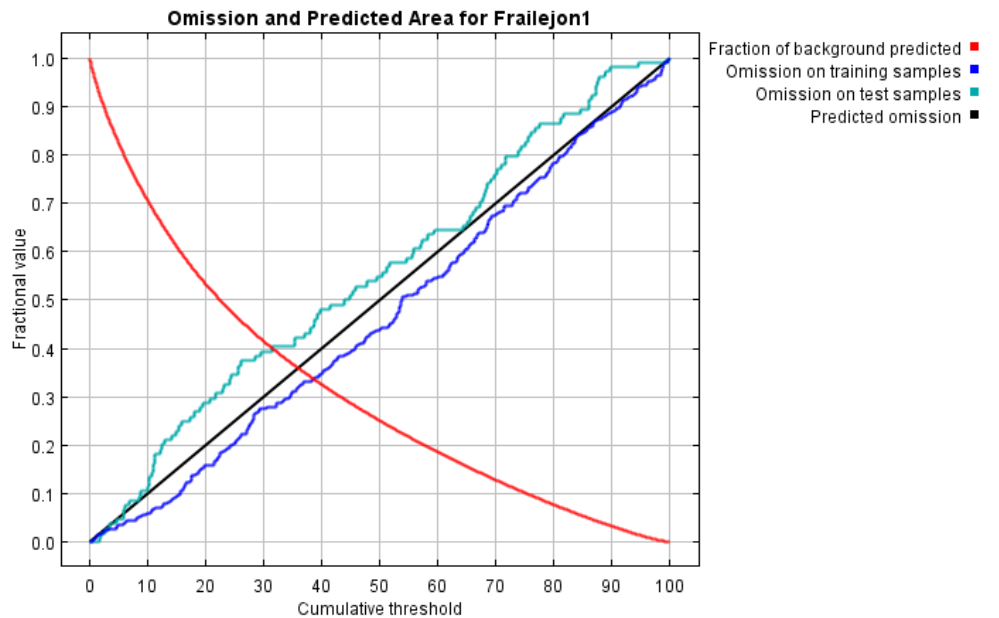


Figura 17. Resultados Omisión y Predicción LIP, variables topográficas

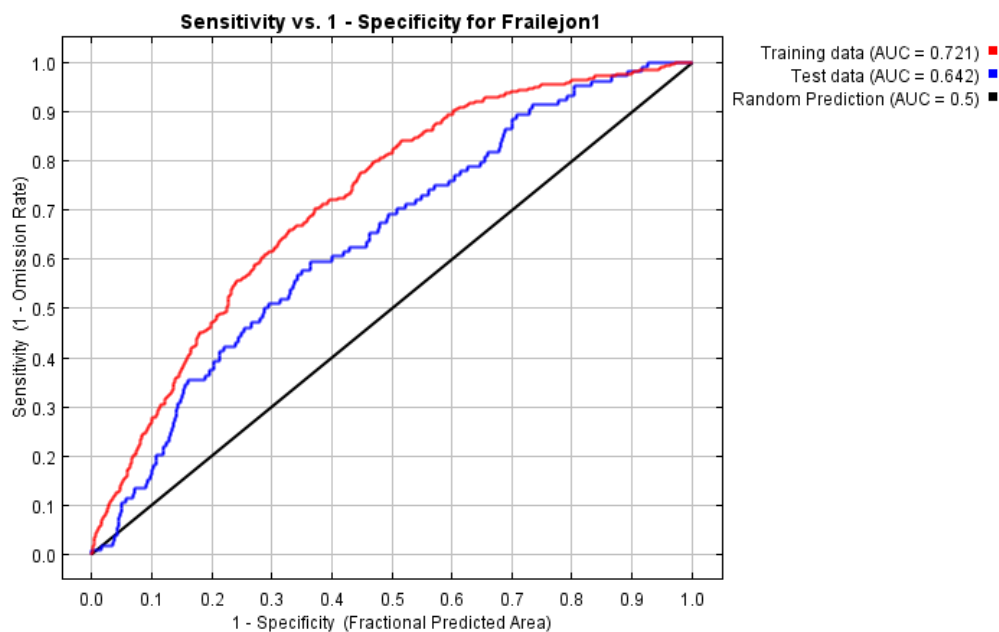


Figura 18. Resultados AUC ROC LIP, variables topográficas.

En la tabla de valores de contribuciones del conjunto de las variables topográficas, se tiene que la variable elevación (variación de elevación de 3300-3600 msnm) sobresale ampliamente con respecto a las demás, por el contrario, la variable acumulación de flujo para esta prueba presento la más baja contribución porcentual.

Tabla 5. Contribuciones porcentuales de las variables topográficas para el LIP.

Variable	Contribución porcentual	Importancia permutación
elevación -área	72,5	72,2
orientación -área	22,3	19,3
pendiente -área	3,1	6
acumulación -flujo	2,1	2,6

La siguiente figura muestra los resultados de la prueba de jackknife de importancia variable. La variable ambiental con mayor ganancia cuando se usa de forma aislada es el área de elevación, que por lo tanto parece tener la información más útil por sí misma. La variable ambiental que más disminuye la ganancia cuando se omite es elevación-área, que por lo tanto parece tener la mayor cantidad de información que no está presente en las otras variables.

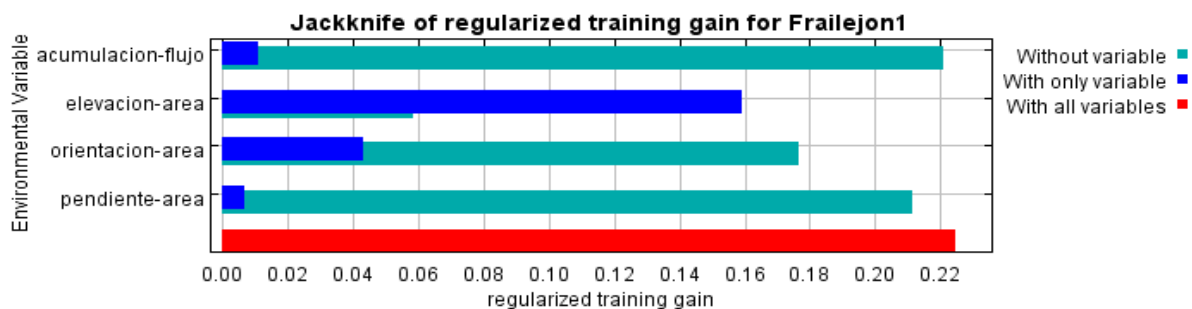


Figura 19. Prueba de jackknife con la ganancia de entrenamiento, variables topográficas para el LIP

La siguiente figura muestra la misma prueba de jackknife, utilizando la ganancia de prueba en lugar de la ganancia de entrenamiento.

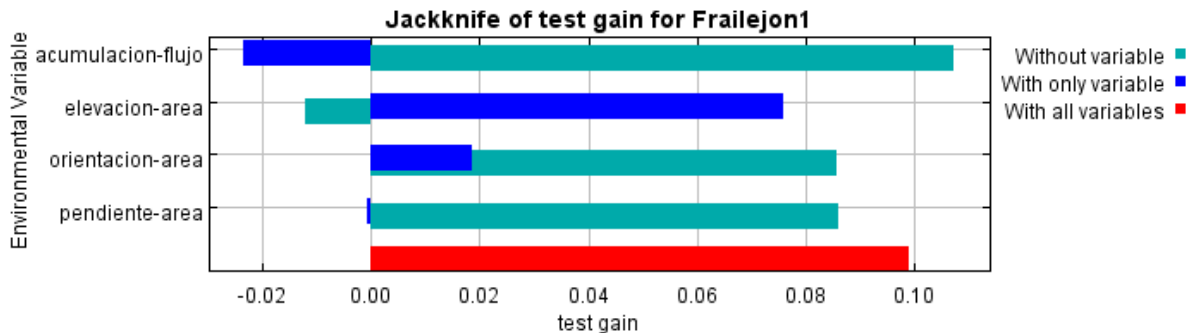


Figura 20. Prueba de jackknife con la ganancia datos de prueba, variables topográficas para el LIP

Por último, tenemos la misma prueba de jackknife, utilizando AUC en los datos de prueba.

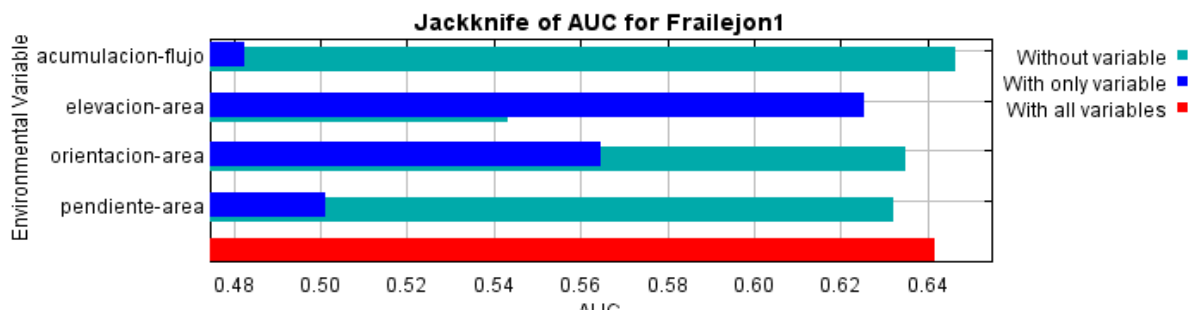


Figura 21. Jackknife AUC, variables topográficas para el LIP

La siguiente figura muestra el resultado del modelo de las variables topográficas para LIP, donde se observa una probabilidad de presencia óptima del 54 al 69%, calculando valores de probabilidad de presencia menor al 15% para los morfotipos que se registraron en áreas de bosque altoandino que fueron deforestadas (**Apéndice 9**) Los puntos blancos muestran las

ubicaciones de presencia utilizadas para el entrenamiento, mientras que los puntos violetas muestran las ubicaciones de prueba.

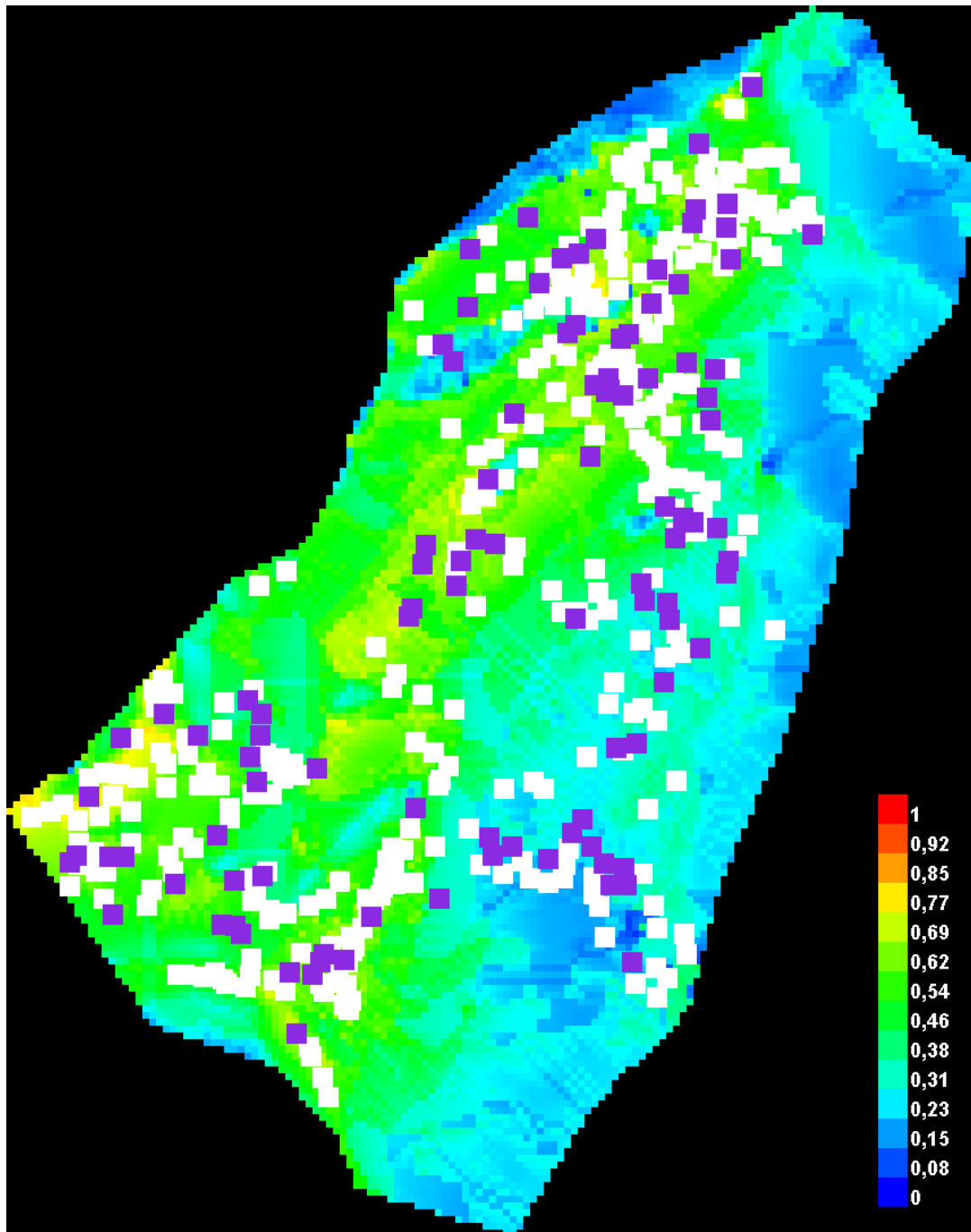


Figura 22. Representación cromática de las variables topográficas para LIP

7.4.3 Cobertura fustal, con variables climáticas. En la ejecución de los modelos para el LSB se obtuvo que este presenta una probabilidad de presencia entre 54 y 62% (Figura 28) hasta la cota de elevación 3400 msnm, con temperatura promedio de 9 °C, exposición Nororiental. En lo observado en la gráfica de omisión (Figura 23) se obtuvo que el modelo es capaz de discriminar entre los valores positivos de los falsos positivos, en vista que, la línea azul (omission on training samples) no sobrepasa en ningún punto a la predicción de omisión (predicted omission). Este modelo cuenta con un área bajo la curva ROC de 0,725 lo que lo clasifica como un modelo aceptable (Figura 24).

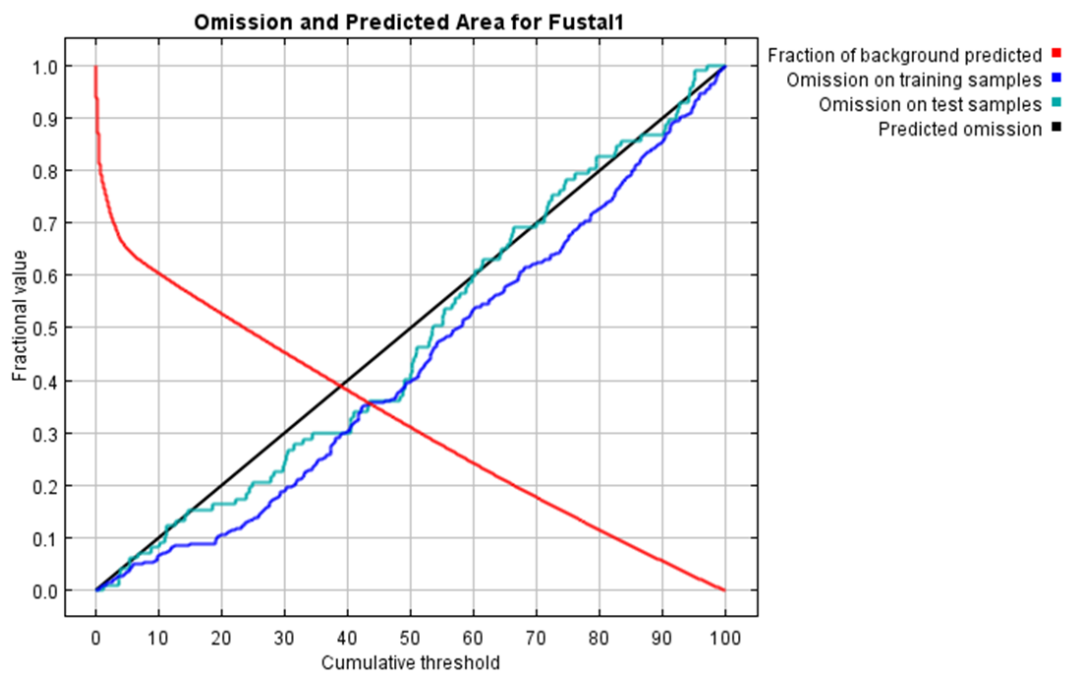


Figura 23. Resultados Omisión y Predicción LSB, variables climáticas

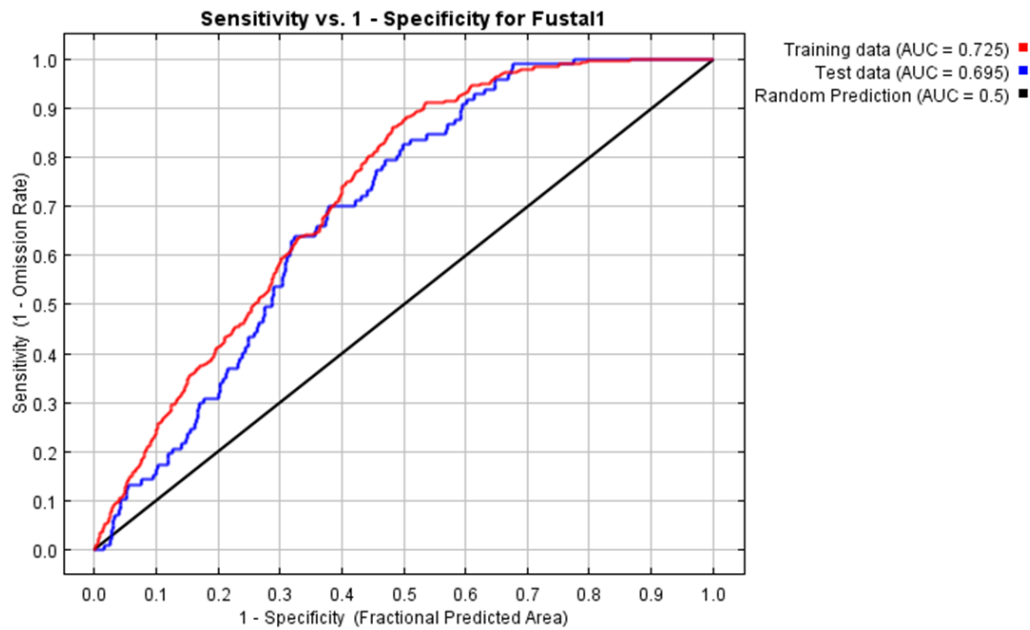


Figura 24. Resultados AUC ROC LSB, variables climáticas

En la tabla de valores de contribuciones del conjunto de las variables climáticas se tiene que la variable temperatura máxima (se registran temperaturas entre 15-16,5 °C) tiene un mayor aporte sobre las demás, la temperatura promedio (se registran temperaturas entre 8,2-10,5 °C) para esta prueba represento la más baja contribución porcentual, diferente que, en el resultado obtenido para el LIP, donde la variable con menor contribución fue la temperatura mínima.

Tabla 6. Contribuciones porcentuales de las variables climáticas para el LSB.

Variable	Contribución porcentual	Importancia de la permutación
t-máxima-área	43.1	20.8
t-mínima-área	30.9	67.5
t-promedio-área	26	11.7

La siguiente figura muestra los resultados de la prueba de jackknife de importancia variable. La variable ambiental con mayor ganancia cuando se usa de forma aislada es tpromedio -área, que por lo tanto parece tener la información más útil por sí misma. La variable ambiental que disminuye más la ganancia cuando se omite es tminima -área, que por lo tanto parece tener la mayor cantidad de información que no está presente en las otras variables.

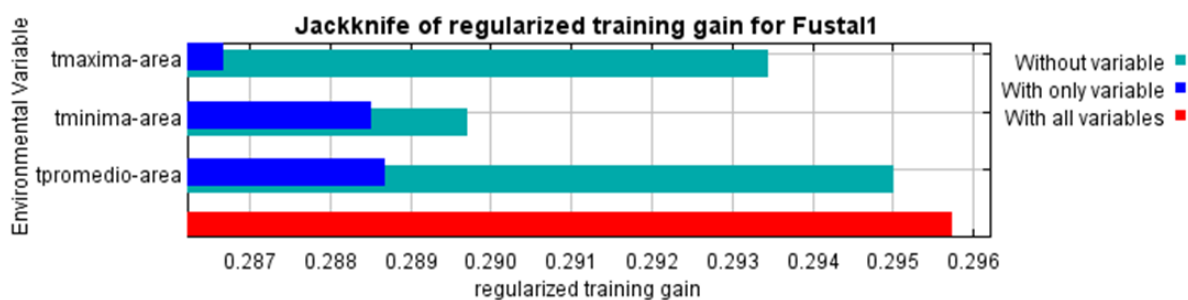


Figura 25. Prueba de jackknife con la ganancia de entrenamiento, variables climáticas para el LSB

La siguiente figura muestra la misma prueba de jackknife, utilizando la ganancia de prueba en lugar de la ganancia de entrenamiento.

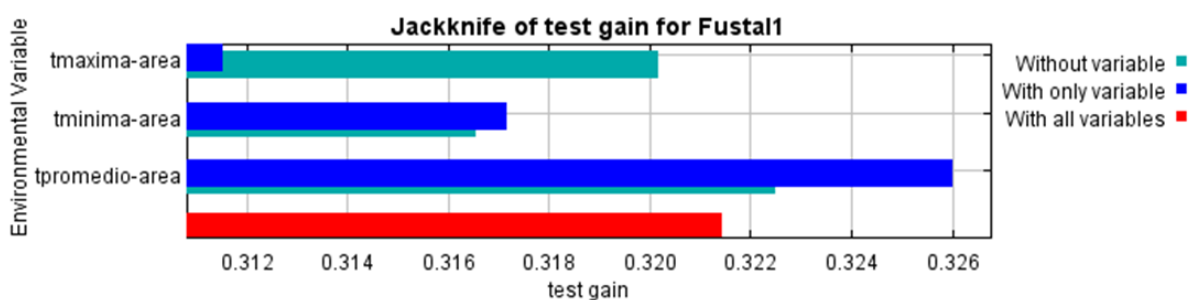


Figura 26. Prueba de jackknife con la ganancia datos de prueba, variables climáticas para el LSB

Por último, tenemos la misma prueba de jackknife, utilizando AUC en los datos de prueba.

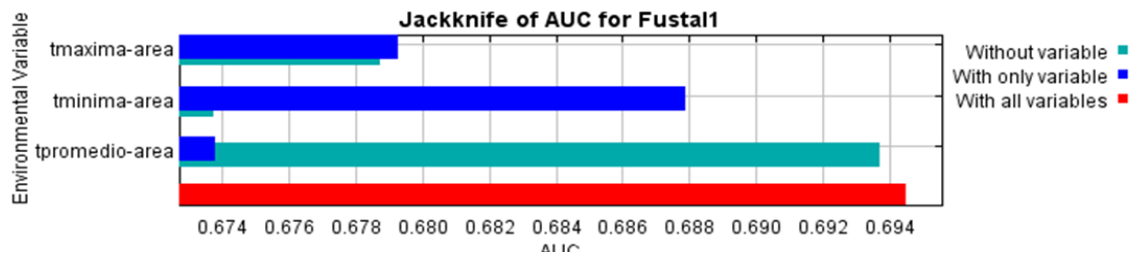


Figura 27. Jackknife AUC, variables climáticas para el LSB

Como resultado del modelo de las variables climáticas para LSB se obtuvo la siguiente representación cromática, donde se observa una probabilidad de presencia óptima hasta el 69%. Los puntos blancos muestran las ubicaciones de presencia utilizadas para el entrenamiento, mientras que los puntos violetas muestran las ubicaciones de prueba.

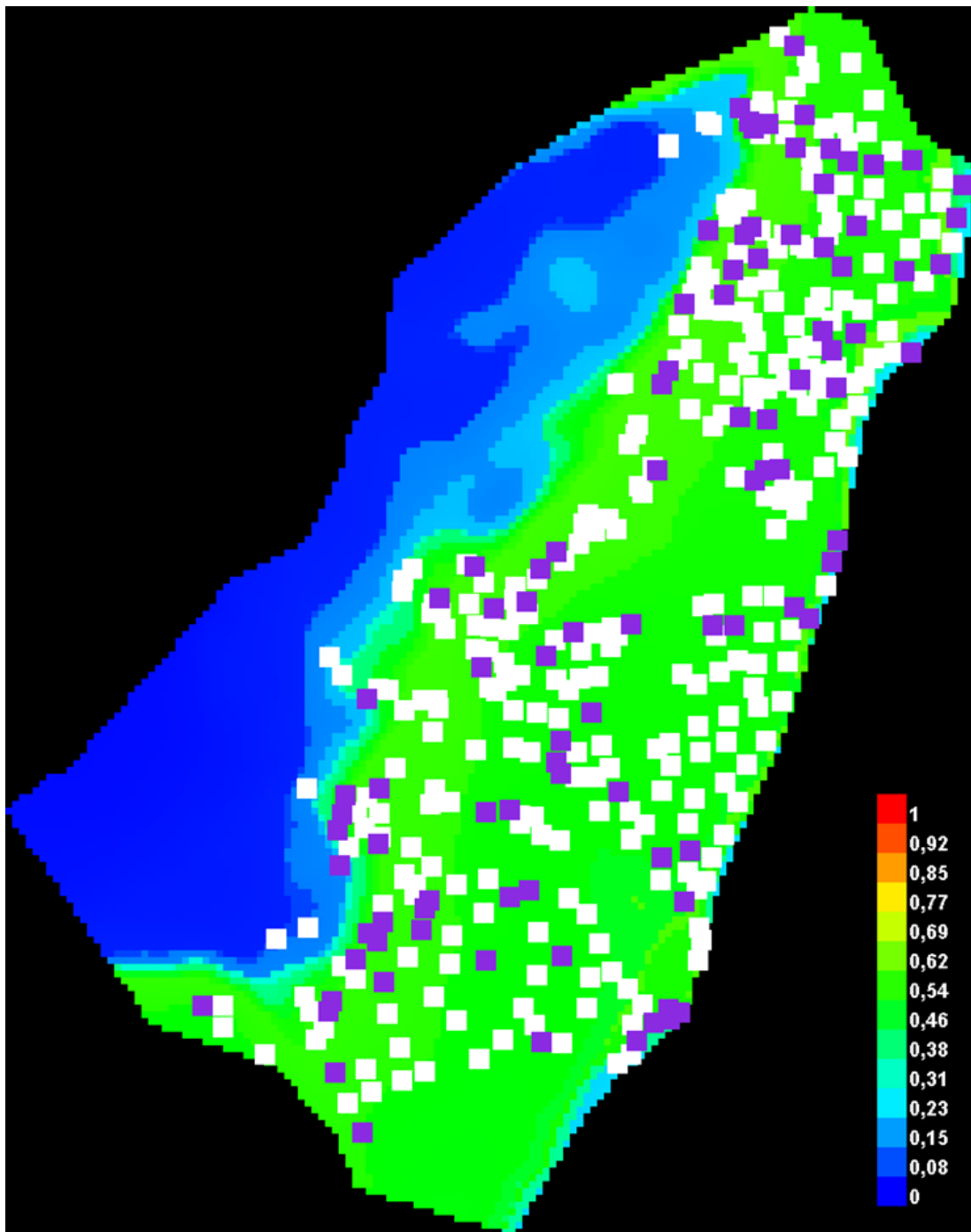


Figura 28. Representación cromática de las variables climáticas para LSB

7.4.4 Cobertura fustal con variables topográficas. Las variables topográficas tienen un mejor ajuste que las variables climáticas, ya que los valores de probabilidad de presencia son de 0,62 a 0,77%. En lo observado en la gráfica de omisión (Figura 29) se obtuvo que el modelo es capaz de discriminar entre los valores positivos de los falsos positivos, en vista que la línea azul (omission on training samples) no sobrepasa en ningún punto a la predicción de omisión (predicted omission), con un área bajo la curva ROC de 0,740, lo que lo clasifica como un modelo aceptable (Figura 30).

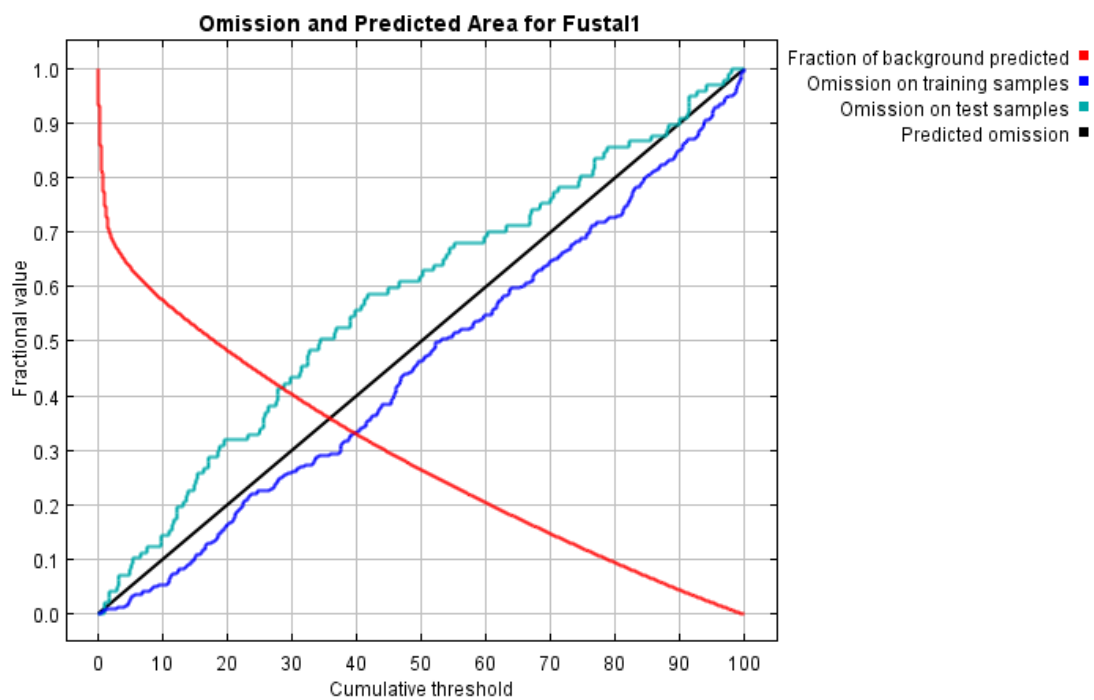


Figura 29. Resultados Omisión y Predicción LSB, variables topográficas

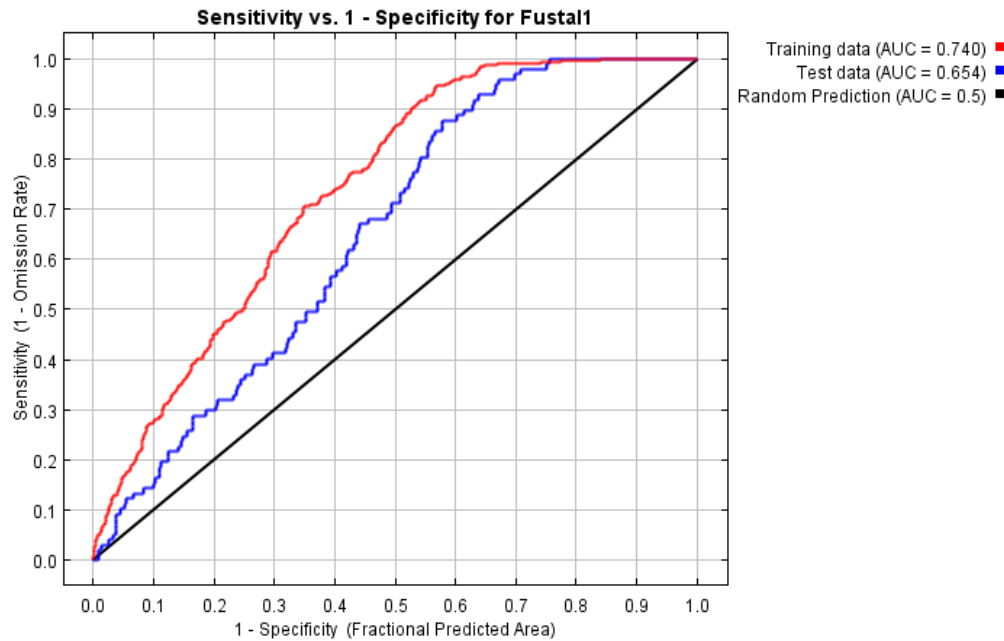


Figura 30. Resultados AUC ROC LSB, variables topográficas

En la tabla de valores de contribuciones del conjunto de las variables topográficas, se tiene que la variable elevación (variación de elevación de 3200-3400 msnm) sobresale ampliamente con respecto a las demás, la variable acumulación de flujo para esta prueba represento la más baja contribución porcentual, al igual que para los resultados obtenidos en el modelo de las variables topográficas del LIP.

Tabla 7. Contribuciones porcentuales de las variables topográficas para el LSB.

Variable	Contribución porcentual	Importancia de la permutación
elevación -área	88,5	71
pendiente-área	6,4	12,2
orientación -área	4,4	13,4
acumulación -flujo	0,6	3,4

La siguiente figura muestra los resultados de la prueba de jackknife de importancia variable. La variable ambiental con mayor ganancia cuando se usa de forma aislada es tpromedio-área, que por lo tanto parece tener la información más útil por sí misma. La variable ambiental que disminuye más la ganancia cuando se omite es tmínima-área, que por lo tanto parece tener la mayor cantidad de información que no está presente en las otras variables.

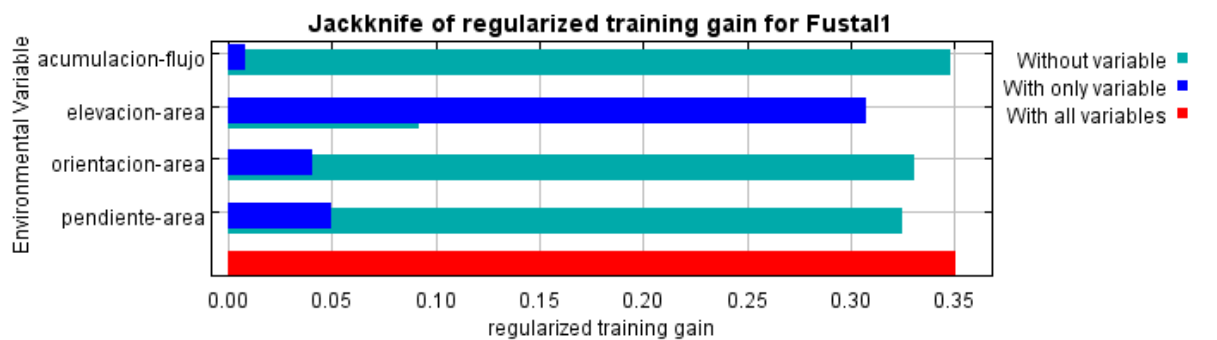


Figura 31. Prueba de jackknife con la ganancia de entrenamiento, variables topográficas para el LSB

La siguiente figura muestra la misma prueba de jackknife, utilizando la ganancia de prueba en lugar de la ganancia de entrenamiento.

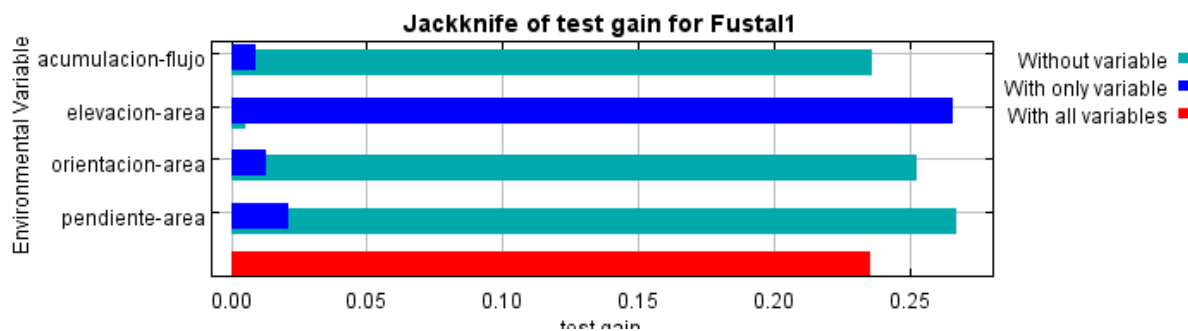


Figura 32. Prueba de jackknife con la ganancia datos de prueba, variables topográficas para el LSB

Por último, tenemos la misma prueba de jackknife, utilizando AUC en los datos de prueba.

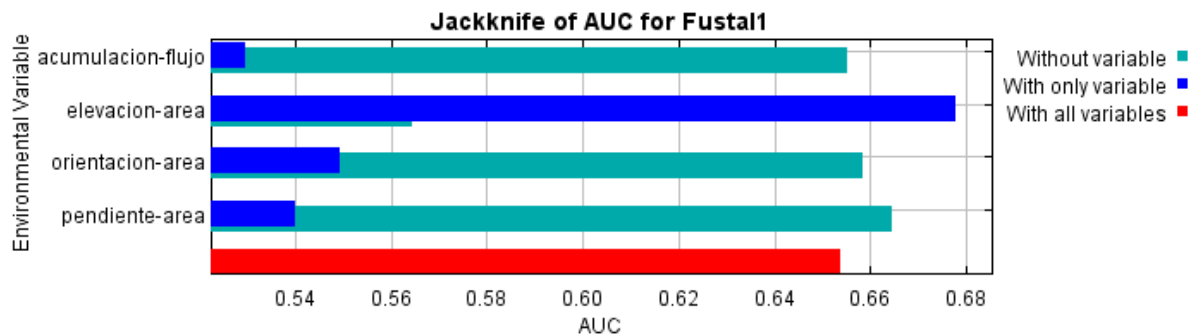


Figura 33. Prueba Jackknife AUC, variables climáticas para el LSB

Como resultado del modelo de las variables topográficas para LSB se obtuvo la siguiente representación cromática, donde se observa una probabilidad de presencia óptima hasta el 62%. Los puntos blancos muestran las ubicaciones de presencia utilizadas para el entrenamiento, mientras que los puntos violetas muestran las ubicaciones de prueba.

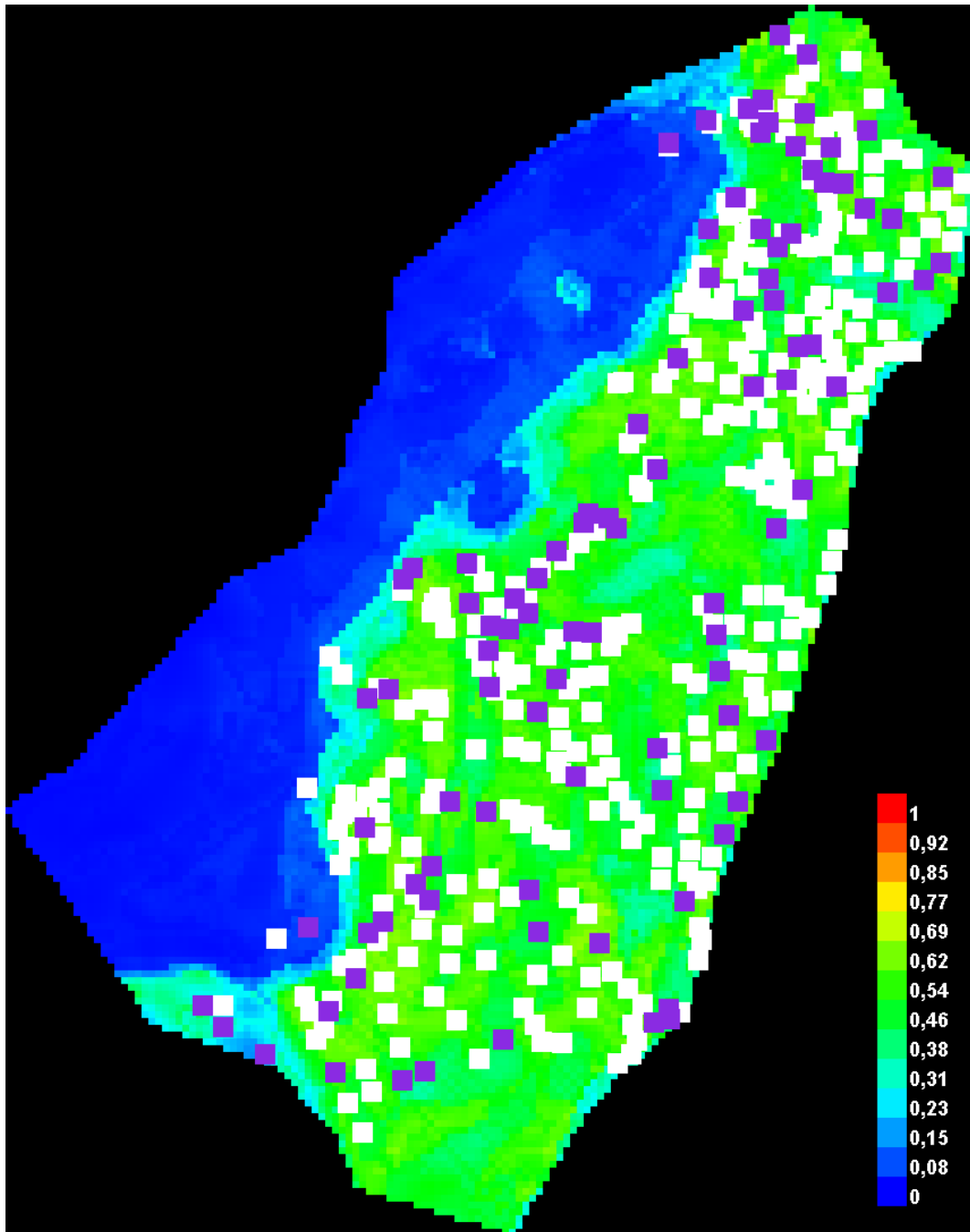


Figura 34. Representación cromática de las variables topográficas para LSB

7.5 Estimación de la zona de transición bosque/páramo

Siendo la ZTBP el área donde coexisten los dos tipos de ecosistemas estudiados (bosque altoandino y subpáramo), se obtuvo que, el LIP se encuentra entre las cotas de elevación 3300 y 3250 msnm con una probabilidad de presencia superior al 65%, de igual manera, el LSB se

encuentra entre las cotas 3300 y 3350 msnm (*Figura 35*) arrojando una un rango altitudinal para la ZTBP entre las cotas de elevación 3340 y 3250 (*Figura 36*)

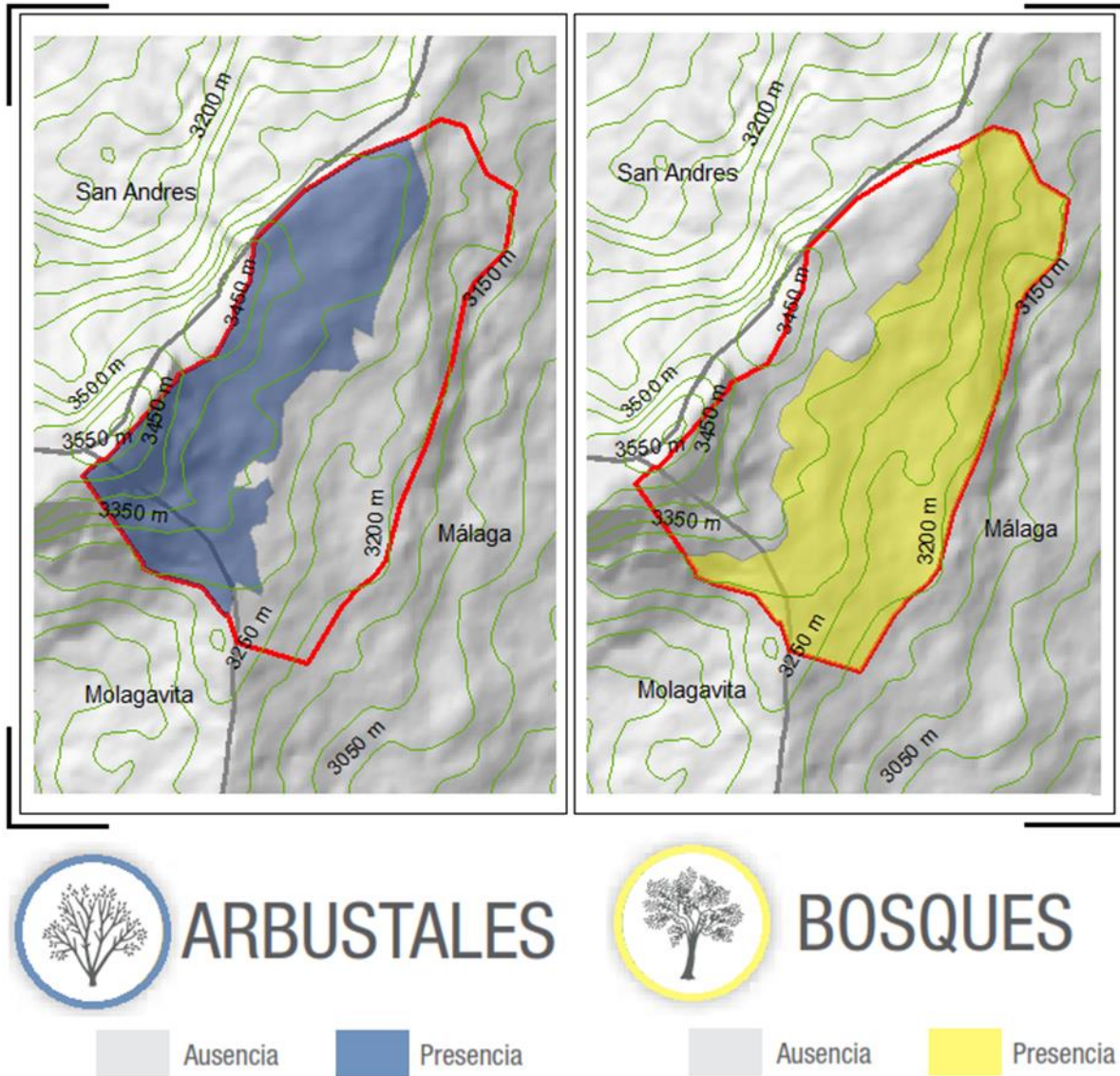


Figura 35. Modelos: Arbustales y Bosque

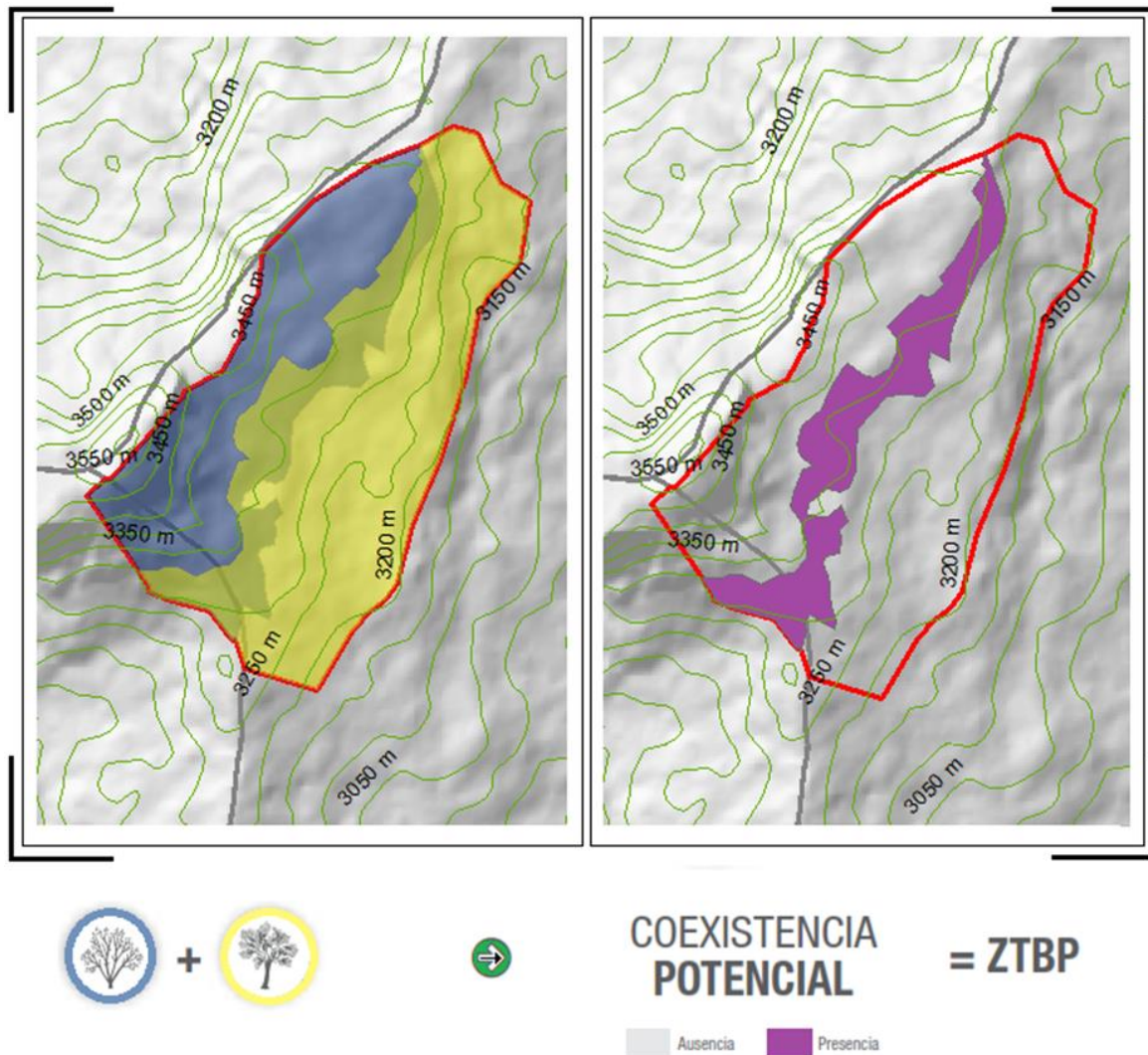


Figura 36. Construcción de la zona de transición bosque/páramo a partir de los modelos arbustales y bosque

7.6 Análisis del comportamiento del LIP con una proyección de cambio climático a 20 años.

Según el grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (IPCC) señalo en su nuevo informe (fecha de publicación 8 de octubre de 2018) que el mundo experimentara grandes problemas debido al aumento de la temperatura de 2 °C en un periodo de tiempo inferior a 20 años, en vista que en la última década aumento 1 °C. Para lo cual, se construyó un modelo con un ajuste del incremento de temperatura a 20 años de lo que se obtuvo que el

área óptima para esta cobertura disminuyó en un 90 % (10 Ha de área óptima para el crecimiento de os frailejones en 20 años), como se puede observar en la siguiente figura.

8. Discusión

- En campo se observó que la variable orientación permite la presencia de asociaciones boscosas de porte arbóreo en áreas de Páramo bajo, puesto que, existen áreas de pequeña extensión con orientación occidente que presentan morfotipos de porte arbóreo principalmente, respondiendo al esquema planteado por Cleef (1981) para el ascenso del LSB en el costado nor – occidente de la Sierra Nevada del Cocuy.
- En la ejecución del conjunto de variables topográficas para el LSB y el LIP, la variable curvatura no contribuye de manera positiva en la construcción de los modelos, la cual se excluyó de la lista de variables topográficas ejecutando los modelos topográficos por segunda vez, con lo que se logró una mayor correlación de los modelos, evidenciado en el incremento del área bajo la curva ROC para ambos objetos de estudio.
- Al igual que ([Avila, 2015](#)) en la cobertura de Herbazal (32111) en el páramo de San Turban existe la presencia de cuerpos lénticos de agua, además, en Peña Lisa se encuentra el nacimiento de la Quebrada seca. De igual manera, en la parte alta del municipio de Concepción, existe una formación de alta montaña con presencia de vegetación propia del páramo (El Jaimito), en aquella formación ocurre el nacimiento de la quebrada el Jaimito, que abastecen de agua potable las veredas de la parte alta y al casco urbano de municipio de Concepción.

- A diferencia que [Posada, Ramírez, Cubides, y Barbosa \(2010\)](#), para el caso del Bosque Húmedo montano el modelo de idoneidad actual si se ajusta, diferenciando las áreas de idoneidad con valores sobre el 62%.
- A diferencia [Avila \(2015\)](#), [Posada et al. \(2010\)](#) y [Marín y Parra \(2015\)](#) el individuo registrado en el área de estudio del genero *Gaiadendron* fue el morfotipo *Gaiadendron tagua* (Kunth) G.Don y no *Gaiadendron punctatum* (Ruiz&Pav.) G.Don.

9. Conclusiones

- En total se encontraron 78 morfotipos, 54 Géneros y 29 Familias a lo largo de todo el gradiente altitudinal, distribuyéndose en 33 morfotipos de porte arbustivo, 18 de porte arbóreo, 19 de hábito epifito (Orquideas), cuatro rosetas caulescentes (frailejones) y cuatro rosetas acaules.
- Para las coberturas que se encuentran dentro del LIP (arbustal denso 3.2.2.1, arbustal abierto 3.2.2.2, herbazal denso de tierra firme con arbustos 3.2.1.1.1.3), los morfotipos con mayor peso ecológico fueron: *Arcytophyllum nitidum*, *Bucquetia glutinosa*, *Miconia summa*, *Pernettya prostrata*, *Gaultheria mucronata*, *Hypericum juniperinum*, *Espeletiopsis corymbosa*, *Espeletia grandiflora*, entre otros; generalmente acompañados de elementos con porte de arbolitos que no superaban de ninguna manera los 6 mts de altura, con morfotipos como: *Diplostephium eriophorum*, *Clusia multiflora*, *Hesperomeles goudotiana*, entre otros.

- Para la Cobertura de bosque altoandino (Bosque denso bajo de tierra firme 3.1.1.2.1) los morfotipos con mayor peso ecológico fueron: *Weinmannia tomentosa*, *Brunellia subsessilis*, *Cybianthus perseoides* y *Viburnum triphyllum*, existiendo la presencia de algunos *Bucquetia glutinosa* con alturas hasta de ocho metros. En la franja con menor elevación predomina una vegetación propia de bosque cerrado de alta montaña compuesto principalmente por *Quercus humboldtii*.
- En cuanto a los modelos se pudo apreciar que existe una probabilidad de presencia promedio para el LSB y el LIP de un 68%, existiendo una mayor afinidad del modelo para el LSB con un área bajo la curva de 0,740 para las variables topográficas y 0,725 para las variables climáticas, lo que lo clasifica como un modelo aceptable.
- Comparando los resultados del conjunto de variables climáticas con el de las variables topográficas empleadas en la construcción de los modelos se obtuvo que las variables topográficas muestran una mejor correlación y aporte para la construcción de los modelos.
- La ZTBP se identificó dentro de las cotas de elevación de 3250 y 3350 msnm con un ancho variable de 70 m altitudinales y una temperatura media de 8 a 9 °C, en la cual, corroborando en campo se encontró la mayor abundancia de las dos formas de crecimiento vegetal estudiadas (arbustal – rosetas y bosque ó fustal).
- En cuanto a los resultados de la modificación planteada a la metodología de Marín (2013), es viable seguirla replicando, en vista que, los morfotipos como: el *Pernettya prostrata* y el *Gaultheria mucronata* fueron los que presentaron la mayor dominancia en sus coberturas y se presentaban casualmente con alturas superiores a un metro; así como las especies mencionadas, existen otras que no se alcanzan a registrar por no cumplir con el requisito de un metro de altura.

10. Recomendaciones

- En la obtención de la variable temperatura se recomienda despreciar la estación meteorológica de Capitanejo, por presentar una temperatura azonal (22 °C a los 1506 msnm, influenciado por las corrientes cálidas que ascienden por el cañón del Chicamocha). Ya que al triangular esta estación con las demás se alteró el valor de la temperatura, obteniéndose un valor único de 12 °C para la totalidad del área estudiada, siendo un resultado erróneo que no se ajusta a las características climáticas del ecosistema bosque/páramo.
- La variable precipitación fue despreciada del conjunto de variables climáticas debido a que no presentan una variación significativa para el área de estudio, además, de que el cálculo de esta variable se realizó de manera horizontal (valores puntuales que se obtuvieron de la triangulación) y no en función al gradiente altitudinal. La extensión del área es otro factor que limita la utilización de dicha variable, ya que es un área muy pequeña y la variación de la precipitación es de 4 mm. Se recomienda instalar estaciones meteorológicas dentro el área de estudio o lo más cerca posible para tomar el registro de dicha variable.
- Sería interesante ver los resultados que puedan llegar a arrojar la modificación que se planteó a la metodología de Marín (2013), para poder comparar la diversidad de flora que existe en los ecosistemas paramunos con alturas inferiores a un metro.

Referencias bibliográficas

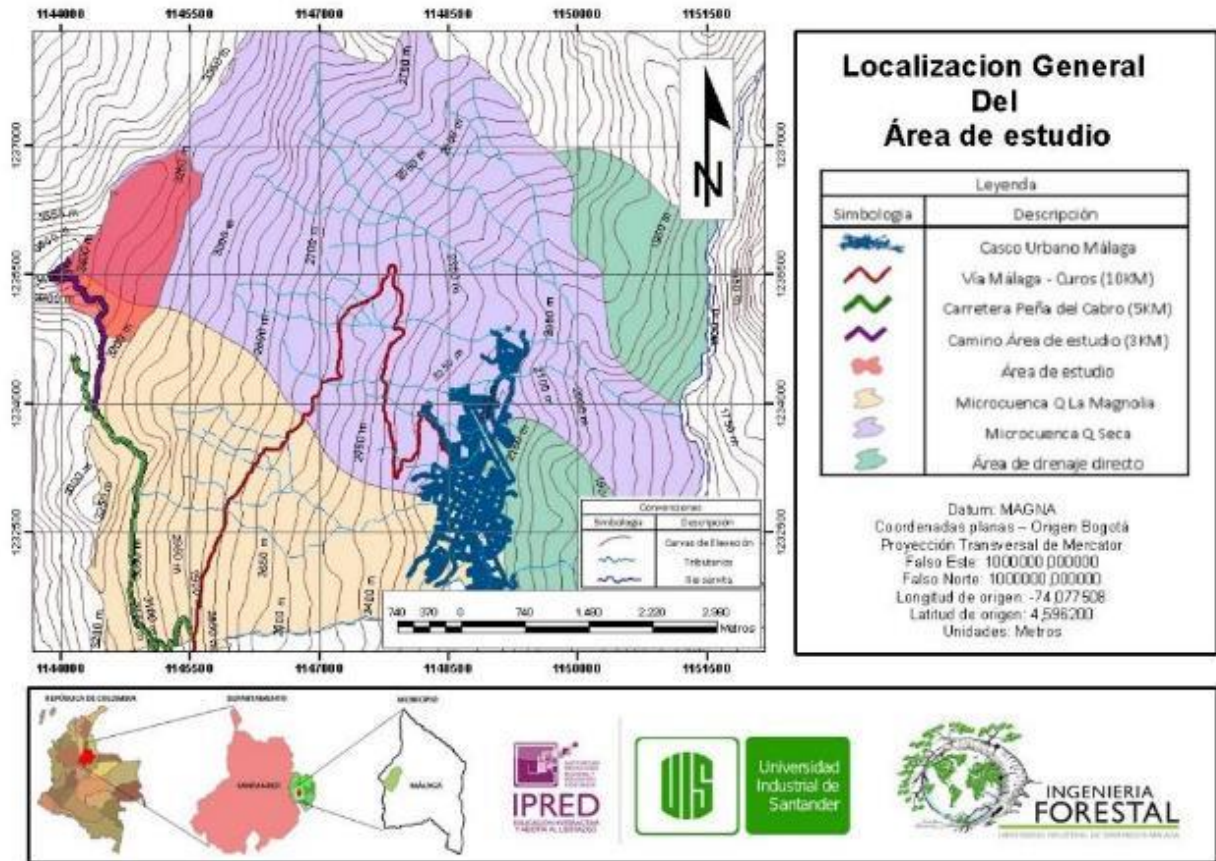
- Aguadas, C. (2016). *Estimación de biomasa aérea forestal en bosque de robledales del altiplano norte de Antioquia, utilizando teledetección* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín, Antioquia Colombia. Recuperado de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/57516/1/1128387218.2017.pdf>
- Arzac, A, Chacón, E, Llambí, L, & Dulhoste, Ra. (2011). Distribución de formas de vida de plantas en el límite superior del ecotono bosque-páramo en los Andes Tropicales. *Ecotrópicos*, 24(1), 26-46. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/259477776_Distribucion_de_formas_de_vida_de plantas_en_el_limite_superior_del_ecotono_bosque-paramo_en_los_Andes_tropicales
- Avila, Y. (2015). *Caracterización de las principales coberturas vegetales en el páramo de Santurbán* (Tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Santander Colombia.
- Benito, B, & Peñas, J. (2007). Aplicación de modelos de distribución de especies a la conservación de la biodiversidad en el sureste de la Península Ibérica. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 7(3), 100-119. Recuperado de: http://geofocus.rediris.es/2007/Articulo6_2007.pdf
- Cadenasso, M, Pickett, S, Weathers, K, Bell, S, Benning, T, Carreiro, M, & Dawson, T. (2003). An interdisciplinary and synthetic approach to ecological boundaries. *AIBS Bulletin*, 53(8), 717-722.
- Calderón, E. (2005). *Libro rojo de Plantas de Colombia. Volumen 2: Palmas, Frailejones y Zamias*. Recuperado de: <http://www.humboldt.org.co/es/i2d/item/277-libro-rojo-de-plantas-de-colombia-vol-2-palmas-frailejones-y-zamias-serie-libros-rojos-de-especies-amenazadas>
- Clements, F. (1907). *Plant physiology and ecology*. . New York, NY, 315. <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1469-8137.1908.tb06085.x>
- Chaves , P. (2010). *Inventario florístico preliminar de plantas angiospermas presentes en el ecosistema de paramo del Parque Nacional Natural El Cocuy, Boyacá* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá Colombia. Recuperado de: <https://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis638.pdf>
- ESRI. (2012). ArcGis (Version 10.3).
- Forman, R. (1995). *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions*. Recuperado de: <https://link.springer.com/book/10.5822%2F978-1-61091-491-8#page=239>

- Gentry, H. (1996). *A field guide to the families and genera of woody plants of northwest South America (Colombia, Ecuador, Peru), with supplementary notes on herbaceous taxa*. Chicago, United States of America: The University of Chicago Press
- Hofstede, R., Segarra, P., & Mena, P. (2003). *Los Páramos del Mundo. Proyecto Atlas Mundial de los Páramos*. Recuperado de: https://www.portalces.org/sites/default/files/references/038_Hofstede%20et%20al.%20%28eds%29.2003.Los%20Paramos%20del%20Mundo.pdf
- IDEAM. (2010). *Leyenda nacional de coberturas de la tierra: metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia: Escala 1: 100.000*. Recuperado de http://siatac.co/c/document_library/get_file?uuid=a64629ad-2dbe-4e1e-a561-fc16b8037522&groupId=762
- Madriñán, S. (2012). *Flora ilustrada del páramo de Chingaza.: guía de campo de plantas comunes V.2*. Bogotá, Colombia: Ediciones Uniandes.
- Maita, J. (2015). *Dinámica espacio temporal del Índice de Vegetación Mejorado (EVI) en los Ecosistemas del sur del Ecuador* (Tesis de maestría). Universidad del Azuay, Cuenca Ecuador. Recuperado de <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/4933/1/11372.pdf>
- Marín, C. (2013). *Propuesta metodológica para caracterizar las coberturas vegetales en los páramos de Santurbán y Rabanal. Proyecto Páramos y Sistemas de Vida. Instituto de Investigación en Recursos Biológicos Alexander von Humboldt*. Documento interno.
- Marín, C., & Parra, S. (2015). *Bitácora de flora. Guía visual de plantas de páramos de Colombia*. Recuperado de: <http://www.humboldt.org.co/images/Fondo/pdf/bitacorafloa1.pdf>
- Morales M., Otero J., Van der Hammen T., Torres A., Cadena C., Pedraza C., Rodríguez N., Franco C., Betancourth J.C., Olaya E., Posada E., y Cardenas L. . (2007). *Atlas de páramos de Colombia*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/296706135_Atlas_de_paramos_de_Colombia
- Muñoz, P. (2013). *Apuntes de Teledetección: Índices de vegetación*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/327558326_Apuntes_de_Teledeteccion_Indices_de_vegetacion
- Phillips, S., Anderson, R., & Schapire, R. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*, 190(3-4), 231-259. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030438000500267X>
- Posada, E, Ramírez, H, Cubides, P, & Barbosa, M. (2010). Generación de modelos de distribución de ecosistemas vulnerables al cambio climático [Generation of distribution models of vulnerable ecosystems towards climate change]. *Ventana Informática*, 23(1), 9-27. Recuperado de: <http://revistasum.umanizales.edu.co/ojs/index.php/ventanainformatica/article/viewFile/190/239>

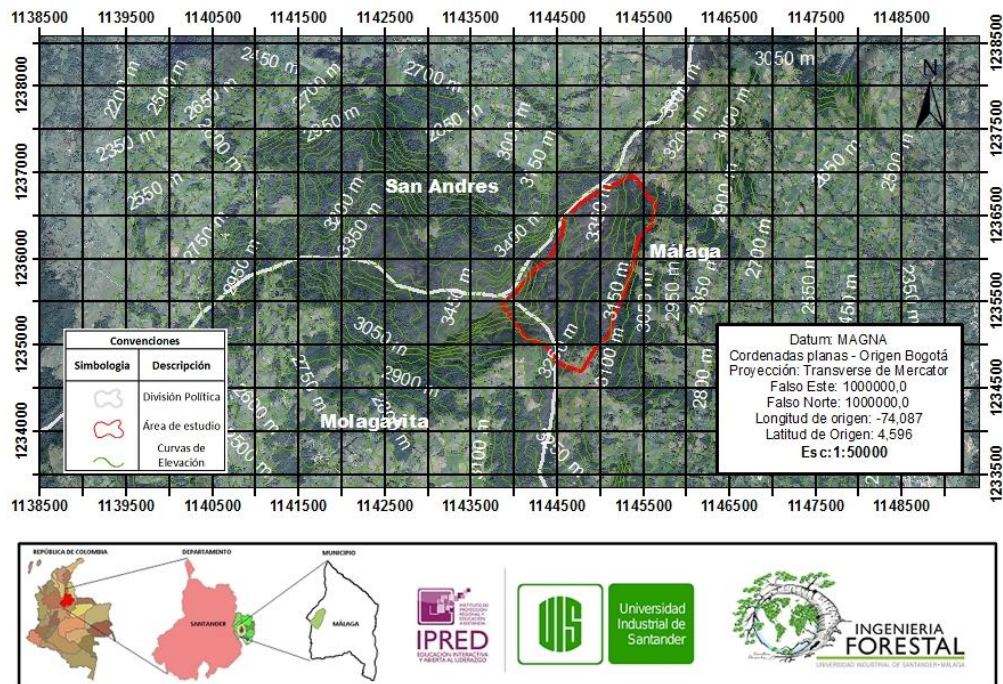
- Rangel, JO, Lowy, P, & Aguilar, M. (1997). *Colombia diversidad biótica II: tipos de vegetación en Colombia. La distribución de los tipos de vegetación en Colombia..* Recuperado de: <http://www.uneditorial.net/pdf/TomoII.pdf>
- Rivera, D., & Murcia, R. (2011). *Guía divulgativa de criterios para la delimitación de páramos de Colombia.* Recuperado de: http://www.humboldt.org.co/images/Atlas%20de%20paramos/Guia_delimitacion_paramos.pdf
- Sarmiento, C., & León, O. (2015). *Transición bosque-páramo. Bases conceptuales y métodos para su identificación en los Andes Colombianos.* Recuperado de: <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/9287>
- Sturm, H., & Rangel, O. (1985). *Ecología de los páramos andinos: una visión preliminar integrada.* Bogotá, Colombia: Editora Guadalupe Ltda.
- Suárez del Moral, P., & (2009). *Modelización de la Distribucion de la Línea de Contacto Bosque-Páramo en los Andes Venezolanos* (Tesis de pregrado). Universidad de los Andes, Merida Venezuela.
- Suárez del Moral, P., & Chacón, E. (2011). Modelo espacial de distribución del ecotono bosque páramo en los Andes venezolanos. Ubicación potencial y escenarios de cambio climático. *Ecotropicos*, 24(1), 3-25. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Eulogio-Chacon-Moreno/publication/259477967_Modelo_espacial_de_distribucion_del_ecotono_bosque-paramo_en_Los_Andes_venezolanos_Ubicacion_potencial_y_escenarios_de_cambio_climatico/links/00b7d52c0f8e47a9a9000000/Modelo-espacial-de-distribucion-del-ecotono-bosque-paramo-en-Los-Andes-venezolanos-Ubicacion-potencial-y-escenarios-de-cambio-climatico.pdf
- Van der Maarel, E. (1990). Ecotones and ecoclines are different. *Journal of Vegetation Science*, 1(1), 135-138. Recuperado de: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.2307/3236065>

Apéndices

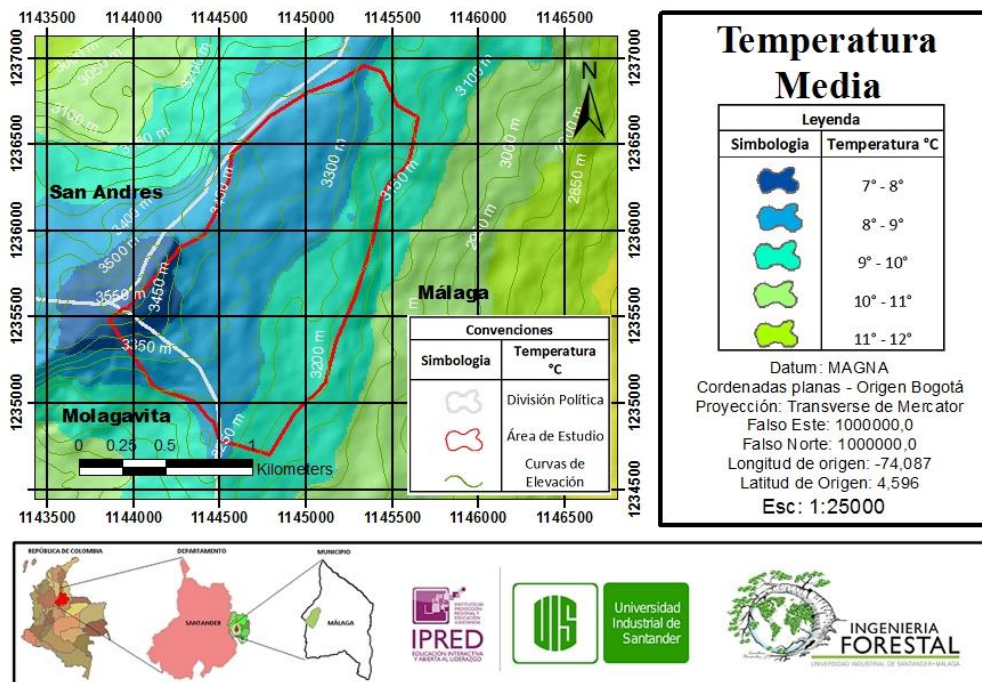
Apéndice 1. Mapa de localización del área de estudio



Apéndice 2. Composición de falsos colores RGB descargada del satélite Sas – Planet



Apéndice 3. Temperatura media (A, B)



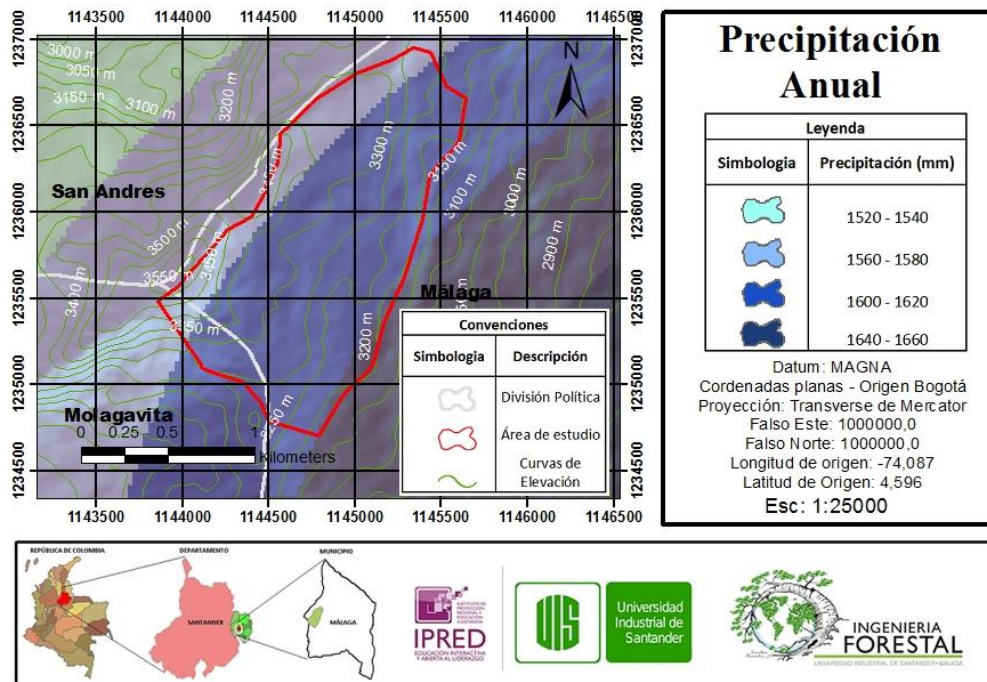
A. Temperatura promedio calculada para el área de estudio.

	Estación	x	y	z	temperatura (°C)
1	Charala	704607	693873	1350	21.3
2	Apto Palonegro	700501	787571	1189	21.4
3	Berlín Automática	735372	794963	3214	8.8
4	Zapatoca	689782	751178	1810	18.7
5	Tinaga Granja	753360	756758	2698	13.6
6	Chima	680479	702732	1090	23.6
7	Esc Agr Mogotes	724628	715609	1667	18.8
8	Chiscas	775947	724637	2350	16.9
9	Guican	786567	715168	2963	13.2
10	Sierra Nevad Cocuy	790715	715189	3716	6.8
11	Cusagui	771602	690951	2950	12.4
12	Boavita	767870	699887	2150	17.4
13	Univ Ind Santander	707374	790170	1018	23.1

B. estaciones Meteorológicas utilizadas para el cálculo de la temperatura

Nota: sistema de coordenadas UTM zona 18 N

Apéndice 4. Precipitación media (A, B)



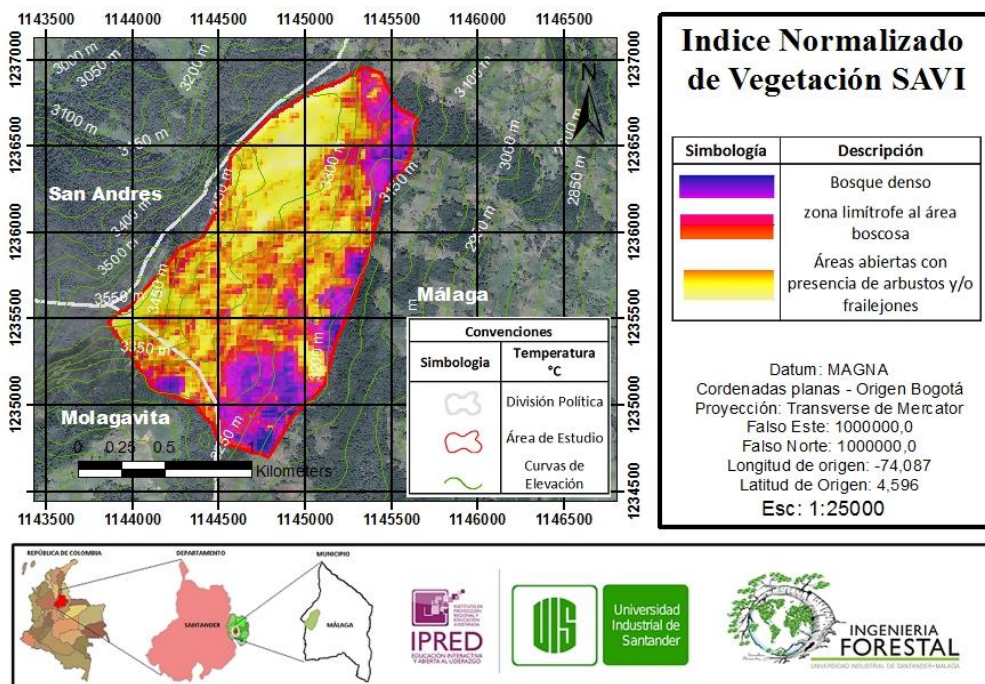
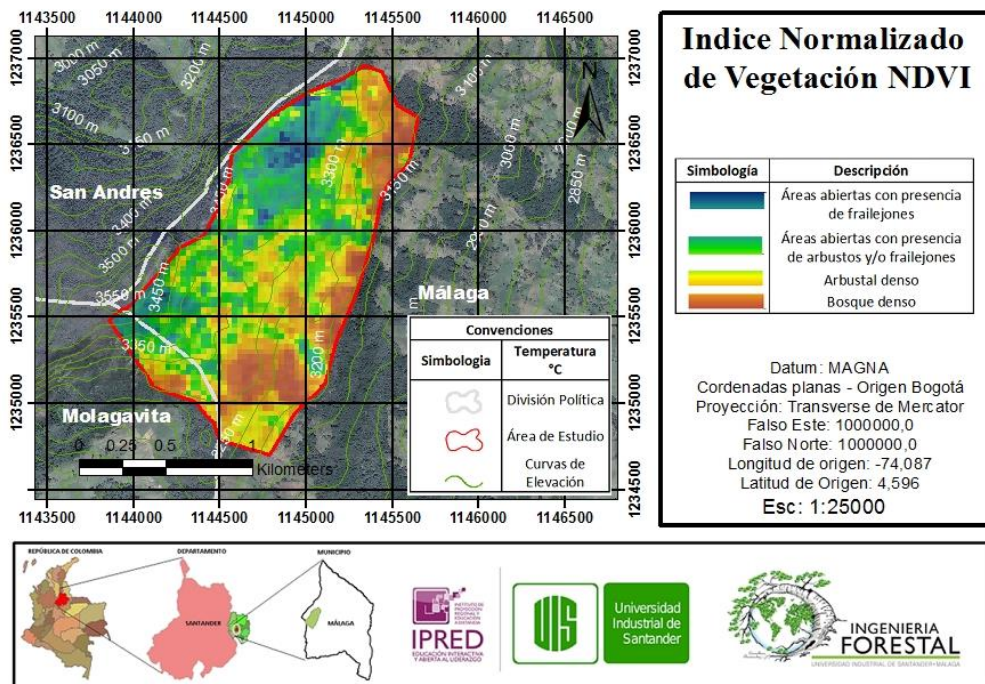
A. Precipitación promedio calculada para el área de estudio.

	nombre	x	y	z	precipitación
1	Charala	704607	693873	1350	2673.77879
2	Apto Palonegro	700501	787571	1189	1189.36667
3	Capitanejo	755106	721018	1160	771.238701
4	Zapatoca	689782	751178	1810	1256.07424
5	Tinaga Gja	753360	756758	2698	1212.31687
6	Chima	680479	702732	1090	3063.7225
7	Esc Agr Mogotes	724628	715609	1667	2756.71874
8	Chiscas	775947	724637	2350	1316.70037
9	Guican	786567	715168	2963	1070.96787
10	Sierra Nevad Cocuy	790715	715189	3716	1041.71138
11	Cusagui	771602	690951	2950	979.534796
12	Boavita	767870	699887	2150	1281.48602
13	Univ Ind Santander	707374	790170	1018	1276.18763
14	Málaga	750972	741872	2237	1643.97835

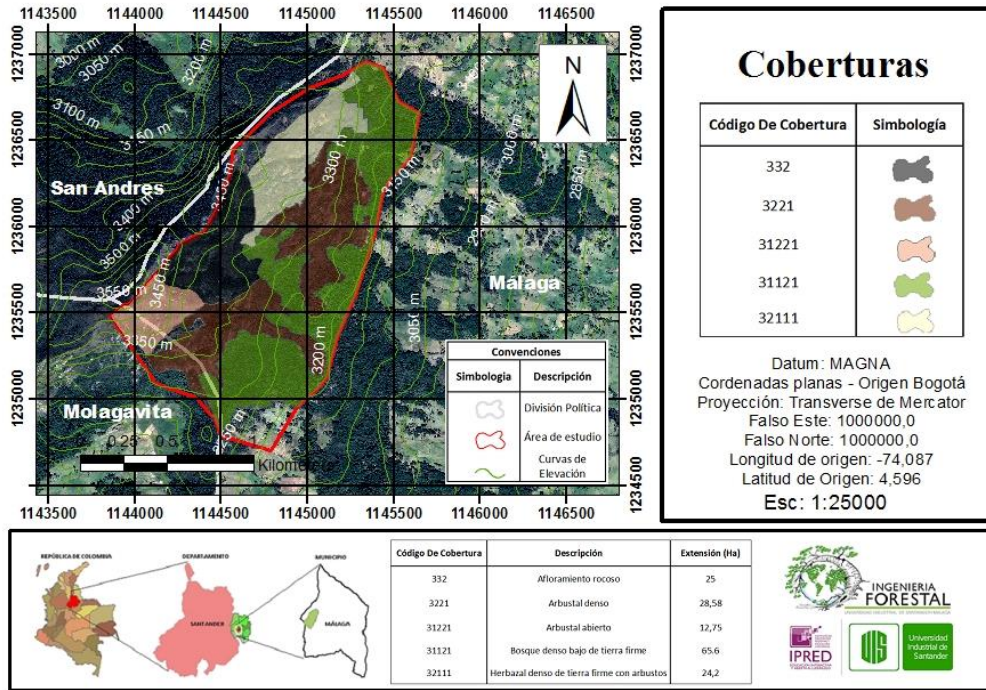
B. estaciones Meteorológicas utilizadas para el cálculo de la precipitación.

Nota: sistema de coordenadas UTM zona 18 N

Apéndice 5 Índices normalizados de vegetación NDVI y SAVI



Apéndice 6. Identificación de Coberturas



Apéndice 7. Evidencia de la producción ganadera dentro de las áreas de bosque.



Apéndice 8. Aprovechamiento forestal de especies de bosque alto-andino



Nota: especie aprovechada *Miconia sp*

Apéndice 9. Áreas de bosque altoandino paramisadas



Apéndice 10. Ensamble del instrumento de medida de alturas para fustal

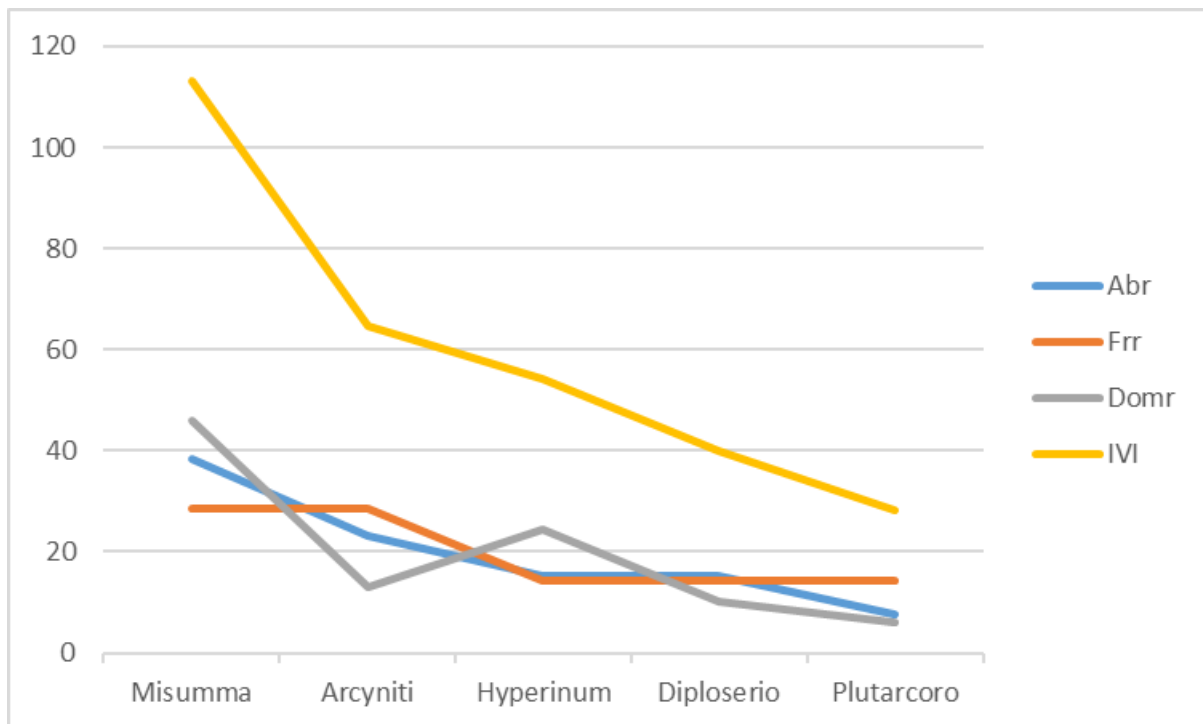


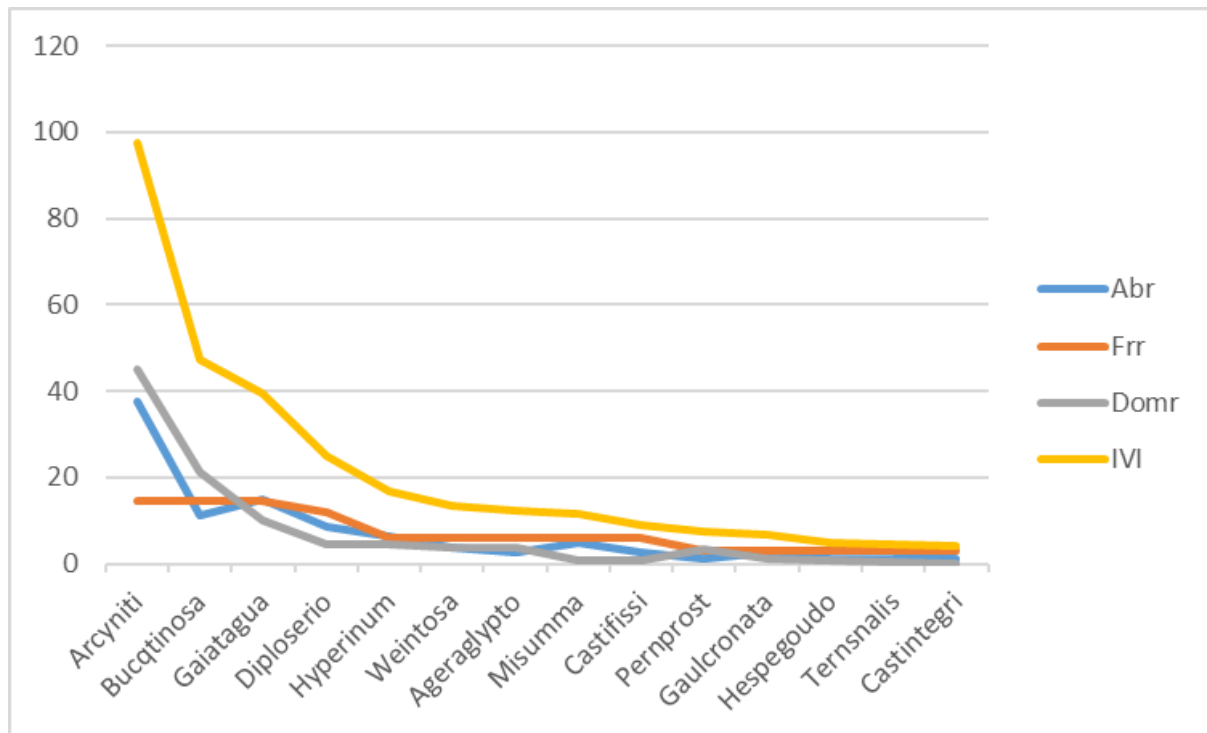
Apéndice 11. Proceso de medición de alturas

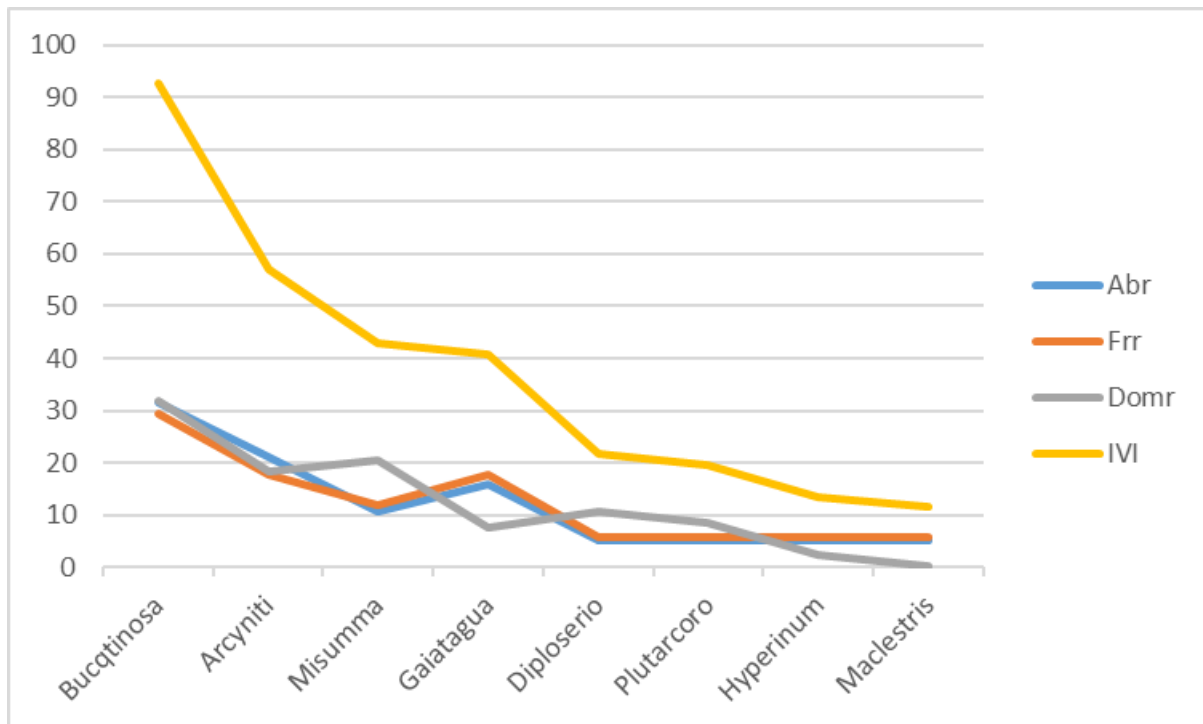


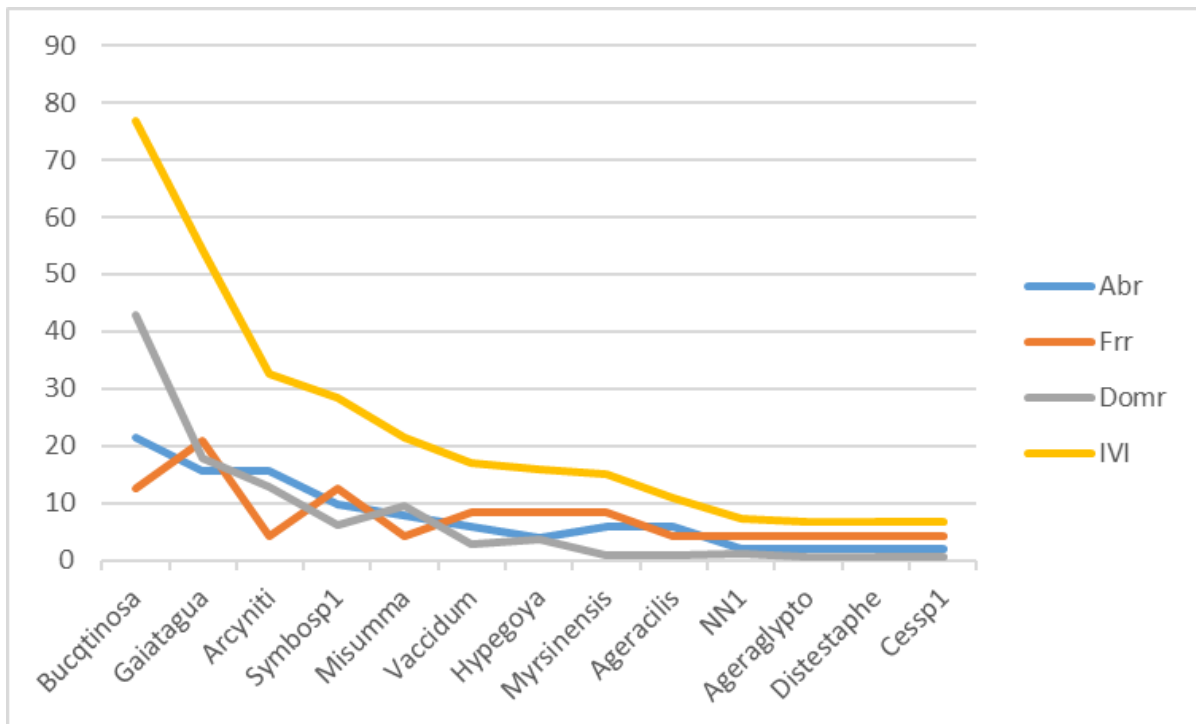
Apéndice 12. Verificación y registro de alturas del fustal

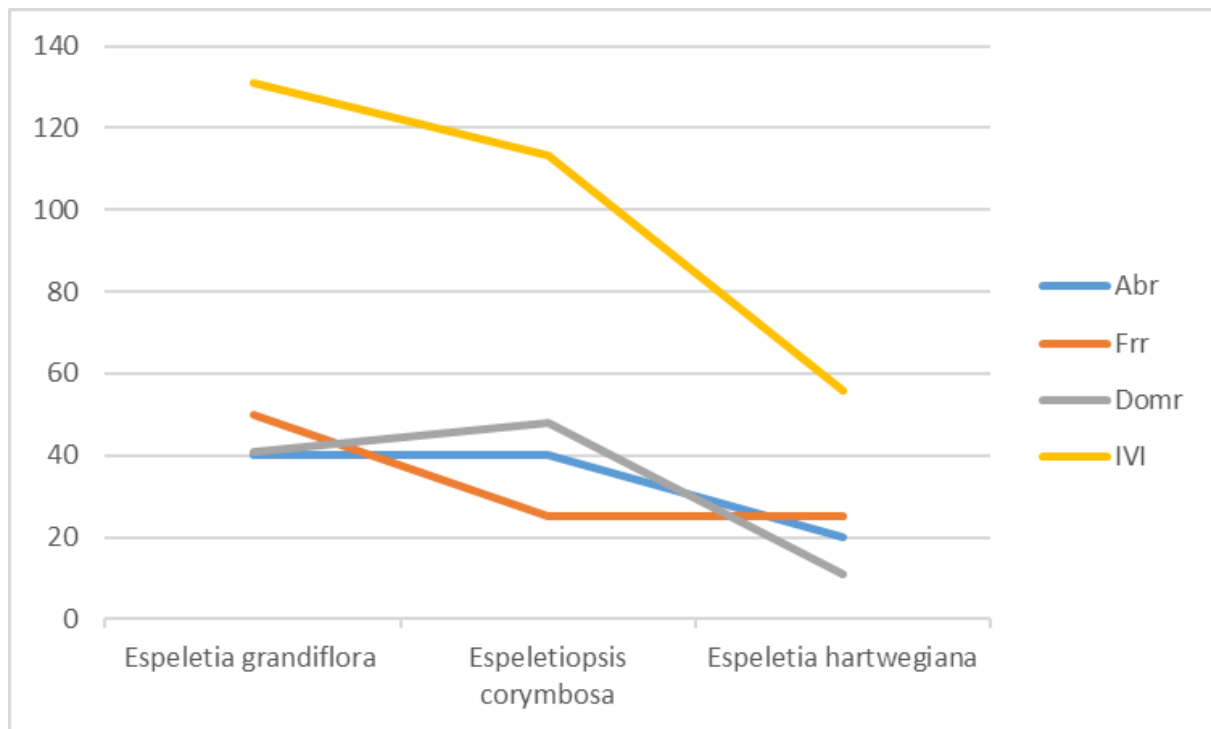


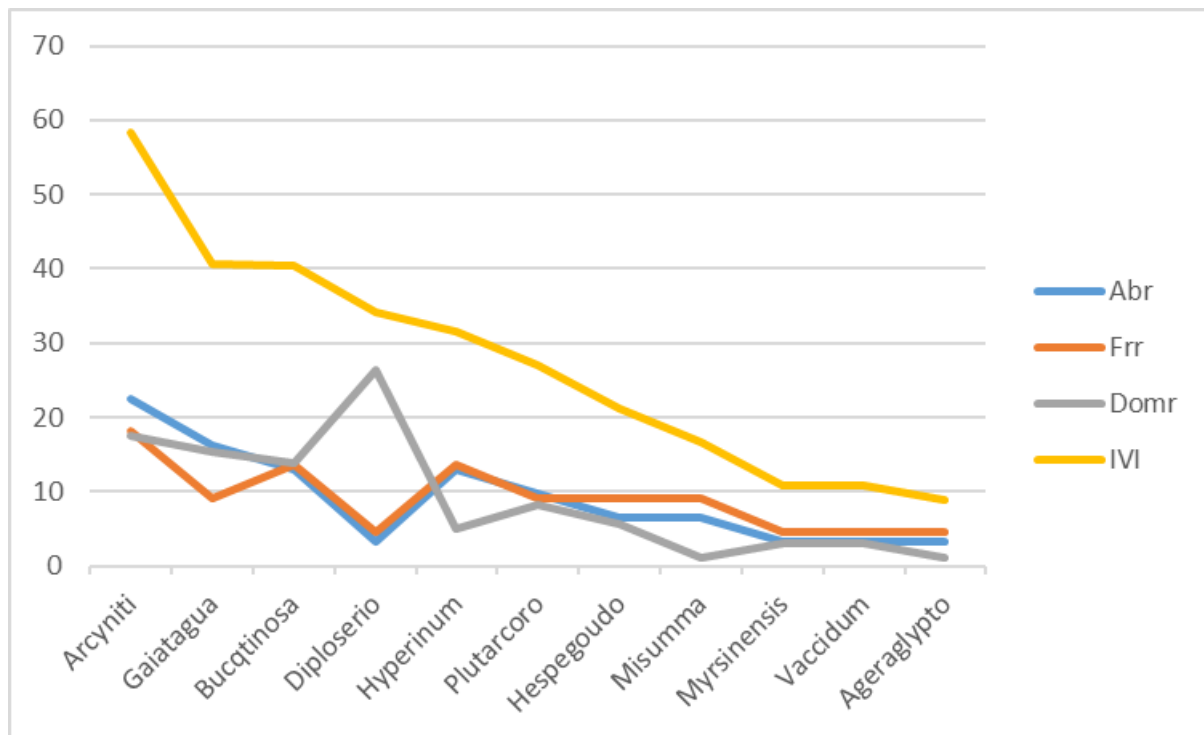
Índices de valor de importancia (IVI) para arbustal con alturas mayores a 1m**Apéndice 13.** Índice de valor de importancia (IVI) y sus variables, parcela uno

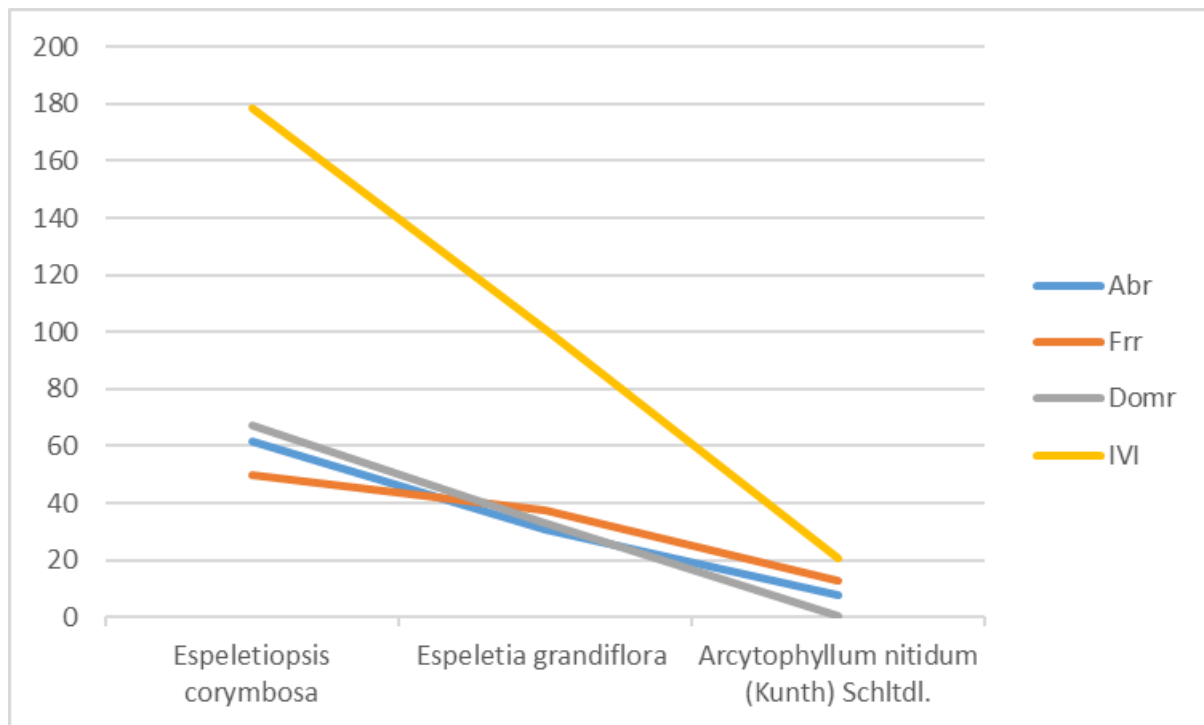
Apéndice 14. Índice de valor de importancia (IVI) y sus variables, parcela dos

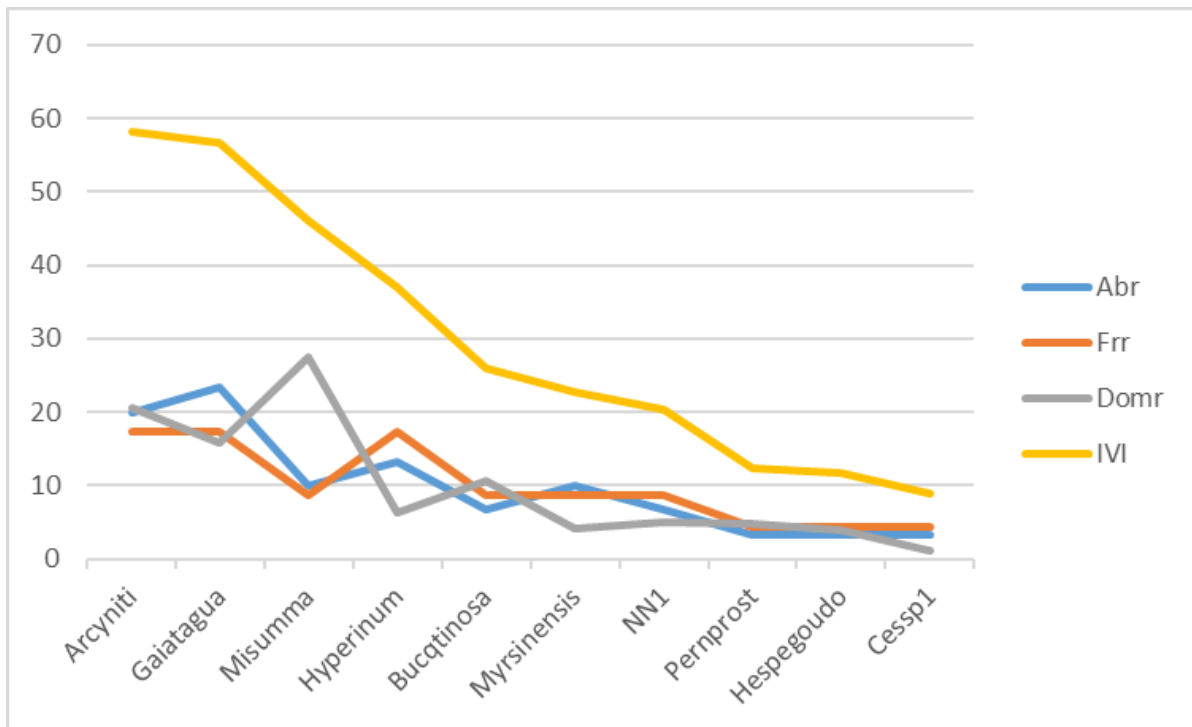
Apéndice 15. Índice de valor de importancia (IVI) y sus variables, parcela tres

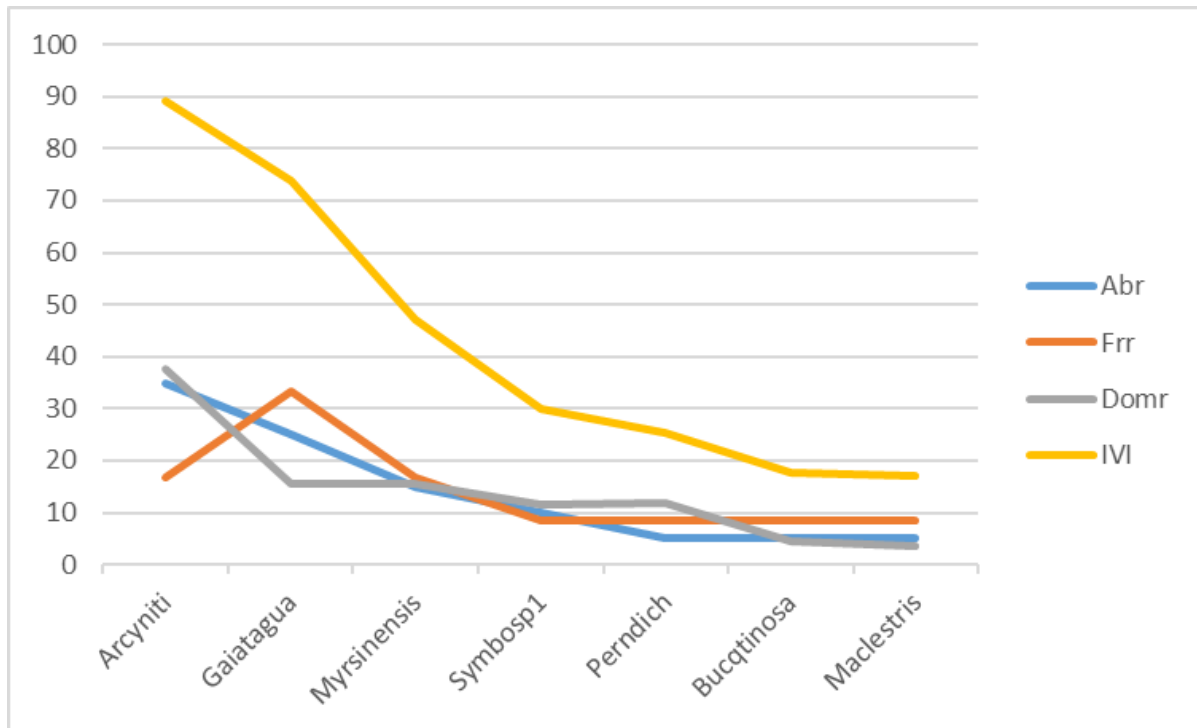
Apéndice 16. Índice de valor de importancia (IVI) y sus variables, parcela cuatro

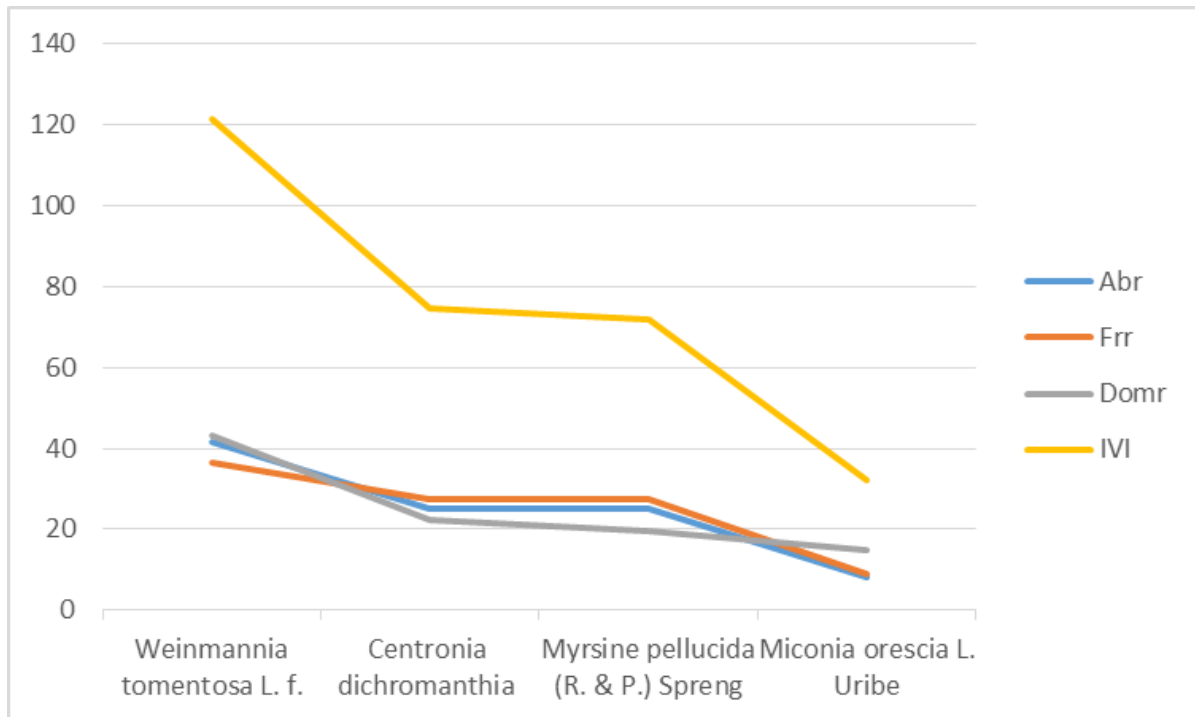
Apéndice 17 Índice de valor de importancia (IVI) y sus variables, parcela cinco

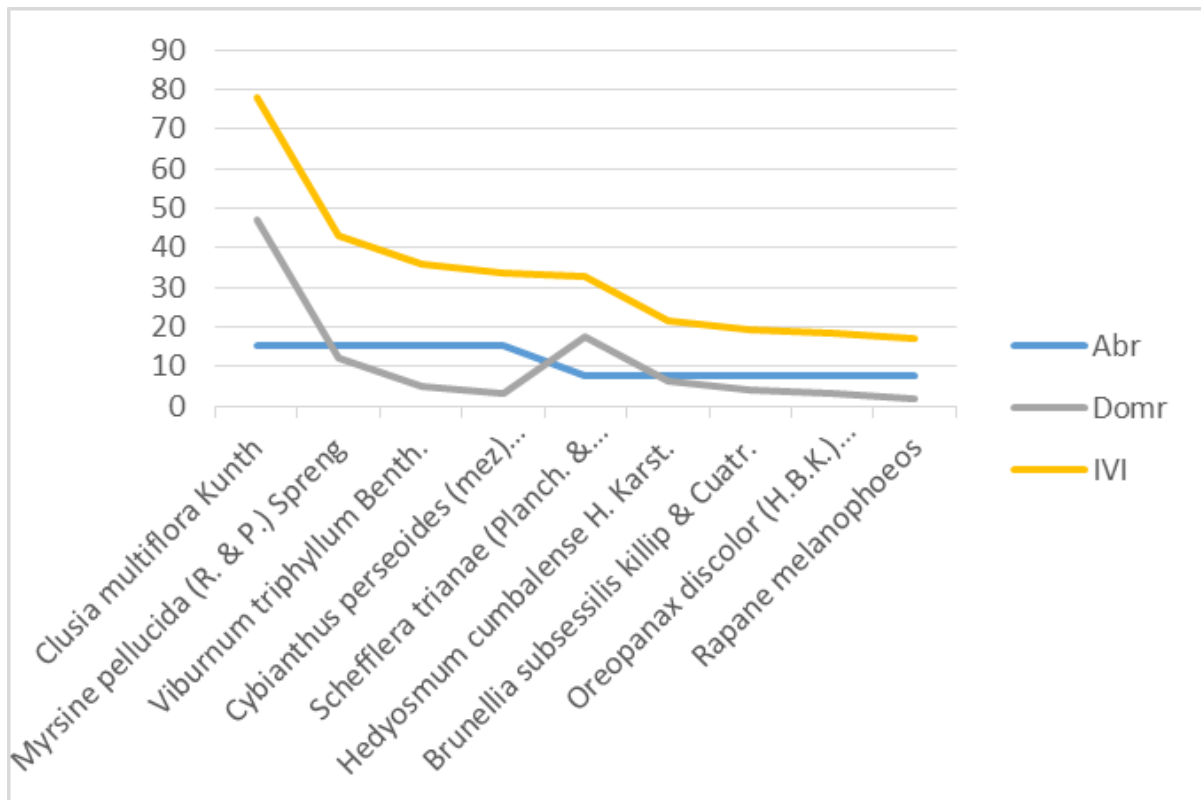
Apéndice 18. Índice de valor de importancia (IVI) y sus variables, parcela seis

Apéndice 19. Índice de valor de importancia (IVI) y sus variables, parcela siete

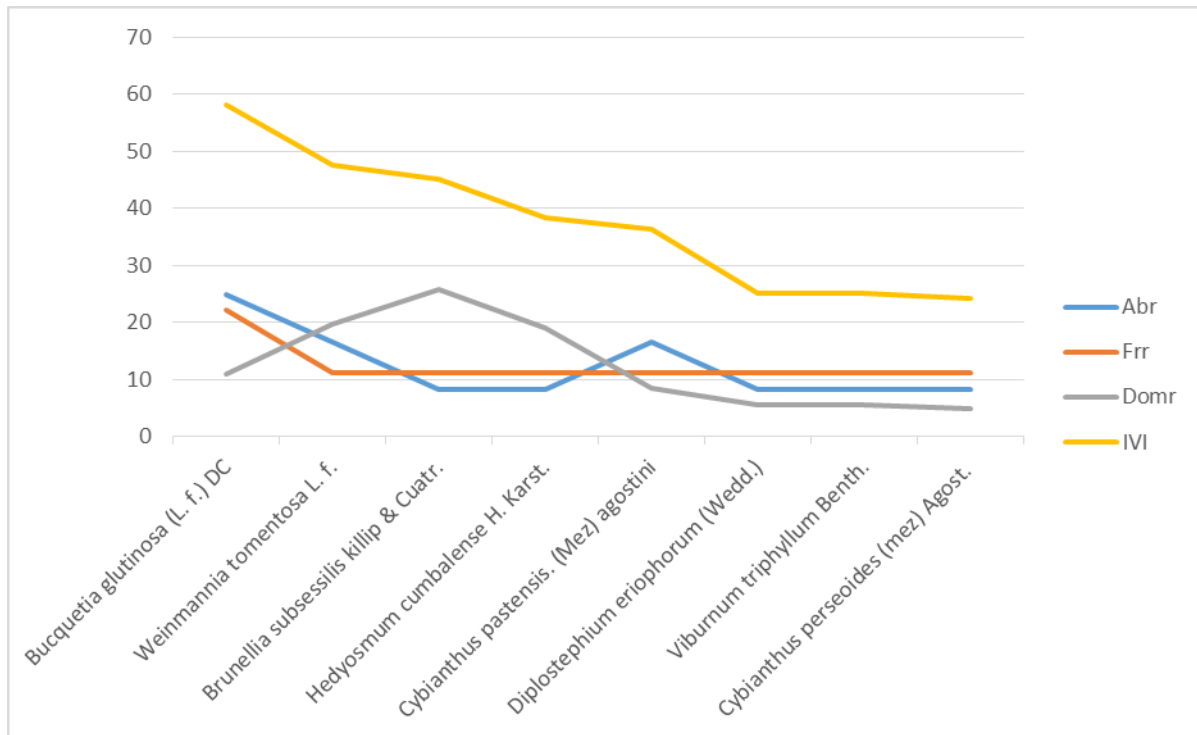
Apéndice 20. Índice de valor de importancia (IVI) y sus variables, parcela ocho

Apéndice 21. Índice de valor de importancia (IVI) y sus variables, parcela nueve

Apéndice 22. Índice de valor de importancia (IVI) y sus variables, parcela diez

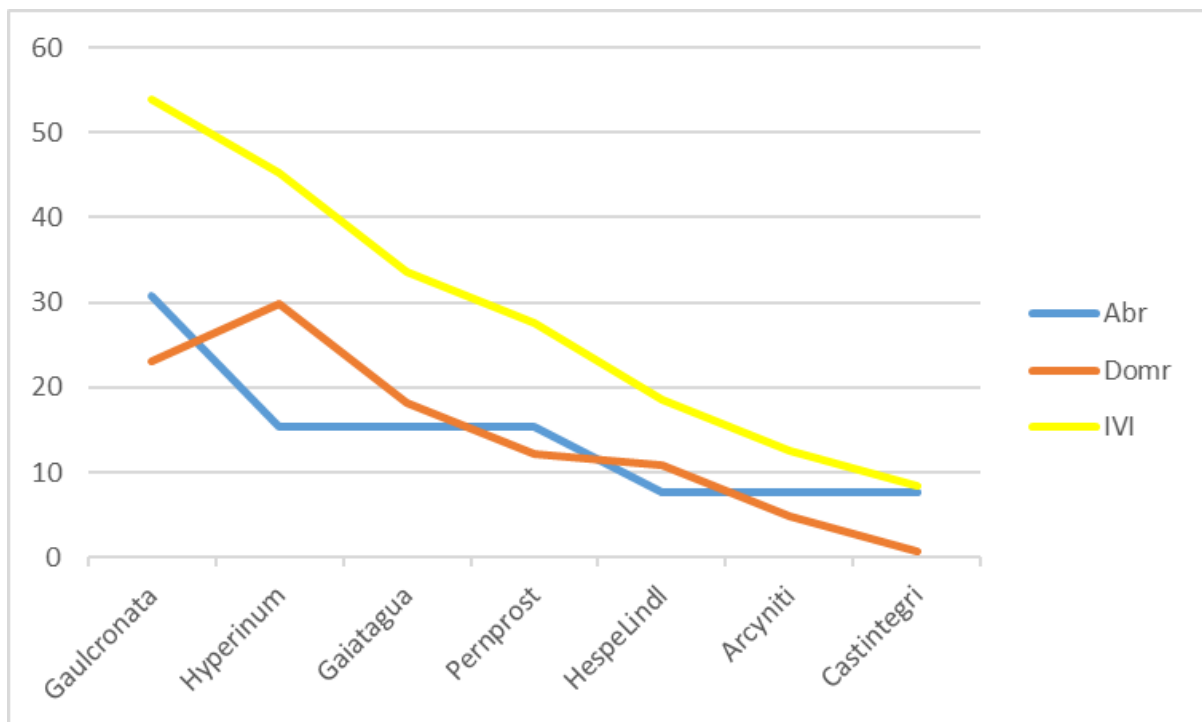
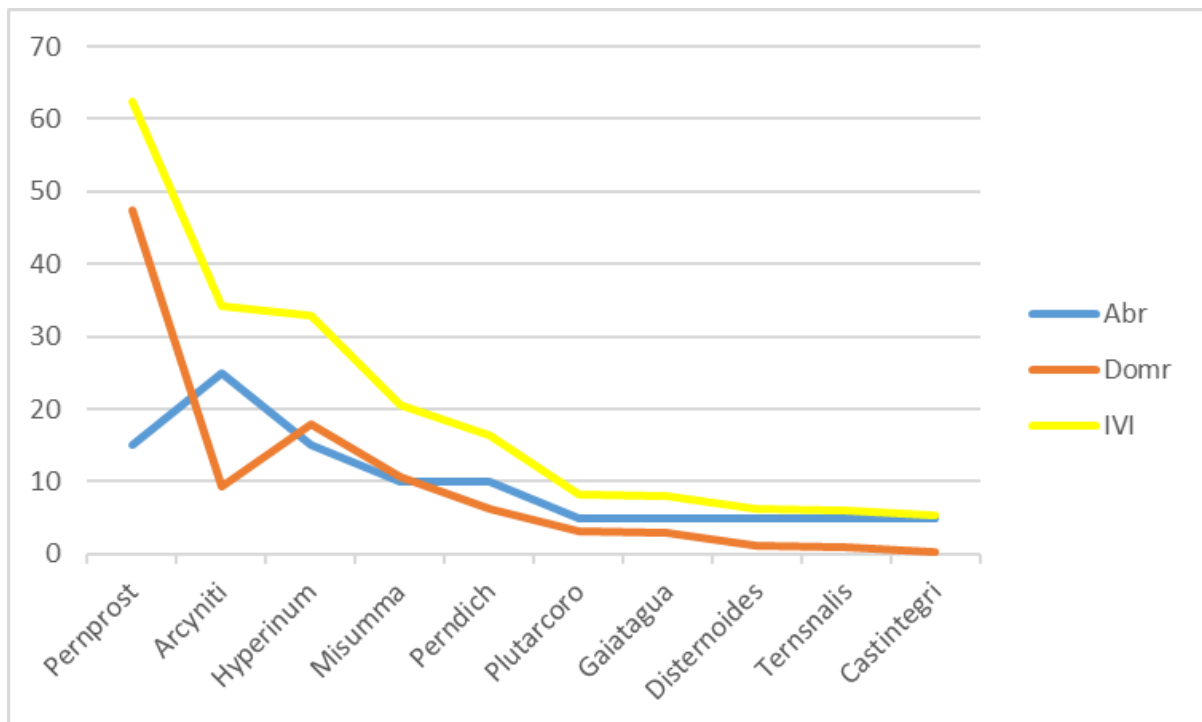
Apéndice 23. Índice de valor de importancia (IVI) y sus variables, parcela once

Apéndice 24. Índice de valor de importancia (IVI) y sus variables, parcela doce

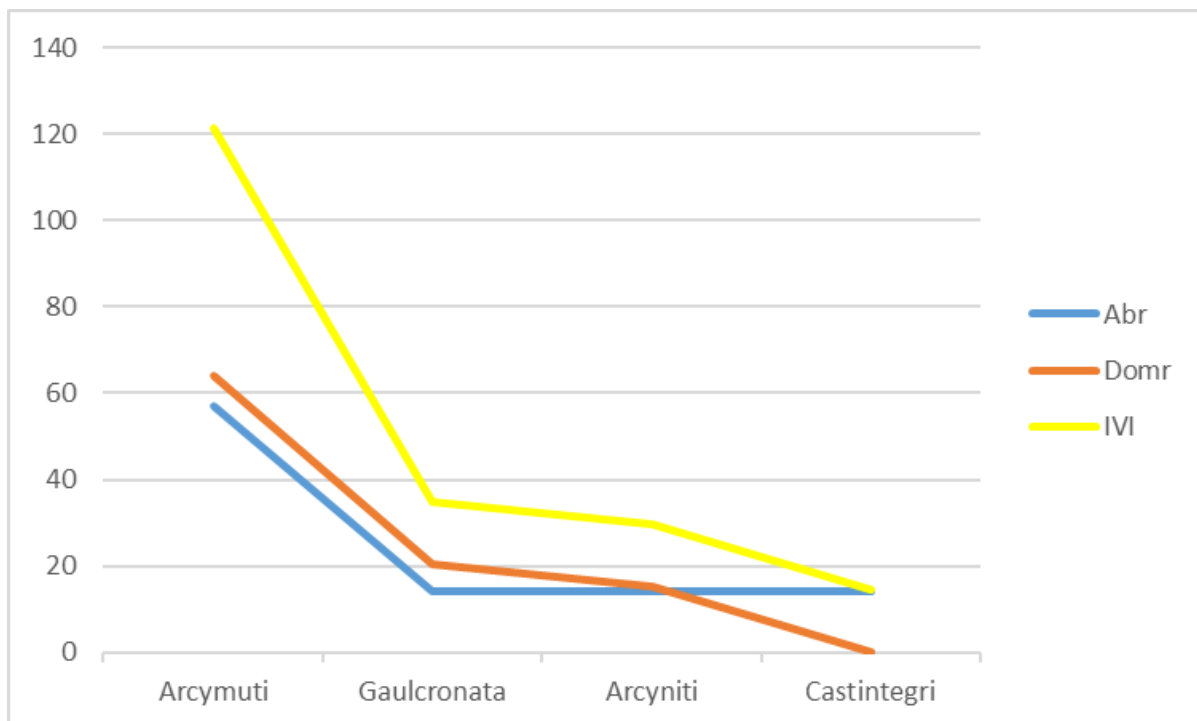
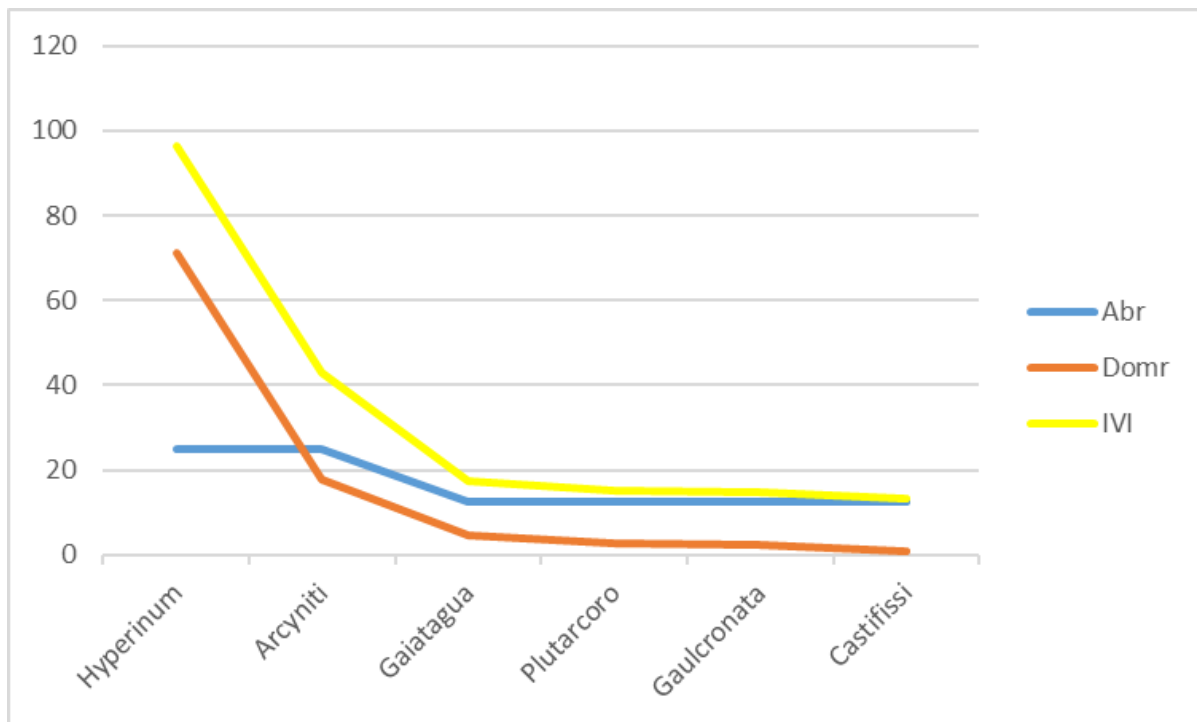


Índices de valor de importancia (IVI) para arbustal con alturas entre 0.5m y 1m

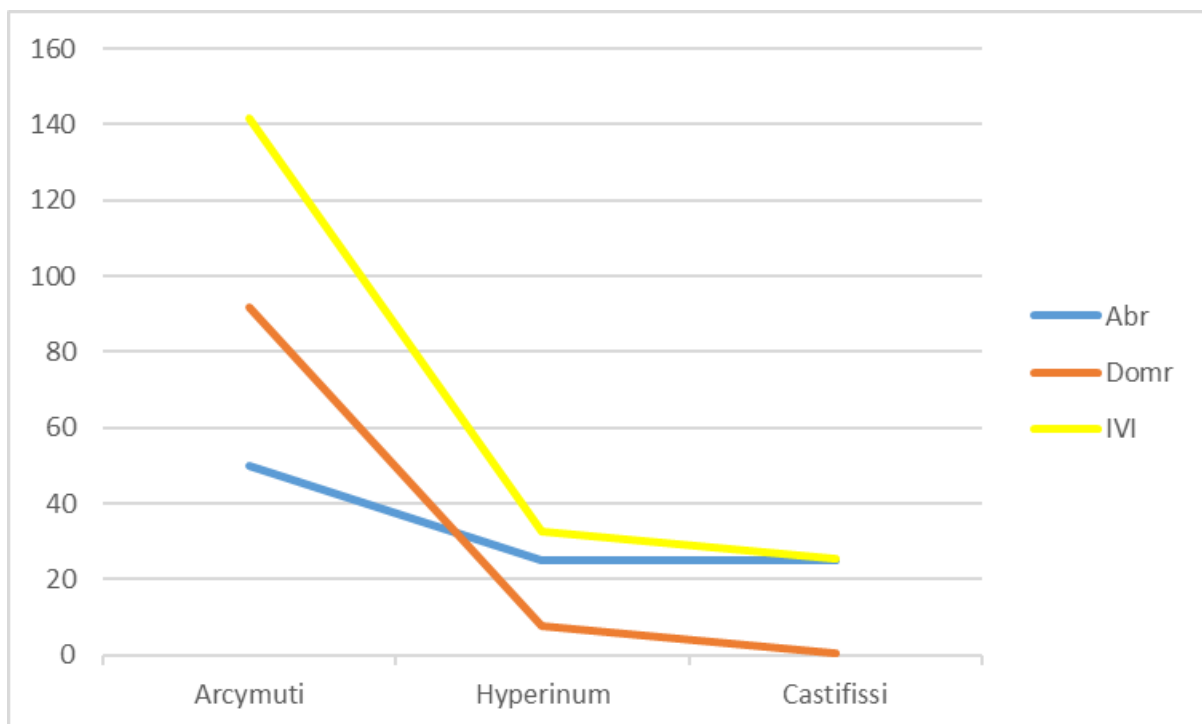
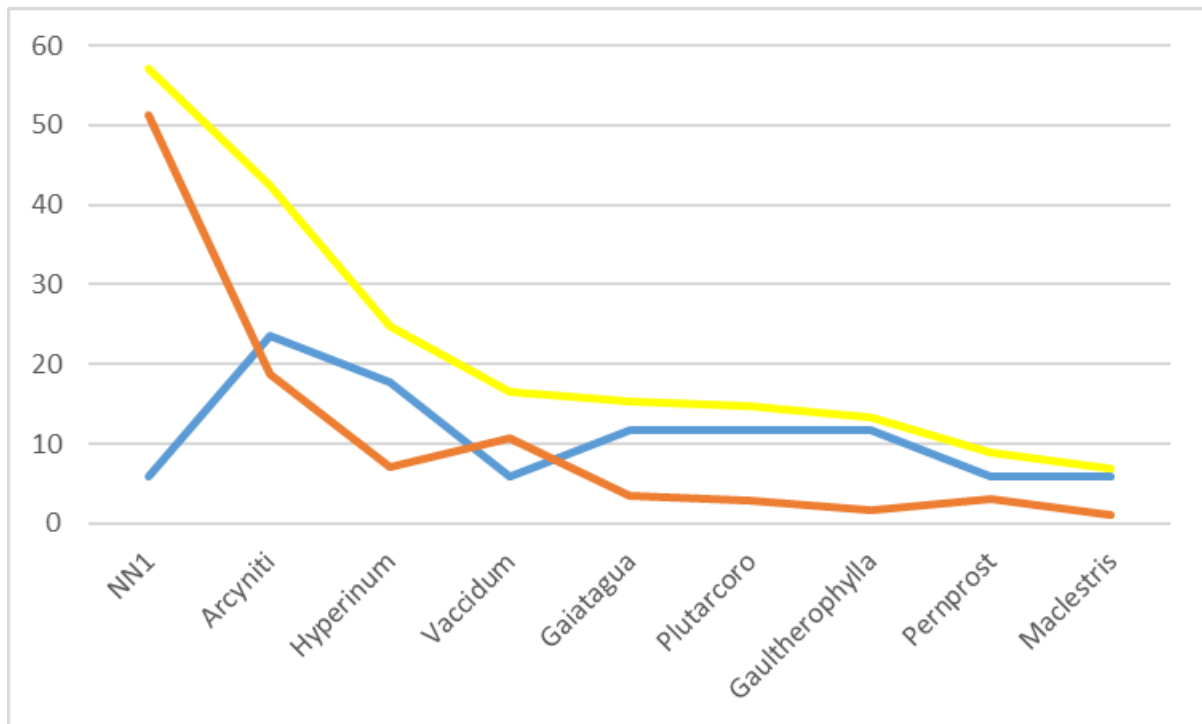
Apéndice 25. Índice de valor de importancia (IVI) y sus variables, parcelas uno y dos



Apéndice 26. Índice de valor de importancia (IVI) y sus variables, parcelas tres y cuatro



Apéndice 27. Índice de valor de importancia (IVI) y sus variables, parcelas cinco y seis



Apéndice 28. Índice de valor de importancia (IVI) y sus variables, parcela siete