

MÉTODO DE CORRELACIÓN DE HUMEDAD EDÁFICA EN SUELOS
INTERVENIDOS FORESTALMENTE Y PROTEGIDOS EN EL PÁRAMO DE
SISCUNSI, BOYACÁ

PRESENTADO POR:

JUAN SEBASTIÁN MOYANO PÉREZ

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.

2018

MÉTODO DE CORRELACIÓN DE HUMEDAD EDÁFICA EN SUELOS
INTERVENIDOS FORESTALMENTE Y PROTEGIDOS EN EL PÁRAMO DE
SISCUNSI, BOYACÁ

PRESENTADO POR:

JUAN SEBASTIÁN MOYANO PÉREZ

PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL

DIRECTORA

JIMENA BOHÓRQUEZ HERRERA, PHD.

BIÓLOGA MARINA

CO-DIRECTOR

GERMAN AMILKAR RAMÍREZ DÍAZ

INGENIERO FORESTAL

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.

2018

Página de Aceptación: En esta página se registran las firmas de los jurados que participan en la revisión, sustentación y aprobación del trabajo. También incluye la ciudad y fecha de entrega del trabajo.

Nota de aceptación

Firma Jurado

Firma Jurado

Dedicatoria

Esta tesis, fruto de una consagrada investigación, está dedicada principalmente a mi familia: mis padres, Gonzalo Moyano y Edilia Pérez y mi hermano Edwin Javier Moyano Pérez, pues con la gracia de Dios y la virtud de la paciencia y constante motivación que ellos me confiaron, fueron el motor emocional que impulsaron las diversas labores que se llevaron a cabo durante toda la ejecución de la tesis.

Así mismo dedico esta investigación a la causa incasable de trabajar por la salud de nuestra casa mayor, la Tierra, que a través de diferentes frentes intelectuales, muchas personas dedicamos nuestra vida en pro de un futuro más armónico y sinérgico para las generaciones venideras.

Agradecimientos

En el transcurso de la creación de esta tesis pasaron diversas personas a quienes les debo mis más sinceros agradecimientos, en primer lugar a mi directora, la Doctora Jimena Bohórquez Herrera, por su gran visión y enfoque hacia la investigación científica aplicada a uno de los ecosistemas más fundamentales de este país: el páramo. A mi codirector, el ingeniero Germán Amilkar Ramírez Díaz, por su constante acompañamiento y guía en la elaboración de esta investigación, sin estas dos importantes personas, este trabajo no tendría la relevancia e impacto social que tiene.

Al macro proyecto *“Evaluación del impacto y grado de vulnerabilidad del páramo de Siscunsi (Boyacá) en las cuencas La Martinera y Las Cintas”*, liderado por la Doctora Jimena Bohórquez Herrera, pues fue desde este macro proyecto que surge la iniciativa de generar el proceso investigativo que a hoy tengo el orgullo de presentar.

A todos aquellos profesores que de una u otra manera me asistieron en el perfeccionamiento del enfoque y ejecución de la investigación y posterior producción literaria, en especial al biólogo François Herrera, pues sus comentarios y apreciaciones fueron de gran ayuda. Del mismo modo expreso un agradecimiento especial a mis jurados, la ingeniera Claudia Navarrete y la agróloga Yenny Mendoza, por sus valiosas acotaciones que hicieron de este documento un producto de mejor calidad.

A mis compañeros de carrera, que apoyaron de diversas maneras mi voluntad por llevar a cabo esta investigación, a ellos les debo esa voz de aliento y motivación que me apoyó en momentos duros. Un agradecimiento especial a mi gran amigo, el ingeniero Gabriel Esteban Chávez González, quien desde el principio apoyó esta investigación en muchos aspectos.

A Las estudiantes que acompañaron las labores de campo en la investigación, integrantes del semillero “Páramos Sostenibles” del programa de ingeniería ambiental, seccional Tunja. A ellas les debo mis agradecimientos por aportar celeridad y apoyo en la recolección de los datos de primer orden.

Por último, agradezco al personal de laboratorios de la Universidad Santo Tomás de Tunja, por su acompañamiento y disposición en la asistencia de los protocolos de ejecución en las pruebas de laboratorio realizadas en esta investigación.

TABLA DE CONTENIDO

	Pag.
1. Resumen	1
2. Abstract	2
3. Introducción	3
4. Objetivos	5
4.1. General	5
4.2. Específicos	5
5. Marco teórico	6
5.1. Zona de estudio	6
5.2. Propiedades del ecosistema paramuno	7
5.3. Conceptualización estadística	9
6. Metodología	11
6.1. Fase de campo	12
6.2. Fase de laboratorio	14
6.3. Fase analítica	15
7. Resultados	15
7.1. Desarrollo vegetal	16
7.2. Desarrollo edáfico	29
7.3. Desarrollo estadístico	38
7.4. Modelo lineal generalizado	48
8. Impacto social, humanístico del proyecto	58
9. Conclusiones	59
10. Recomendaciones	60
11. Bibliografía	61
12. Anexos	65
Anexo A. históricos climáticos de precipitación en las estaciones Mongua – Mongui y Las Cintas para los meses de Agosto, Septiembre y Marzo.	65
Anexo B. Mapas de isoclasas de humedad y vegetación	74
Anexo C. Tablas y gráficas de datos de análisis físicos de retención de humedad.....	79
Anexo D. Gráficos y tablas MLGnz	81

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Prueba de normalidad: zona protegida.	8
Tabla 2. Marco lógico de la metodología.	11
Tabla 3. Resumen de valores, potencial mátrico.	31
Tabla 4. Clasificación de humedad gravimétrica – CC / PMP.....	32
Tabla 5. Prueba de normalidad: zona protegida.	40
Tabla 6. Prueba de normalidad: zona impactada.....	40
Tabla 7. Estadísticos descriptivos: zona protegida.	41
Tabla 8. Estadísticos descriptivos: zona impactada.....	42
Tabla 9. Diseño BCA en función de la pendiente y zona para la variable de humedad.....	43
Tabla 10. Prueba de Friedman	43
Tabla 11. Correlación cobertura vs. Humedad: zona protegida; Quebrado.	44
Tabla 12. Correlación especie vs. Humedad: zona protegida; quebrado.....	45
Tabla 13. Correlación cobertura vs. Humedad: zona impactada; ligeramente inclinado.....	45
Tabla 14. Correlación cobertura vs. Humedad: zona impactada; quebrado.	46
Tabla 15. Correlación especie vs. Humedad: zona impactada; ligeramente inclinado.....	46
Tabla 16. Correlación especie vs. Humedad: zona impactada; quebrado.	47
Tabla 17. Prueba de bondad de ajuste de X^2 de Pearson para la variable de humedad: zona protegida.	49
Tabla 18. Prueba de bondad de ajuste de X^2 de Pearson para la variable de humedad: zona impactada.....	50
Tabla 19. Contraste Omnibus para la zona protegida.....	51
Tabla 20. Contraste Ómnibus para la zona impactada.	52
Tabla 21. Contraste de los efectos del modelo para la zona protegida.	52
Tabla 22. Estimación de los parámetros para la zona protegida.	53
Tabla 23. Contraste de los efectos del modelo para la zona impactada.	55
Tabla 24. Estimación de los parámetros para la zona impactada.....	55

LISTA DE FIGURAS

Mapa 1. Localización de las parcelas	12
Figura 1. Diseño de muestreo edáfico.	13

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Número total de individuos registrados en la zona protegida	16
Gráfica 2. Conteo vegetal; parcela 1	17
Gráfica 3. Conteo vegetal; parcela 2.....	18
Gráfica 4. Conteo vegetal; parcela 3.....	19
Gráfica 5. Conteo vegetal; parcela 4.....	20
Gráfica 6. Densidad de la cobertura en la zona protegida.	21
Gráfica 7. Número total de individuos registrados en la zona impactada.	22
Gráfica 8. Conteo vegetal; parcela 5.....	23
Gráfica 9. Conteo vegetal; parcela 6.....	24
Gráfica 10. Conteo vegetal; parcela 7.....	25
Gráfica 11. Conteo vegetal; parcela 8.....	26
Gráfica 12. Densidad de la cobertura en la zona impactada.	27
Gráfica 13. Proporción de especies en las parcelas trabajadas.	28
Gráfica 14. Humedad promedio en la zona protegida.....	29
Gráfica 15. Humedad promedio en la zona impactada.	30
Gráfica 16. Potencial mátrico para las zonas de estudio.	31
Gráfica 17. Perfil altimétrico de la parcela 8 (Zona impactada).....	33
Gráfica 18 Distribución Humedad vs. Pinos (Zona impactada).....	34
Gráfica 19. Distribución Humedad vs. Frailejones (Zona impactada).	35
Gráfica 20. Relación Frailejones vs. Humedad (Zona protegida).....	36
Gráfica 21. Relación Pinos vs. Humedad (Zona impactada).	37
Gráfica 22. Regresión con el factor de frailejones; zona protegida.....	54
Gráfica 23. Regresión con el factor de pinos; zona impactada.....	56

1. Resumen

Los páramos, renombrados por su vital importancia en la regulación hídrica en las zonas tropicales de la tierra, resultan ser ecosistemas bastante únicos; sus características meteorológicas y geológicas, hacen que posea una diversidad endémica y sensible. Debido a esto, son susceptibles a cualquier tipo de modificación al ecosistema, como por ejemplo la alteración en la cobertura vegetal o la inserción de especies no nativas de la zona. Este tipo de transformaciones al ecosistema derivan en cambios que afectan la regulación del agua en términos de retención hídrica, lo cual tiene un trasfondo en la administración natural de los ciclos hídricos de carga y descarga en los páramos.

Este contexto fue enmarcado en dos áreas específicas del páramo de Siscunquí, ubicado en el municipio de Sogamoso, Boyacá, una presentando un muy bajo impacto de intervención por especies introducidas de tipo forestal, considerándose casi nulo, la otra ofrecía un escenario de contraste, pues allí la intervención forestal es muy alta, además que ha permanecido a lo largo de los años en el páramo para efectuar una producción maderable por medio de los pinos. Por ende, frente al contexto ya mencionado se buscó definir la correlación entre la cobertura vegetal y la retención hídrica para ambos escenarios, a través de la identificación de la variación de la vegetación sectorizada por parcelas, de la misma manera también se logró identificar los cambios en el potencial hídrico en los suelos de ambas zonas con el apoyo de las curvas de retención hídrica, identificando cambios en el nivel de pendiente, para concluir en el modelo estadístico de regresión para identificar el nivel de significancia de los individuos de pinos, frailejones y hongos sobre la humedad edáfica localizada en las áreas estudiadas.

Se encontró un evidente contraste en el sistema suelo-humedad-planta, en donde las pendientes poco pronunciadas, se registró mayores niveles de humedad y mayores aglomeraciones de frailejones. Adicionalmente se demuestra que un sesgo por orografía, aumenta la correlación entre la humedad y la cantidad de individuos registrados en ambas zonas y por otro lado los modelos generados muestran una diferencia entre el manejo de integrar las variables de los factores predictores, haciendo obsoleto el modelo al integrarlos todo, y útil cuando son tratados de manera independiente.

Palabras clave: Modelo lineal generalizado, Frailejón, Pinos, Conservación, Recurso hídrico.

2. Abstract

The páramos, renowned for their vital importance in water regulation in the tropics of the earth, turn out to be very unique ecosystems; its meteorological and geological characteristics, make it endemic and sensitive diversity. Due to this, they are susceptible to any type of modification to the ecosystem, as for example the alteration in the vegetal cover or the insertion of nonnative species of the zone. This type of transformation to the ecosystem results in changes that affect the water regulation in terms of water retention, which has a background in the natural management of the water cycles of loading and unloading in the moors.

This context was framed in two specific areas of the Siscunsi páramo, located in the municipality of Sogamoso, Boyacá, one presenting a very low impact of intervention by introduced species of forest type, being considered almost null, the other offered a scenario of contrast, because there the forest intervention is very high, in addition that it has remained throughout the years in the páramo to realize a timber production by means of the pines. Therefore, in order to identify the variation of the vegetation sector by plots, in the same way it was also possible to identify the changes between the vegetation cover and the water retention for both scenarios, In water potential in the soils of both areas with the support of water retention curves, identifying changes in slope level, to conclude in the statistical regression model to identify the level of significance of individuals of pine, frailejones and Fungi on edaphic moisture located in the studied areas.

An evident contrast was found in the soil-moisture-plant system, where the steep slopes showed higher humidity levels and larger agglomerations of frailejones. Additionally, it is demonstrated that a bias by orography increases the correlation between humidity and the number of individuals recorded in both zones and on the other hand the models generated show a difference between the management of integrating the variables of the predictive factors, making the model obsolete to integrate them all, and useful when they are treated independently.

Key words: Generalized linear model, Frailejón, Pines, Conservation, Water resource.

3. Introducción

Bajo una connotación científica mundial, el ecosistema de páramo puede ser señalado, como la zona montañosa comprendida en las franjas tropicales de la tierra, en donde el gradiente altitudinal, junto con las variables meteorológicas permite un endemismo localizado, evitando una biota de bosque en la transición ecosistémica [1]. El origen de éstos, en el contexto nacional, se remonta al tiempo en donde las montañas de los Andes se elevaron y alcanzaron grandes altitudes, adicionalmente con las glaciaciones ocurridas generó que este tipo de ecosistema ampliara sus fronteras dando como resultado, en un futuro, una biodiversidad endémica y característica entre páramos [2].

Debido a esta gran diferencia entre páramos, también surge una amplia variedad de servicios ecosistémicos, señalando así tres grandes componentes que destacan su importancia como ecosistema: en primer lugar se encuentra, la función ecológica como el valor de la biodiversidad endémica de alto interés científico y ecológico. Así mismo, se tiene la función agrícola que es entendida como el nivel de productividad intrínseca en el ecosistema paramuno y por último, se señala la función hidrológica como respuesta a la regulación hídrica frente a la demanda de agua potable. Esta última función es la que genera un mejor contraste al momento de evidenciar que ciertas prácticas antrópicas resultan ser perjudiciales para el pleno desarrollo sostenible de una sociedad [3].

Teniendo en cuenta los componentes mencionados anteriormente, éstos pueden verse afectados desde dos grandes corrientes: la primera, dirigida a la variante global en donde la afectación no se realiza directamente en zonas catalogadas como páramo, pero que sí afectan al ecosistema, tal como el calentamiento global, y la segunda, relacionada a la variante localizada en donde se encuentran los impactos asociados a la ganadería, la agricultura extensiva y la inclusión de especies exógenas al ecosistema, comprometiendo así las características naturales del páramo que van en detrimento con el paso de los años [2], generando una condición adversa para las características químicas del suelo, incluyendo el balance de nutrientes [4] o, alterando los servicios ecosistémicos [5].

Desde esta perspectiva, se puede notar que el ecosistema paramuno presenta diversas problemáticas que impiden su óptimo funcionamiento, por tal motivo el páramo de Siscunsi evidencia alteraciones en su sinergia, debido a las actividades antrópicas asociadas a la producción agrícola de papa y habas, en donde surge la particularidad de aumentar la cota productiva disminuyendo así la frontera de páramo, así mismo la actividad ganadera resulta ser un impacto de igual o mayor magnitud, ya que el área de influencia resultante de esta práctica pecuaria, suele ser mayor que la misma agrícola, consecuencia de la creación de potreros de pastoreo [6].

Con respecto a la inclusión de especies forestales exógenas, éstas propician una afectación concatenada que altera factores tanto bióticos como abióticos, ocasionando la degradación del ecosistema paramuno, tal como sucede con la transición de pajonal a pino, pues este cambio representa una disminución en el contenido de humedad bajo los parámetros del punto de saturación y capacidad de campo [7].

Bajo las premisas comentadas, es fundamental generar un conocimiento más profundo acerca del estado de estos ecosistemas y cómo ciertas actividades antrópicas afectan la sinergia implícita en un escenario paramuno, pues estos entornos resultan ser un biotopo estratégico en términos de regulación hídrica, pues en conjunto con el páramo La Sarna son encargados de regular el nacimiento del río Cusiana entre otros cuerpos hídricos menores [8].

Por lo tanto se pretende implementar una investigación encaminada a definir la correlación entre la cobertura vegetal y el potencial de retención hídrica en dos zonas distintivas sometidas a comparación pertenecientes al páramo de Siscunsi; analizando las variaciones en cobertura vegetal de las zonas de influencia del estudio, para luego señalar las transiciones de retención hídrica, y así de este modo se podrá interpretar estadísticamente el nivel de significancia que tiene las variables de cobertura vegetal con las variaciones de humedad en los suelos protegido e intervenidos forestalmente.

4. Objetivos

4.1. General

Definir la correlación entre la cobertura vegetal y el potencial de retención hídrica del suelo, de un escenario forestalmente intervenido y una zona protegida en el páramo de Siscunsi, Boyacá.

4.2. Específicos

- Analizar las variaciones de cobertura vegetal en dos áreas con distintos niveles de intervención forestal.
- Reconocer las variaciones del potencial de retención hídrica del suelo en dos zonas del páramo con distintos niveles de impacto.
- Identificar las variables de cobertura vegetal que influyen de manera significativa las variaciones de humedad del suelo.

5. Marco teórico

5.1. Zona de estudio

El páramo es un espacio físico ubicado entre los biomas de bosque alto andino y las nieves perpetuas; lugar en el que las bajas temperaturas dificultan el desarrollo de una estructura de bosque endémica [1].

En Colombia este ecosistema se originó hace aproximadamente cinco (5) millones de años, surgiendo como entornos sectorizados limitados por la predominancia de los bosques, luego durante los periodos de glaciaciones, ocurridos hace aproximadamente un (1) millón de años, los descensos drásticos de temperatura permitieron la extensión de los límites de estos ecosistemas a zonas de menor altitud: habilitando mayor movimiento e intercambio de fauna y semillas entre las cimas de montañas antes desconectadas [2].

En función de la consideración anterior, la expansión territorial de estos ecosistemas, aquellas áreas que permanecieron aisladas, permitieron la evolución de especies que no se encuentran en ninguna otra parte del planeta, es decir, especies endémicas [2].

Por otra parte, estos ecosistemas también enfrentan continuamente el desarrollo antrópico en función a su importancia económica y ecológica subdividiéndose en tres componentes [3]:

- El componente que enmarca la función ecológica, determina el nivel de importancia en el factor biótico-abiótico, esto dependerá de la perspectiva del observador, pues la interpretación de la importancia ecosistémica del páramo surge de los intereses de dicho observador: para una persona que vive en el páramo tendrá una visión más productiva que científica, sin embargo para una persona que estudia los procesos biológicos y ecológicos del páramo tendrá un enfoque más conservacionista [9].
- La función agrícola aporta una continuidad relativa a la función ecológica, pues ésta es vista desde un punto productivo en términos agropecuarios [3], esto implica un balance importante entre el bienestar económico de las comunidades establecidas en el páramo y la integridad biofísica del ecosistema en sí, ya que una práctica inadecuada en este aspecto empieza a representar un impacto que acarrea serias consecuencia para la salud del páramo [7].
- La función hídrica representa un componente muy importante para la comunicación de la relevancia que tiene el páramo como regulador hídrico [3], siendo éste ecosistema el precursor de diversos nacimientos de cuerpos

hídricos: que para el caso específico en el páramo de Siscunsi, tiene una alta influencia sobre el nacimiento del Río Cusiana [8].

Es importante notar que, éstos componentes anteriormente descritos, se basan en un equilibrio entre la integridad natural del páramo y las actividades antrópicas desarrolladas allí, y un ejemplo de desbalance en este contexto es el impacto generado por la actividad forestal industrial.

Este impacto es de especial estudio ya que involucra un choque entre dos ecosistemas colindantes: el bosque altoandino y el páramo, esta confrontación implica un cambio drástico en el factor abiótico con respecto a las características físico-químicas naturales del suelo paramuno [10], generando así una implicación en el desarrollo vegetativo de otras especies endémicas, pues las características de crecimiento y adaptación al entorno presentan una relación inversa en el caso comparativo entre el ecosistema de frailejón y la plantación del pino; presentando un crecimiento rápido y una adaptación paulatina [11].

5.2. Propiedades del ecosistema paramuno

Partiendo de las generalidades más destacadas de una zona caracterizada como páramo, es importante conocer la estructura física del mismo, partiendo desde un contexto global en donde se encuentran las variables meteorológicas hasta un enfoque más específico abarcando la naturaleza y estructura de los suelos a tener en cuenta para esta investigación.

En términos bioclimáticos el páramo posee una presión atmosférica reducida, al igual que la densidad del aire es baja, lo que conlleva a que el gradiente de temperatura se encuentre fuertemente vinculado con la radiación solar generando temperaturas relativamente altas con una radiación directa y temperaturas bajas en ausencia de ella. Así, estas características meteorológicas hacen de este ecosistema, un entorno con condiciones ambientales extremas [12].

Así de este modo, el páramo presenta subdivisiones en función de sus procesos bioclimáticos, dando origen a un gradiente de precipitación, temperatura y radiación solar, entre otras variables que catalogan un páramo desde seco hasta superhúmedo pluvial [9]. Generalmente su temperatura media anual varía entre los 3° y 6°C con una precipitación anual media de 1000mm presentando así un clima denominado extremadamente frío muy húmedo [13].

Igualmente, tal como se ha comentado, las condiciones naturales de las variables meteorológicas del páramo determinan su uso potencial en términos edafológicos, siendo la función determinante de captar y regular el recurso agua para posteriormente actuar como un abastecedor a los cuerpos hídricos, como los ríos

[14], adicionalmente la estructura tanto física como química del suelo, no sólo obedece al orden climático, pues el componente geológico también desarrolla un papel fundamental en la explicación de los suelos paramunos [13].

Entendido lo anterior, la formación de los suelos se establece bajo cuatro factores esenciales: el clima, la roca madre, la edad de los suelos y la vegetación [13], así de este modo se puede explicar por qué el desarrollo sucesional llega a ser lento en el ecosistema de páramo; ya que por medio de las bajas temperaturas, las reacciones químicas que dan lugar a la formación del suelo en sí, son lentas, dando un alto contenido mineral en el mismo [14].

A grandes rasgos los suelos de páramo poseen unas características interesantes entorno al agua, tienen una profundidad del orden de centímetros al metro, y al ser suelos generalmente porosos, la infiltración suele ser alta también relacionando valores de conductividad hidráulica altos, generando de este modo que la retención hidráulica en los primeros 30 cm de profundidad el agua ocupe más del 60% del volumen total de suelo [15].

Ahora bien para tener un acercamiento más detallado de la naturaleza de los suelos encontrados en las zonas de estudio, se determinaron principalmente dos unidades cartográficas: MHEg y MEEg. Estas dos unidades catalogan a las dos zonas estudiadas de la siguiente manera [13]:

Tabla 1. Prueba de normalidad: zona protegida.

Taxonomía del suelo		Zona	Características
Inceptisol -Cryepts -Dystrocryepts -Oxic dystrocryepts -MEE	Entisol -Orthents -Udorthents -Lithic udorthents -MHE	Protegida - MEEg - MHEg	Fase fuertemente escarpada y no tiene aptitudes agrícolas ni pecuarias.
Entisol -Orthents -Udorthents -Lithic udorthents -MHE		Impactada - MHEg	Fase fuertemente escarpada y tienen una clase agrológica VIII.

Fuente: el autor.

En la zona protegida se encuentran dos tipos de suelos claramente diferenciables: El primero de ellos, Oxic dystrocryepts, presenta una textura franco-arenosa en su primer horizonte (A) el cual muestra una profundidad aproximada de 40cm, debido a que la saturación de aluminio es elevada, la cual se encuentra por encima del 90% presenta una condición extremadamente ácida lo cual obedece a una fertilidad natural baja, este suelo fue hallado con una mayor proporción frente al otro, Lithic udorthent y se diferencia por tener una textura franco-limosa en el primer horizonte

(A) y además presenta recubrimientos de ceniza volcánica en sectores poco extensos, son suelos de reacción extremadamente ácida y por lo general son bien drenados [13]. Para la zona impactada, el suelo de mayor predominancia fue el Lithic udorthent en relación a los puntos de muestreo tomados.

Tal como se puede apreciar, los suelos anteriormente catalogados, característicos por no tener una clara diferencia entre horizontes, ya que son suelos "jóvenes", sugieren un uso del suelo destinado a la conservación y al ecoturismo dada la ubicación espacial de la zona de estudio, pues sus cualidades químicas no permiten una explotación agrícola ni mucho menos pecuaria, así mismo para las observaciones a realizar en este estudio se apreciará de manera más específica la relación existente entre la capacidad de retención hídrica de los suelos con la abundancia de especies representativas, entendida como frecuencia, de cada escenario a evaluar.

5.3. Conceptualización estadística

5.3.1. Diseño de bloques completamente al azar

Generalmente para abordar el tratamiento experimental a campo, se opta por tomar el diseño de Bloques Completamente al Azar (BCA) [16]. Este diseño es de gran utilidad para manejar el principal nivel de error hallado en las zonas de estudio experimental. En cada bloque es esencial que se encuentren todos los tratamientos a realizar, además de estar ubicados de manera transversal al factor que puede presentar mayor variación, por ejemplo: gradiente de inclinación del terreno, viento, luz etc. [17].

Su análisis de varianza trabaja sobre el estadístico F, siguiendo los niveles de significación para un p-valor de 0.05 o 0.01, adicionalmente para el contraste de hipótesis se maneja un H_0 (*hipótesis nula*) de que todos los tratamientos son iguales, frente a la H_A (*hipótesis alternativa*) que afirma que no todos los tratamientos son iguales, o alguno de los tratamientos es diferente de los demás; del mismo modo sucede con el manejo de los bloques. Al realizar el diseño, lo que se espera del procedimiento es que muestre diferencias significativas entre los bloques, por supuesto cabe resaltar que, al no tener repeticiones, la prueba solo es referencial [17].

5.3.2. Correlación estadística

El término correlación o relación entre dos variables, se puede entender como el grado de similitud en función de la variación registrada en la toma de datos de las mismas [18], por lo tanto, una correlación positiva entre dos variables (x - y) significa que sus valores varían de forma parecida, es decir, aquellos datos que registran un valor alto en x , tienden a puntuar alto en y , así mismo si los valores que puntúan bajo en x tienden a puntuar bajo en y , se dice que la correlación entre las variables es negativa [19].

5.3.3. Modelo lineal generalizado

El modelo lineal generalizado (MLGnz), propuesto por primera vez en 1972, nace de una extensión de los Modelos Lineales Generales clásicos, resaltando que el valor esperado de la variable de respuesta se relaciona con la parte sistemática del modelo como [20]:

$$E(Y|X) = g(X\beta) \Leftrightarrow \mu = g(\eta)$$

Donde:

- $\mu = E(Y|X)$; valor esperado de la variable de respuesta.
- η ; predictor lineal.
- $(X\beta) = \eta$; función que relaciona μ
- g ; función de enlace.

Así mismo el MLGnz se puede entender desde tres componentes integrantes, el componente aleatorio es aquel que identifica la distribución de la variable de respuesta, bien puede ser normal, binomial, poisson, entre otras. El segundo componente abarca una función lineal el cual ejecuta una labor de predictor frente al valor esperado, terminando así en el último componente: describiendo la asociación frente al valor esperado del componente aleatorio con el componente sistemático enfrentando la relación funcional entre ambos [20].

Adicionalmente es preciso comentar que una de las diferencias en cuanto a método se refiere, es que el MLGnz permite varias distribuciones para la variable de respuesta, así mismo presenta una serie de funciones enlace, para cada distribución que se llegue a presentar, así de este modo se garantiza un mejor ajuste de acuerdo a la naturaleza de los datos, ya sean variables con respuestas discretas y/o continuas, una gran diferencia de su clasificación superior, pues los MLG solo analizan variables continuas [21].

6. Metodología

A continuación, se mostrará un marco lógico en donde se encuentra en términos globales, cómo fue el desarrollo de este trabajo de investigación, así mismo se dará precisión en las fases que se llevaron a cabo en un momento posterior. Adicionalmente cabe resaltar que los procesos metodológicos que a continuación se detallarán, aportaron al macro proyecto “*Evaluación del impacto y grado de vulnerabilidad del páramo de Siscunsí (Boyacá) en las cuencas La Martinera y Las Cintas*” el cual tiene un área de influencia que abarca las zonas de estudio que se seleccionaron para esta investigación.

Tabla 2. Marco lógico de la metodología.

Objetivos específicos	Metodología	Actividades
Analizar las variaciones de cobertura vegetal en dos áreas con distintos niveles de intervención forestal.	<ul style="list-style-type: none"> Muestreo por conveniencia (parcelas) y sistemático (subparcelas) 	<ul style="list-style-type: none"> Conteo de especies principales; frailejones pinos y hongos. Cálculo de la densidad poblacional por parcela de estudio.
Reconocer las variaciones del potencial de retención hídrica del suelo en dos zonas del páramo con distintos niveles de impacto.	<ul style="list-style-type: none"> Prueba de retención de humedad a tensiones 0, -33(cc), -1500 (pmp) kPa 	<ul style="list-style-type: none"> Hallar humedad gravimétrica de las zonas protegidas e impactadas. Identificación de las curvas de retención hídrica.
Identificar las variables de cobertura vegetal que influyen de manera significativa las variaciones de humedad del suelo.	<ul style="list-style-type: none"> Modelo lineal generalizado (MLGnz) 	<ul style="list-style-type: none"> Pruebas de normalidad. Prueba de correlación, en función del resultado de la prueba de normalidad. Aplicación del MLGnz.

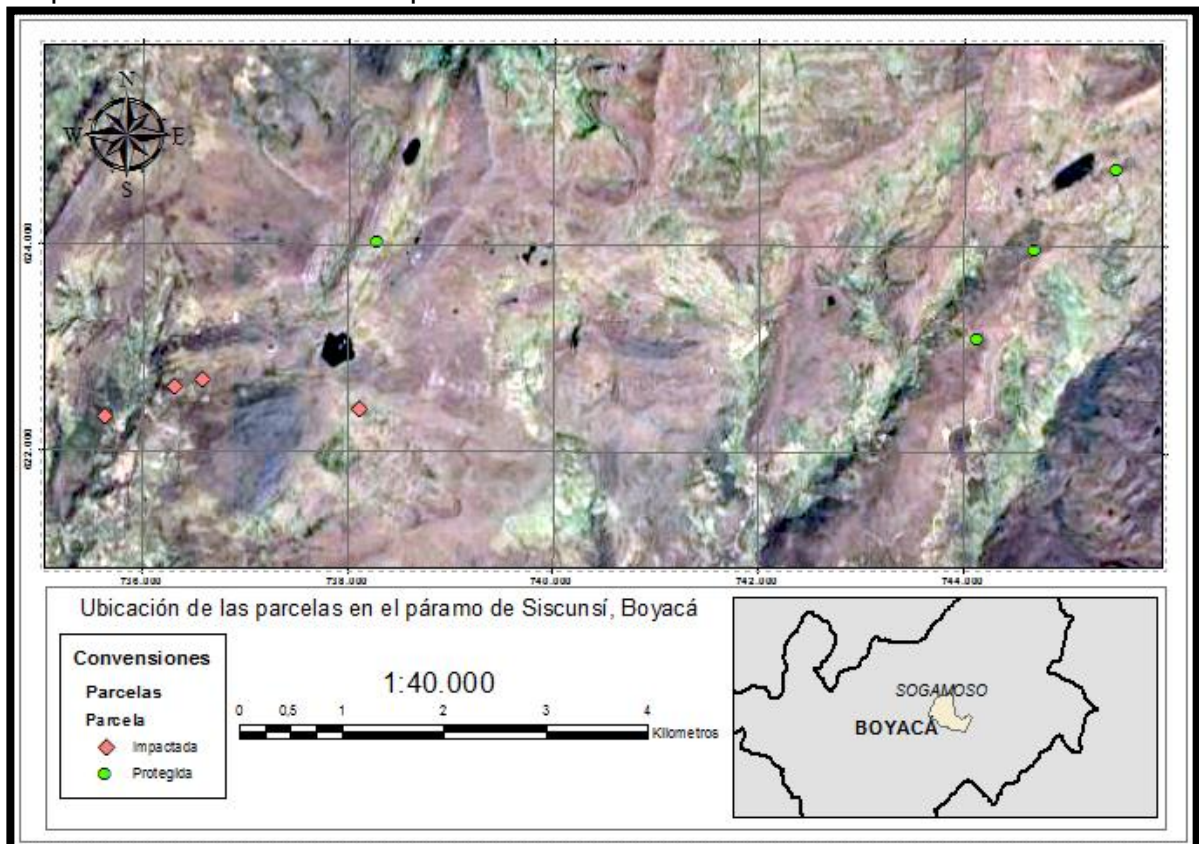
Fuente: el autor.

El orden establecido en esta metodología determina la vinculación de los objetivos específicos de manera tal en que las actividades a desarrollar están encaminadas en serie, en otras palabras, los resultados de la metodología planteada en el primer objetivo específico abrirá paso al desarrollo del segundo y éste a su vez al tercero, dando como respuesta final una perspectiva crítica para dar respuesta al objetivo general de esta investigación.

6.1. Fase de campo

Esta fase ve sus límites en la contextualización climatológica de las zonas de estudio, hasta la caracterización del diseño de muestro en campo, tanto para el conteo vegetal como para el muestro edáfico. En ese sentido, el reconocimiento climático se realizará por medio de las bases de datos suministradas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), esto con el fin de tener un rigor analítico contextualizado a las condiciones temporales en las que se realizó el estudio.

Mapa 1. Localización de las parcelas



Fuente: el autor, a través de Google maps.

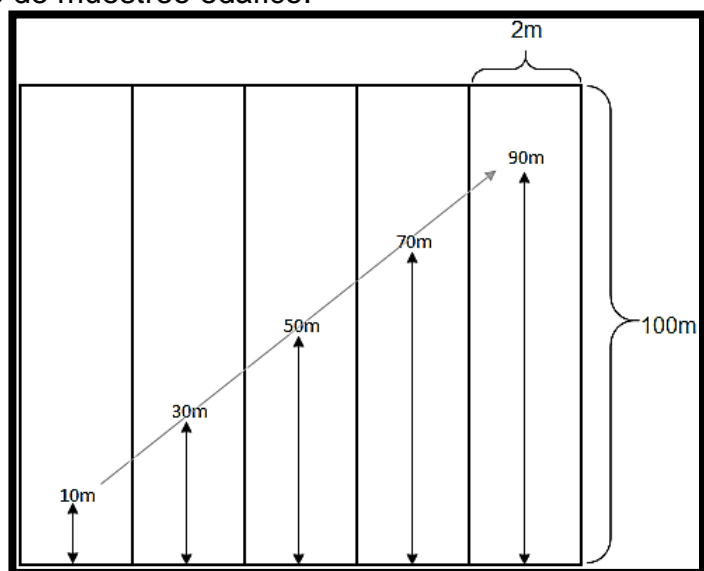
Diseño de muestreo

El montaje propuesto consistió en la selección de una zona que cumpliera con las características mínimas comparativas para los objetivos del estudio, en ese orden de ideas, los espacios seleccionados para dicha labor fueron establecidos en función del gradiente de inclinación del terreno, esto con el fin de poder relacionar los datos hallados con la topografía del terreno de estudio.

Así de esta manera, una vez seleccionada la parcela de trabajo se procede a dividir ésta en cinco partes iguales cada una de ellas con unas dimensiones de 2 m de ancho por 100 m de largo, para así tener una parcela de 1000 m².

Para cada parcela se dispuso un muestreo sistemático para el proceso edáfico en donde el punto de muestreo se realizó en una línea oblicua que pasaba por todas las subparcelas de manera tal que cada 20 m se tomara una muestra de suelo, teniendo como punto de partida una distancia de 10 m a partir del borde inicial del primer transecto, para finalizar a 90 m de distancia con respecto al borde inicial del ultimo transecto, tal como se ilustra en la siguiente figura.

Figura 1. Diseño de muestreo edáfico.



Fuente: el autor.

Continuando con el diseño edáfico, es preciso resaltar que por cada transecto solo se tomó una única muestra teniendo un total de 5 muestras por transecto, con 4 parcelas por zona, para un parcial de 20 muestras y un global de 40 muestras para este estudio. Fundamentalmente, la idea de tomar una muestra por transecto obedece al argumento de preservar el ecosistema en la mejor medida posible, pues el contexto ecosistémico en donde se localiza el estudio es frágil en términos de resiliencia.

Una última consideración de esta fase, básicamente pretende establecer el mismo diseño para ambos escenarios; protegido e intervenido forestalmente, esto con el fin de proporcionar uniformidad, en las condiciones topográficas y eco sistémicas del terreno, al momento de compararlos estadísticamente.

6.2. Fase de laboratorio

Esta fase aborda todo el proceso realizado posterior a las labores de campo, es aquí en donde se procesa el material edáfico recolectado y se procesa numéricamente las carteras de campo del conteo de especies vegetales. En éste último, se realiza un barrido previamente acordado entre el observador y el registrador para ejecutar los recorridos por los transectos demarcados en cada parcela sobre el área de influencia registrada en la zona de estudio, que siempre permaneció constante; 200 m² por transecto y 1000 m² por parcela.

Teniendo resuelta la parte vegetal, es necesario desglosar el procedimiento edáfico, ya que resulta más complejo. En primer lugar, se abordarán dos grandes procedimientos; el primero, se enfocará en determinar la humedad gravimétrica de las muestra recolectadas y tomará lugar en los laboratorios de suelos de la Universidad Santo Tomás, seccional Tunja. El segundo, abordará la determinación de la retención hídrica de los suelos de las zonas estudiadas, teniendo como puntos clave, la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, esto tendrá lugar en las instalaciones del Laboratorio Nacional de Suelos, pues el rigor instrumental que requiere la determinación de la retención de humedad no se encuentra en las instalaciones de la Universidad.

Ahora bien, para habla detalladamente de cada aspecto, se partirá con la humedad gravimétrica, variable física elemental de la estructura física de un suelo, se optó por elegir la metodología propuesta en el manual de laboratorios de física de suelos de Warren Forsythe. Este caracteriza la diferencia de pesos de la muestra antes y después de una desecación de la muestra hasta llevar la muestra a un peso constante, este peso se logra generalmente a una temperatura de 100 a 110°C por 24 horas.

Esclarecido la dinámica a trabajar en la humedad gravimétrica, el siguiente paso a desarrollar viene a ser la retención de humedad para los suelos de estudio, para ello como ya antes se mencionó, es preciso que las muestras sean enviadas al Laboratorio Nacional de Suelos, allí la técnica empleada será la extracción de presión con platos de cerámica y membrana de celulosa [22], en donde el procedimiento en términos generales, se basa en una relación de pesos, antes y después de un secado a 105°C en función de presiones controladas; a 33kPa para la determinación de Capacidad de Campo (CC) y a 1500kPa para la determinación del Punto de Marchitez Permanente (PMP) [23].

6.3. Fase analítica

Esta última fase aborda todo el contenido estadístico de la investigación, llevando consigo toda la interpretación de los datos recabados en la anterior fase, dando como primera interpretación numérica la comparación de medias entre las parcelas de cada zona estudiada, así se tendrá un panorama general de las dos zonas de estudio.

Luego de ese primer momento, se tomaron las pruebas de normalidad en los datos relacionados a los individuos contabilizados por desarrollo vegetal, desde rasante hasta arbóreo inferior, para determinar si la distribución de los datos eran normales o no, de ahí se determinaba el tipo de correlación a utilizar para analizar el comportamiento frente a la humedad registrada en las zonas de estudio y su vinculación con el desarrollo vegetal en las mismas.

Una vez esclarecida la prueba de normalidad, es preciso definir la proporción entre la humedad presente en las zonas estudiadas y la cobertura vegetal presente en los mismos escenarios, esto da lugar a la utilización del coeficiente de correlación de Spearman el cual establece un rango entre -1 y 1 en donde la correlación va desde negativa y perfecta, hasta positiva y perfecta, respectivamente, este coeficiente, a diferencia del coeficiente de Pearson, permite que los valores a procesar no presente una distribución normal, adicionalmente permite un ajuste frente a valores muy alejados de la linealidad subyacente.

Por último, se evaluará el escenario estudiado mediante un modelo lineal generalizado en donde se podrá encontrar qué relación existe y a qué intensidad, entre la humedad y la vegetación encontrada. Adicionalmente este modelo matemático ayudará a determinar si existe una influencia notable sobre la presencia del pino en el ecosistema de páramo, alterando los valores promedio de humedad en un entorno de control que para este caso es la zona protegida.

7. Resultados

Como bien se ha expresado en la metodología, la orientación de los resultados se encuentra particionados en tres estados, en los cuales verán su punto focal al final del desarrollo central, dando así la introducción a las conclusiones de esta investigación. Ahora bien los estados descritos y analizados que se mostrarán a continuación están en función de las fases metodológicas, pasando por los datos levantados en campo del conteo vegetal hasta los resultados arrojados por el modelo lineal generalizado.

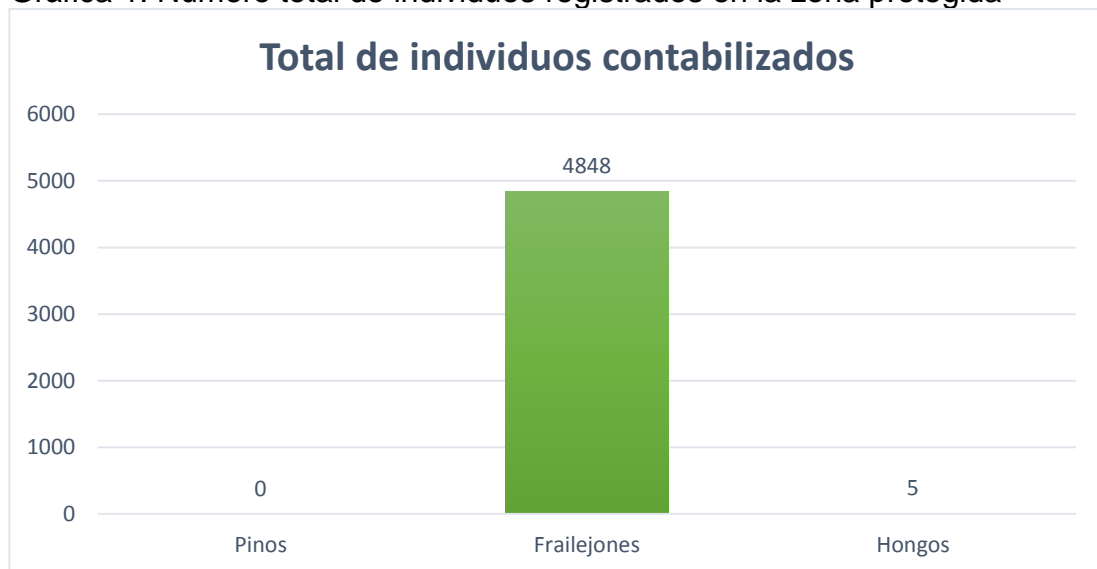
7.1. Desarrollo vegetal

Los datos que a continuación serán expuestos y analizados, corresponden a, en un primer momento a las zona protegidas visitadas para que surja una pequeña discusión al contrastar los datos con el conteo realizado en las zonas impactadas forestalmente.

ZONA PROTEGIDA

A modo general, cabe destacar que el conteo de individuos en función de su desarrollo vertical fue dispendioso debido a la densidad poblacional presente en las parcelas seleccionadas, por otro lado también es importante destacar que no solo se realizó un conteo de frailejones, pues si bien no es de rigor para esta investigación detallar toda la flora presente en la zona, si es valioso tener en cuenta la existencia de estas especies, pues aportan al comportamiento sinérgico del entono. Tal como se explicó en la metodología, se tuvo en cuenta el número de pinos, frailejones y hongos que se llegaron a presentar en las subparcelas, así las cosas, es irrefutable el hecho de no encontrar pinos en la zona protegida, pues ésta no ha sido impactada de manera agropecuaria o forestal.

Gráfica 1. Número total de individuos registrados en la zona protegida



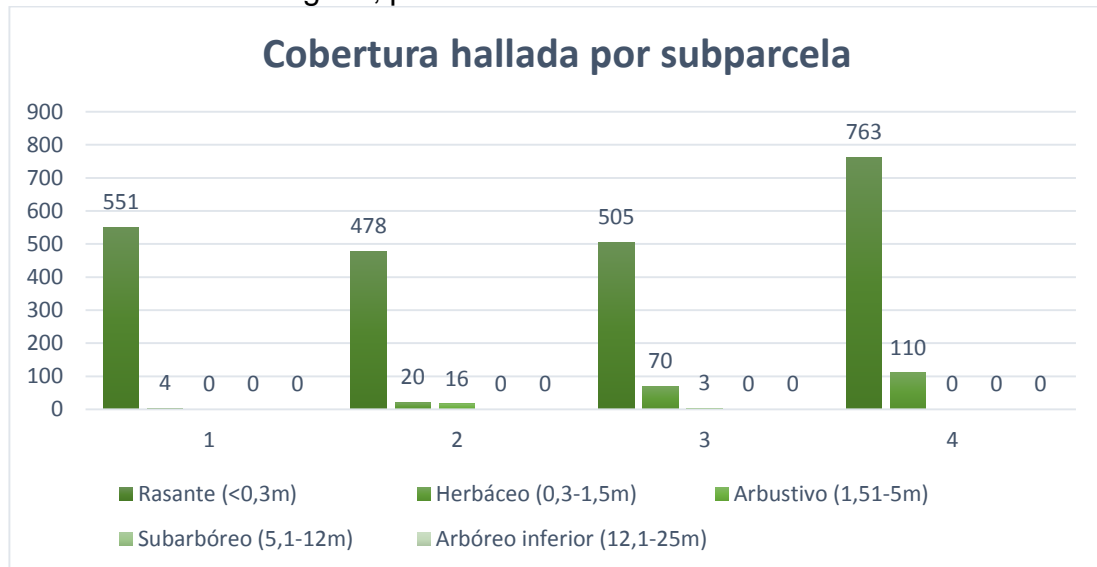
Fuente: el autor.

La gráfica anterior es bastante concluyente al término de evidenciar el gran número de individuos encontrado en esta zona teniendo en cuenta el hecho de que se levantó el conteo en 3400m² de terreno.

Por otro lado, las condiciones orográficas en toda esta extensión no fueron uniformes en toda la zona, las diferencias de superficie fueron debidas a las propiedades del terreno en sí, un gradiente de inclinación quebrado, la estabilidad

del suelo, incluso las condiciones meteorológicas del día de muestreo, teniendo en cuenta estas razones el levantamiento de datos se compone de la siguiente manera: se establecieron 4 parcelas de estudio en donde la primera tuvo un levantamiento de 400m², la segunda un reconocimiento de 300m² y las últimas dos parcelas de se logró establecer el levantamiento de 1000m².

Gráfica 2. Conteo vegetal; parcela 1

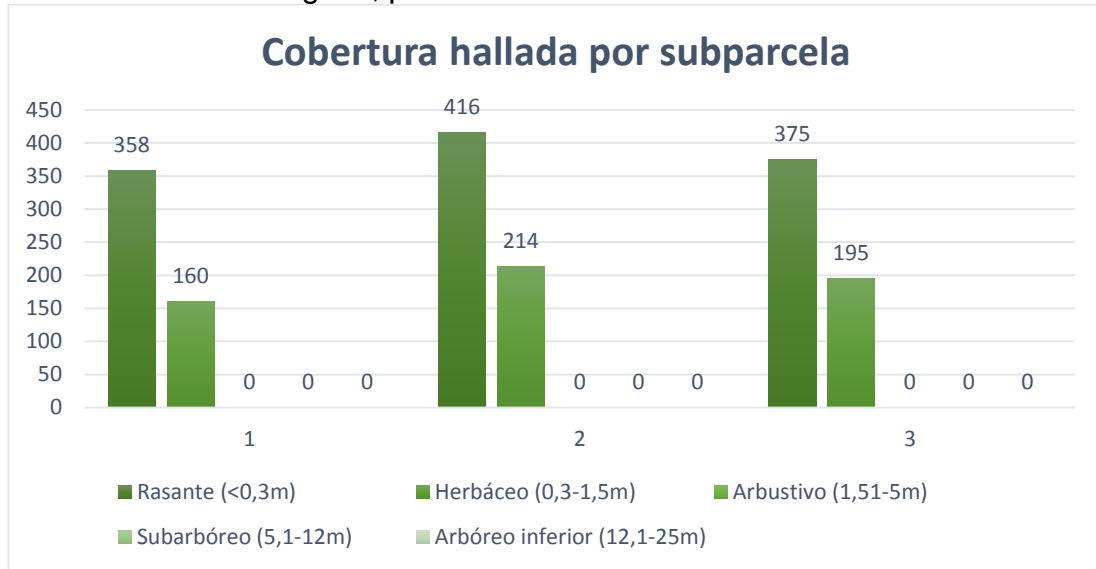


Fuente: el autor.

Tal como se aprecia en la anterior gráfica, la cobertura en esta parcela notablemente es rasante, en todas las subparcelas, con un conteo total de 2520 individuos, más del 85% se contabilizó como frailejón, con 2173 individuos, esto da a entender una situación muy característica de una zona en donde la intervención humana es mínima, incluso se puede decir que es nula, pues los brotes de frailejones se presentaban sanos, sin ningún tipo de alteración.

Por otro lado, cabe señalar que el gradiente registrado en las dos primeras subparcelas de la parcela estuvo catalogado como *quebrado* en el sentido del levantamiento de la parcela (E-O) esto también aprueba una distribución no tan desbalanceada en términos de escorrentía por precipitación, permitiendo que los pequeños brotes de frailejón puedan sobrevivir hasta su etapa de crecimiento [9].

Gráfica 3. Conteo vegetal; parcela 2



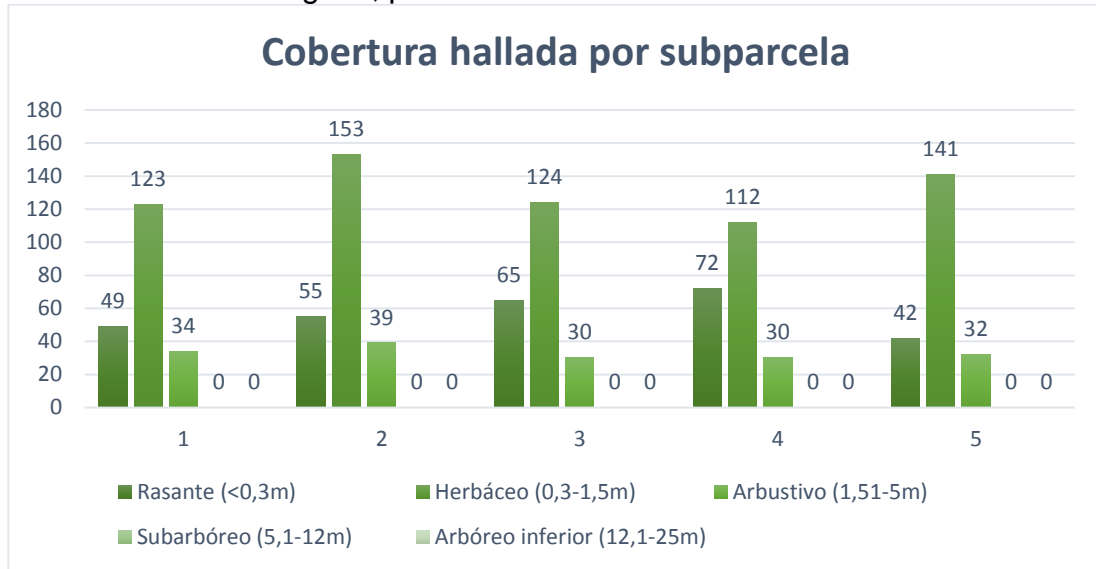
Fuente: el autor.

De manera similar a la primera parcela el conteo registró notablemente a especies rasantes frente a las otras, por otro lado es de esperarse este tipo de resultados en terrenos con un gradiente de inclinación quebrado, que para este caso se presentó una pendiente superior a los 19° en el eje E-W a lo largo del transecto y en el eje N-S se presentó una inclinación de 15° en promedio, a lo ancho del transecto.

En el recorrido realizado para esta parcela fue interesante notar cómo al disminuir la pendiente también se reducía el conteo de rasantes y aumentaba el conteo de herbáceas, todas ellas en su mayoría frailejones, teniendo una proporción del desarrollo vegetativo del 60%-40% entre rasantes y herbáceas respectivamente.

Ahora bien, llegando este punto de resultados se puede observar un primer avistamiento experimental frente al distribución del desarrollo vegetal de estas especies en función de la pendiente, si bien se están obviando otros factores de vital relevancia para esta presunción, se puede afirmar que el acoplamiento de la pendiente con respecto a las especies registradas, propicia un entorno mejor diseñado, en términos de estructura orográfica, para que exista cierta celeridad en el desarrollo de los brotes de frailejón y otras especies características de estas zonas de estudio, como son los pajonales, los cuales son prácticamente imposibles de contabilizar por la alta densidad que presentan, en otras palabras, es bastante dispendioso determinar dónde empieza un pajonal y en dónde empieza el otro.

Gráfica 4. Conteo vegetal; parcela 3

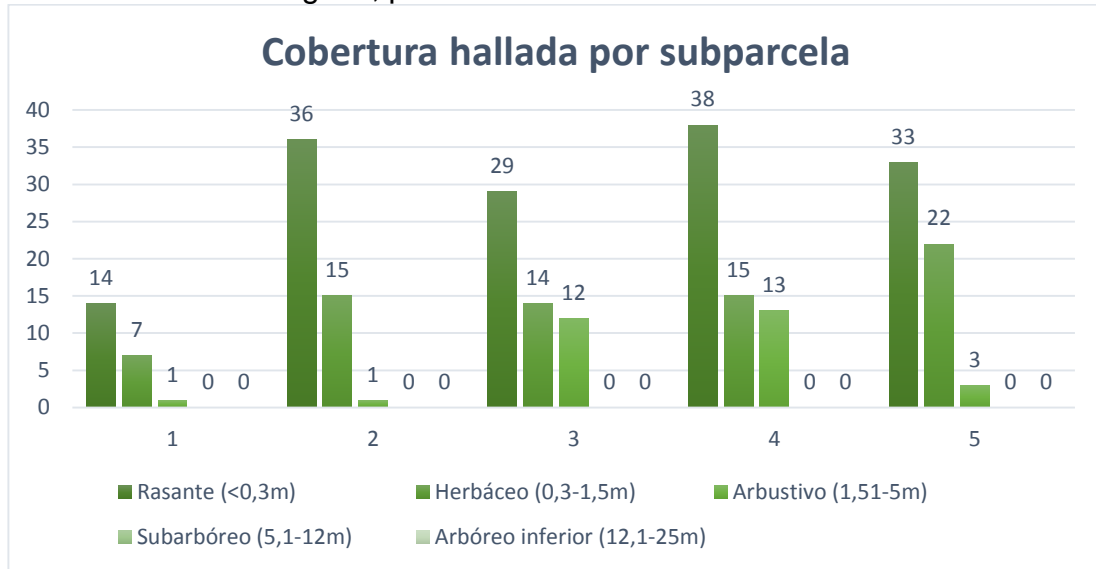


Fuente: el autor.

Esta última parcela presenta una característica especial frente a las anteriores, pues fue sólo en esta parcela en donde se registró frailejones de desarrollo arbustivo, representando un 15.4% sobre el conteo de frailejones para esta parcela, esto puede deberse a un hecho bastante lógico, partiendo que el distanciamiento entre las dos primeras parcelas no superaba los 3km de distancia entre ellas, ésta última parcela si resulta estar más alejada del resto, se realizó para determinar un pequeño nivel comparativo entre las zonas protegidas a modo descriptivo. Otro aspecto a destacar es el 97% representado por la cantidad de frailejones contabilizados sobre los 1101 individuos registrados en esta parcela.

Adicionalmente, las subparcelas desarrolladas en esta parcela se puede notar una diferencia inmediata frente a las dos anteriores y es, evidentemente, que el conteo herbáceo aumentó significativamente, representando el 59.3% del conteo global en esta parcela, esto se debe principalmente a que en la zona circundante de la parcela, aproximadamente a unos 100m, cruzaba un pequeño cuerpo hídrico en donde la pendiente no llegó a superar los 5° en el eje E-W. Ahora bien, si antes se argumentaba que el gradiente de inclinación jugaba un papel interesante en el desarrollo encontrado en las especies contabilizadas, en esta parcela ocurre algo que es objeto de discusión y es la localización de especies herbáceas de desarrollo saludable a nivel visual, en pendientes del 23%-28% en el eje N-S.

Gráfica 5. Conteo vegetal; parcela 4



Fuente: el autor.

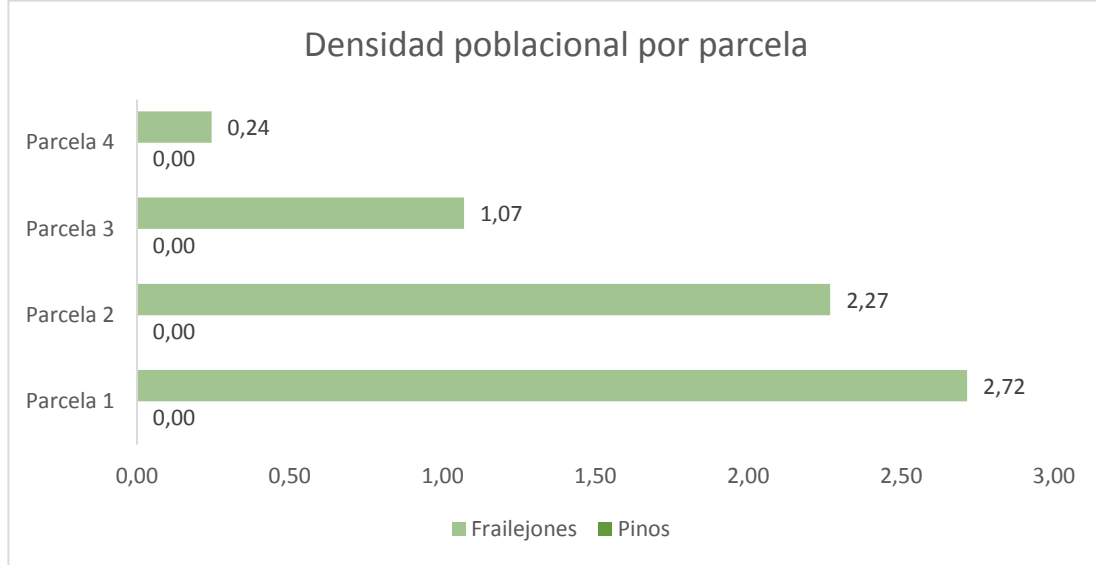
En la última parcela estudiada se encontró una zona de transición, en el sentido de no haber hallado una gran abundancia de frailejones, no obstante si se evidenció variedad frente a su desarrollo vegetal, pues se encontró un 11.8% de frailejón con desarrollo arbustivo, 28.8% de desarrollo herbáceo y un 59.2% de desarrollo rasante, contabilizando un total de 253 individuos. Otro aspecto a resaltar fue el hallazgo de hongos en la parcela, con un total de 5 individuos de desarrollo rasante, no superaban los 4cm de altura.

Un punto característico frente a esta parcela y las demás fue el nivel freático hallado en las zonas cercanas a la parcelación; pues en algunas zonas, dicho nivel se encontraba a los 10cm de profundidad, por otro lado es natural encontrar este tipo de circunstancias partiendo del hecho en que, en principio, hay presencia de cuerpos hídricos y su distanciamiento de la zona estudiada, en solo un caso, fue inferior a 100m. Esta interpretación tendrá un peso determinante cuando se esté evaluando las características edáficas halladas en las parcelas.

Ahora bien, es preciso evaluar la densidad poblacional encontrada en cada parcela, ya que a partir de este dato se pueden corroborar aspectos de distribución de desarrollo vegetal en función de las características orográficas y cómo éstas influyen en el número de individuos contabilizados por cada parcela.

Así las cosas, se puede hacer uso de una propiedad matemática sencilla para determinar la densidad sobre los individuos registrados, en donde se relaciona la cantidad de individuos hallados y el área encerrada para dicho conteo, los resultados se muestran en el siguiente gráfico.

Gráfica 6. Densidad de la cobertura en la zona protegida.



Fuente: el autor.

Tal como es apreciado en la gráfica, el número de individuos por superficie fue mayor en las primeras parcelas, pues las condiciones del terreno planteaban un escenario idóneo el cual fue destacado por presentar un nivel de pendiente ligeramente inclinado, en comparación con las dos últimas parcelas. No obstante, la relación preliminar de esta característica espacial de la zona protegida debe ser contrastada con el segundo escenario previsto, así de este modo se podrá dar un inicio a las primeras discusiones de comparación del estado de la zona impactada con respecto al estado encontrado en la zona protegida.

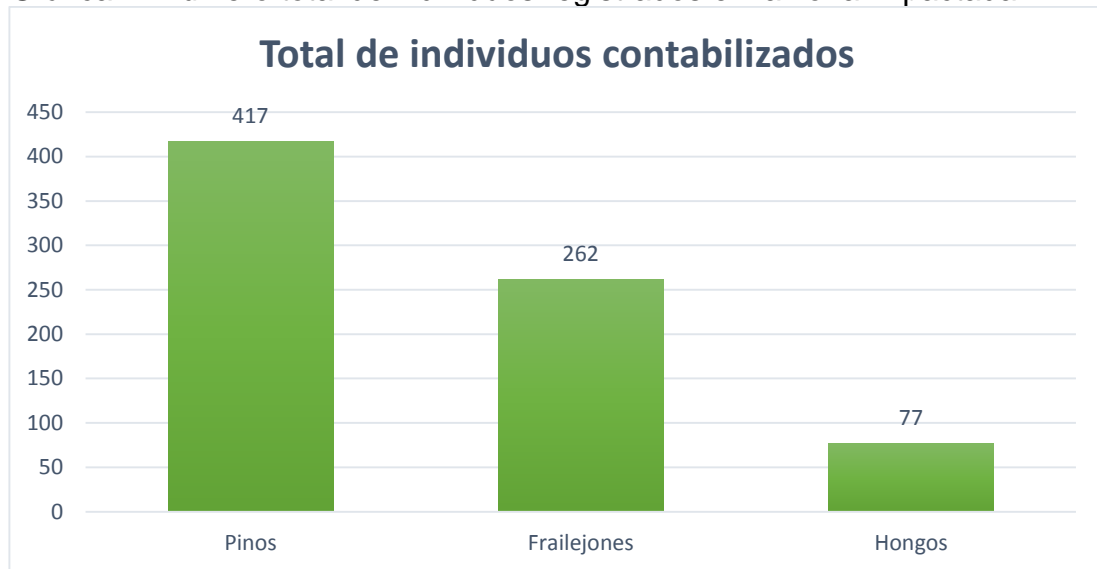
Como bien se evidenció, los resultados en la primera zona de estudio, en donde el ecosistema se encuentra en unas condiciones apropiadas para un desarrollo natural de la fauna y flora propia del páramo, se pudo justificar que el desarrollo vertical puede ser diverso en función de las propiedades orográficas como la pendiente, no obstante hay que acotar que solamente se ha tenido en cuenta la relación del gradiente de inclinación para esta afirmación y existen más variables que inciden en el desarrollo mismo de la vegetación presente, así sea en una zona protegida.

Esto arroja otro argumento a la futura discusión de este apartado, el cual se basa esencialmente en la presencia de cuerpos hídricos, pues un flujo constante de agua en parte del área circundante de influencia del muestreo, puede influenciar el desarrollo vegetal de las especies halladas, de igual modo es necesario asociar este fenómeno con el gradiente de inclinación encontrado, así de esta manera se puede hallar una afirmación mejor desarrollada en función de estos dos aspectos de importancia lógica.

ZONA IMPACTADA

El trabajo realizado en la zona impactada marcó una notable diferencia, tanto en los tiempos de trabajo como en las especies encontradas, si bien el terreno se encontraba en una obvia intervención forestal se pudo localizar especies de frailejones en esta zona pero, en menor cantidad. A diferencia de la zona protegida, también se contabilizaron hongos; en un análisis posterior se podrá observar el papel e importancia de este hallazgo.

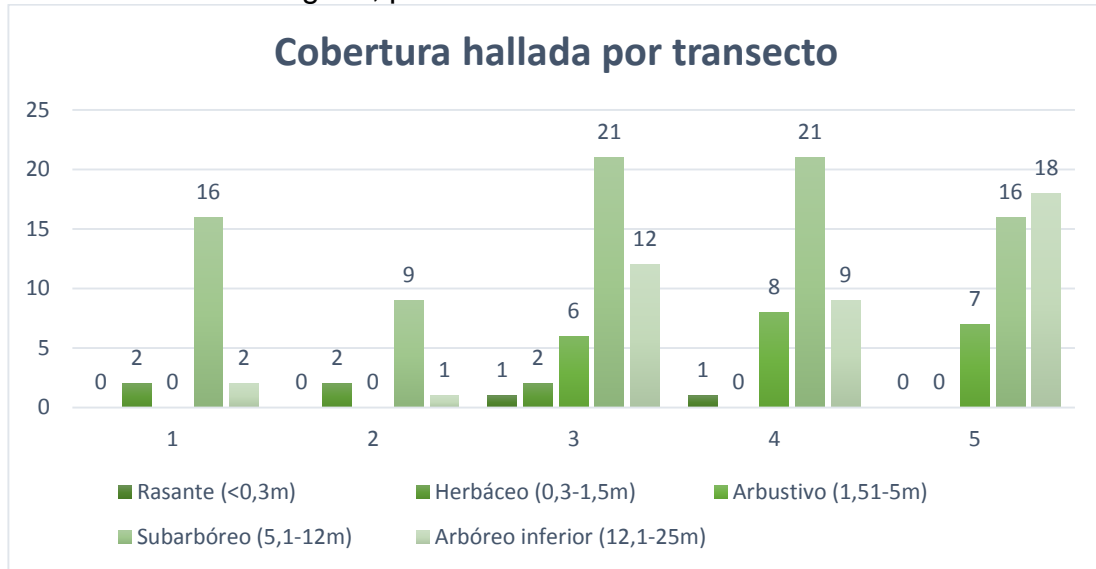
Gráfica 7. Número total de individuos registrados en la zona impactada.



Fuente: el autor.

Del gráfico anterior, a primera vista, se puede afirmar que hay una distribución más uniforme con respecto a la zona protegida en el sentido de las especies halladas, pues aquí se ha logrado encontrar de los tres tipos vegetales propuestos en la investigación. Esto empieza a dar luces a una interpretación sobre estado que presenta en esta zona; por un lado teniendo la presencia de frailejones de un desarrollo que no superaba el herbáceo, y por el otro, la presencia de hongos, todos ellos localizados en un radio no superior a 1.5 m de un pino. Su presencia indica una carente disponibilidad de materia orgánica en el suelo. Por otra parte también es importante mencionar que esta zona estudiada ha tenido este contexto forestal durante varios años.

Gráfica 8. Conteo vegetal; parcela 5.

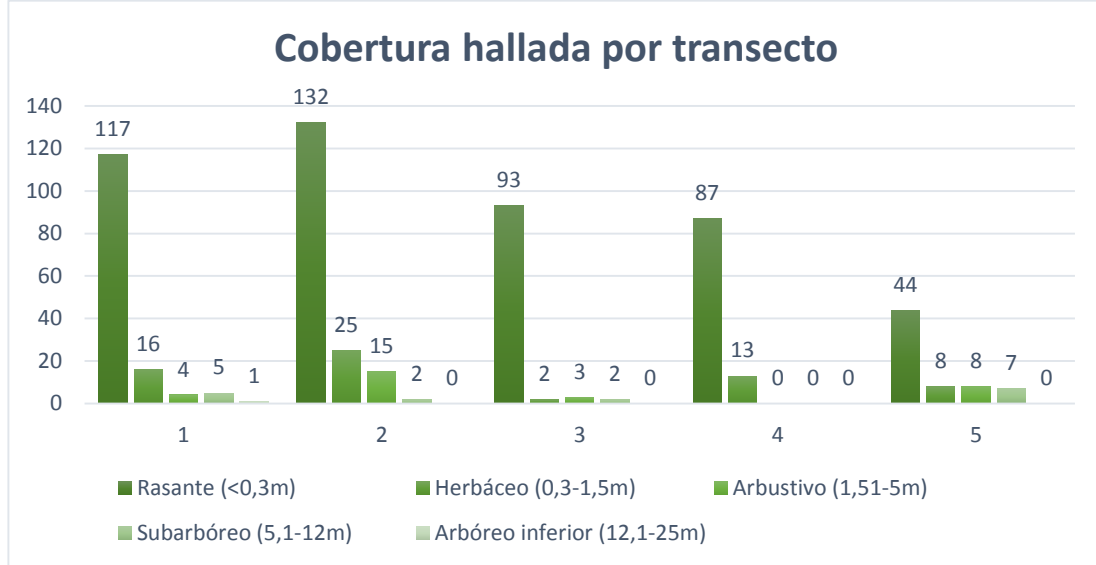


Fuente: el autor.

Esta primera parcela caracterizada por una inclinación quebrada superando el 46% sentido N-S en todas las subparcelas, se puede evidenciar de manera tácita cómo es el desarrollo vegetativo de un pino, pues la gran mayoría de individuos aquí encontrados registran un desarrollo subarbóreo y arbóreo inferior, representando un 53.9% y 27.2% respectivamente, haciendo notable la característica de que un pino en sus primeros ciclos de desarrollo tiende a crecer antes que a adaptarse al entorno ecosistémico, a diferencia de las especies endémicas de la zona, pues los frailejones en sus primeras etapas se adaptan al entorno para luego comenzar con su crecimiento [11].

Ahora bien, continuando la descripción anterior, los conteos correspondientes al desarrollo rasante y herbáceo precisamente son de frailejones, adicionalmente éstos fueron hallados en zonas en donde la densidad en pinos no era tan alta, pues se localizaron puntos en donde la cobertura por las agujas de pinos superaba fácilmente los 20 cm de altura. A este nivel, al momento de descubrir el suelo este tenía una coloración cenizosa al igual que su textura, a diferencia de los puntos en donde se registraron los frailejones; en donde se localizaba una tierra más oscura y menos arenosa.

Gráfica 9. Conteo vegetal; parcela 6.

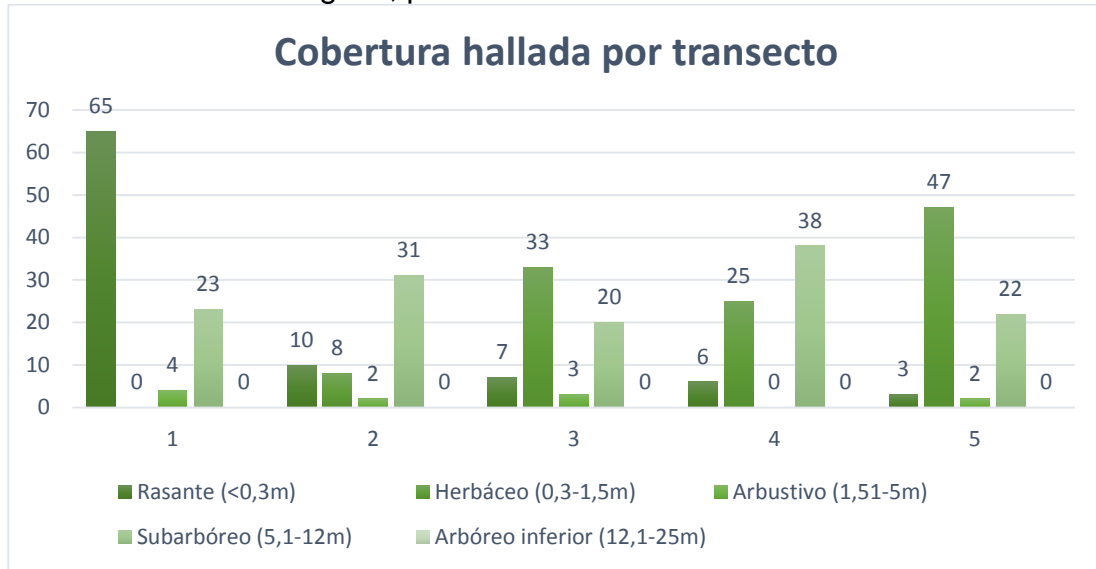


Fuente: el autor.

Frente al desarrollo logrado en esta parcela, en donde las condiciones con respecto a la primera son similares, en cuestión de pendiente, hay una diferencia marcada por el conteo de especies, pues el desarrollo rasante y herbáceo en esta ocasión está definido por las especies que no fueron individualizadas así como lo fue con los pinos frailejones y hongos.

No obstante, la cantidad de pinos encontrados superaban el número de individuos en frailejones en un 25%, y en este sentido se continua observando cierta dominancia del pino en la parcelación para el conteo de individuos, pero por otra parte es preciso comentar la particularidad hallada aquí pues en una sección en donde el suelo estaba casi en su totalidad desnudo, presentado rastro de roca madre, se encontraba en los sitios meteorizados numerosos individuos nativos encontrados en las parcelaciones de zonas protegidas.

Gráfica 10. Conteo vegetal; parcela 7.

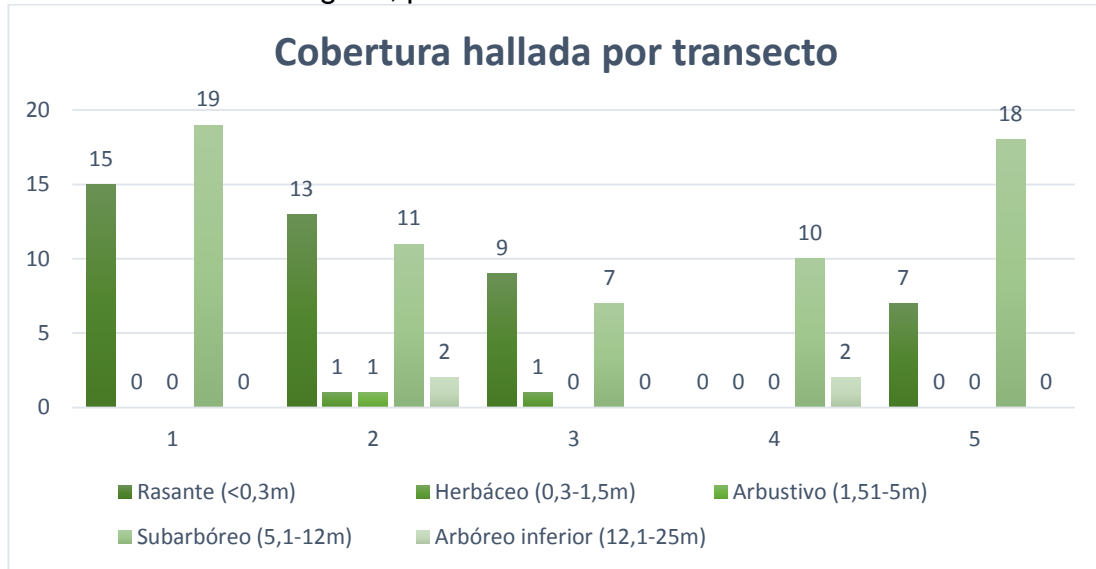


Fuente: el autor.

El contexto encontrado en esta parcela destaca por una particularidad frente a las dos anteriores, en el sentido de hallar frailejones de desarrollo herbáceo significando un 32% del total de 349 individuos contabilizados, en su mayoría, en las subparcelas de dicha parcela, por otro lado es necesario afirmar que la zona de trabajo estaba cerca de un cuerpo hídrico artificial; esto sugiere una alta oferta hídrica local que soporta ambas especies vegetales; evidenciando incluso presencia de musgo en las zonas más densas de pino.

Ahora bien, en términos concretos del conteo realizado, se puede evidenciar un aspecto importante frente a la distribución hídrica de una zona particular, pues si se pone en contraste frente a la primera parcela de la zona impactada, el material edáfico encontrado de manera preliminar, daba luces de una tierra seca, caso contrastado con esta, en donde el suelo claramente tenía un aspecto más húmedo, pero igual seguía teniendo características de textura de un suelo arenoso.

Gráfica 11. Conteo vegetal; parcela 8.

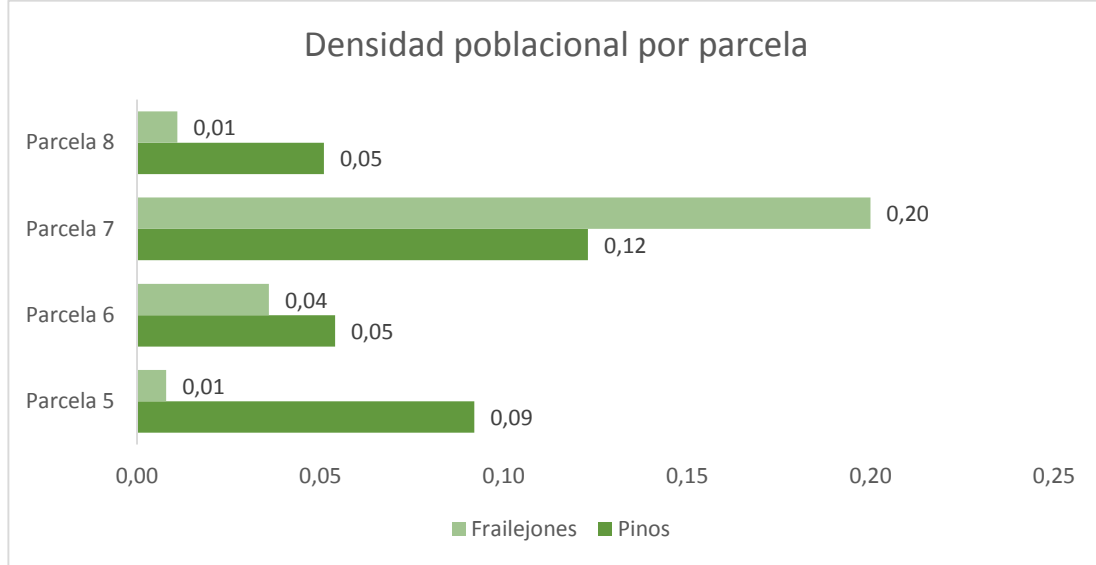


Fuente: el autor.

Nuevamente, con ésta última parcela, se tiene una alta diferencia en la cantidad de pinos encontrados con respecto a la de frailejones hallados teniendo una diferencia aproximada del 6.8% sobre los frailejones, más aun el hecho de que éstas últimas presentaban un desarrollo rasante y visualmente poco saludable. Continuando con el desarrollo vegetal de pinos, se encontró que el 94.2% corresponde a un desarrollo sub arbóreo, el restante 5.8% obedece a un desarrollo arbóreo inferior. Algo particular de esta zona, es que en algunos sectores de la parcelación se evidenció tajos de pinos con un DAP mayor a 70cm, esto principalmente obedece a la naturaleza de la ubicación de los pinos propiamente, pues la forestación evidenciada en todas las parcelaciones realizadas hace referencia a una práctica de orden productivo.

Por otra parte, tal como se trabajó la zona protegida, es importante evaluar la densidad poblacional en las parcelaciones hechas en la zona impactada, pues de este modo se podrá observar el fenómeno ligado a la producción forestal que da el pino y cómo entra en las posteriores discusiones de esta investigación, el papel económico de la existencia del pino en suelos de páramo en donde se ven enfrentados dos tipos de servicios ecosistémicos de especial importancia para el desarrollo de las comunidades inmediatamente involucradas en este contexto; se está hablando de los servicios de regulación y abastecimiento.

Gráfica 12. Densidad de la cobertura en la zona impactada.



Fuente: el autor.

Este gráfico evidencia un punto muy importante en la comparación de las zonas estudiadas, si bien en la zona protegida sólo una parcela no logró alcanzar un individuo por metro cuadrado, teniendo en cuenta las áreas trabajadas en cada parcela, para la zona impactada, en ninguna parcela se alcanzó el individuo por m^2 , esto conlleva un aporte interesante al momento de argumentar la capacidad productiva del pino en términos de hectáreas a forestar.

Por otro lado a nivel vegetal, es importante comentar el periodo temporal del estudio, pues el avistamiento que arrojan los datos, da una luz del estado del páramo de Siscunsi en temporada de lluvias, es vital destacar este detalle pues la investigación no abarca una relación meteorológica con los resultados obtenidos, no obstante es necesario enmarcar los mismo en un contexto climático pues así mismo se podrá indagar en las relaciones suelo-vegetación, por la naturaleza edáfica encontrada y la actividad meteorológica, principalmente partiendo de la variable de precipitación.

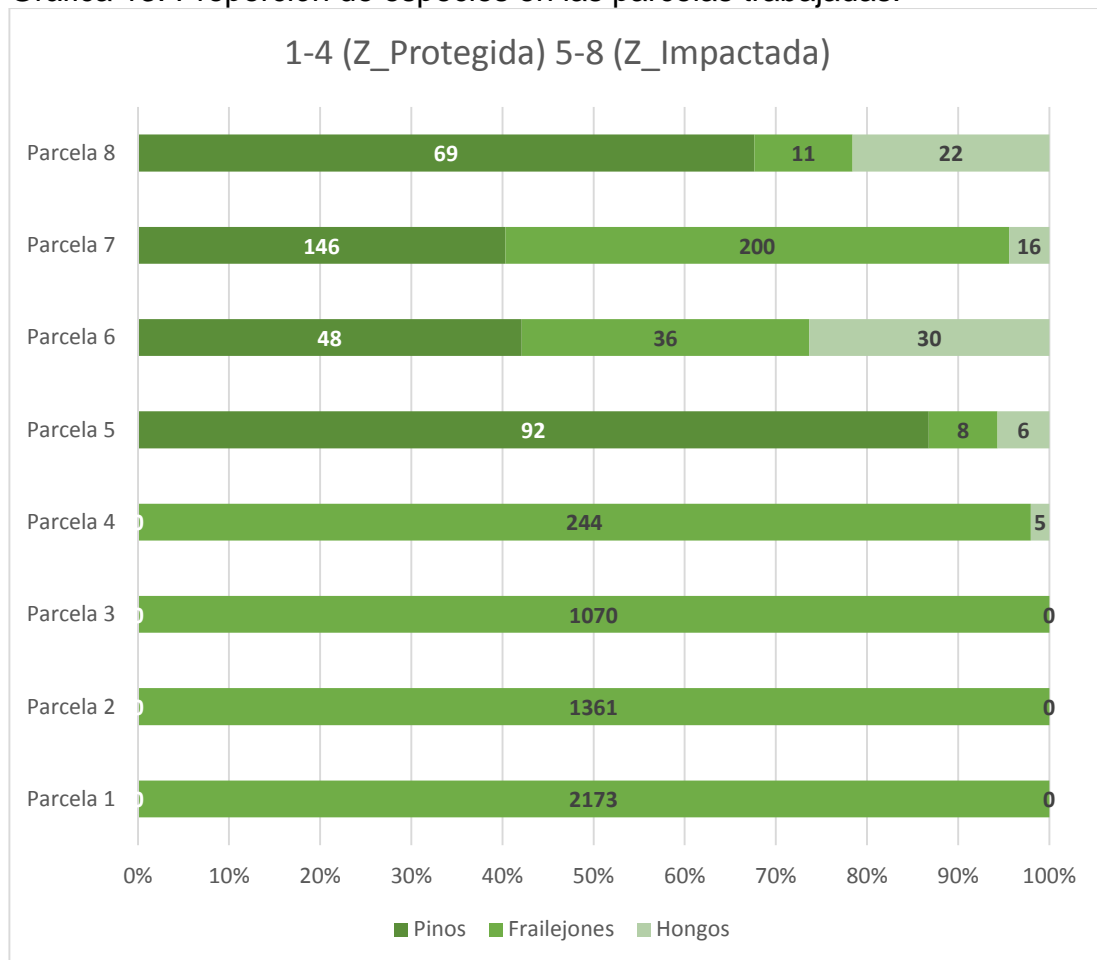
Bajo el marco anteriormente explicado es preciso detallar algunas características encontradas en el contexto meteorológico de las zonas de estudio, las cuales será tratadas como una sola por el área de influencia que tienen los datos tomados de las estaciones meteorológicas de Mongua, Mongui y las Cintas, en las cuales se puede evidenciar que en el histórico de precipitación (ver anexo A). En ninguno de los dos periodos fijados, del '70-'05 y del '80-'15 se halló un valor superior a los 300mm durante todos los meses del año haciendo plena correspondencia a un régimen de precipitación bajo en zona paramuna [9].

Ahora bien, partiendo de una muy breve descripción acerca de los valores promedios de precipitación en las zonas de estudio, es preciso dar paso a las

interpretaciones edáficas encontradas en términos de humedad gravimétrica para luego generar un patrón de comparación frente a las curvas de retención hídrica en donde se detalle una clasificación de la humedad en función de la tensión asociada a dicha característica física. Así mismo, con los datos de humedad debidamente categorizadas, que se expresarán de manera detallada en el apartado de desarrollo edáfico, se podrá dar una de las primeras conclusiones frente a la relación que puede existir entre la humedad edáfica y el tipo de cobertura asociada para cada zona estudiada.

Para finalizar el apartado de desarrollo vegetal, se muestran las diferencias de proporción asociadas al número de individuos encontrados por transecto, detalladas por las 8 parcelas realizadas en ambas zonas.

Gráfica 13. Proporción de especies en las parcelas trabajadas.



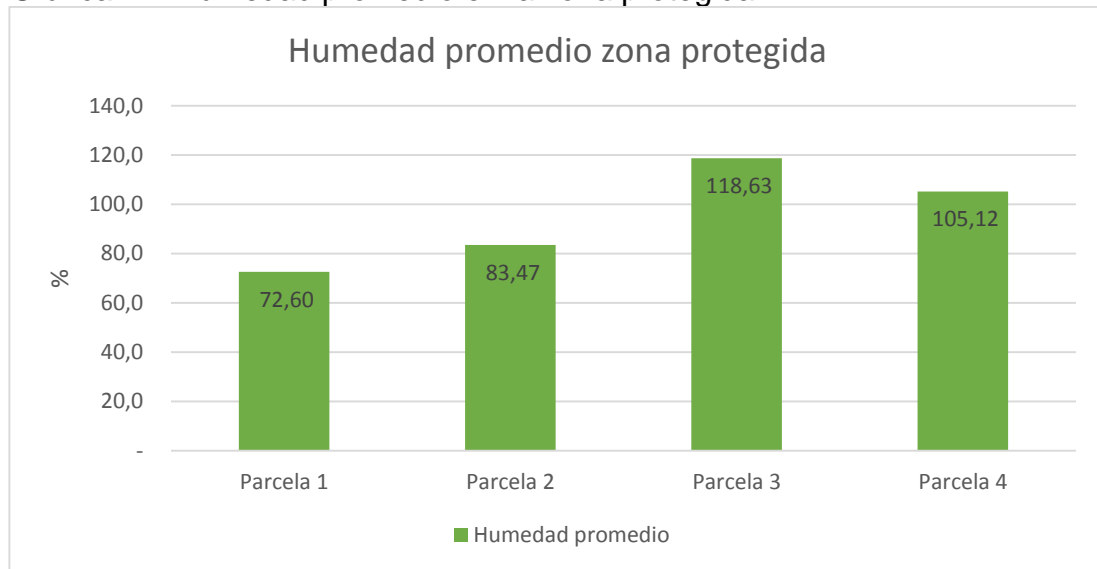
Fuente: el autor.

7.2. Desarrollo edáfico

ZONA PROTEGIDA

En el rigor descriptivo frente al reconocimiento de las humedades gravimétricas registradas para la zona protegida se encuentra que tiene una notable diferencia, en promedio, del 31% entre las parcelas estudiadas, sin embargo el gráfico no representa la diferencia expuesta por un cambio en la pendiente, análisis que se realizará en un momento posterior.

Gráfica 14. Humedad promedio en la zona protegida.



Fuente: el autor.

Retornando el desarrollo edáfico descriptivo, en primer lugar se puede observar claramente que no menos del 60% del suelo al nivel de epipedon evaluado en la zona protegida, es agua expresada en términos gravimétricos. Adicionalmente, hay valores que superan la relación de peso en el sistema suelo-agua, esta situación se debe a las características de los suelos hallados en las zonas de estudio, específicamente el Lithic Udorthent, el cual por presentar fracciones de ceniza volcánica debido a su ubicación espacial [13], puede explicar la alta retención de humedad entre otras características físicas, como lo es la baja densidad o la alta plasticidad [24] [25]. Sin embargo, cabe recordar que los procesos tanto físicos como químicos que se dan un entorno paramuno se desarrollan de manera pausada y esto también involucra a los procesos físicos, contribuyendo a que las características anteriormente mencionadas perduren en el tiempo [7].

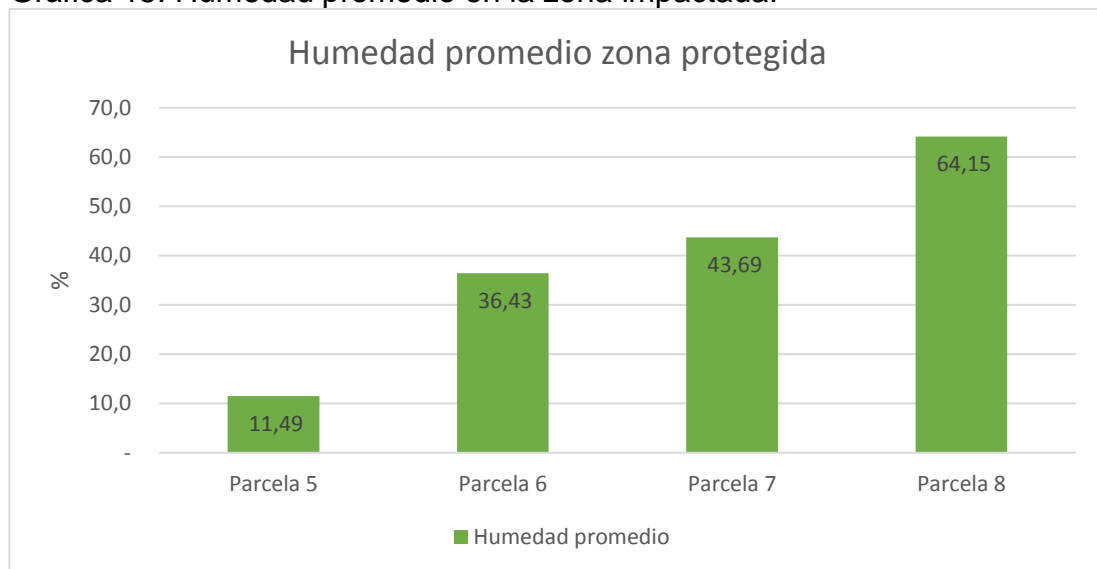
Adicionalmente hay que mencionar que las humedades registradas, si bien se encuentran en procesos lentos de transporte, es importante determinar bajo qué parámetro estructural (capacidad de campo o punto de marchitez permanente) se

encuentran dichos valores hallados, de este modo se podrá realizar una interpretación más profunda de los resultados.

ZONA IMPACTADA

Como bien se detalló en la zona protegida, los valores mostrados a continuación representan de manera bruta, el valor de la humedad gravimétrica registrada en las cuatro parcelas estudiadas de tal manera que se puede apreciar la gran diferencia, en términos descriptivos, de la humedad en ambos escenarios.

Gráfica 15. Humedad promedio en la zona impactada.



Fuente: el autor.

Frente a esta diferencia, en donde a nivel particular, la humedad presenta un registro más contrastado entre sus parcelas, con respecto a la zona protegida, muestra una variación aproximada del 21.7% frente al valor medio estimado de manera global para la zona impactada. Ahora bien, tal como se desarrolló en la zona anterior, es preciso empatar los datos de la curva de retención hídrica con los valores de humedad registrados, para tener una perspectiva más técnica del estado físico del suelo, en términos de humedad.

A consideración del planteamiento anteriormente descrito para la zona impactada, es preciso empatar los datos de la curva de retención hídrica con los valores de humedad registrados, para tener una perspectiva más técnica del estado físico del suelo, en términos de humedad. De este modo, es preciso encaminar los resultados brindados por el laboratorio nacional de suelos; en donde las muestras procesadas tenían las siguientes características [25]:

1. En la zona protegida; muestra de suelo puntual con un gradiente de inclinación quebrado (12%-25%) y ligeramente inclinado (3%-7%).

- En la zona impactada; muestra de suelo puntual con un gradiente de inclinación quebrado (12%-25%) y ligeramente inclinado (3%-7%).

Así de este modo, se caracterizaron los valores de humedad gravimétrica para los valores de CC y PMP teniendo como punto intermedio el punto de saturación, a 0kPa, adicionalmente se desarrolla la humedad aprovechable de cada zona detallada siendo ésta, la diferencia entre CC y PMP [23]. A continuación se relaciona la tabla de resultados de las 4 muestras anteriormente comentadas.

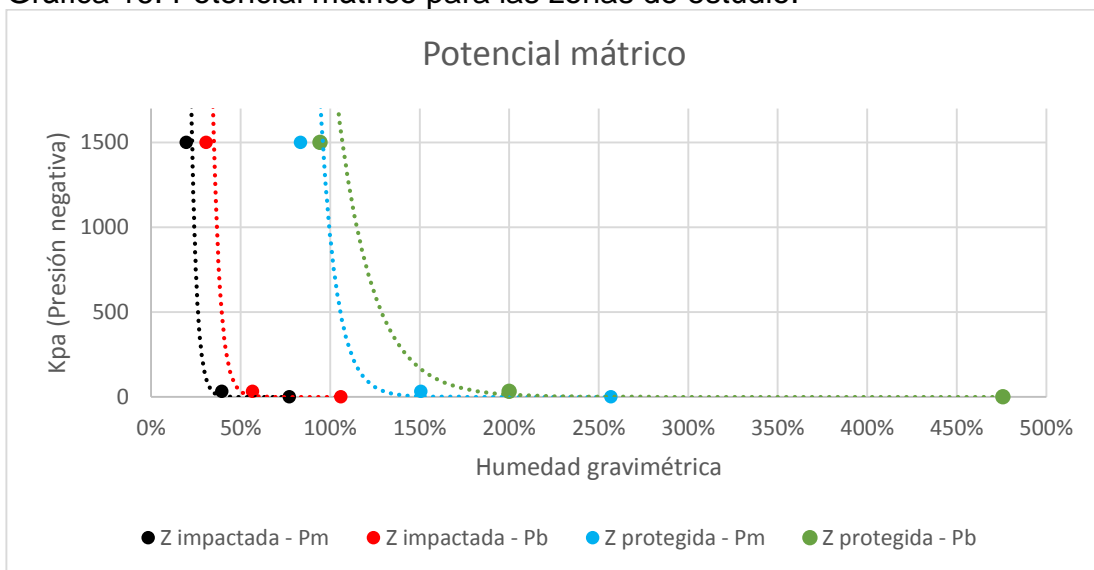
Tabla 3. Resumen de valores, potencial mátrico.

Parámetro (kPa)	Humedad gravimétrica			
	ZI – Lig. Inclinado	ZI – Quebrado	ZP – Lig. Inclinado	ZP – Quebrado
0	106%	77%	476%	257%
-33 (CC)	57%	39%	200%	151%
-1500 (PMP)	31%	20%	94%	83%

Fuente: el autor.

Como se puede observar, la tabla es concluyente al momento de comparar las diferencias entre zonas y entre pendientes, dejando sin punto de comparación el contraste de 350% que implica la transición de una zona impactada (ZI) a una zona protegida (ZP) bajo el mismo parámetro de pendiente (baja: de 0° a 2°), teniendo en cuenta sólo la variable de Capacidad de Campo (CC), tal como se puede apreciar de manera más directa en la siguiente gráfica.

Gráfica 16. Potencial mátrico para las zonas de estudio.



Fuente: el autor.

De manera conjunta entre la tabla 3 y la gráfica 16, se puede ver el contraste frente al contexto hasta ahora enmarcado, pues se puede evidenciar que pesa más la impactación forestal al ecosistema de páramo que la misma orografía del terreno, una perspectiva evidente al tener en cuenta que éste ecosistema de alta montaña tiene propiedades en torno al agua muy sensibles, afectando de manera notable la capacidad de retener agua en un suelo caracterizado por tener una mayor proporción de agua que de suelo en su primer horizonte [15].

Frente a los resultados de laboratorio, se puede realizar una afirmación que apoya la hipótesis generalizada sobre el contraste de cobertura y su influencia en la humedad frente a los valores gravimétricos registrados en las muestras de las parcelaciones seleccionadas, teniendo como margen para la zona protegida, una profundidad promedio de toma de muestra de 36cm, en las que el suelo se encuentra en un estado de punto de marchitez permanente, no obstante esto no puede ser corroborado por las coberturas vegetales encontradas, que habían especies de desarrollo herbáceo en un estado de salud bueno desde una perspectiva visual, por el color y vigor de sus hojas [26].

En este sentido es posible catalogar los valores de humedad encontrados en ambas zonas estudiadas, dejando como resultado la siguiente tabla que encasilla los valores hallados en campo con respecto a los valores otorgados por el laboratorio Nacional de Suelos del IGAC.

Tabla 4. Clasificación de humedad gravimétrica – CC / PMP.

Parámetro (kPa)	Número de transectos			
	ZI – P. baja	ZI – P. media	ZP – P. baja	ZP – P. media
0 (Saturado)	0	0	1	0
-33 (CC)	8	3	1	1
-1500 (PMP)	2	7	7	7

Fuente: el autor.

Tal como se registró en la tabla anterior, es sencillo determinar, en función de las variables que en esta investigación se tomaron en cuenta, que el cambio de cobertura vegetal bajo un mismo ecosistema, tiene una marcada influencia en el contraste estructural del suelo en términos de humedad, si bien en la zona protegida se encuentran los niveles más altos de humedad a nivel global, para esta zona en particular, los valores se encuentran en un punto de marchitez permanente (PMP) lo cual destaca la gran capacidad de retención hídrica que tienen estos suelos.

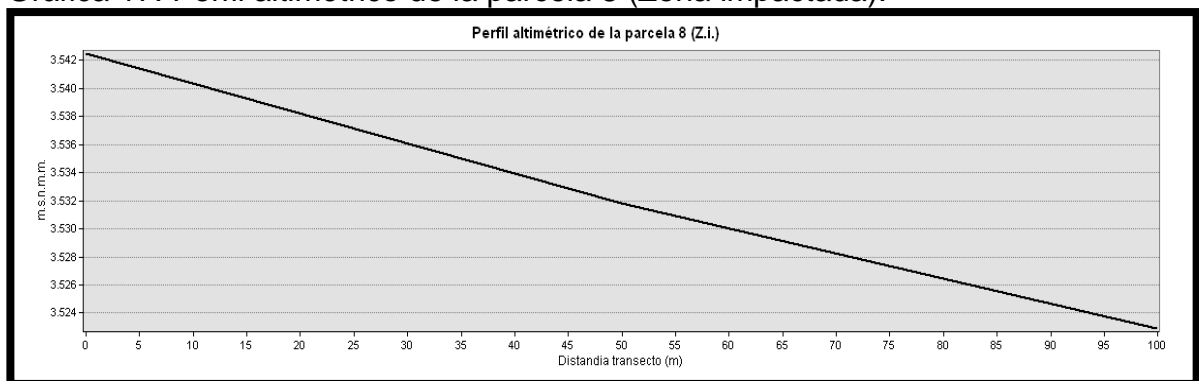
Ahora bien a manera de contraste, en la zona impactada, en donde los bosques allí formados tienen en promedio 20 años de conformados, los valores allí registrados dan una evidencia de los cambios por los cuales ha pasado el suelo; si bien los valores son muy inferiores, si son comparados con la zona protegida, para los

suelos encontrados en la zona impactada, los valores de humedad obedecen a un estado de capacidad de campo, lo cual implica que el suelo hallado en las zonas impactadas, ha reducido las facultades de retener un mayor porcentaje de humedad en términos gravimétricos, permitiendo de cierta manera, el desarrollo de la vegetación asociada a los pinos y por otra parte, condicionando a la vegetación nativa, es decir, los frailejones y pajonales.

Esta consecuencia aquí reflejada resulta interesante compararla con los resultados del análisis vegetal, en donde se encuentra que la zona impactada aún registra individuos nativos del ecosistema, por supuesto en menor cuantía, esto refleja el hecho del cambio en las características de retención de humedad: el cambio del gradiente del punto de marchitez permanente a capacidad de campo, y del porqué el desarrollo de las especies de frailejón encontradas en dicha zona no superan, a nivel general, el desarrollo rasante [11].

Adicionalmente es preciso contrastar de manera espacial, cómo la humedad influye en la cobertura vegetal, catalogada como número de individuos. Así de este modo se puede evidenciar de una manera simple la relación entre la topografía de los terrenos estudiados con respecto al sistema suelo-planta, teniendo como punto de fácil interpretación los cambios generados en la humedad y cantidad de individuos registrados en función del aumento o la disminución del gradiente de inclinación para las parcelas estudiadas.

Gráfica 17. Perfil altimétrico de la parcela 8 (Zona impactada).

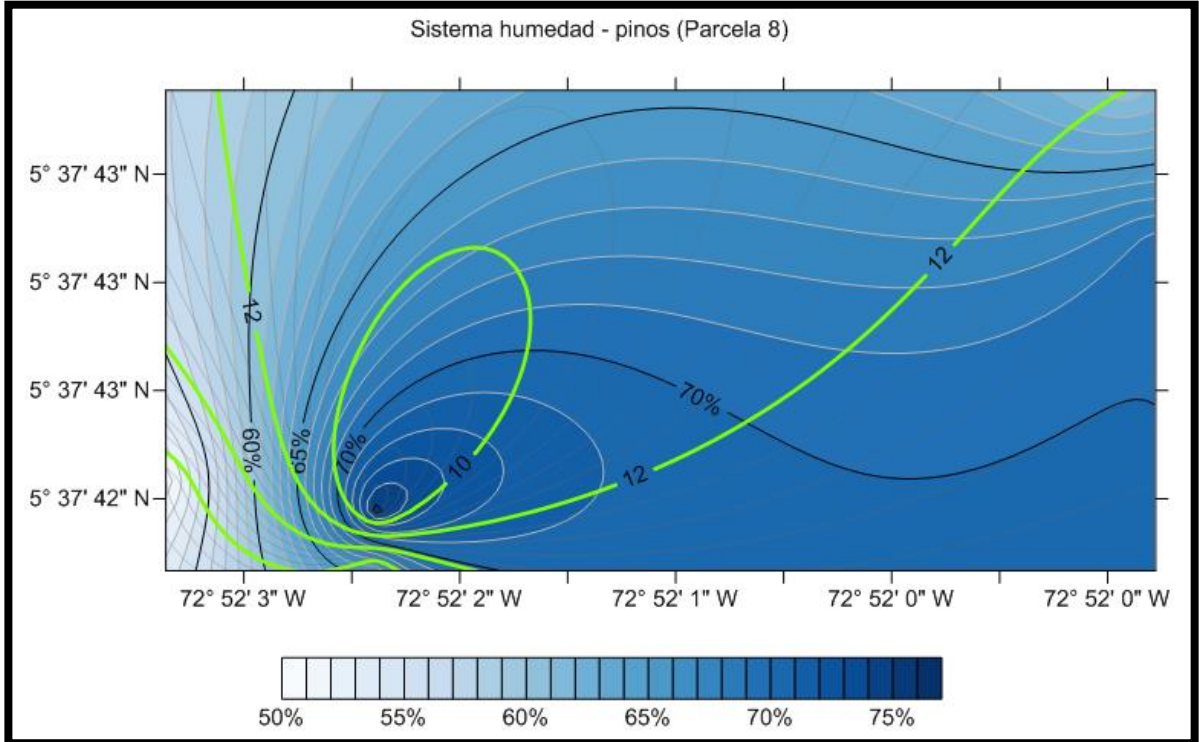


Fuente: el autor.

Tal como precisa la gráfica 17, el comportamiento orográfico de la parcela 5 sugiere un punto de cambio claramente visible en lo que a su gradiente de inclinación se refiere, esta característica física puede evidenciarse de manera indirecta en la relación de humedad de la misma parcela.

A continuación se detalla el sistema suelo-vegetación; la relación espacial existente entre la humedad registrada y los valores de cobertura en pinos y en frailejones para una parcelación impactada.

Gráfica 18 Distribución Humedad vs. Pinos (Zona impactada).

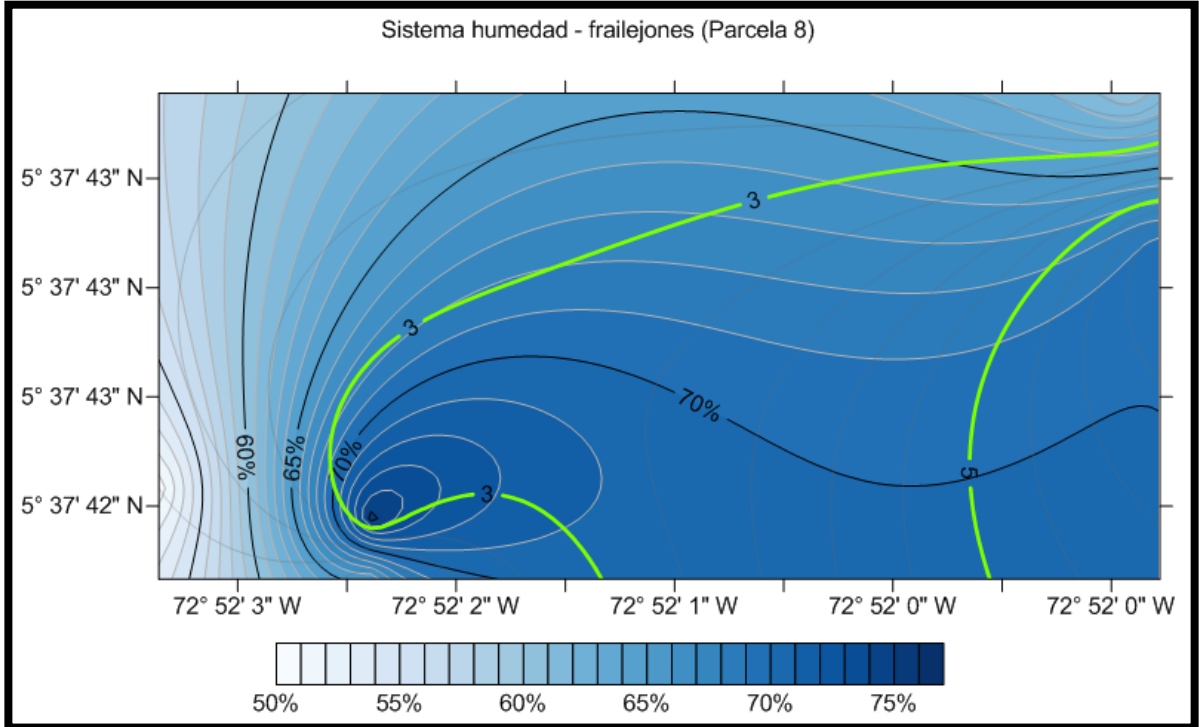


Fuente: el autor.

Tal como se evidencia en la gráfica 18, se puede apreciar de manera sencilla el desplazamiento de los individuos de pinos (líneas en verde) hacia las áreas de mayor concentración de humedad, adicionalmente es necesario recordar que las lecturas de humedad gravimétrica se encuentran en un valor medio de 37cm de profundidad. Por lo que el comportamiento a niveles más profundos, su patrón de distribución es desconocido.

Aun así, también es posible señalar que a esta profundidad, el desplazamiento de humedad gravimétrica obedece de una manera inversamente proporcional a los valores del gradiente de inclinación en los cinco transectos, relacionando los mayores valores de humedad en las zonas de menor porcentaje de inclinación del área muestreada.

Gráfica 19. Distribución Humedad vs. Frailejones (Zona impactada).



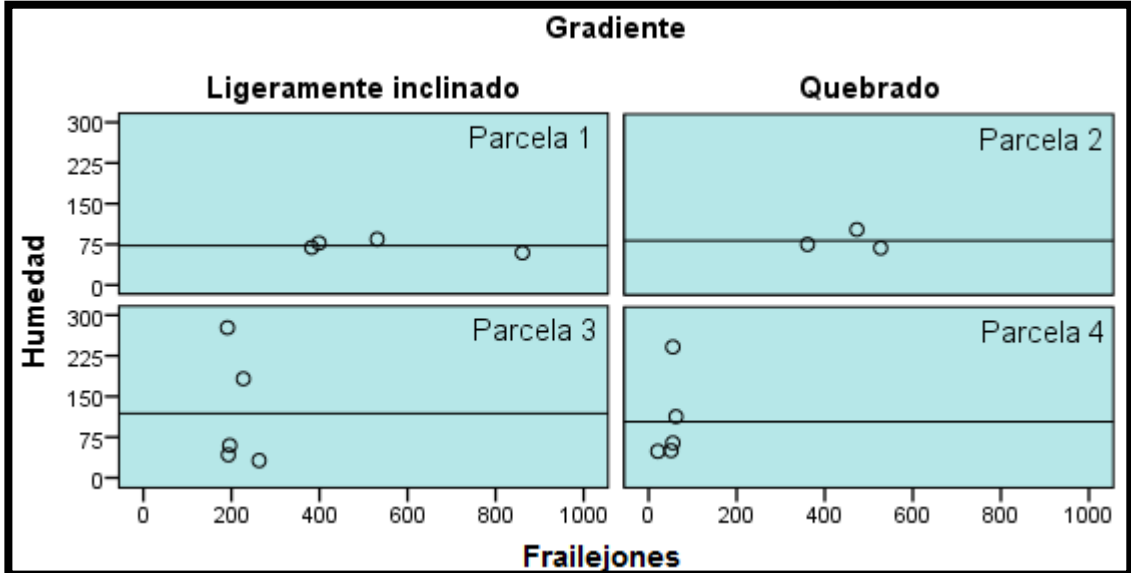
Fuente: el autor.

Como se puede ver en la gráfica 19, hay un patrón similar frente al conteo de pinos, en el sentido de que va a favor del gradiente de humedad e inclinación, con el atenuante de que la dispersión es menos agregada que la distribución que presentan los pinos, esto se debe a que los individuos que presentan un mayor desarrollo vegetal tienden a tener una distribución más agrupada [5], en comparación con las especies rasantes encontradas en la misma zona, las cuales abarcaron un poco más de área superficial.

Igualmente cabe aclarar que las especies halladas de frailejón se encontraban en un estado de aparente marchitamiento, y si se trae a colación nuevamente los datos del potencial mátrico, fácilmente se puede llegar a la conclusión de que efectivamente los frailejones hallados, en términos de humedad aprovechable, no podrían tener las condiciones aceptables para continuar su desarrollo vegetal [5].

Ahora bien para tener un contraste frente a la zona protegida, el siguiente gráfico mostrará la relación entre frailejones y la humedad media encontrada en cada parcela (visualizar el anexo B para detallar cada parcela por separado).

Gráfica 20. Relación Frailejones vs. Humedad (Zona protegida).



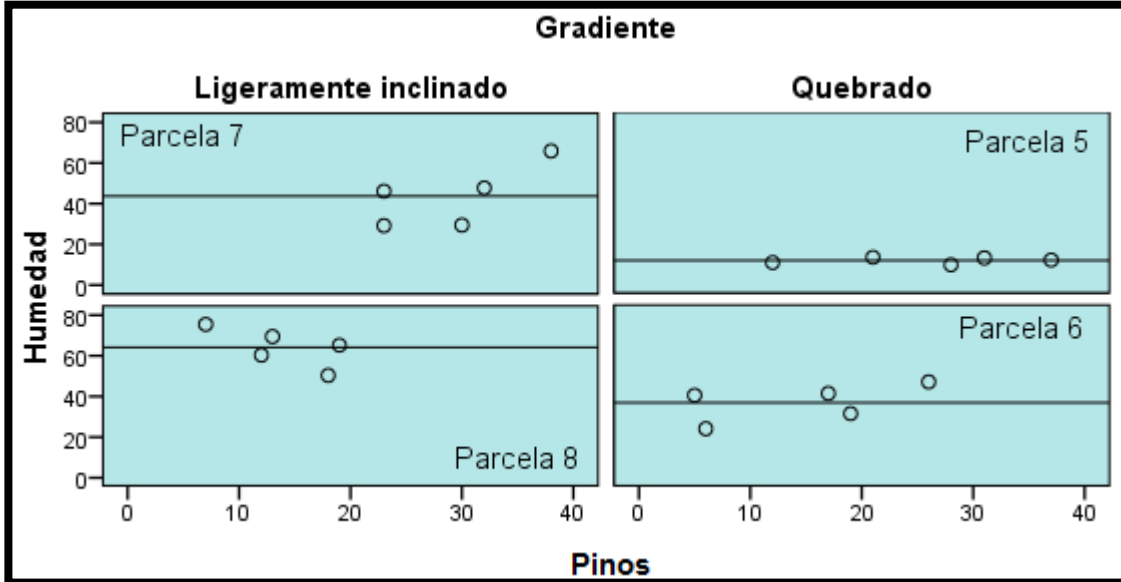
Fuente: el autor.

La gráfica 20 muestra la diferencia que puede presentar una zona, variando el gradiente de inclinación. La característica más notable se encuentra en los valores de humedad asociados al tipo de pendiente, generando una diferencia de casi el 30% de diferencia de humedad en función del gradiente de inclinación ya sea ésta quebrado o ligeramente inclinado, además considerando el hecho de las características fisicoquímicas de los tipos de suelos encontrados particularmente para la zona protegida, puede explicar los registros encontrados en campo, tanto en la cantidad de individuos hallada como en los registros de humedad tomados de manera puntual y por transecto, ya que al tener una naturaleza franco limosa para el caso del Lithic Udorthent y franco arenosa con abundante gravilla para el Lithic Dystrocryept podría mencionarse que pese a estas características, se considere un suelo bien drenado, el punto radica en la relación los horizontes (A-C) para ambos suelos, ya que al encontrarse a mayor profundidad (horizonte C) y por tener una textura mixta, es decir, franco arcillo arenosa gravilosa, el tiempo de percolación decae generando una acumulación en el horizonte más superficial (A) [13].

Otro factor importante es la aglomeración de los individuos con respecto a la media registrada de humedad, reflejando así una relación humedad-planta-orografía en la cual coexisten relaciones directas e inversas en el sistema anteriormente mencionado.

Teniendo en cuenta la anterior interpretación, se puede verificar, con el siguiente gráfico, que las primeras aproximaciones a una correlación entre la pendiente, humedad y vegetación es visible, sin embargo este supuesto se desarrollará a profundidad en el análisis estadístico.

Gráfica 21. Relación Pinos vs. Humedad (Zona impactada).



Fuente: el autor.

Lo primero que se debe abordar en el contexto de la interpretación de la gráfica 21, es que las zonas impactadas en cuestión son zonas productivas de pino, los pinos plantados en estas zonas de páramo se realizaron bajo un esquema económico frente a su madera, ahora bien, desde ese punto es fácil explicar la gran diferencia numérica frente a los frailejones contabilizados en la zona protegida.

Entonces de este modo se puede apreciar que la pendiente juega un papel interesante al momento de registrar los valores de humedad en función de los individuos de pinos que se encontraron, marcando una diferencia aproximando del 20% solo por el cambio de pendiente al interior de la misma zona.

Así de este modo se puede llegar a las conclusiones preliminares frente a la evaluación desarrollada en campo, al momento de contrastar ambos escenarios juntos con las variables de control contextual, las cuales se enmarcaron por zona impactada y nivel de pendiente, principalmente, se puede ver cómo la transición de una zona protegida a una zona impactada, dentro de la misma área de influencia del páramo de Siscunsi, puede verse afectada desde un punto de vista físico en el estado del suelo, y cómo éste marca un comportamiento definido al agregar el gradiente de inclinación, pues así mismo las características físicas de un suelo cambiarán manejando la variable de humedad como factor de análisis al desarrollo vegetal circundante.

Bajo este contexto es primordial reconocer que las condiciones orográficas tienen gran influencia en diversas dinámicas naturales de un ecosistema [1], así es válido afirmar que la pendiente tiene un nivel de influencia en los valores de humedad registrados; reconociendo valores altos de humedad gravimétrica en terrenos

ligeramente inclinados (3%-7%) generando así una tendencia inversamente proporcional, a medida que se pronunciaba la pendiente, teniendo el caso más notable con una humedad del 11% encontrado en un porcentaje de pendiente del 46%.

Ahora bien en este acercamiento de las características físicas del suelo y el terreno, es pertinente empatar estos datos con los valores de cobertura y especies contabilizadas, en ambas zonas, para así tener una visión mejor complementada frente a los objetivos planteados en esta investigación.

De este modo, para la zona protegida, en donde los primeros registros de desarrollo rasante, estaban ligados directamente con los frailejones contabilizados, la integridad el desarrollo vegetativo del frailejón no se encuentra ligado a las actividades antrópicas sino a las dinámicas propias del ecosistema. Por otro lado, en el escenario impactado en donde se presenta una actividad forestal paralela al desarrollo vegetal endémico, es aquí en donde se ven los cambios drásticos frente a las condiciones normales que presentaba la zona protegida.

El cambio forestal genera una disminución en la diversidad del conteo encontrado por parcelación realizada, dando como resultado una homogenización de las especies contabilizadas, sin embargo esta uniformidad obedece a los cambios generados a mediano y largo plazo en el páramo por las plantaciones de pino, pues con un gradiente de inclinación de porcentajes similares, las zonas estudiadas mostraron cambios en la humedad gravimétrica y aún en mayor medida, cambios en los valores de capacidad de campo y punto de marchitez permanente. Éstos últimos son una evidencia contundente frente al cambio inicialmente, de una zona protegida a una zona impactada forestalmente, y cómo el gradiente de inclinación también afecta a los valores de humedad en los primeros horizontes del suelo.

Frente a los comentarios anteriormente explicados, es preciso dar paso al desarrollo estadístico, el cual dará una aproximación más precisa del nivel aparente de relación frente a las variables de interés de comparación para esta investigación.

7.3. Desarrollo estadístico

Teniendo en cuenta las consideraciones halladas en la cobertura vegetal y estado edáfico, en términos de humedad y retención hídrica, es primordial establecer los rasgos más importantes a nivel de variación frente a los datos recabados en las dos zonas estudiadas, y por tanto, es fundamental partir de las medidas de tendencia central y de dispersión, las cuales darán los primeros resultados desde la perspectiva estadística, abriendo el camino para las posteriores interpretaciones de la distribución de los datos, las correlaciones entre las variables específicas y el montaje del modelo lineal generalizado.

Adicionalmente es importante destacar el hecho de que la investigación ha sido realizada bajo un muestreo no probabilístico ya que el muestreo de las parcelas se realizó por conveniencia al seleccionar las dos zonas requeridas para el estudio, con criterios de accesibilidad y pendiente, pues el rigor exploratorio es más relevante que la generalización en esta investigación para el páramo de Siscunsi. Ahora bien, al interior de cada parcela se levantó de manera sistemática las muestras requeridas para el reconocimiento de la humedad en cada zona, generando el mismo patrón de recolección en todas las parcelas.

Como último paso frente al desarrollo preliminar estadístico, se organizaron los datos bajo el diseño de Bloques Completamente al Azar (BCA), teniendo como factor principal la zona de procedencia del conteo o muestra, y como factor secundario se tiene el gradiente de inclinación, sectorizado el análisis bajo dos categorías; la caracterización de tener un gradiente de inclinación quebrado o ligeramente inclinado.

Ahora bien, se procede a identificar la normalidad de las variables recabadas en esta investigación para confirmar su divergencia frente a la distribución normal de los datos y tener homocedasticidad, entre otros parámetros condicionantes [27], en casos en donde la investigación aborda un marco agropecuario forestal o ecológico, difícilmente se pueden cumplir dichos supuestos, pues es impreciso determinar la distribución de la población global a estudiar [28].

Prueba de normalidad

Es preciso contar de manera clara cuál es la distribución que mejor se ajusta a los datos y en función de esto, es preciso describir el proceso mediante métodos no paramétricos [29], pues precisamente se parte del hecho de desconocer la distribución de los datos frente a las variables de cobertura vegetal y humedad gravimétrica.

Ahora bien, del mismo modo en que se han desarrollado los resultados de esta investigación, a continuación se mostrarán las pruebas analíticas, tanto en zona protegida como impactada, arrojadas por el software *IMB SPSS Statistics 20*, el cual en la base de resultados arroja dos estadísticos, para este caso, entendiéndose que la muestra es inferior a 50 muestras, se analizará más a fondo el estadístico W de Shapiro-Wilk [28].

Tabla 5. Prueba de normalidad: zona protegida.

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Rasante	0,328	17	0,000	0,796	17	0,002
Herbáceo	0,234	17	0,014	0,887	17	0,041
Arbustivo	0,274	17	0,001	0,797	17	0,002
N_Frailejones	0,132	17	0,200	0,907	17	0,091

Fuente: el autor.

En función de la tabla 5, se puede destacar que el estadístico de Shapiro-Wilk es muy alto, teniendo en cuenta que su valor varía de 0 a 1 [28], y adicionalmente considerando el hecho de contrastar la hipótesis nula de que los datos representan una distribución normal para un W cercano a cero, se puede evidenciar fácilmente que los conteos hallados en las parcelas de la zona protegida no presentan ningún patrón que se asemeje a la curva normal y partiendo del hecho que el p-valor de referencia para aceptar la H_1 o hipótesis alternativa está en el 0.05, a excepción de la cobertura específica para frailejones, todas rechazan la hipótesis nula.

En contraste, retomando el estadístico para el conteo de frailejones, a pesar de que el estadístico marca el valor más grande de todas las variables, su valor de significancia no rechaza la hipótesis nula, esto puede asumirse a la gran variabilidad del conteo de individuos por subparcela; estos valores extremos generan una perturbación en la distribución de frecuencias, mostrando por un lado que los valores observados no se ajustan a una predicción normal, pero los valores extremos analizados a través de los gráficos de caja, hacen que sea aceptada la hipótesis alternativa.

Ahora bien, en el caso de la zona impactada se tiene un mayor volumen de variables a estimar para la prueba de normalidad, pues como se ha comentado anteriormente, los desarrollos sub arbóreo, arbóreo inferior, población de hongos y pinos, no se encontraban en las parcelaciones asociadas a la zona protegida.

Tabla 6. Prueba de normalidad: zona impactada.

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Rasante	0,340	20	0,000	0,723	20	0,000
Herbáceo	0,306	20	0,000	0,737	20	0,000
Arbustivo	0,213	20	0,018	0,797	20	0,001
Subarbóreo	0,108	20	0,200	0,956	20	0,475
Arbóreo_inferior	0,379	20	0,000	0,557	20	0,000
N_Pinos	0,086	20	0,200	0,966	20	0,680

N_Frailejones	0,289	20	0,000	0,738	20	0,000
N_Hongos	0,264	20	0,001	0,802	20	0,001

Fuente: el autor.

En la zona impactada, como lo muestra la tabla 5, indica un comportamiento similar a los resultados encontrados en la prueba de normalidad para la zona protegida, con unos estadísticos W cercanos a 1 con un p-valor de 0.48 y 0.68 para las variables de pinos y vegetación de desarrollo subarbóreo respectivamente, que en síntesis, son los pinos que tenían dicho desarrollo.

Frente a la prueba de normalidad anteriormente detallada, se procede a comentar los estadísticos descriptivos teniendo un énfasis en los percentiles, pues al hablar de que se desconoce la distribución a la cual están asociadas los datos tomados en campo, el valor de la media pierde peso analítico al compararlo con la mediana (Percentil 50) en donde la validez del análisis es más consecuente con lo encontrado en campo y los contrastes teóricos frente a la posible distribución de los datos. Así de este modo se muestran las tablas correspondientes a las zonas protegida e impactada.

Tabla 7. Estadísticos descriptivos: zona protegida.

Variable	N	Media	Desviación estándar	Percentiles		
				25	50 (Mediana)	75
Rasante	17	228,18	243,348	37,00	65,00	447,00
Herbáceo	17	88,18	71,667	15,00	110,00	147,00
Arbustivo	17	12,59	14,569	0,00	3,00	30,00
N_Frailejones	17	285,18	226,858	58,50	227,00	436,00
N_Hongos	17	0,29	0,849	0,00	0,00	0,00

Fuente: el autor.

En el entorno protegido se tiene una amplia dispersión de los datos al considerar la desviación estándar, pues al comparar la media de cada variable, se evidencia una amplia separación de los datos, esta afirmación se puede apoyar desde el caso de la variable *Rasantes*, se puede ver que la media representa un aumento del 250% sobre el valor de la mediana aproximadamente, esto obedece a que la distribución de los datos con respecto a sus frecuencias, se observaría una mayor aglomeración de individuos hacia conteos más bajos.

A modo complementario, las otras variables registran un comportamiento más similar entre sí, destacando una desviación estándar casi igual a los valores promedio, por lo cual al momento de revisar las frecuencias de cada conteo se evidencian valores tanto mínimos como máximos agrupados. Esta variabilidad se explica desde el orden del muestreo vegetal, al sectorizar las parcelas de manera

aleatoria, algunas zona presentaban un mayor volumen de masa vegetal, lo que representaba un mayor conteo de especies y por ende una distribución agregada al compilar todos los datos en un mismo conjunto.

Paralelamente los datos encontrados en la zona impactada muestran una mayor uniformidad de los datos en el sentido de que la desviación estándar no supera el 15% de distanciamiento frente al promedio de su variable, pero de igual manera se evidencia agrupación de frecuencias en conteos bajos, tal como se puede evidenciar en la siguiente tabla.

Tabla 8. Estadísticos descriptivos: zona impactada.

Variable	N	Media	Desviación estándar	Percentiles		
				25	50 (Mediana)	75
Rasante	20	30,50	43,290	1,00	8,00	59,75
Herbáceo	20	9,25	13,392	0,00	2,00	15,25
Arbustivo	20	3,15	3,964	0,00	2,00	5,50
Subarbóreo	20	14,90	9,973	7,00	16,00	21,00
Arbóreo_inferior	20	2,35	4,880	0,00	0,00	2,00
N_Pinos	20	20,85	9,906	12,25	20,00	29,50
N_Frailejones	20	13,10	18,223	1,00	5,00	19,50
N_Hongos	20	3,85	4,356	0,00	2,00	8,75

Fuente: el autor.

Como se comentó anteriormente, los conteos registrados en la zona impactada resultaron más inferiores en la frecuencia de individuos al ser comparados con la zona protegida, generando por una parte una uniformidad en la distribución de frecuencias, pero así mismo, tal como se evidenció en las pruebas de normalidad, no es posible asociar una distribución en función del histograma de las variables, generando la necesidad de operar otro estadístico adicional frente a la prueba de Shapiro-Wilk.

En consecuencia de lo anterior, en aras de identificar una distribución a la cual se ajusten los datos tomados en campo, es necesario conocer si existen diferencias significativas frente al cambio de zona, para conocer esta diferencia se hace uso un arreglo BCA para organizar los datos de manera tal que se pueda observar un contraste consecuente tanto en las zonas elegidas, como en la orografía encontrada.

Tabla 9. Diseño BCA en función de la pendiente y zona para la variable de humedad.

Gradiente: ligeramente inclinado	Sub parcela 1	Sub parcela 2	...	Sub parcela n
Zona protegida	<i>Val (Hum.)</i>	<i>Val (Hum.)</i>	...	<i>Val (Hum.)</i>
Zona impactada	<i>Val (Hum.)</i>	<i>Val (Hum.)</i>	...	<i>Val (Hum.)</i>
Gradiente: quebrado	Sub parcela 1	Sub parcela 2	...	Sub parcela n
Zona protegida	<i>Val (Hum.)</i>	<i>Val (Hum.)</i>	...	<i>Val (Hum.)</i>
Zona impactada	<i>Val (Hum.)</i>	<i>Val (Hum.)</i>	...	<i>Val (Hum.)</i>

Fuente: el autor.

Con este marco de datos, se procede a mirar de manera detallada a través del estadístico de la prueba de Friedman, observar diferencias frente a los tratamientos anteriormente organizados, cabe comentar que el arreglo es común a todas las variables, así de ese modo se podrá concretar si existen diferencias significativas entre las variables de las zonas estudiadas.

Tabla 10. Prueba de Friedman

Estadísticos de contraste				
Variable	N	X ²	gl	Sig. Asintót.
Gradiente: ligeramente inclinado				
Pinos	19	0,053	1	0,819
Frailejones	19	10,889	1	0,001
Hongos	19	2,579	1	0,108
Humedad	19	19,000	1	0,000
Gradiente. quebrado				
Pinos	18	0,222	1	0,637
Frailejones	18	2,000	1	0,157
Hongos	18	2,250	1	0,134
Humedad	18	18,000	1	0,000

Fuente: el autor.

Dados los resultados por la prueba de Friedman se pueden destacar que las variables *Frailejones* y *Humedad*, ésta última para ambos gradientes de inclinación, presentan una diferencia significativa frente al cambio de la zona estudiada, fijando como patrón de cambio la pendiente del terreno, situación que se ha corroborado de manera espacial en las parcelaciones realizadas, y ahora respaldado de manera estadística.

De este modo se puede enmarcar que la estadística descriptiva ejecutada en apartados anteriores expone de manera clara la variabilidad de la cobertura vegetal en los dos escenarios de estudio. En primer lugar se debe mencionar la gran diferencia encontrada entre frecuencia de individuos de una zona a otra, si bien las parcelas fueron seleccionadas al azar teniendo unos parámetros de campo

preestablecidos, como la pendiente, es notable que en los registros de campo se tenga en el mejor de los casos, una diferencia del 150% en el caso de los desarrollos vegetales de la zona protegida a la impactada.

Ahora bien, al contrastar las variables de especies preseleccionadas, se tiene una situación muy similar, por supuesto, al estar ubicado en una zona protegida, el conteo de pino es nulo, sin embargo, la variabilidad se torna interesante al momento de empatar, con la pendiente y la humedad, la zona impactada. En este escenario se evidencia un fenómeno de adaptación entre las dos especies, teniendo en cuenta que en donde se encontraron frailejones de desarrollo rasante y en un estado saludable, en un radio de 500m se encontraba un cuerpo hídrico grande, con un área aproximada de 7.5 Ha, para citar un caso específico, pues en las otras parcelas de la zona impactada los frailejones se encontraban en un estado de marchitamiento fácilmente identificable.

Paralelamente las especies de mayor desarrollo vegetal se encuentran ligadas a los pinos, por ende, esta cobertura estuvo presente tan solo en la zona impactada y no es posible condicionar un concepto comparativo frente a las dos zonas de estudio, no obstante, cabe comentar que a mayor número de subarbóreos se registraba una menor cantidad de rasantes.

Correlación estadística

Ahora bien, se procede a analizar la correlación existente entre las variables Frecuencia de especies (Frailejón o pino) y los registros de humedad.

En ese orden de ideas, las siguientes tablas que se presentan estarán acordes al nivel de correlación de humedad y cobertura, en términos del desarrollo vegetal, o cobertura por especie vegetal específica, ya sean frailejones, pinos u hongos.

Tabla 11. Correlación cobertura vs. Humedad: zona protegida; Quebrado.

Correlación de Spearman		Rasante	Herbáceo	Arbustivo
Humedad	Coeficiente de correlación	0,429	0,539	0,160
	Sig. (bilateral)	0,289	0,168	0,706

Fuente: el autor.

En la primera aproximación frente a las correlaciones no paramétricas, se tiene para este primer escenario, que si bien los coeficientes marcan correlaciones moderadas, no son estadísticamente significativos, esto puede darse en un primer momento por el volumen de datos manejados, que para el caso de la pendiente media, se registraron sólo 8 casos, esto condiciona mucho el resultado final al momento de evaluar la significancia del coeficiente de correlación entre los datos de humedad con los datos de frecuencias de desarrollo vegetal.

Cabe destacar que esta correlación se hace frente a 8 muestras, como ya se comentó en el párrafo anterior, a diferencia de las 17, pues nueve de ellas se encontraron en un gradiente correspondiente a ligeramente inclinado, y esto agrega ruido a la correlación, ya que en apartados anteriores se ha podido determinar que el papel orográfico de las zonas estudiadas cambian de manera diferenciable los datos de humedad y coberturas.

Tabla 12. Correlación especie vs. Humedad: zona protegida; quebrado.

Correlación Spearman		N_Pinos	N_Frailejones	N_Hongos
Humedad	Coeficiente de correlación	.	0,491	0,733
	Sig. (bilateral)	.	0,217	0,039

Fuente: el autor.

En la tabla 12, se puede observar una relación positiva media en frailejones y positiva considerable en hongos, aunque estos últimos al ser valores menos frecuentes dentro del conteo general, pues la frecuencia de hongos, dentro de 4 posibles parcelas, no alcanzó el siquiera 10% sobre el conteo global de frailejones en la zona protegida.

Sobre la correlación con los frailejones, es importante considerar el hecho de que a pesar que estadísticamente no hay significancia entre los valores de humedad y frecuencia de frailejones, el coeficiente de correlación muestra una concordancia directa entre las dos variables, nuevamente la cantidad de datos para asociar es reducida para tener un criterio mejor respaldado, dadas las características del terreno y del ecosistema.

En otro contexto, para la zona impactada se tiene una mejor perspectiva de los datos, pues se tiene homogeneidad en la categorización de pendiente baja y media, teniendo una cobertura de 10 muestras para la categoría de pendiente baja y otras 10 muestras para la pendiente media, a continuación se relacionan los coeficientes de Spearman para el tipo de desarrollo vegetal en la zona impactada en función de la humedad hallada.

Tabla 13. Correlación cobertura vs. Humedad: zona impactada; ligeramente inclinado.

Correlación Spearman		Rasan.	Herbác.	Arbust.	Subarbóreo	Arbóre. Inf.
Humedad	Coeficiente de correlación	0,043	-0,213	-0,766	-0,479	0,348
	Sig. (bilateral)	0,907	0,554	0,010	0,162	0,324

Fuente: el autor.

En la pendiente baja, se puede observar que los valores asociados a desarrollos vegetales más grandes, la humedad tiende a disminuir, o como se expresa en la

tabla, a mayor humedad, menor será el conteo de especies arbustivas, con un nivel de significación bastante bueno (99%). Con respecto a las otras categorías se puede ultimar que los datos no logran ser concluyentes debido a los niveles de significancia registrados, pues el valor de correlación se debe a una situación del azar que a las propiedades entre las dos variables que se contrastan.

Tabla 14. Correlación cobertura vs. Humedad: zona impactada; quebrado.

Correlación Spearman		Rasan.	Herbác.	Arbust.	Subarbóreo	Árbore. Inf.
Humedad	Coeficiente de correlación	0,849**	0,841**	0,166	-0,746*	-0,696*
	Sig. (bilateral)	0,002	0,002	0,646	0,013	0,025

Fuente: el autor.

En este caso, en donde la pendiente tiene un mayor pronunciamiento, superior a los 10°, se puede ver claramente la variación del desarrollo vegetal, en función de la humedad presente en las parcelas impactadas estudiadas. En este caso se tienen niveles de correlación muy altos en donde a mayores valores de humedad es muy seguro que se encuentren especies de desarrollo rasante o herbáceo y menos especies de desarrollo subarbóreo o arbóreo inferior, esta correlación corrobora los dos anteriores desarrollos realizados, en donde se presumía de una relación cercana entre las variables del sistema suelo-orografía-planta, y este coeficiente de correlación afirma dicha presunción.

Tabla 15. Correlación especie vs. Humedad: zona impactada; ligeramente inclinado.

Correlación Spearman		N_Pinos	N_Frailejones	N_Hongos
Humedad	Coeficiente de correlación	-0,492	-0,584	-0,188
	Sig. (bilateral)	0,148	0,077	0,603

Fuente: el autor.

Continuando con las apreciaciones frente a las correlaciones encontradas en el desarrollo vegetal, ahora se abordará la correlación encontrada por especie destacada, es decir entre pinos, frailejones y hongos. De este modo se puede observar que la tabla anterior muestra una perspectiva interesante al momento de relacionar la humedad con las especies vegetales específicas; dando como resultado una relación inversa de la cantidad de especies contabilizadas frente al porcentaje de humedad gravimétrica, en donde a mayor humedad, menor la cantidad de individuos.

Ahora bien, si se tiene en cuenta el coeficiente de Spearman, se puede señalar una correlación negativa moderada en pinos y frailejones, presentado por otro lado una

muy baja correlación con la cantidad de hongos hallados, adicionalmente al observar los valores de significancia estadística es evidente que la variedad hallada tiene que ver con la cantidad contabilizada de estas especies, y si bien los valores analizados se encuentran en una pendiente baja, por la presencia de pinos, una especie vegetal caracterizada por abarcar grandes volúmenes de agua en las etapas de crecimiento [5], las especies endémicas al estar contrastadas con la humedad se presenta un relación negativa en el mismo sentido de competencia de especies.

En ese orden de ideas, al tener una pendiente media, los resultados obtenidos, como lo muestra la siguiente tabla, tienen una perspectiva diferente frente al bloque de parcelas protegidas evaluadas en las mismas condiciones categóricas de pendiente, esperando que el gradiente afecte de manera inversa la relación del conteo de especies.

Tabla 16. Correlación especie vs. Humedad: zona impactada; quebrado.

Correlación Spearman		N_Pinos	N_Frailejones	N_Hongos
Humedad	Coeficiente de correlación	-0,382	0,679	0,634
	Sig. (bilateral)	0,276	0,031	0,049

Fuente: el autor.

Por último, la correlación hallada entre la humedad y las especies vegetales, a una pendiente media en la zona impactada, se interpreta como un tema de discusión frente a los resultados anteriormente obtenidos. Puntualizando esta zona, se puede ver una correlación alta entre la humedad y el conteo de frailejones con un p-valor significativo, al igual que el conteo de hongos. Contrariamente a las dos especies anteriores, los pinos muestran una relación negativa baja con el aumento en la humedad registrada en las zonas estudiadas, estos resultados dan lugar a una discusión interesante pues desde la perspectiva de la orografía se evidenciaba el estado esperado de a menores pendientes, mayor registro de humedad y número de especies endémicas, teniendo en cuenta los atenuantes contextuales de las dos zonas de investigación.

En términos comparativos, es impreciso comparar las zonas entre ellas pues la significancia estadística no fue común para ambos escenarios, dando como resultado un estado en donde los datos se muestran confiables, pero en otros no, sin embargo, si es posible analizar el estado que presenta cada zona de manera independiente, haciendo alusión a que el contexto macro de la investigación se centra en un solo ecosistema: el páramo.

Por lo cual, teniendo en cuenta el planteamiento anterior, la zona protegida presenta la particularidad de arrojar datos que no presentan una correlación validada desde el punto de vista estadístico, esto puede deberse principalmente a la variabilidad de

las frecuencias tomadas en campo, pues es impreciso determinar una correlación cuando los valores máximos están muy alejados del valor promedio del conjunto de datos tomados. Caso que no sucedió con la zona impactada en donde se observaron comportamientos entre las variables seleccionadas estadísticamente significativos y así mismo estos datos dan una luz más aproximada frente al estado panorámico que se espera de una intervención forestal no endémica en un ecosistema sensible en términos hídricos.

Dichos comportamientos se encuentran sustentados en gran parte por la orografía del terreno en donde al discriminar por pendiente, los valores efectivamente evidencian una tendencia de correlación, pues al englobar todos los datos bajo un mismo escenario, no es posible observar ninguna relación. En ese sentido, es plausible confirmar la influencia de las condiciones orográficas, por lo menos, del desplazamiento de la humedad sub superficial, y cómo esta se involucra en la cantidad relativa de individuos.

Resumiendo este apartado, es preciso comentar que las correlaciones evidenciadas en las dos zonas ofrecen un panorama poco certero frente al comportamiento del sistema *Humedad-Vegetación*. Ahora bien, es importante conocer entre las variables más relevantes del levantamiento vegetal realizado, cuál es la que tiene un mayor peso al momento de evaluar la humedad presentada en las sub parcelas realizadas, así en este sentido, a través de un modelo lineal generalizado se podrá estimar de manera puntual si existen, o no, aportes significativos.

7.4. Modelo lineal generalizado

En términos metodológicos, una de las últimas actividades analíticas a realizar es la de señalar los aportes significativos en términos estadísticos, que hacen o no las especies vegetales en los valores de humedad encontrados y para ello se levantará un MLGnz (Modelo Lineal Generalizado) el cual por medio de una función de enlace podrá determinar el efecto que tiene las funciones de distribución asociadas a la variable a predecir que en este caso se trata de la humedad, y los factores asociados a la función de enlace son las variables de frailejones, pinos y hongos.

El tratamiento de los MLGnz se caracterizó por zona; protegida e impactada, para la observación comparativa posterior. En ese orden de ideas, se debe proceder a verificar la homogeneidad de los residuos de las variables que serán tratadas en los modelos; el valor residual de la *devianza* y el valor lineal del predictor (ver anexo D).

En consecuencia de lo anterior, para generar los ensayos del MLGnz es necesario conocer la distribución de los datos para así determinar la función de enlace idónea para el predictor lineal [21]. Por lo tanto atendiendo a la idea anterior, es necesario conocer la distribución de los datos a la que más se asemeja de manera teórica a la variable que se desea predecir, que en este caso se refiere a la humedad

gravimétrica en las zonas estudiadas, para ello se realiza otra prueba no paramétrica: la prueba de bondad de ajuste no paramétrica.

Esta prueba, permite conocer el nivel de diferencia entre la distribución observada y la distribución teórica, en donde su estadístico determina qué tan ajustadas están ambas distribuciones cuan más cercano esté a cero [29].

En ese orden de ideas, por medio del software *Mathware Easy fit 5.6* se selecciona la función de distribución de probabilidades que mejor similitud presenta al momento de ajustar los datos a dicha función, la cual a través de una prueba de bondad de ajuste de Chi-cuadrado y de Kolmogorov-Smirnov se puede seleccionar la más idónea para realizar las primeras configuraciones del modelo lineal generalizado.

Tabla 17. Prueba de bondad de ajuste de X^2 de Pearson para la variable de humedad: zona protegida.

Prueba de X^2 de Pearson				
Distribución	Estadístico X^2	P-valor	valor crítico	Sig.
Exponencial	0,14	0,71	3,84	0,05
Gamma	1,95	0,16	3,84	0,05
Prueba de Kolmogorov-Smirnov				
Distribución	Estadístico D	P-valor	valor crítico	Sig.
Exponencial	0,29	0,08	0,32	0,05
Gamma	0,19	0,54	0,32	0,05

Fuente: el autor

Esta prueba de bondad, como se comentó anteriormente, ajusta la distribución de los datos tomados en campo en una distribución teórica, que en este caso se seleccionaron previamente las distribuciones Gamma y exponencial, ya que éstas mostraron un mejor ajuste preliminar al momento de visualizar la función dentro del histograma de la variable humedad. No obstante es necesario acudir al estadístico de prueba para verificar de manera precisa qué distribución es la más adecuada para crear el modelo lineal generalizado.

Hasta ahora, en la tabla 17 se evidencia una discrepancia entre las pruebas aplicadas para las dos distribuciones, de este modo se procede a ejecutar la prueba para la zona intervenida para verificar los resultados numéricos en este escenario. En ese orden de ideas, en el caso en que se presente un patrón más uniforme en la zona impactada se procederá a evaluar los estadísticos de coeficiente más bajo ya que éstos son lo que determinara el ajuste de los datos frente a la distribución teórica: cuan menor sea el coeficiente, mejor ajuste se tiene [28].

Tabla 18. Prueba de bondad de ajuste de X^2 de Pearson para la variable de humedad: zona impactada.

Prueba de X^2 de Pearson				
Distribución	Estadístico X^2	P-valor	valor crítico	Sig.
Exponencial	1,21	0,55	5,99	0,05
Gamma	0,22	0,89	5,99	0,05
Prueba de Kolmogorov-Smirnov				
Distribución	Estadístico D	P-valor	valor crítico	Sig.
Exponencial	0,23	0,21	0,29	0,05
Gamma	0,18	0,48	0,29	0,05

Fuente: el autor.

Para el caso de la zona impactada, acudiendo a la tabla 18 se puede evidenciar que la distribución Gamma presenta el mejor ajuste en ambas pruebas de bondad de al mismo nivel de significación, y si bien en la tabla 16, para la prueba de X^2 de Pearson, la distribución de Gamma tiene un estadístico más alto que el de la distribución exponencial, su valor P es más bajo lo cual implica una menor probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando ésta es cierta [18].

Así de este modo la distribución a elegir para construir el MLGnz será la de Gamma, por supuesto cabe resaltar que el contraste de los datos con respecto a la distribución teórica es más alejada en la zona protegida que en la impactada, pero de todos modos la significancia estadística asegura que la distribución de datos tomada en campo se puede apreciar como una distribución Gamma.

Establecimiento de la ecuación del modelo

Teniendo previo conocimiento frente a los ensayos de ajuste de Chi cuadrado, se puede tener como punto inicial que la distribución a trabajar es gamma, y la función de enlace para este tipo de distribuciones, en estudios agrícolas, medioambientales se estima con una función de potencia de la manera [20]:

$$\eta = \frac{1}{\mu}$$

- μ ; valor esperado de la variable de respuesta.
- η ; predictor lineal.

Así de esta manera la variable de respuesta que viene a ser la variable de humedad, se encontrará condicionada frente al predictor lineal que corresponde a las regresiones de las variables de las especies vegetales contabilizadas; pinos, frailejones y hongos. Con este arreglo de variables se entablan los parámetros del modelo lineal generalizado, que a través del software *IBM SPSS Statistics 20* arroje los resultados del parámetro B, el cual indica el nivel de influencia sobre el valor predicho de la humedad, en función de los factores condicionantes.

Ahora bien, para dar paso al avistamiento de los resultados, el modelo está ajustado a los siguientes parámetros:

1. Distribución Gamma con una función de enlace de potencia expresada de la forma $\eta=1/\mu$.
2. La variable dependiente del modelo es la humedad.
3. Los predictores del modelo son los factores del conteo de pinos, frailejones y hongos. El modelo no contará con covariables.
4. El modelo sólo estimará los efectos principales, pues a partir de ellos, se podrá identificar el impacto de cada uno de los factores frente a la variable de respuesta y su efecto sobre el modelo.
5. Por último las estimaciones de los parámetros se realiza por medio de una estimación robusta, dada la naturalidad de los datos analizados en apartados anteriores.

Adicionalmente es necesario acotar que las precisiones que se realizan del modelo propuesto en esta investigación se fundamentan en los datos tomados en campo, con el único objetivo de evidenciar qué factores condicionan la humedad en las zonas seleccionadas, razón por la cual el alcance de este modelo se limita a las variables de control, que se establecieron desde el marco metodológico.

Por último, para dar paso a la visualización de los resultados de los modelos es preciso comentar, que los modelos se sectorizaron por zona estudiada, es decir, que se tiene una perspectiva comparativa frente a la fuerza de los factores que influyen en la variable de respuesta, en un escenario protegido e impactado.

Prueba de Ómnibus

Es prueba estadística de X^2 de la razón de verosimilitud, la cual en términos sencillos habla de qué tan bueno es un modelo frente a su homólogo nulo, para citar el ejemplo en esta investigación, sencillamente se habla de qué tan preciso llega a ser el modelo incluyendo los factores que condicionan la respuesta, frente a un modelo en donde no existen variables predictores; lo que se conoce como modelo nulo [30]. A continuación se muestra la tabla con la prueba Ómnibus para los modelos en ambas zonas.

Tabla 19. Contraste Omnibus para la zona protegida.

Contraste Omnibus		
Chi-cuadrado de la razón de verosimilitudes	gl	Sig.
35,935	15	0,002

Fuente: el autor.

Como se aprecia en la tabla anterior, el modelo ajustado para el factor predictor *Frailejones* tiene un mejor desempeño frente al modelo nulo, con un p-valor de 0.002. Adicionalmente cabe mencionar que los otros factores al ser añadidos al modelos no muestran una significancia tolerable para la cual se aceptable interpretar o analizar los datos frente a las estimaciones del parámetro B, por lo cual este modelo junto con su futura interpretación tan solo abordará el factor de *Frailejones* como único predictor.

Tabla 20. Contraste Ómnibus para la zona impactada.

Contraste Omnibus		
Chi-cuadrado de la razón de verosimilitudes	gl	Sig.
30,570	16	0,015

Fuente: el autor.

Por otra parte, de manera similar, en la zona impactada se presenta una situación en la cual los factores de *Frailejones* y *Hongos* no se ajustan al modelo establecido, inclusive tratándolos de manera independiente, haciendo inviable una interpretación precisa sobre los resultados arrojados por el modelo, haciendo que el modelo con la variable *Pinos* como único factor predictor sea mejor que el modelo nulo con una significancia de 0.015.

Teniendo en cuenta los contrastes hallados en ambos escenarios, se procede a realizar un análisis sobre los valores del coeficiente B del MLGnz, el cual identifica la magnitud y relevancia de la influencia existente sobre la variable dependiente.

Interpretación de los valores predictores

El primer escenario a estudiar será la zona protegida, en donde se tiene los siguientes datos asociados a la influencia de la variable *Frailejones* frente al modelo, junto con los valores de B asociados a cada valor encontrado en las parcelas integrantes de esta zona.

Tabla 21. Contraste de los efectos del modelo para la zona protegida.

Contrastes de los efectos del modelo			
Origen	Tipo III		
	Chi-cuadrado de Wald	gl	Sig.
(Intersección)	7570,760	1	0,000
N_Frailejones	15,506	1	0,000

Fuente: el autor.

Tal como se ha comentado anteriormente, los factores de *Pinos* y *Hongos* para la zona protegida no se ajustaron en el modelo ya que los efectos que producían en el mismo, no eran de una interpretación significativa, ya que era más fiable un modelo nulo. Ahora bien, teniendo en cuenta que la prueba de contraste demuestra que el

factor *Frailejones* en la zona protegida si tiene un efecto significativo sobre la variable dependiente a través del modelo, es preciso evidenciar ese efecto, factor por factor, para identificar de manera general dicho efecto sobre la humedad encontrada en la zona protegida.

Tabla 22. Estimación de los parámetros para la zona protegida.

Estimaciones de los parámetros						
Parámetro	B	Típ. Error	Intervalo de confianza de Wald 95%		Contraste de hipótesis	
			Inferior	Superior	Chi-cuadrado de Wald	Sig.
(Intersección)	0,017	0,0036	0,010	0,024	21,552	0,000
[N_Frailejones=21]	0,003	0,0056	-0,008	0,014	0,287	0,592
[N_Frailejones=51]	0,003	0,0055	-0,008	0,013	0,206	0,650
[N_Frailejones=55]	-0,010	0,0038	-0,018	-0,003	7,578	0,006
[N_Frailejones=62]	-0,008	0,0041	-0,016	-7,400E-005	3,913	0,048
[N_Frailejones=191]	-0,013	0,0037	-0,020	-0,006	12,693	0,000
[N_Frailejones=193]	0,007	0,0062	-0,005	0,019	1,193	0,275
[N_Frailejones=196]	-5,067E-005	0,0051	-0,010	0,010	0,000	0,992
[N_Frailejones=227]	-0,011	0,0038	-0,019	-0,004	8,847	0,003
[N_Frailejones=263]	0,015	0,0077	0,000	0,030	3,610	0,057
[N_Frailejones=361]	-0,004	0,0046	-0,013	0,005	0,667	0,414
[N_Frailejones=382]	-0,002	0,0048	-0,012	0,007	0,238	0,626
[N_Frailejones=399]	-0,004	0,0046	-0,013	0,005	0,713	0,398
[N_Frailejones=473]	-0,007	0,0042	-0,015	0,001	2,959	0,085
[N_Frailejones=527]	-0,003	0,0048	-0,012	0,007	0,279	0,598
[N_Frailejones=531]	-0,005	0,0044	-0,014	0,004	1,262	0,261
[N_Frailejones=861]	0 ^a	.	.	.	.	.
(Escala)	0,046 ^b	0,0158	0,024	0,090		

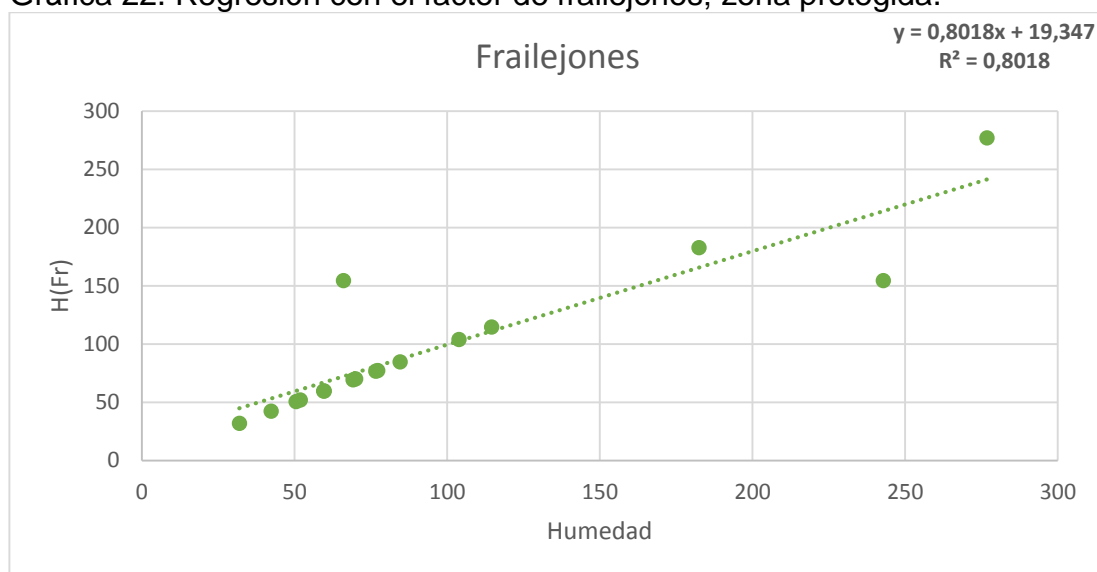
Fuente: el autor.

La tabla 22 muestra el coeficiente B junto con sus respectivos intervalos de confianza y el contraste de hipótesis, este coeficiente muestra, cuando el predictor se trata de un factor, que el valor del mismo es directamente proporcional al efecto sobre la variable dependiente, en otras palabras, a un mayor valor del coeficiente B, mayor será la incidencia que el factor de *frailejones* tenga sobre la humedad estimada en el modelo. Por otra parte el signo relacionado con el coeficiente B se asocia a nivel comparativo frente a los demás valores registrados en la variable *Frailejones*. En este caso se puede puntualizar que una subparcela con 51 *Frailejones* tiene una tasa de humedad más baja que una subparcela con 263 *Frailejones* (Contrastando el B (51) = 0.003 frente al B (263) = 0.015).

Adicionalmente es preciso evaluar la proporción de variación de la variable de respuesta que explica el modelo, para ello se establece una relación entre la devianza del modelo nulo y el modelo que anteriormente se ejecutó, esta relación es una equivalente al R^2 de un modelo lineal general. En este sentido se tiene que el modelo explica en un 87% la variación de la humedad frente a los valores pronosticados (ver anexo D).

Relacionando las precisiones del párrafo anterior, se procede a cotejar los valores pronosticados por el modelo con los valores reales tomados en campo, de este modo se podrá tener una apreciación numérica de qué tan ajustados se encuentren estos dos conjuntos de valores.

Gráfica 22. Regresión con el factor de frailejones; zona protegida.



Fuente: el autor.

Al evidenciar la gráfica 22, se puede entender que el valor pronosticado aportado por el modelo se ajusta de manera aceptable, teniendo en cuenta que el valor máximo del coeficiente R^2 es 1, significando éste una correlación perfecta. Ahora bien es preciso comentar que las dinámicas presentes en un ecosistema de páramo y en cualquier otro, no sólo se limitan a las interacciones entre el sistema *suelo-vegetación*, sino éstas interacciones son mucho más amplias y complejas [5], esto se traduce a que en ese sistema aislado de todas esas interacciones, un coeficiente de correlación de 0.8 es un buen indicador de que los frailejones coaccionan los valores de humedad en la zona protegida.

En función de los resultados anteriores, es preciso completar el marco analítico de la modelación, de este modo se tiene que estructurar el modelo, para la zona impactada, evaluando qué combinación de factores es más plausible para el posterior análisis de los valores pronosticados. En ese orden de ideas, se procede

a contrastar los posibles modelos con el Criterio de Información de Akaike (AIC), frente a este criterio se encontró que el mejor modelo a ejecutar es el que se encuentra integrado por los factores de frailejón y de pino (Ver anexo D).

Tabla 23. Contraste de los efectos del modelo para la zona impactada.

Contrastes de los efectos del modelo			
Origen	Tipo III		
	Chi-cuadrado de Wald	gl	Sig.
(Intersección)	1758,081	1	0,000
N_Pinos	58,487	7	0,000
N_Frailejones	37,560	2	0,000

Fuente: el autor.

Como se aprecia en la tabla 23, el efecto provocado por la variable *Pinos* resulta ser significativa para predecir la humedad en una regresión de la distribución Gamma, con un nivel de significación estadística de 0.015 haciendo alusión que el la variable de *pinos* como predictor, tiene peso para el resultado pronosticado de la humedad.

Tabla 24. Estimación de los parámetros para la zona impactada.

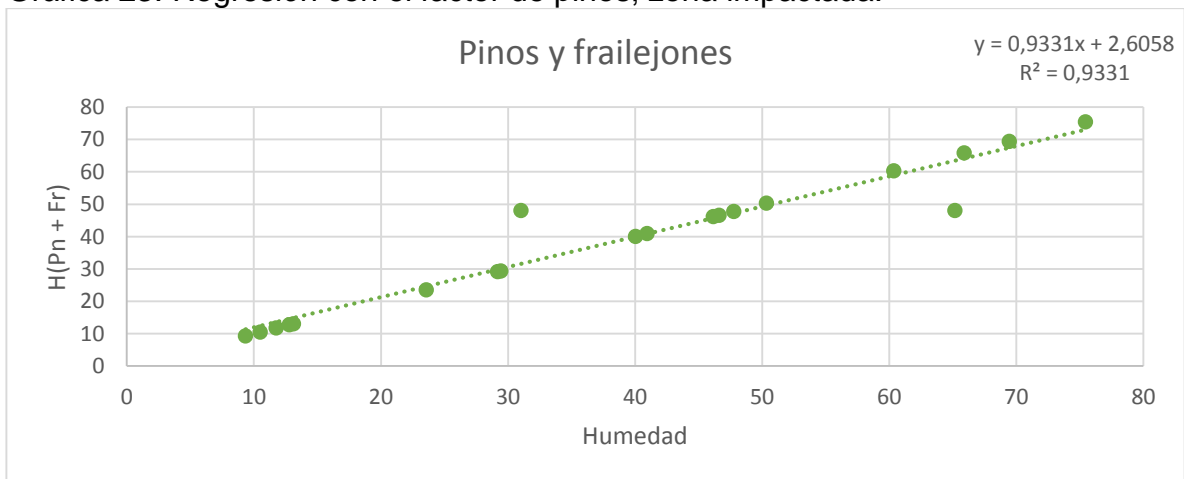
Estimaciones de los parámetros						
Parámetro	B	Típ. Error	Intervalo de confianza de Wald 95%		Contraste de hipótesis	
			Inferior	Superior	Chi-cuadrado de Wald	Sig.
(Intersección)	0,015	0,0018	0,012	0,019	74,299	0,000
[N_Pinos=5]	0,010	0,0034	0,003	0,016	8,361	0,004
[N_Pinos=6]	0,027	0,0052	0,017	0,038	27,200	0,000
[N_Pinos=7]	-0,002	0,0023	-0,006	0,003	0,674	0,412
[N_Pinos=12]	0,080	0,0112	0,058	0,102	51,254	0,000
[N_Pinos=13]	-0,001	0,0024	-0,006	0,004	0,101	0,751
[N_Pinos=17]	0,009	0,0033	0,003	0,016	7,695	0,006
[N_Pinos=18]	0,005	0,0029	-0,001	0,010	2,619	0,106
[N_Pinos=19]	0,084	0,0115	0,062	0,107	53,953	0,000
[N_Pinos=21]	0,061	0,0090	0,043	0,079	45,886	0,000
[N_Pinos=23]	0,006	0,0031	0,000	0,013	4,476	0,034
[N_Pinos=26]	0,006	0,0030	0,000	0,012	4,242	0,039
[N_Pinos=28]	0,092	0,0125	0,067	0,116	53,656	0,000
[N_Pinos=30]	0,019	0,0043	0,010	0,027	18,977	0,000
[N_Pinos=31]	0,063	0,0092	0,045	0,081	46,530	0,000
[N_Pinos=32]	0,006	0,0030	0,000	0,012	3,694	0,055
[N_Pinos=37]	0,149	0,0151	0,119	0,178	97,617	0,000
[N_Pinos=38]	0 ^a	.	.	.	.	.
[N_Frailejones=0]	-0,079	0,0112	-0,101	-0,057	49,249	0,000

[N_Frailejones=1]	0 ^a	.	.	.	.	.
[N_Frailejones=2]	0 ^a	.	.	.	.	.
[N_Frailejones=3]	0 ^a	.	.	.	.	.
[N_Frailejones=7]	0 ^a	.	.	.	.	.
[N_Frailejones=9]	0 ^a	.	.	.	.	.
[N_Frailejones=18]	0 ^a	.	.	.	.	.
[N_Frailejones=20]	0 ^a	.	.	.	.	.
[N_Frailejones=31]	0 ^a	.	.	.	.	.
[N_Frailejones=40]	0,013	0,0047	0,003	0,022	7,173	0,007
[N_Frailejones=51]	0 ^a	.	.	.	.	.
[N_Frailejones=60]	0 ^a	.	.	.	.	.
(Escala)	0,013 ^b	0,0042	0,007	0,025		

Fuente: el autor.

La primera diferencia que se puede resaltar de esta tabla frente a su homóloga de la zona protegida, es que los valores *B* son más altos, dando a entender que el factor predictor tiene más peso en predecir la humedad consecuente cuando se trata de analizar con pinos en conjunto con los frailejones, que con frailejones únicamente. Del mismo modo que en análisis de variación explicada por el modelo, se tiene que el D^2 es de 0.9647 esto implica una predicción bastante aproximada a la variación de la humedad pronosticada por los factores integrantes del modelo, pinos y frailejones. Así mismo como se relacionaron los valores pronosticados por el modelo en la zona protegida, a continuación se presenta un gráfico, integrando los valores de humedad hallados en campo y los valores pronosticados por el modelo para la zona impactada.

Gráfica 23. Regresión con el factor de pinos; zona impactada.



Fuente: el autor.

De manera similar a la zona protegida, la gráfica 23 muestra que la relación entre la humedad pronosticada por los pinos es más distante de los valores reales tomados en campo, mostrando un R^2 de 0.93, sin embargo, siguiendo con el desarrollo analítico de estos resultados, se puede contextualizar que pese al hecho de aislar

las demás interacciones que existen en un ecosistema para que presente las características naturales en sí, este escenario aislado, el sistema *suelo-pino+frailejón*, pertenece a un entorno en donde el páramo ha sido cambiado drásticamente, no obstante, la distancia entre los valores pronosticados frente a los valores reales se puede deber a que las interacciones de estas especies introducidas generan desequilibrios en las pequeñas interacciones ecosistémicas, como en este sistema *suelo-vegetación*, afectando de manera parcial el estado resiliente del macro sistema del entorno.

Teniendo en cuenta a las consideraciones de los resultados y análisis discutidos anteriormente, a lo largo de esta investigación y antes de indagar en el aporte proyectado de la misma al ámbito social y humanístico, es preciso consolidar todo el marco de observaciones, tomando los puntos más relevantes de cada fase, para desarrollar y justificar las aplicaciones en ingeniería.

Siguiendo el contexto anterior, se puede partir de la estructura compleja y poco estudiada entre la relación *vegetación endémica y los suelos de páramo* [31], esta aproximación frente al contexto suelo-vegetación, brinda herramientas concretas para justificar el desarrollo de estrategias de conservación de suelos y biodiversidad, siendo ésta una opción alterna y razonable tanto para la sostenibilidad del recurso hídrico como para el desarrollo económico de las comunidades rurales aledañas, un ejemplo sencillo frente a esta práctica es la de conservar las fronteras altitudinales y especies endémicas para conservar el recurso hídrico, y a través de investigaciones como ésta se pueden generar seguimientos técnicos y concretos de la viabilidad de la prestación de ese servicio ambiental.

En adición con el anterior punto de vista, atendiendo a uno de los componentes más importantes de la esencia de esta investigación, la gestión del territorio y los sistemas productivos, ya sean éstos agropecuarios o forestales, al estar enlazados directamente con el uso del suelo, es de vital importancia delimitar las fronteras de dichos usos, pues de este modo se encuentra un equilibrio entre la conservación de los recursos naturales y el desarrollo de las comunidades rurales.

Así de este modo, al tener un punto de comparación base como lo es una zona de protección en el páramo de Siscunsi se puede delimitar, o en un escenario más crítico generar alertas, de manera precisa en donde se esté vulnerando los límites de uso destinados a la conservación de este ecosistema, siendo una herramienta útil al momento de evaluar los planes de ordenamiento territorial analizando la gestión del territorio sobre datos concretos de variables que afectan directamente el ecosistema de páramo mas allá de una connotación paisajística.

Atendiendo a la idea anterior, es aquí donde entra la modelación estadística, pues a través de esta herramienta se pueden prevenir escenarios en donde se vulnere la estabilidad hídrica del ecosistema paramuno. No obstante, es necesario acotar que la eficiencia de esta herramienta dependerá de su nivel de precisión al momento de proyectar los valores estimados en función de la estructuración del modelo, acotando las variables de mayor significancia para la variable que se desea estimar.

En síntesis con las perspectivas planteada en este apartado, en ámbitos de ejecución en ingeniería, es interesante observar las variaciones de los factores y variables enmarcadas en otras zonas de vida, teniendo una visión más amplia para tener una cobertura más diversa en los servicios ecosistémicos; no sólo atendiendo a los de regulación, en donde se busca la conservación del recurso hídrico y evitando su contaminación por actividades antrópicas, sino también a los de aprovisionamiento o de apoyo, en donde las interacciones del sistema *suelo-vegetación* son vitales para mantener un equilibrio, ya sea en la productividad primaria o procesos de agricultura.

8. Impacto social, humanístico del proyecto

El páramo de Siscunsi, es una zona en la que si bien no colinda de manera inmediata con un casco urbano; si lo hace con algunas veredas la cuales, su desarrollo económico se destaca en las actividades agropecuarias y mineras principalmente [31]. No obstante varias zonas de éste páramo también se encuentran intervenidas forestalmente debido a programas de recuperación paisajística y otras de nivel productivo, dichas acciones han generado cambios abruptos en las dinámicas hídricas en función de la humedad del suelo [3].

Bajo ese contexto, la visión ofrecida en este trabajo de investigación justifica una continuidad de extender el estudio a entornos pecuarios y mineros, pues si bien en una zona forestalmente intervenida se evidenció un cambio en la humedad del suelo [11], los fenómenos mineros, que son de mayor preocupación, aportarán una visión más interesante al momento de corroborar el comportamiento dinámico frente a este nuevo escenario, pues son estas actividades las que impactan de manera más directa y rápida la integridad del páramo como un hidrosistema [32].

Ahora bien, como punto concluyente, el balance entre una estabilidad económica que representa los intereses a corto plazo de las comunidades inmediatamente involucradas con el páramo de Siscunsi, y una estabilidad ecosistémica en términos del equilibrio productivo forestal y de conservación de los entornos endémicos, que resuelven los intereses a mediano y largo plazo de las comunidades incluso circundantes a los cauces hídricos que soporta el páramo de Siscunsi, se torna delicada en el sentido del empoderamiento ecológico que tengan las comunidades protagonistas del páramo, pues sin la existencia de un compromiso frente a las actividades que desarrollan ahora, en los lapsos de mediano y largo plazo se verá comprometido el bienestar económico.

La herramienta desarrollada en esta investigación, da un primer paso hacia la creación de un marco contextual de cómo se encuentra el páramo al verse impactado por una actividad forestal al observar de manera exploratoria la existencia de pinos y su efecto sobre la humedad que involucra un ecosistema paramuno.

De este modo, en pro de la conservación de uno de los ecosistemas más fundamentelas en términos hídricos [9], la investigación fomenta el desarrollo intelectual de este tipo de estudios para fortalecer las herramientas de comunicación ajustando las conductas de producción desde el marco contextual de la zona de influencia.

9. Conclusiones

En concordancia con los objetivos planteados, esta investigación ha llegado a las siguientes conclusiones, en función de los planteamientos del desarrollo de los tres componentes descritos a lo largo del documento:

- En primer lugar, los datos tomados en campo revelan que la variación de la cobertura vegetal, en función de las variables de estudio seleccionadas, tiene su mayor impacto cuando se cambia de zona (de una protegida a una impactada) como es de esperarse. No obstante hay una variación más sutil el interior de cada zona, siendo el componente orográfico coaccionante de las frecuencias encontradas en lugares de mayor o menor grado de inclinación del terreno.
- Para las zonas estudiadas la diferencia de variación de la zona protegida frente a la impactada es grande en términos de conteo, con un 73% más de individuos especificados, comprendidos entre pinos, frailejones y hongos, entendiendo que en la zona protegida no se localizaron pinos, más del 95% que compone la variación frente a la zona impactada es a causa del volumen de frailejones hallados en la zona protegida, esto puede tener una trascendencia al proyectar a largo plazo la conversión a bosque en zona de páramo reduciendo sus servicios ecosistémicos [5].
- En el componente *suelo*, el cual abarca las variables de inclinación del terreno y humedad gravimétrica, se encuentran muy relacionados con las taxonomías halladas en las zonas evaluadas, pues es a partir de la naturalidad de éstos suelos de desarrollo joven, se puede observar que alguna de sus características físicas, como la textura es uno de los primeros indicadores de alteración física en los suelos del páramo de Siscunsi, cuando se contrasta una zona protegida de una impactada forestalmente.
- A nivel edáfico, la humedad presentó valores bajos en pendientes medias para la zona impactada, teniendo en la mayoría de los casos suelos de textura franco arenosa, en donde se localizaron exclusivamente especies forestales, caracterizando mayoritariamente al pino e incluyendo algunas especies rasantes. Adicionalmente se encontraron valores similares a los hallados en la zona protegida en parcelas donde se ubicaban especies y

estructuras endémicas paramunas, como musgo o incluso frailejones de desarrollo herbáceo, con la diferencia de que los suelos en esta zona obedecen a una textura franco limosa.

- La orografía también juega un papel importante confirmando de manera acertada el cambio de retención hídrico en un escenario protegido de uno impactado, por medio del gradiente de inclinación se evidencia la disminución en la capacidad de retener humedad, que a su vez queda señalado en la cobertura vegetal contextual de la zona, añadiendo el cambio que ha tenido la estructura física del suelo en éstas zonas.
- Para un escenario impactado, las variables que contrastan con el gradiente de humedad de manera inversa son las especies de desarrollo sub arbóreo y arbóreo inferior, las cuales están directamente relacionadas con los pinos. Así mismo para el escenario protegido la estructura del MLGnz propuesto define al factor de la cantidad de frailejones como un buen predictor de la humedad gravimétrica presente en la zona protegida.

10.Recomendaciones

Frente a las circunstancias halladas, tanto en el trabajo a campo como el trabajo analítico del mismo, la investigación realizada en el páramo de Siscunsi señala las siguientes recomendaciones:

- Para tener un mejor desempeño al momento de mirar la tendencia de la vegetación y estructuras físicas a nivel edáfico, se recomienda ampliar el marco de variables a comparar, incluyendo la conductividad, pH, granulometría, entre otros factores. De este modo se podrá tener una visión más holística de la interpretación del estado y posterior marco comparativo del escenario a estudiar junto con un modelo más robusto el cual se pueda validar tras por medio de más variables de control.
- Se recomienda a nivel comparativo relacionar las curvas de retención hídrica en tiempo estacional de bajas lluvias con el fin de verificar el contraste frente a la disminución de precipitación y destacar a nivel estructural edáfico cómo cambia la física del suelo.
- A fin de tener una profundización investigativa más enriquecedora, se recomienda evaluar el comportamiento a nivel subterráneo, identificando las vías de afluencia a los cuerpos hídricos superficiales a través de diferentes niveles del nivel freático de una zona puntual. Así se podrá dar un mejor seguimiento al recurso hídrico del páramo teniendo un mejor control sobre el uso al servicio ecosistémico de abastecimiento hídrico.

- A nivel ecológico, se recomienda estudiar el comportamiento alelopático de las especies insertadas halladas en las zonas impactadas del páramo de Siscunsi, con esto se podrá ampliar la visión frente a la competencia generada por este fenómeno, asociando el nivel de influencia de la especie con respecto a la abundancia relativa de las especies endémicas en función del área a estudiar.
- Con el propósito de visualizar el comportamiento geoespacial de algunas variables, se recomienda plantear las estrategias de un mapeo de una extensión moderada para visualizar y modelar el comportamiento de cuerpos hídricos superficiales o sub-superficiales frente a las variaciones de cobertura vegetal, ya sea endémica o insertada para un sector de influencia del páramo de Siscunsi en las cuencas de La Martinera o Las Cintas.
- A nivel social, para generar un rigor analítico sostenible, se recomienda desarrollar un marco de indicadores que deje en evidencia cómo se están gestionando los recursos del páramo de Siscunsi en términos de conservación y preservación, haciendo un énfasis en los sistemas económicos y sociales en los que se ve involucrados los habitantes de las inmediaciones del páramo de Siscunsi.

11. Bibliografía

- [1] R. Hosftede, P. Segarra y P. Mena Vásconez, Los Páramos del mundo, Quito: Global Peatland Initiative/NC-IUCN/EcoCiencia, 2003.
- [2] A. Vásquez Cerón y A. Buitrago Castro, El gran libro de los páramos, Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2011.
- [3] R. Hofstede, «La importancia hídrica del páramo y sus aspectos de manejo,» de *Estrategias para la conservación y desarrollo sostenible de páramos y punas en la ecorregión Andina: Experiencias y perspectivas*, Quito, 1997.
- [4] K. Farley y E. Kelly, «Effects of afforestation of a páramo grassland on soil nutrient status,» *Forest and ecology management*, nº 195, pp. 281-290, 2004.
- [5] V. Balthazar, V. Vanacker, A. Molina y E. Lambin, «Impacts of forest cover change on ecosystem services in high Andean mountains,» *Ecological Indicators*, nº 48, pp. 63-75, 2015.

- [6] N. Perico Granados, C. Caro Camargo, P. M. Acosta y J. Bohórquez Herrera, «Páramo de Siscunsi, en la cuenca alta de la Martinera,» de *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería*, Tunja, 2015.
- [7] P. Quichimbo, G. Tenorio, P. Borja, I. Cárdenas , P. Crespo y R. Célleri, «Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: Páramo de Quimsacocha al sur del Ecuador,» *Suelos Ecuatoriales*, vol. II, nº 42, pp. 138-153, 2012.
- [8] M. Hermelín, Entorno natural de 17 ciudades de Colombia, Medellín: EAFIT, 2007.
- [9] R. Hofstede, J. Calles, V. López, R. Polanco, F. Torres, J. Ulloa, A. Vásquez y M. Cerra , Los Páramos Andinos ¿Qué sabemos? Estado de conocimiento sobre el impacto del cambio climático en el ecosistema páramo, Quito: UICN, 2014.
- [10] D. Rivera Ospina y C. E. Rodríguez Murcia, Guía divulgativa de criterios para la delimitación de páramos de Colombia, Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2011.
- [11] N. Aguirre, L. Ordóñez y R. Hofstede, «Comportamiento inicial de especies forestales plantadas en el páramo,» ECOPAR, Quito, 2012.
- [12] D. Ojeda , C. Barbosa , J. Pinto, M. C. Cardona, M. Cuéllar, S. Cruz, L. S. De la Torre, J. Castañeda, C. R. Barrera, Y. González y J. C. Alarcón , «Ecosistemas,» de *El medio ambiente en Colombia*, Bogotá, IDEAM, 2001, pp. 287-288.
- [13] Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Estudio General de Suelos y zonificación de Tierras del departamento de Boyacá, Bogotá: Subdirección de Agrología Uptc, 2005.
- [14] G. Mantilla, L. S. De la Torre, C. E. Gómez, N. Ordoñez, J. L. Ceballos, C. Euscátegui, P. Pérez, S. Pérez, N. Martínez, R. Sánchez, N. Maldonado, S. Pérez, J. Gaitán, L. Chávez, C. Chamorro y A. Flórez, «Los suelos: estabilidad, productividad y degradación,» de *El medio ambiente en Colombia*, Bogotá, IDEAM, 2001, pp. 229-230.
- [15] M. A. Díaz-Granados Ortiz, J. D. Navarrete González y T. Suárez López, «Páramos: Hidrosistemas Sensibles,» *Revista de ingeniería*, nº 22, pp. 64-75, 2005.

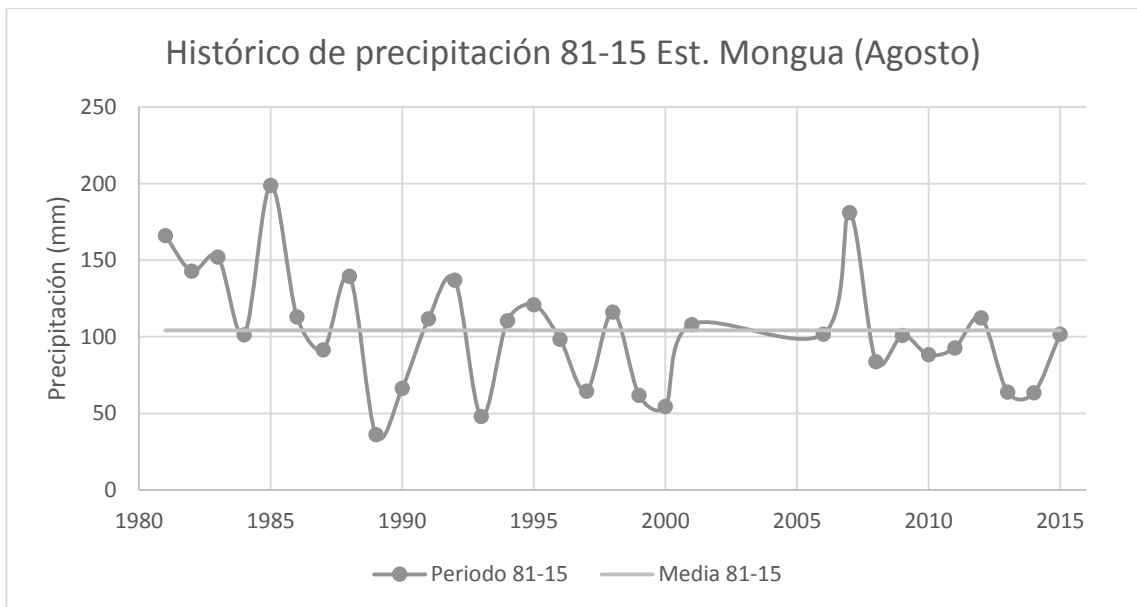
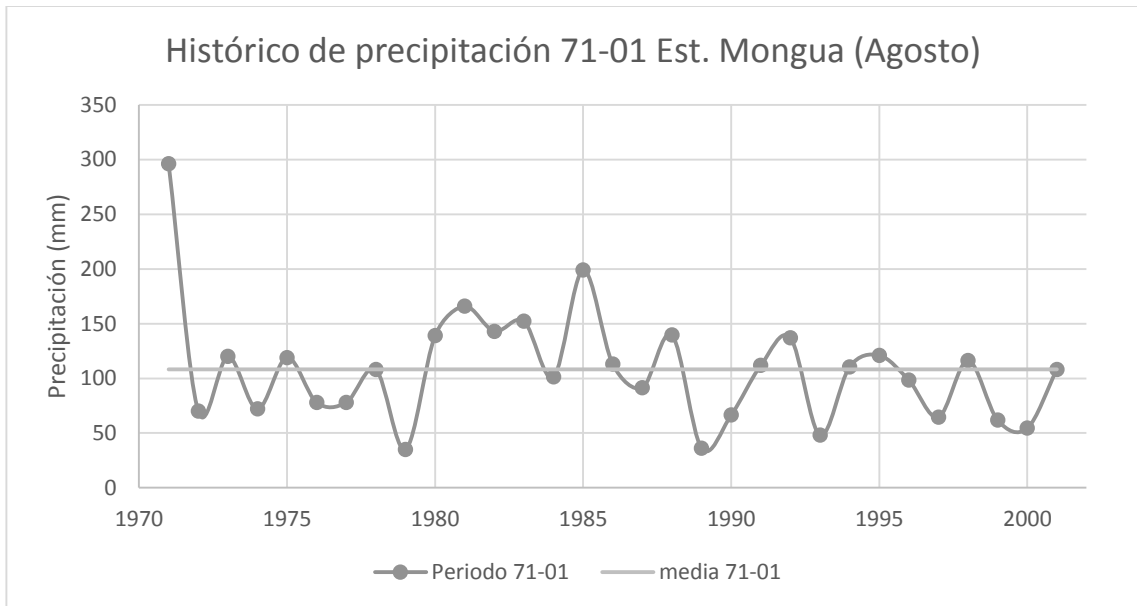
- [16] O. Martínez W. y R. Galindo, «Una revisión analítica de diseños y métodos estadísticos en ciencias agrícolas,» *Agronomía Colombiana*, vol. XI, nº 1, pp. 90-94, 1994.
- [17] L. M. Dicoivskiy Riobóo, *Introducción al diseño experimental*, Managua: Universidad Nacional de Ingeniería, 2010.
- [18] I. Espejo Miranda, F. Fernández Palacín, M. A. López Sánchez, M. Muñoz Márquez, A. M. Rodríguez Chía, A. Sánchez Navas y C. Valero Franco, *Estadística Descriptiva y Probabilidad*, Cádiz: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz, 2006.
- [19] M. Martínez González, A. Sánchez Villegas y J. Faulín Fajardo, *Bioestadística Amigable*, Madrid: Díaz de Santos, 2006.
- [20] M. Herrera Villafranca y C. W. Guerrero Bustillo, *Métodos estadísticos alternativos de análisis con variables discretas y categóricas en investigaciones agropecuarias*, La Habana: Editorial Universitaria, 2015.
- [21] L. Cayuela, *Modelos Lineales Generalizados*, Granada: Universidad de Granada, 2010.
- [22] Grupo Interno de Trabajo Laboratorio Nacional de Suelos, «Resultados de análisis físicos de retención de humedad,» Laboratorio Nacional de Suelos, Bogotá, 2017.
- [23] R. Michelena , C. Iurrtia, M. Eiza, P. Carfagno y T. Piroló, *Manual de Procedimientos de Análisis Físico del Suelo*, Castelar: INTA, 2010.
- [24] A. Lizcano, M. C. Herrera y J. C. Santamarina, «Suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia,» *Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, vol. 6, nº 167, 2006.
- [25] P. D. N. R. Perico Granados, «Informe de actividades ejecutadas en el páramo de Siscunsi en el periodo 2016 - 2017,» Tunja, 2017.
- [26] D. F. Jaramillo J., *Introducción a la ciencia del suelo*, Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2002.
- [27] N. García, E. Calderón y G. Galeano, «Failejones,» de *Libro Rojo de Plantas de Colombia. Volúmen 2: Palmas, Frailejones y Zamias*, Bogotá, Instituto Alexander von Humboldt - Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad

Nacional de Colombia - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2005, pp. 225-386.

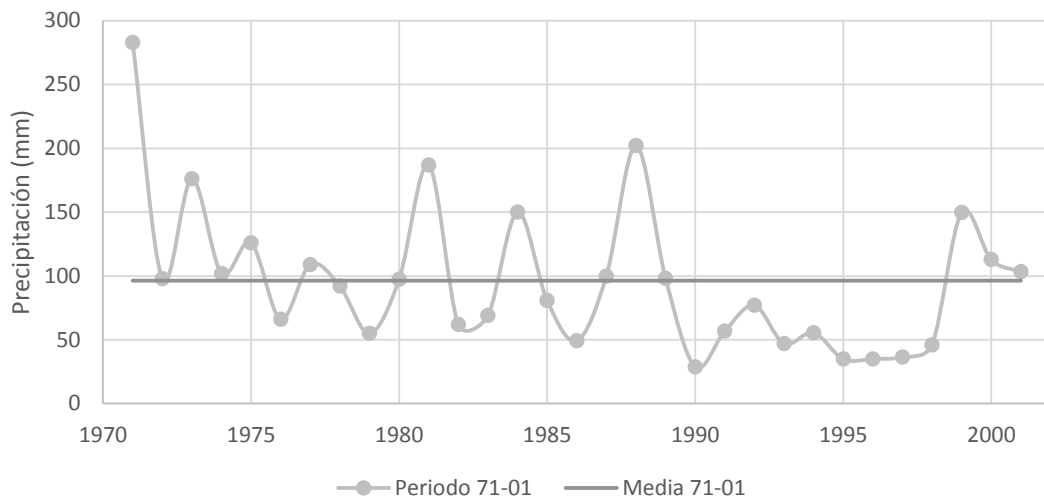
- [28] R. Álvarez Cáceres, «Capítulo 9. Estadística no paramétrica, el procedimiento NPAR,» de *Estadística Multivariante y no paramétrica con SPSS: aplicación a las ciencias de la salud*, Madrid, Díaz de Santos, 1994, p. 409.
- [29] G. Vega González y F. Sánchez Sánchez, «Pruebas no paramétricas,» Facultad de medicina de Albacete, Albacete, 2008.
- [30] A. d. J. Celis de la Rosa y V. Labrada Martagón, *Bioestadística*, Ciudad de México: Manual moderno, 2014.
- [31] IBM SPSS (R) , *IBM SPSS Statistics 20 Core System User's Guide*, Armonk, 2011.
- [32] L. D. Llambí, A. Soto, R. Celleri, B. De Bievre, B. Ochoa y P. Borja, *Ecología, hidrología y suelos de páramos*, Quito: CONDESAN, 2012.
- [33] Consejo municipal de Sogamoso, *Plan de desarrollo municipal "Sogamoso Incluyente"*, Sogamoso, 2012.
- [34] B. Mostacedo y T. S. Fredericksen, *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal*, Santa Cruz: El País, 2000.

12. Anexos

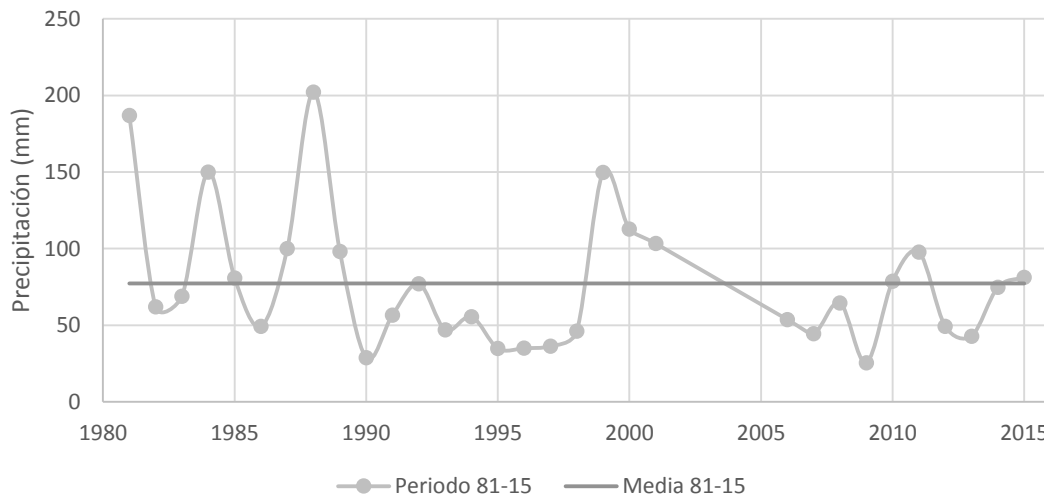
Anexo A. históricos climáticos de precipitación en las estaciones Mongua – Mongui y Las Cintas para los meses de Agosto, Septiembre y Marzo.



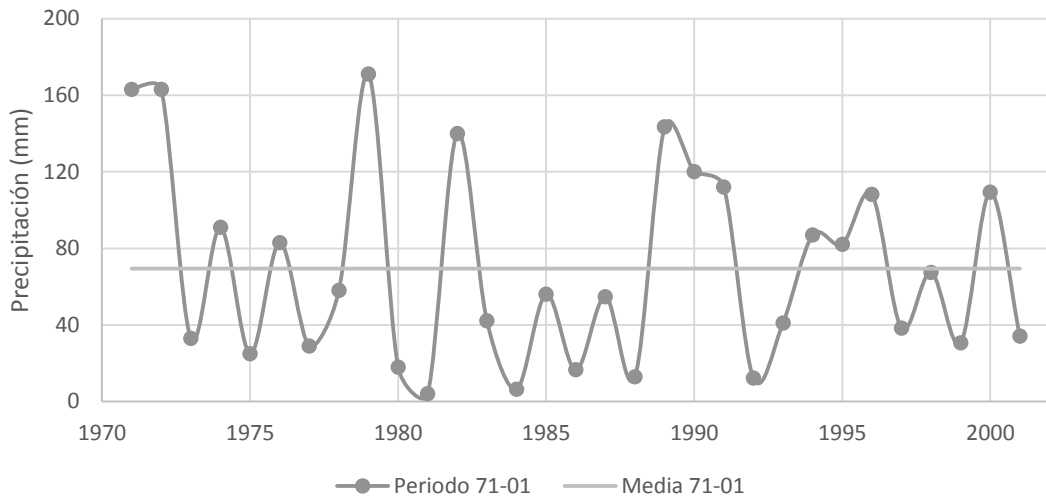
Histórico de precipitación 71-01 Est. Mongua (Septiembre)



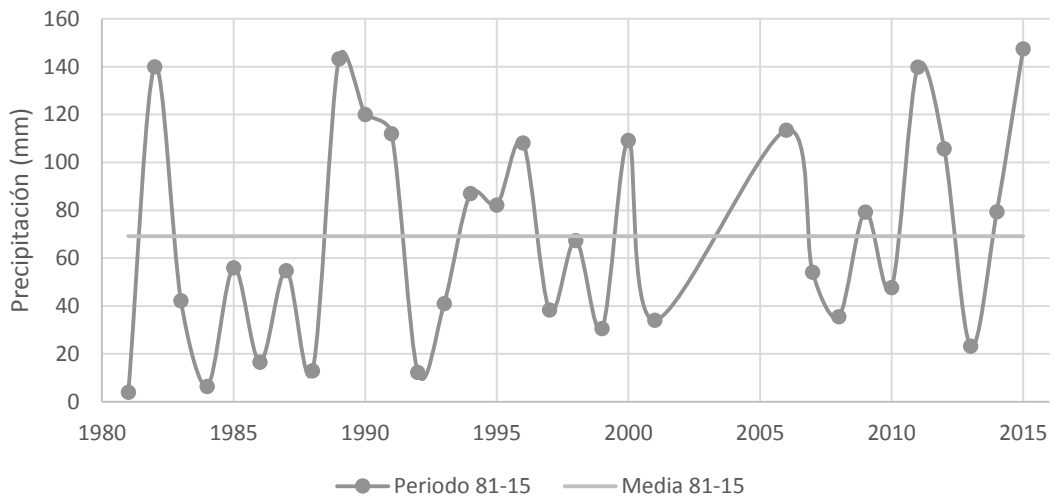
Histórico de precipitación 81-15 Est. Mongua (Septiembre)



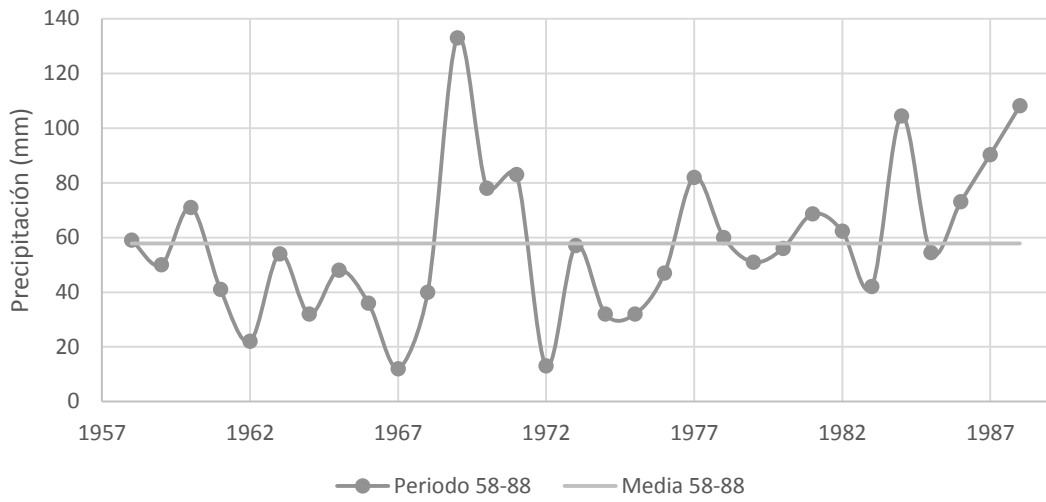
Histórico de precipitación 71-01 Est. Mongua (Marzo)



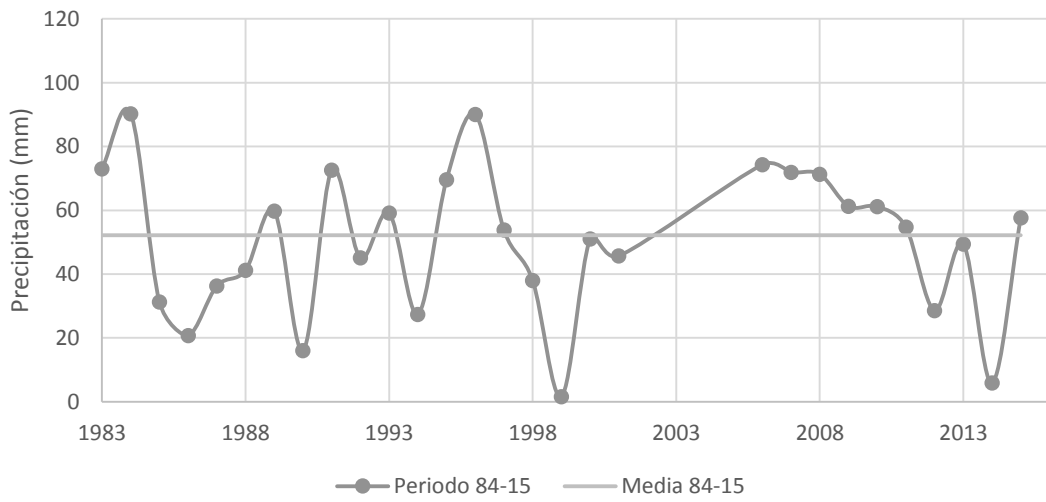
Histórico de precipitación 81-15 Est. Mongua (Marzo)



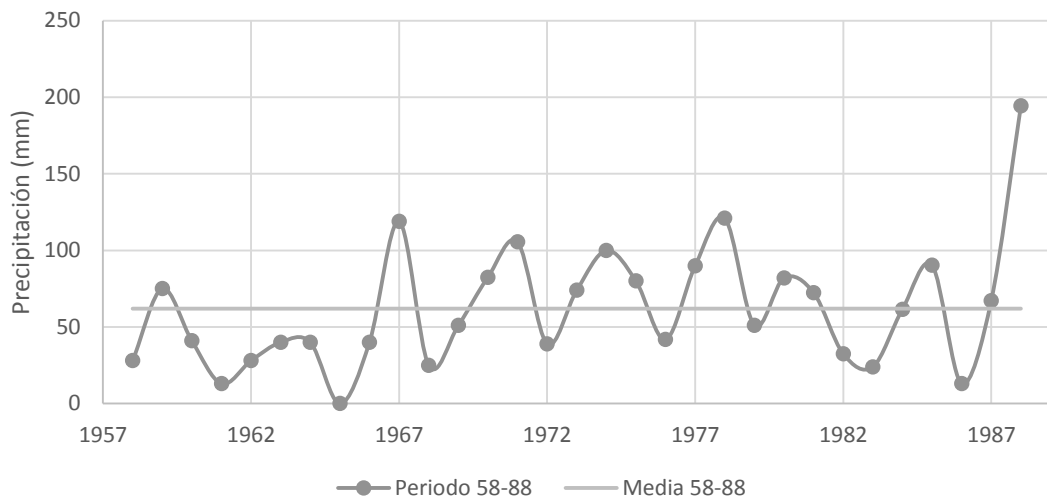
Histórico de precipitación 58-88 Est. Monguí (Agosto)



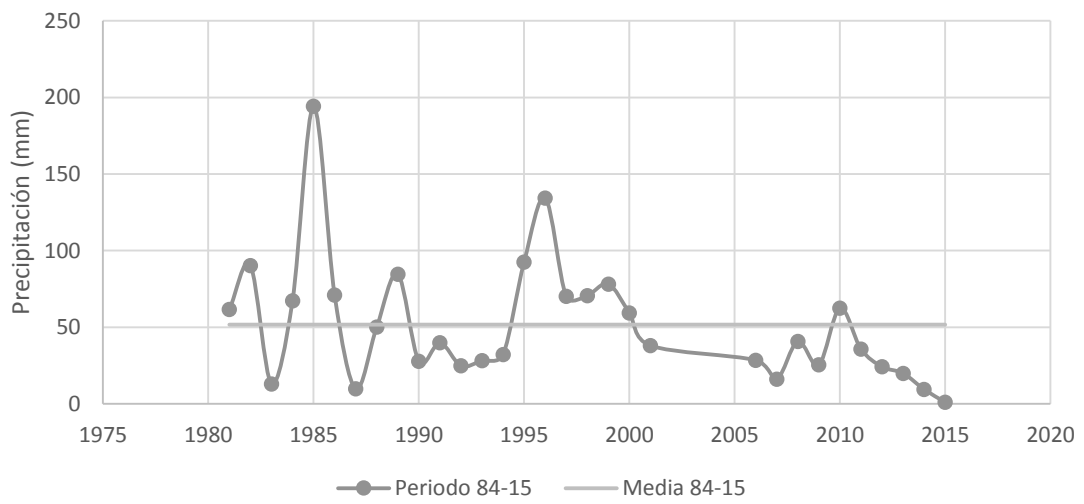
Histórico de precipitación 84-15 Est. Monguí (Agosto)



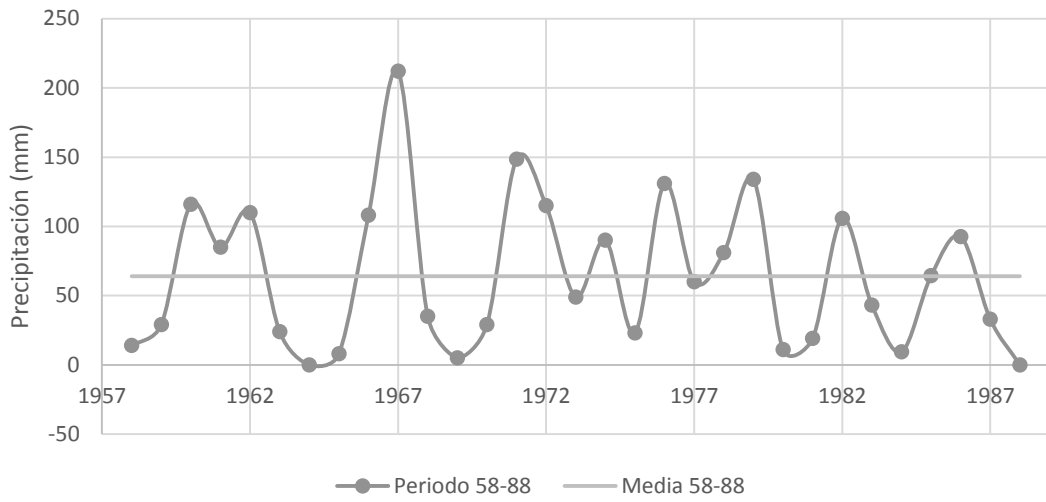
Histórico de precipitación 58-88 Est. Monguí (Septiembre)



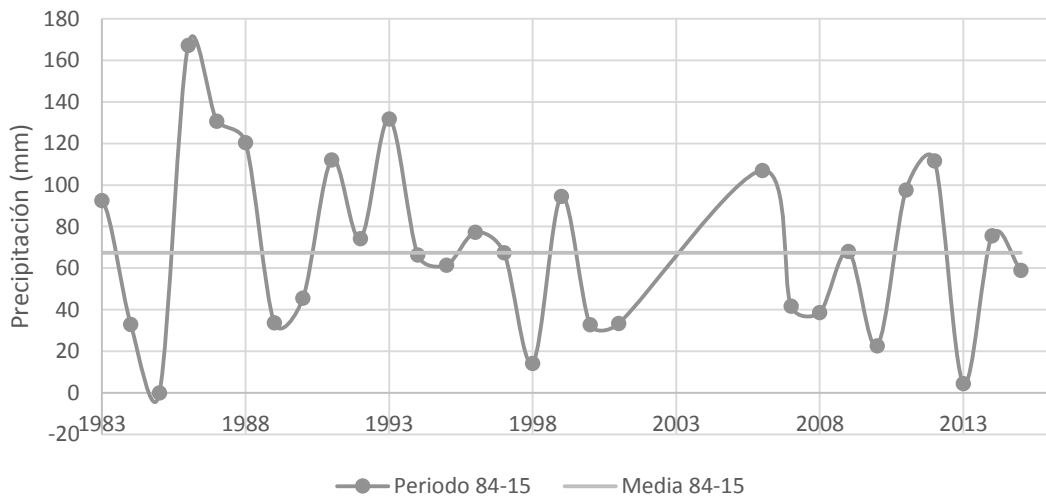
Histórico de precipitación 84-15 Est. Monguí (Septiembre)



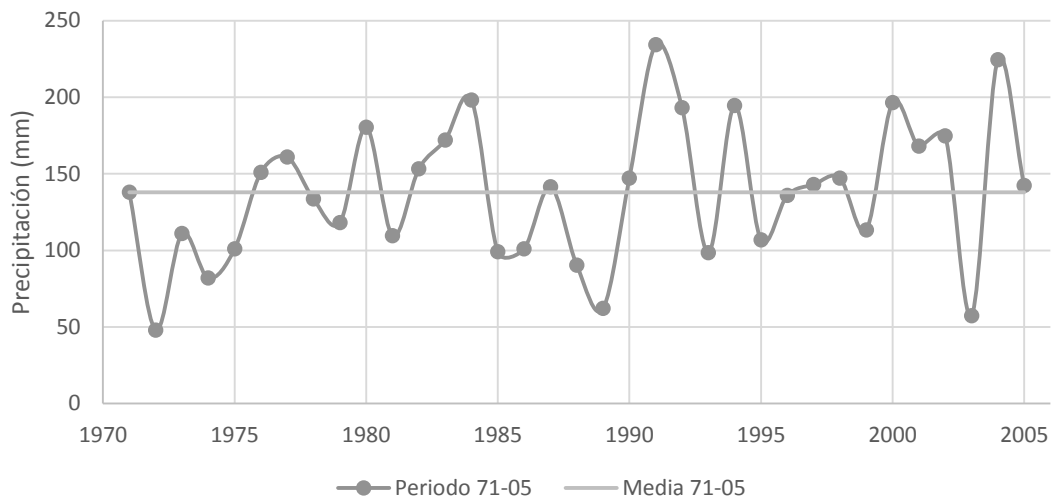
Histórico de precipitación 58-88 Est. Monguí (Marzo)



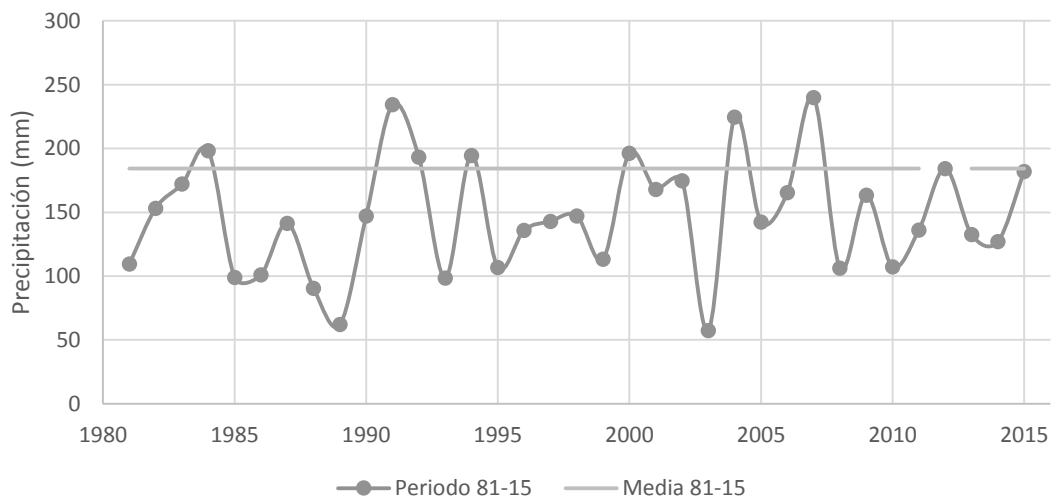
Histórico de precipitación 84-15 Est. Monguí (Marzo)



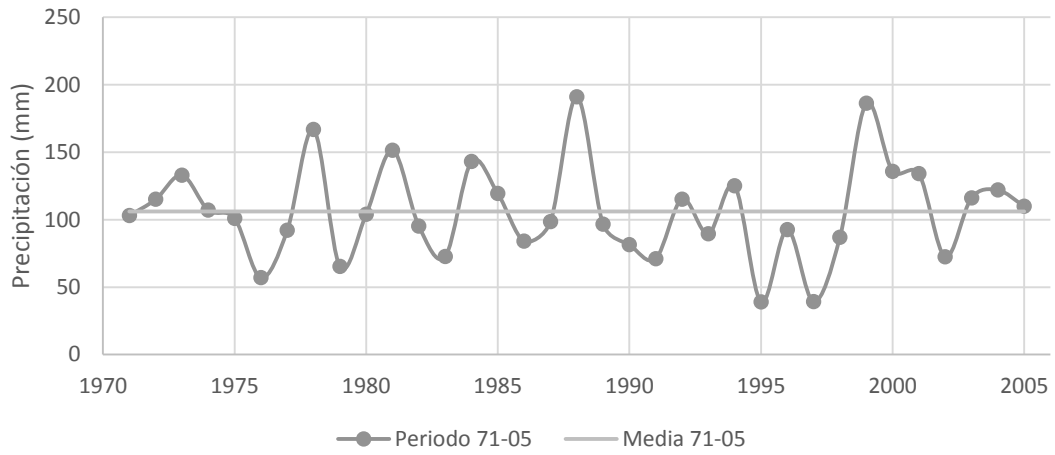
Histórico de precipitación 71-05 Est. Las cintas (Agosto)



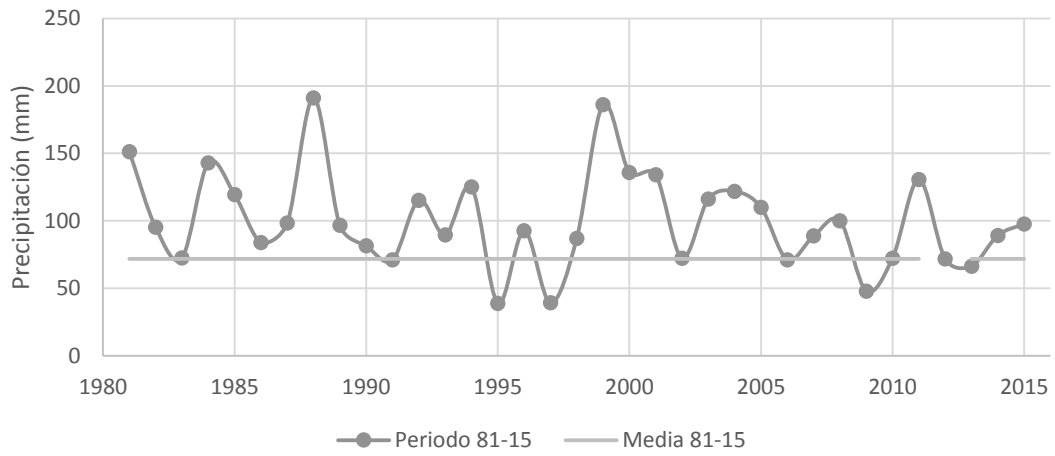
Histórico de precipitación 81-15 Est. Las cintas (Agosto)



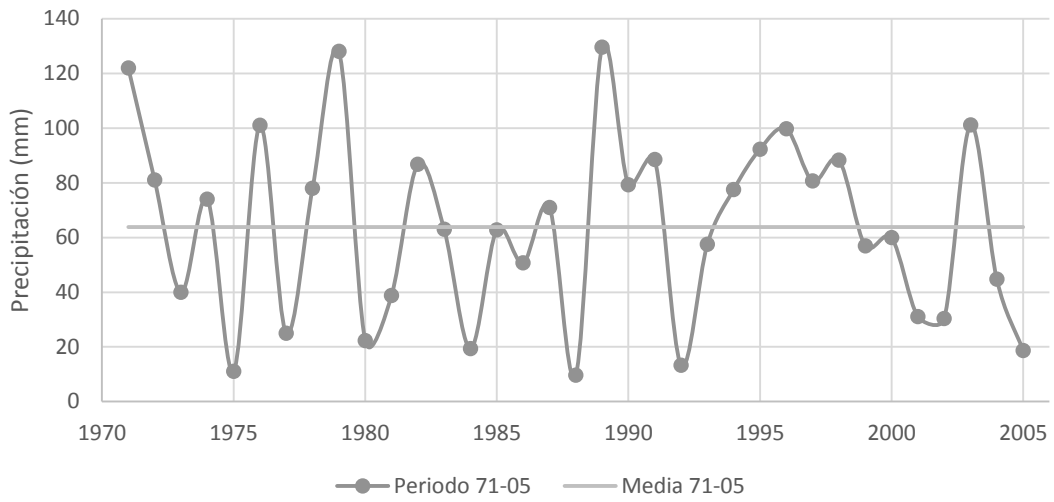
Histórico de precipitación 71-05 Est. Las cintas
(Septiembre)



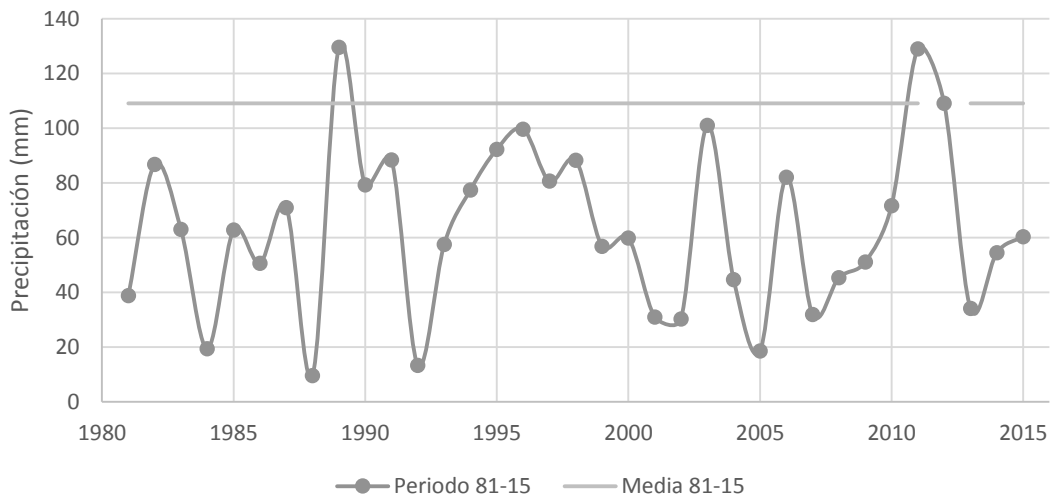
Histórico de precipitación 81-15 Est. Las cintas
(Septiembre)



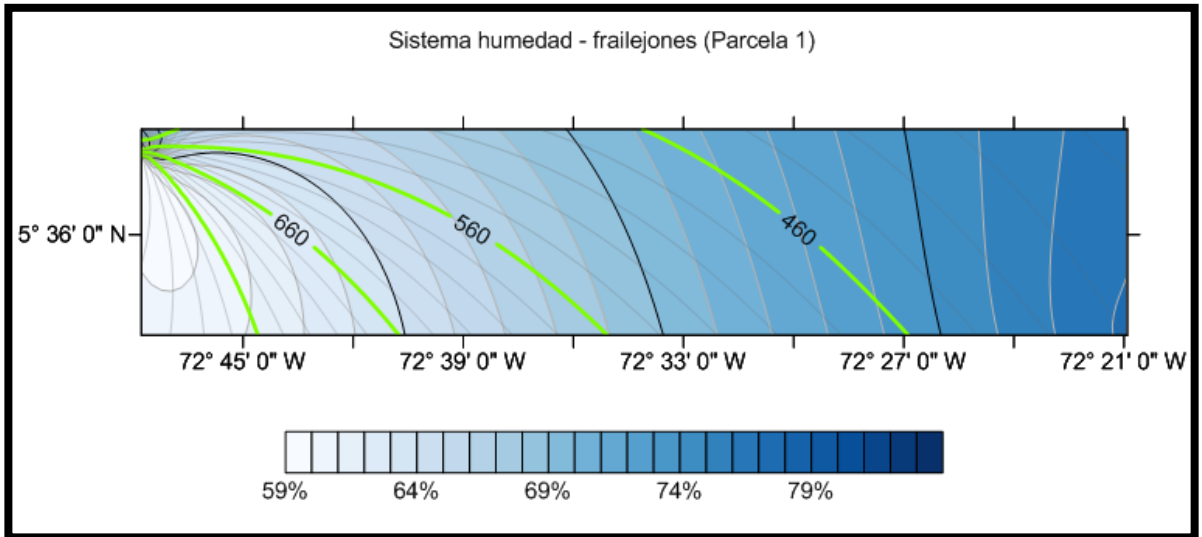
Histórico de precipitación 71-05 Est. Las cintas (Marzo)



Histórico de precipitación 81-15 Est. Las cintas (Marzo)

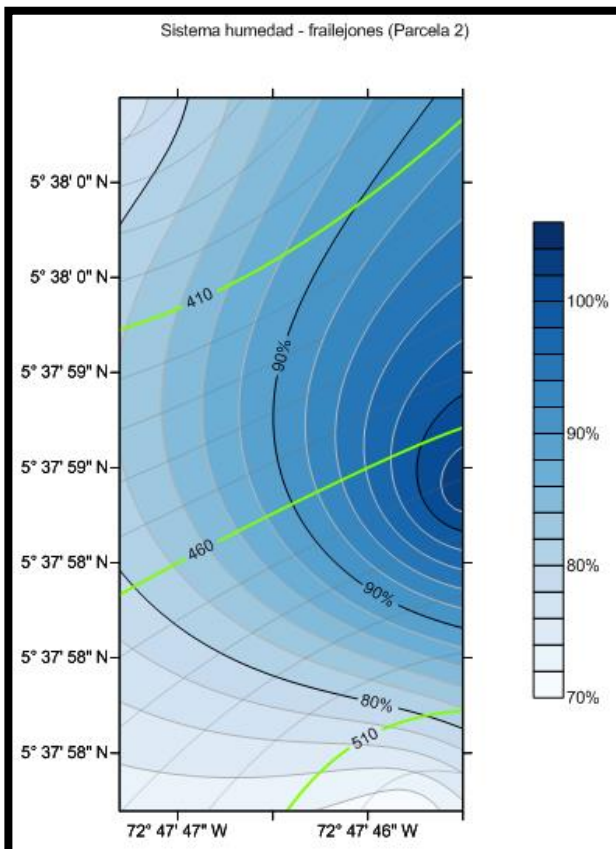


Anexo B. Mapas de isolíneas de humedad y vegetación
Parcela 1



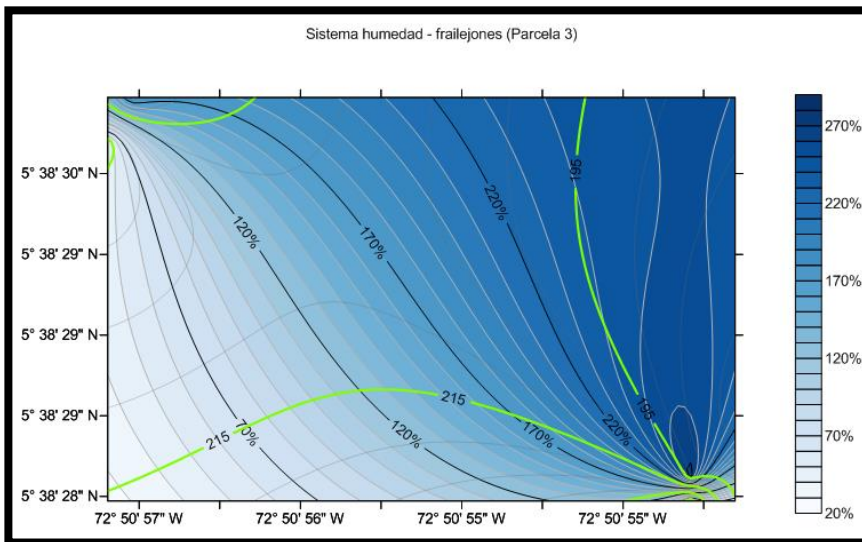
Fuente: el autor.

Parcela 2



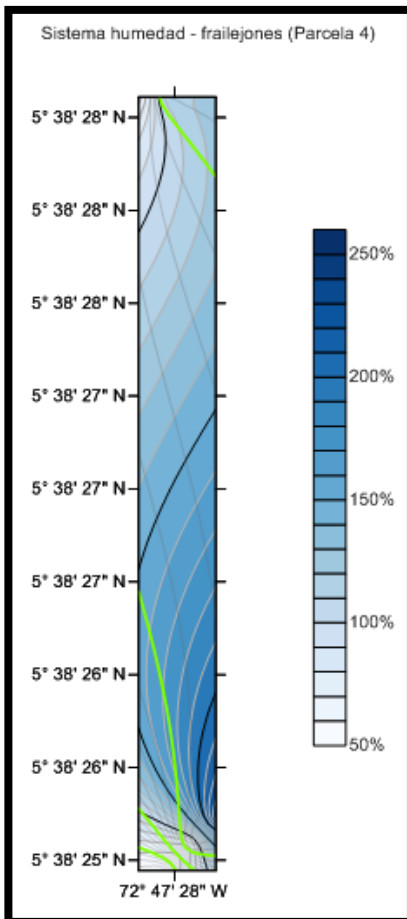
Fuente: el autor.

Parcela 3



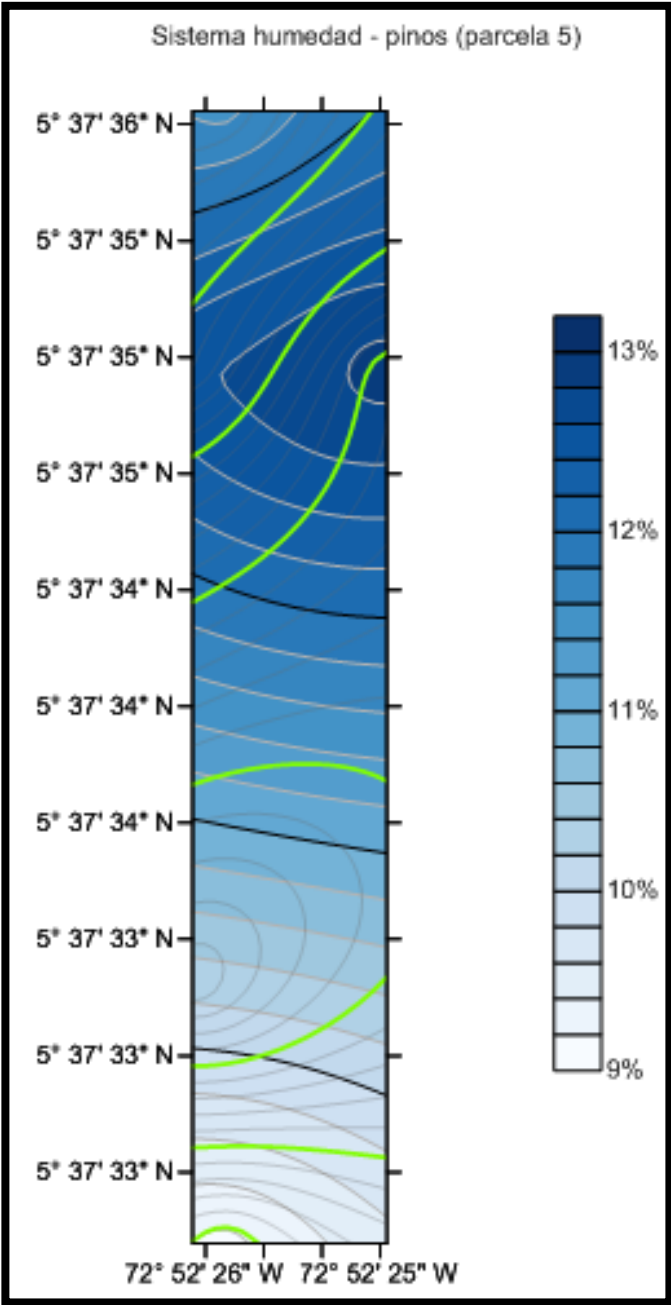
Fuente: el autor.

Parcela 4



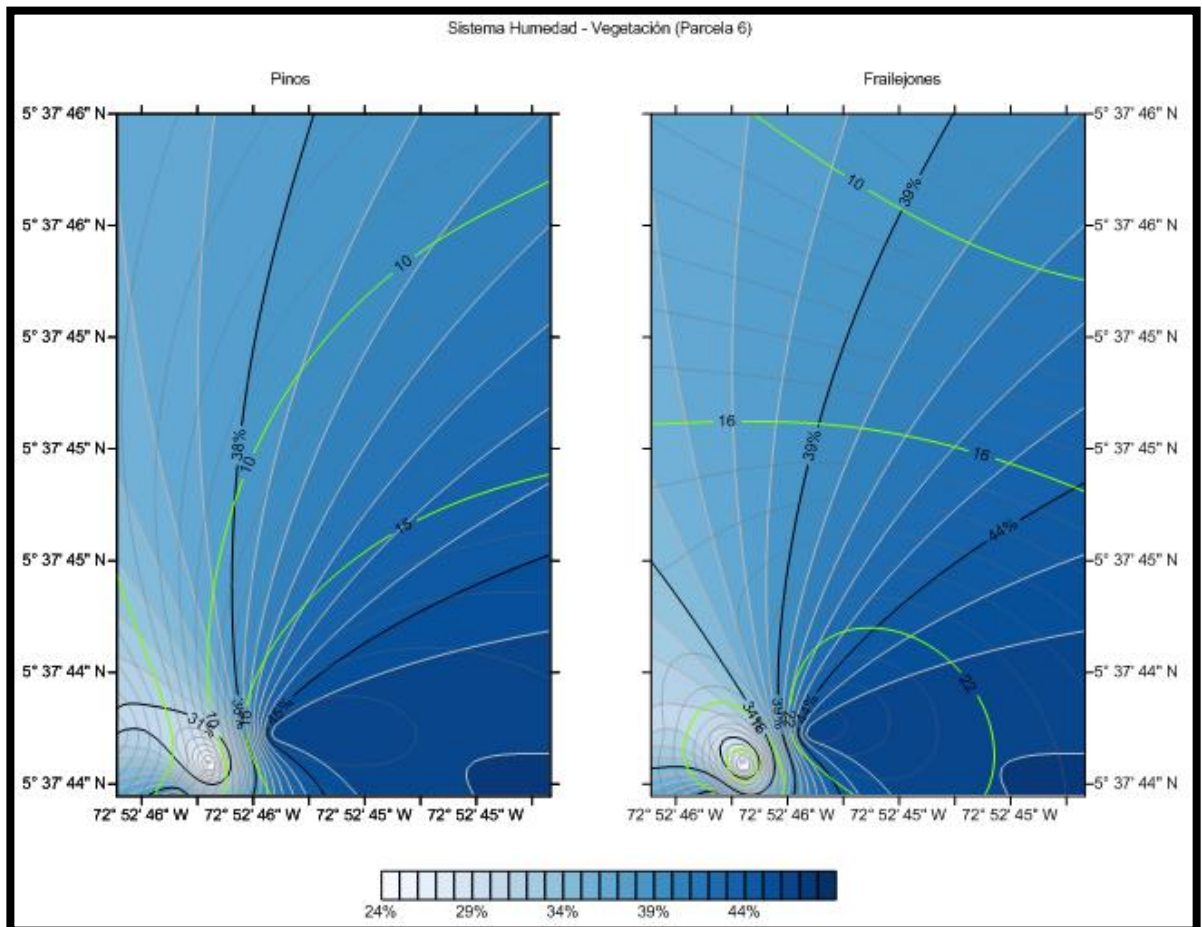
Fuente: el autor.

Parcela 5



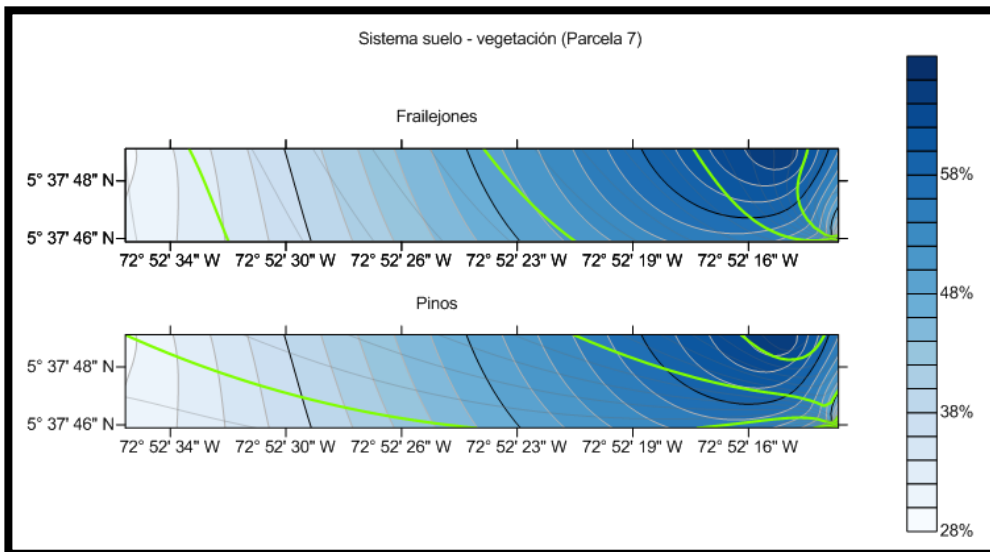
Fuente: el autor.

Parcela 6



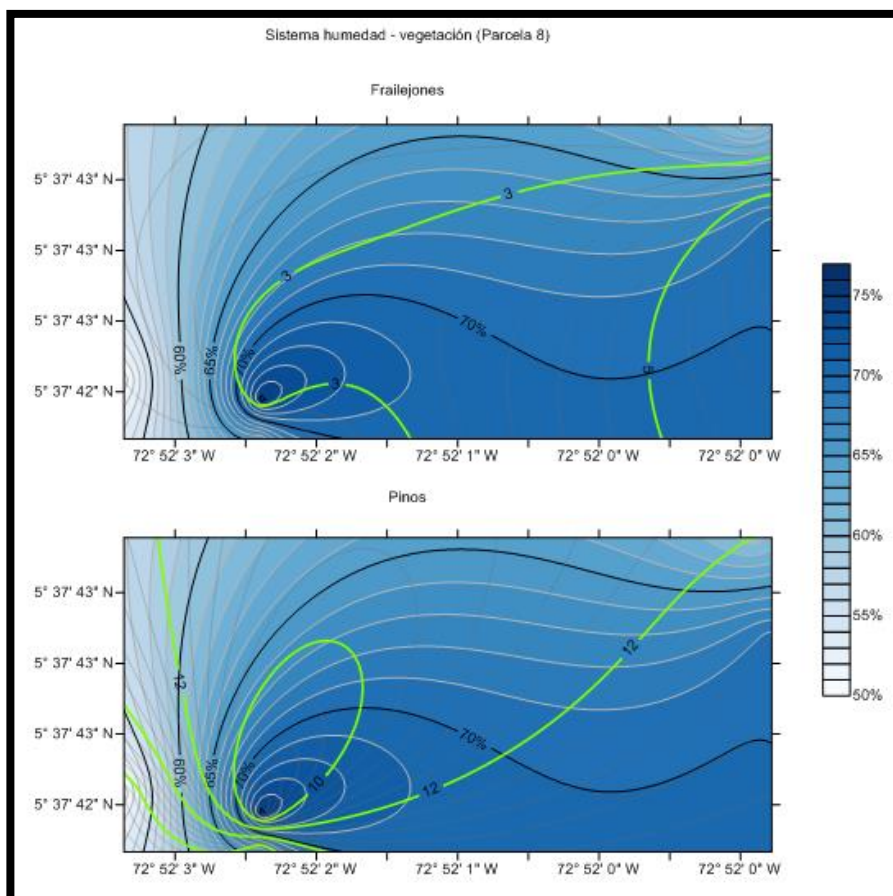
Fuente: el autor.

Parcela 7



Fuente: el autor.

Parcela 8

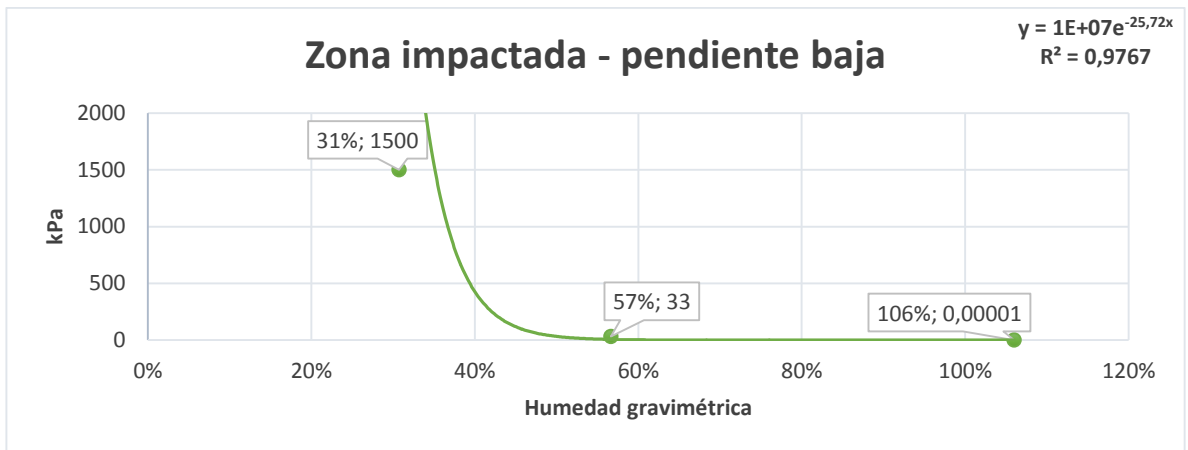


Fuente: el autor.

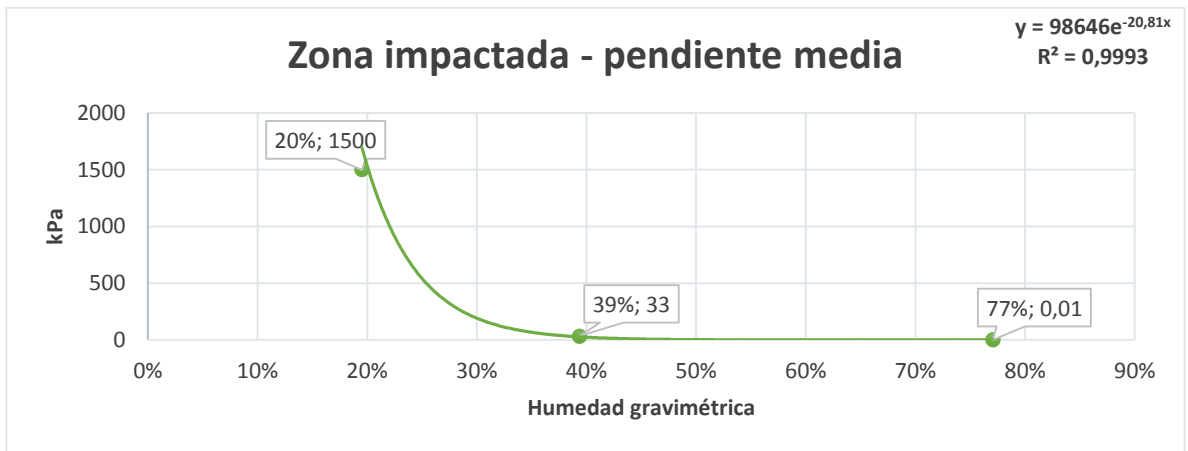
Anexo C. Tablas y gráficas de datos de análisis físicos de retención de humedad

Diferencia entre zonas	Diferencia entre pendientes	Diferencia en la zona por pendiente		Diferencia en la pendiente por zona	
-549,34%	248,20%	29%	219%	-370%	-180%
-254,53%	66,77%	17%	49%	-143%	-111%
-127,38%	22,16%	11%	11%	-64%	-64%

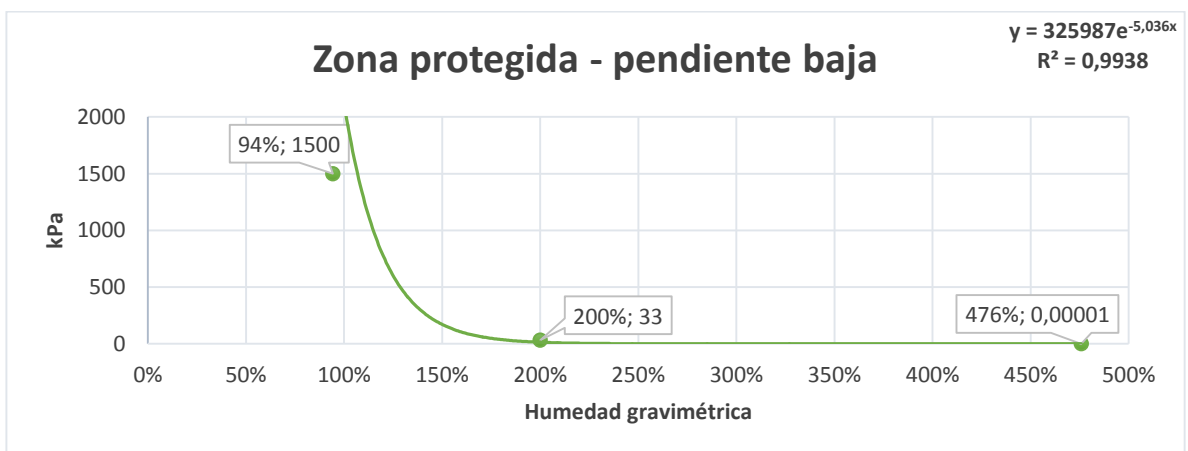
Fuente: el autor.



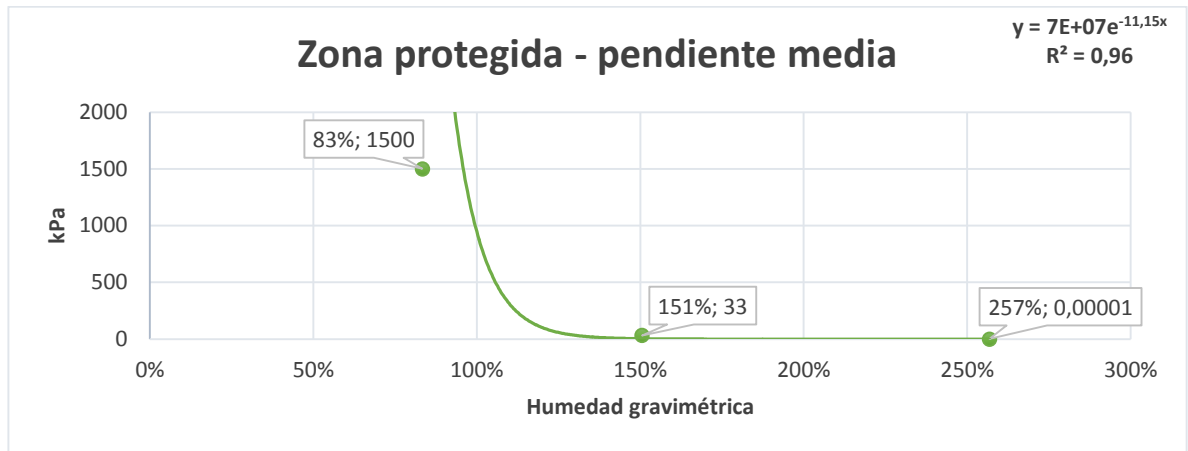
Fuente: el autor.



Fuente: el autor.

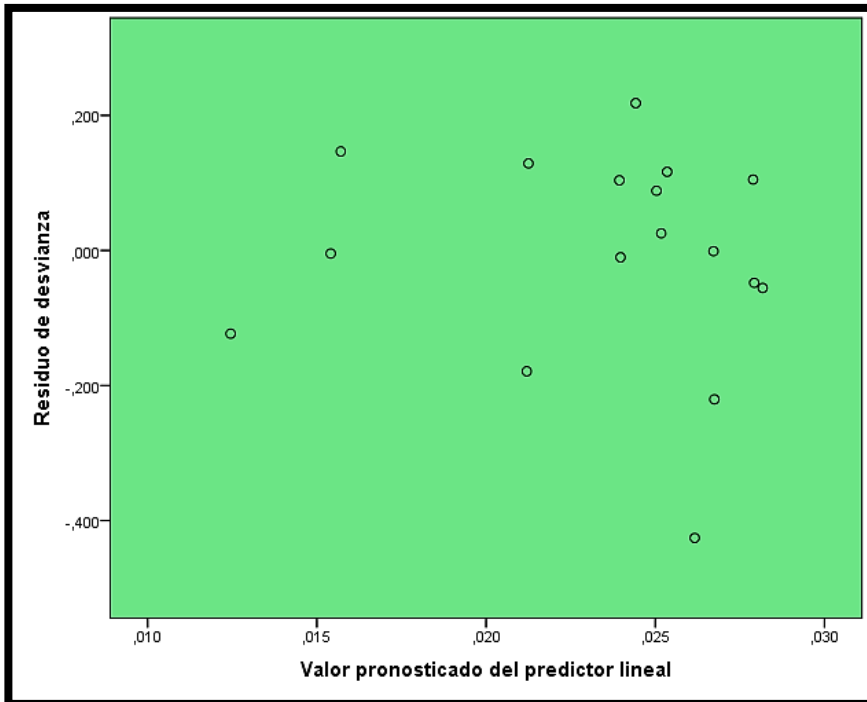


Fuente: el autor.



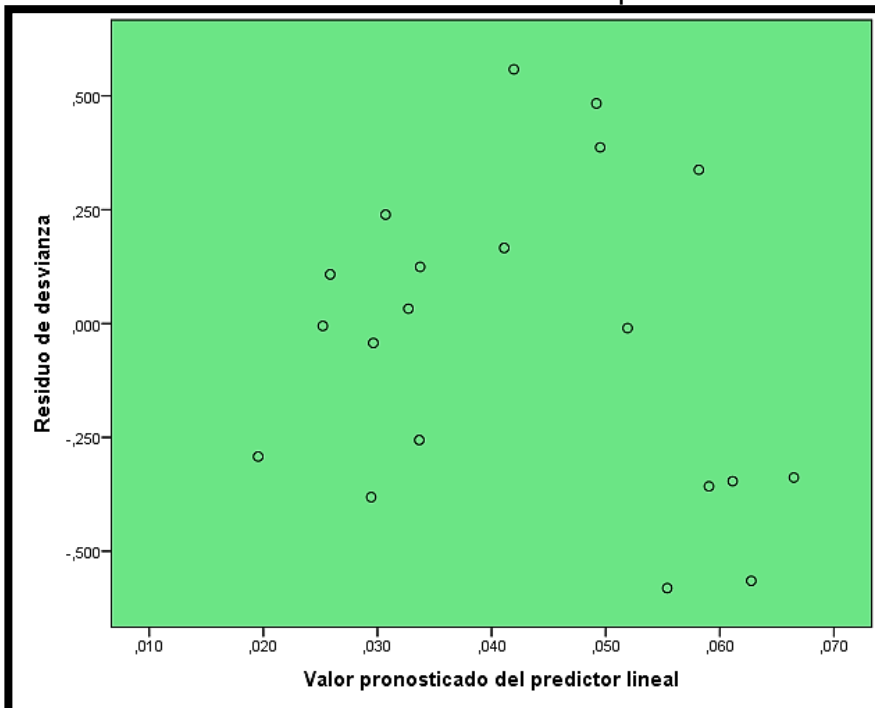
Fuente: el autor.

Anexo D. Gráficos y tablas MLGnz
 Prueba de homocedasticidad en la zona protegida.



Fuente: el autor.

Prueba de homocedasticidad en la zona impactada.



Fuente: el autor.

Tabla de contraste del criterio de información de Akaike: zona impactada

Factores del modelo	AIC	Test ómnibus (Sig.)
(Nulo)	181,631	-
Pino	183,061	0,015
Pino + frailejón	149,501	0,000
Pino + frailejón + hongo	-	-
Frailejón + hongo	174,417	0,001
Pino + hongo	-	-
Hongo	188,196	0,307

Fuente: el autor.

Variabilidad explicada por el modelo de la zona impactada

Devianza modelo nulo (D_0)	Devianza modelo Pino + frailejón (D_m)	D^2	
7,667	0,270	$\frac{(D_0 - D_m)}{D_0}$	0,9647

Fuente: el autor.

Tabla de contraste del criterio de información de Akaike: zona protegida

Factores del modelo	AIC	Test ómnibus (Sig.)
(Nulo)	185,749	-
Frailejón	179,814	0,002
Frailejón + hongo	-	-
Hongo	185,299	0,108

Fuente: el autor.

Variabilidad explicada por el modelo de la zona protegida

Devianza modelo nulo (D_0)	Devianza modelo Pino + frailejón (D_m)	D^2	
6,251	0,795	$\frac{(D_0 - D_m)}{D_0}$	0,8728

Fuente: el autor.