



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

“EVALUACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA Y PARÁMETROS  
EDAFOLÓGICOS RELACIONADOS A LA CONSERVACIÓN DEL SUELO EN LA  
MICROCUENCA DE PROTECCIÓN HÍDRICA YUTUJAPINA DE LA  
PARROQUIA CUMBE”

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingeniera Ambiental

AUTORAS: KATHERINE GISELLE CAMPOVERDE CONDO  
ADRIANA ELIZABETH QUEZADA URGILES  
TUTOR: ING. CHRISTIAN PAÚL MERA PARRA, Mgst.

Cuenca - Ecuador  
2023

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

Nosotras, Katherine Giselle Campoverde Condo con documento de identificación N° 0106378169 y Adriana Elizabeth Quezada Urgiles con documento de identificación N° 0106093297; manifestamos que:

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

Cuenca, 01 de marzo del 2023

Atentamente,



---

Katherine Giselle Campoverde Condo

0106378169



---

Adriana Elizabeth Quezada Urgiles

0106093297

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

Nosotras, Katherine Giselle Campoverde Condo con documento de identificación N° 0106378169 y Adriana Elizabeth Quezada Urgiles con documento de identificación N° 0106093297, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autoras del Trabajo experimental: “Evaluación de la conductividad hidráulica y parámetros edafológicos relacionados a la conservación del suelo en la microcuenca de protección hídrica Yutujapina de la parroquia Cumbe”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Cuenca, 01 de marzo del 2023

Atentamente,



---

Katherine Giselle Campoverde Condo

0106378169



---

Adriana Elizabeth Quezada Urgiles

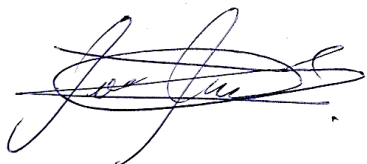
0106093297

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Christian Paúl Mera Parra con documento de identificación N° 1803404034, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “EVALUACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA Y PARÁMETROS EDAFOLÓGICOS RELACIONADOS A LA CONSERVACIÓN DEL SUELO EN LA MICROCUENCA DE PROTECCIÓN HÍDRICA YUTUJAPINA DE LA PARROQUIA CUMBE”, realizado por Katherine Giselle Campoverde Condo con documento de identificación N° 0106378169 y por Adriana Elizabeth Quezada Urgiles con documento de identificación N° 0106093297, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 01 de marzo del 2023

Atentamente,



---

Ing. Christian Paúl Mera Parra, Mgst.

1804404034

## ÍNDICE

CAPÍTULO I .....	12
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 Problemática .....</b>	<b>12</b>
<b>1.2 Antecedentes .....</b>	<b>14</b>
<b>1.3 Justificación .....</b>	<b>15</b>
<b>1.4 Delimitación .....</b>	<b>16</b>
<b>1.4.1 Delimitación geográfica.....</b>	<b>16</b>
<b>1.4.2 Delimitación sectorial .....</b>	<b>17</b>
<b>1.5 Objetivos .....</b>	<b>17</b>
<b>1.5.1 Objetivo General .....</b>	<b>17</b>
<b>1.5.2. Objetivos Específicos .....</b>	<b>17</b>
<b>1.6 Hipótesis.....</b>	<b>18</b>
CAPÍTULO II.....	18
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 Páramo .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2 Tipos fisonómicos de los páramos más comunes .....</b>	<b>19</b>
<b>2.3 Suelo de páramo .....</b>	<b>20</b>
<b>2.4 Indicadores de la calidad del suelo.....</b>	<b>20</b>
<b>2.5 Factores de alteración del paramo .....</b>	<b>24</b>
<b>2.6 Calidad del Suelo .....</b>	<b>27</b>
<b>2.7 Regulación hídrica .....</b>	<b>28</b>
<b>2.8 Resiliencia ecológica.....</b>	<b>28</b>
<b>2.9 Infiltración .....</b>	<b>28</b>
<b>2.10 Almacenamiento de agua.....</b>	<b>29</b>
<b>2.11 Resistencia a la erosión.....</b>	<b>29</b>
<b>2.12 Secuestro de carbono.....</b>	<b>29</b>
<b>3. MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>30</b>
<b>3.1 Área de estudio .....</b>	<b>30</b>
<b>3.2 Identificación puntos de muestreo .....</b>	<b>31</b>
<b>3.3 Fase de campo .....</b>	<b>32</b>
<b>3.3.1 Determinación de la infiltración .....</b>	<b>32</b>
<b>3.3.2 Toma de muestras de suelo.....</b>	<b>35</b>
<b>3.3.3 Medición de temperatura y pH.....</b>	<b>36</b>
<b>3.4 Fase de laboratorio .....</b>	<b>37</b>
<b>3.4.1 Estimación de la humedad (H) .....</b>	<b>37</b>

3.4.2	Determinación de la granulometría .....	37
3.4.3	Estimación de la materia orgánica (MO) .....	38
3.4.4	Estimación de la densidad aparente (DA) .....	39
3.4.5	Estimación de la densidad real (DR) .....	39
3.5	Cálculo de la conductividad hidráulica (CH) .....	40
3.6	Cálculo del porcentaje de humedad .....	41
3.7	Cálculo del porcentaje de materia orgánica .....	42
3.8	Cálculo de la densidad aparente .....	42
3.9	Cálculo de la densidad real .....	43
3.10	Cálculo del porcentaje de porosidad (P) .....	43
3.11	Cobertura vegetal y caracterización edafológica .....	44
3.11.1	Cobertura vegetal .....	44
3.11.2	Identificación de los horizontes del suelo .....	44
3.11.3	Estimación de la clasificación textural .....	45
3.12	Análisis estadístico .....	46
CAPÍTULO III .....		46
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	46
4.1	Resultados .....	46
4.1.1	Características fisicoquímicas del suelo .....	46
	Mapas de humedad del suelo .....	47
	Mapas de materia orgánica del suelo .....	51
	Mapas de densidad aparente (DA) del suelo .....	56
	Mapas de densidad real (DR) del suelo .....	59
	Mapas de porosidad (P) del suelo .....	64
4.16.	Mapas de la temperatura 5 cm de profundidad .....	67
4.17.	Mapas de temperatura 10 cm de profundidad .....	72
4.18.	Mapas de temperatura 20 cm de profundidad .....	76
4.19.	Mapas de pH 5 cm de profundidad .....	80
4.20.	Mapas de pH 10 cm de profundidad .....	84
4.21.	Mapas de pH 20 cm de profundidad .....	88
4.2	Cobertura vegetal y edafología del suelo .....	96
4.2.1	Cobertura vegetal .....	96
4.2.2	Textura del suelo .....	97
4.2.3	Horizontes del suelo .....	102
4.3	Análisis estadístico .....	107
4.3.1	Supuesto de normalidad y homocedasticidad .....	107

4.3.2 Análisis de correlación .....	108
4.3.3 Análisis de regresión lineal .....	112
4.2 Discusión .....	132
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>139</b>
5.1 Conclusiones.....	139
5.1.1 Medidas para fortalecer la comprensión de los ecosistemas de páramo.....	141
5. 2 Recomendaciones.....	142
<b>6. REFERENCIAS .....</b>	<b>143</b>

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Promedio de los parámetros según cada región de estudio. ....	47
Tabla 2. Textura del Suelo .....	97
Tabla 3. Análisis de normalidad .....	107
Tabla 4. Análisis de correlación-Región arbustiva.....	108
Tabla 5. Análisis de correlación-Región intervenida.....	109
Tabla 6. Análisis de correlación-Región cubierta de pajonal .....	110
Tabla 7. Análisis de correlación-Región cubierta de pastizal.....	111
Tabla 8. Análisis de regresión lineal-Región arbustiva. ....	113
Tabla 9. Análisis de regresión lineal-Región intervenida.....	115
Tabla 10. Análisis de regresión lineal-Región cubierta de pajonal .....	116
Tabla 11. Análisis de regresión lineal-Región cubierta de pastizal.....	118
Tabla 12. Prueba estadística-humedad.....	119
Tabla 13. Prueba post hoc-humedad.....	120
Tabla 14. Prueba estadística-materia orgánica. ....	120
Tabla 15. Prueba post hoc-materia orgánica.....	121
Tabla 16. Prueba estadística-densidad aparente. ....	121
Tabla 17. Prueba estadística-densidad real. ....	122
Tabla 18. Prueba post hoc-densidad real. ....	123
Tabla 19. Prueba estadística-porosidad. ....	124
Tabla 20. Prueba post hoc-porosidad.....	124
Tabla 21. Prueba estadística-temperatura 5cm. ....	125
Tabla 22 Prueba estadística-temperatura 10cm. ....	126
Tabla 23. Prueba post hoc-temperatura 10 cm. ....	126

Tabla 24. Prueba estadística-temperatura 20 cm. ....	127
Tabla 25. Prueba post hoc-temperatura 20cm. ....	127
Tabla 26. Prueba estadística-pH 5cm. ....	128
Tabla 27. Prueba post hoc-pH 5cm.....	128
Tabla 28, Prueba estadística-pH 10 cm. ....	129
Tabla 29. Prueba post hoc-pH 10cm.....	129
Tabla 30. Prueba estadística-pH 20cm ....	130
Tabla 31. Prueba post hoc-pH 20cm.....	130
Tabla 32. Prueba estadística-conductividad hidráulica.....	131
Tabla 33.Prueba post hoc-conductividad hidráulica.....	132

## **INDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Páramo ecuatoriano. ....	19
Figura 2. Mapa de ubicación de la zona de estudio. ....	31
Figura 3. Delimitación de las regiones de estudio ....	32
Figura 4. Infiltrómetro de doble anillo ....	33
Figura 5. Infiltrómetro nivelado. ....	33
Figura 6.Llenado del infiltrómetro ....	34
Figura 7. Infiltrómetro con cinta métrica.....	34
Figura 8. Etiquetado de la muestra ....	36
Figura 9. Medidor De PH, y temperatura. ....	36
Figura 10. Granulometría de las muestras de suelo ....	38
Figura 11. Calcinación de la materia orgánica en la mufla ....	38
Figura 12. Estimación de la densidad aparente.....	39
Figura 13. Estimación de la densidad real ....	40
Figura 14. Calicata con profundidad y ancho de 1m. ....	45
Figura 15. Análisis de la textura del suelo por método del tacto.....	45
Figura 16.Mapa de humedad- Región Arbustiva.....	48
Figura 17. Mapa de humedad-Región intervenida. ....	49
Figura 18. Mapa de humedad-Región cubierta de pajonal. ....	50
Figura 19. Mapa de humedad-Región cubierta de pastizal.....	51
Figura 20.Mapa de materia orgánica- Región arbustiva.....	52
Figura 21. Mapa de materia orgánica -Región intervenida. ....	53
Figura 22. Mapa de materia orgánica -Región cubierta de pajonal. ....	54



Figura 23. Mapa de materia orgánica -Región cubierta de pastizal. ....	55
Figura 24. Mapa de densidad aparente-Región arbustiva.....	56
Figura 25. Mapa de densidad aparente- Región intervenida. ....	57
Figura 26. Mapa de densidad aparente-Región cubierta de pajonal.....	58
Figura 27. Mapa de densidad aparente-Región cubierta de pastizal.....	59
Figura 28. Mapa de densidad real-Región arbustiva .....	60
Figura 29. Mapa de densidad real-Región intervenida.....	61
Figura 30. Mapa de densidad real-Región cubierta de pajonal. ....	62
Figura 31. Mapa de densidad real-Región cubierta de pastizal .....	63
Figura 32. Mapa de porosidad-Región arbustiva.....	64
Figura 33. Mapa de porosidad- Región intervenida. ....	65
Figura 34. Mapa de porosidad-Región cubierta de pajonal.....	66
Figura 35. Mapa de porosidad-Región cubierta de pastizal. ....	67
Figura 36. Mapa de la temperatura 5 cm de profundidad-Región arbustiva .....	68
Figura 37. Mapa de temperatura 5cm de profundidad - Región intervenida.....	69
Figura 38. Mapa de la temperatura 5 cm de profundidad -Región cubierta por pajonal.....	70
Figura 39. Mapa de la temperatura 5 cm-Región cubierta por pastizal.....	71
Figura 40. Mapa de temperatura 10 cm de profundidad -Región arbustiva .....	72
Figura 41. Mapa de temperatura 10 cm de profundidad -Región intervenida....	73
Figura 42. Mapa de temperatura 10 cm de profundidad -Región cubierta por pajonal.....	74
Figura 43. Mapa de la temperatura 10 cm-Región cubierta por pastizal.....	75
Figura 44. Mapa de temperatura 20 cm de profundidad -Región arbustiva .....	76
Figura 45. Mapa de temperatura 20 cm de profundidad -Región intervenida....	77
Figura 46. Mapa de temperatura 20 cm de profundidad -Región cubierta por pajonal.....	78
Figura 47. Mapa de temperatura 20 cm de profundidad -Región cubierta por pastizal .....	79
Figura 48. Mapa de pH 5cm de profundidad -Región arbustiva .....	80
Figura 49. Mapa de pH 5cm de profundidad - Región intervenida .....	81
Figura 50. Mapa de pH 5cm de profundidad -Región cubierta por pajonal .....	82
Figura 51. Mapa de pH 5cm de profundidad -Región cubierta por pastizal.....	83
Figura 52. Mapa de pH 10cm de profundidad -región arbustiva.....	84

Figura 53. Mapa de pH 10cm de profundidad -Región intervenida .....	85
Figura 54. Mapa de pH 10cm de profundidad -Región cubierta por pajonal .....	86
Figura 55. Mapa de pH 10cm de profundidad -Región cubierta por pastizal.....	87
Figura 56. Mapa de pH 20 cm de profundidad -Región arbustiva .....	88
Figura 57. Mapa de pH 20 cm de profundidad -Región intervenida .....	89
Figura 58. Mapa de pH 20 cm de profundidad -Región cubierta por pajonal ....	90
Figura 59. Mapa de pH 20 cm de profundidad -Región cubierta por pastizal....	91
Figura 60. Mapa de conductividad hidráulica-Región arbustiva.....	92
Figura 61. Mapa de conductividad hidráulica-Región intervenida .....	93
Figura 62. Mapa de conductividad hidráulica-Región cubierta por pajonal .....	94
Figura 63. Mapa de conductividad hidráulica-Región cubierta por pastizal .....	95
Figura 64. Mapa de cobertura vegetal. ....	97
Figura 65. Textura del suelo-Región arbustiva.....	99
Figura 66. Textura del suelo-Región intervenida .....	100
Figura 67. Textura del suelo-Región cubierta de pajonal.....	101
Figura 68. Textura del suelo-Región cubierta de pastizal .....	102
Figura 69. Horizontes de la región arbustiva.....	103
Figura 70. Horizontes de la región intervenida .....	104
Figura 71. Horizonte de suelo cubierto por pajonal .....	105
Figura 72. Horizontes de la región cubierta por pastizal .....	106
Figura 73. Análisis de correlación-Región arbustiva. ....	109
Figura 74. Análisis de correlación-Región intervenida. ....	110
Figura 75. Análisis de correlación-Región cubierta de pajonal.....	111
Figura 76. Análisis de correlación-Región cubierta de pastizal. ....	112
Figura 77. Representación gráfica de regresión lineal-Región arbustiva. ....	114
Figura 78. Representación gráfica de regresión lineal-Región intervenida.....	115
Figura 79. Representación gráfica de regresión lineal-Región cubierta de pajonal.....	117
Figura 80. Representación gráfica de regresión lineal-Región cubierta de pastizal. ....	118
Figura 81. Representación gráfica del análisis de varianza-humedad. ....	119
Figura 82. Representación gráfica del análisis de varianza-materia orgánica. .	120
Figura 83. Representación gráfica del análisis de varianza de varianza-densidad aparente.....	122

Figura 84. Representación gráfica del análisis de varianza de varianza-densidad real. ....	122
Figura 85. Representación gráfica del análisis de varianza-porosidad.....	124
Figura 86. Representación gráfica del análisis de varianza-temperatura 5cm..	125
Figura 87. Representación gráfica del análisis de varianza-temperatura 10cm	126
Figura 88. Representación gráfica del análisis de varianza-temperatura 20cm	127
Figura 89. Representación gráfica del análisis de varianza-pH 5cm.....	128
Figura 90. Representación gráfica del análisis de varianza-pH 10 cm.....	129
Figura 91. Representación gráfica del análisis de varianza-pH 20 cm.....	130
Figura 92. Representación gráfica del análisis de varianza-conductividad hidráulica .....	131

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Problemática

En los páramos, se alberga una abundancia ecológica fundamental, desempeñando diversas funciones cruciales entre ellas, la retención del agua para controlar tanto el flujo superficial como subsuperficial. Esto, a su vez, previene la erosión del suelo en áreas de menor altitud, lo que constituye una contribución esencial para la sociedad. Asimismo, se les atribuye el concepto de "efecto esponja" con la regulación hídrica, destacando así su importancia en los flujos durante periodos de sequía (Díaz-Granados Ortiz et al., 2005), son protagonistas de una gran diversidad de vegetación, actividades biológicas, y entre ello la existencia de abundante material orgánico, entre otros aspectos (Quichimbo et al., 2012).

Los páramos altoandinos en Ecuador, enfrentan amenazas serias debido a la intervención humana, que incluye prácticas como la quema indiscriminada, agricultura, ganadería, expansión agrícola urbana y contaminación del agua (Brück et al., 2023). Estas actividades generan alteraciones en el uso del suelo, reducen la conductividad hidráulica y aumentan la erosión, afectando la capacidad de los suelos para regular el flujo hídrico y controlar la sedimentación en los cuerpos de agua de estos ecosistemas cruciales (Rey-Romero et al., 2022).

No obstante, el cambio climático también ha afectado negativamente los servicios ecosistémicos proporcionados por los páramos, lo que provoca alteraciones en el ciclo hidrológico y en la distribución de los recursos hídricos. Dada la fragilidad de estos ecosistemas y la presencia de sistemas agrícolas, los cambios en el uso del suelo representan una creciente amenaza (R. Hofstede et al., 2003). Este fenómeno podría

resultar en una disminución de la capacidad de almacenamiento y del contenido total de agua disponible en los páramos. Además, se anticipan aumentos en las pérdidas por evapotranspiración, modificaciones en la velocidad de desplazamiento del agua y, en última instancia, una notable reducción en la capacidad de regulación del agua en estos ecosistemas (Chuncho Morocho & Chuncho, 2019).

La microcuenca Yutujapina ubicada en la parroquia Cumbe, del cantón Cuenca, constituye una región donde se produce una importante recarga de agua en el páramo, y forma parte de los siete sistemas hídricos destinados al abastecimiento de agua para consumo humano en la parroquia Cumbe (M. García et al., 2020)

Yutujapina, como área crucial de recarga hídrica, se enfrenta a una serie de desafíos ambientales que comprometen su equilibrio ecológico. El cambio climático, con sus variaciones en los patrones de precipitación y temperaturas, perturba el ciclo natural del agua en esta región. Además, los cambios en el uso del suelo, motivados por actividades humanas, comprometen la capacidad de la microcuenca para retener y filtrar el agua, afectando adversamente su función esencial de recarga hídrica, así como también la calidad del recurso hídrico por la contaminación proveniente de prácticas agropecuarias. En este mismo contexto, es relevante destacar que la práctica local de quemar el pasto para estimular su crecimiento y proporcionar alimento al ganado circundante también contribuye a la complejidad de los desafíos ambientales en la zona. Este aspecto, aunque arraigado en las actividades agrícolas locales, precisa una evaluación crítica en términos de su impacto en el equilibrio ecológico de Yutujapina y sus efectos sobre la recarga hídrica.

Aún existe escasa información relacionada con la ecología y el funcionamiento general de las zonas de páramo en Ecuador, tal como lo menciona Buytaert et al., (2006), quien señala una notoria falta de investigaciones en estos ecosistemas, y específicamente

centradas en la conductividad hidráulica. Esta brecha en el conocimiento plantea un desafío fundamental para la conservación y manejo de estas áreas importantes por sus servicios ecosistémicos.

## **1.2 Antecedentes**

Existen varios estudios que distinguen métodos tanto *in situ* como *ex situ* para determinar la conductividad hidráulica del suelo. La elección de la técnica se define al considerar las condiciones y características de la zona de estudio para lograr resultados representativos.

El estudio de González et al., (2021) quienes utilizaron infiltrómetros de tensión para determinar el impacto de la cobertura boscosa y uso de suelo sobre la textura y conductividad hidráulica en la cuenca del río Estibaná, concluyeron en base a los resultados de campo y laboratorio que el suelo era propicio para ser considerado una posible zona de recarga debido a resultados favorables en la conductividad hidráulica. Resultados pertinentes para tomar decisiones sobre las actividades agropecuarias de la zona, que vulnera la cobertura vegetal y en el recurso suelo.

Otra de las metodologías comúnmente usadas *in situ* es el infiltrómetro de doble anillo para estimar las propiedades hidráulicas de un área de terreno. En el estudio de Alvarado & Barahona, (2017), compararon tres métodos para calcular el balance hídrico del suelo ubicado en la cuenca Suquiapa- El Salvador, en el que mediante pruebas de campo concluyeron que el método del doble anillo a comparación de otros requiere menor costo y es más práctico al momento de aplicarlo, a pesar que el tiempo para la obtención de datos es más prolongado que otras técnicas.

Por otra parte, Barbecho & Calle, (2015), llevaron a cabo la caracterización de la conductividad hidráulica en la cuenca del Río Tarqui utilizando técnicas de bombeo y

registros eléctricos. Los resultados obtenidos de este estudio previo proporcionaron una descripción detallada de la conductividad hidráulica en la subcuenca del Tarqui. La validación y cuantificación de la conductividad hidráulica en distintos puntos se lograron mediante la integración de datos geológicos, registros eléctricos de perforaciones y pruebas hidrogeológicas.

Del mismo modo, Mendez & Molina, (2023) evaluaron propiedades químicas e hidrofísicas del suelo en dos microcuencas Yutujapina y Lluchucarrumi de la parroquia Cumbe en Cuenca, analizando el impacto del cambio de uso del suelo en diferentes coberturas vegetales. Sus resultados destacan alteraciones en Yutujapina, con coberturas degradadas mostrando bajos valores en materia orgánica, nitrógeno y conductividad hidráulica saturada. Sin embargo, en potasio, densidad aparente, fósforo y capacidad de intercambio catiónico, se observaron resultados superiores. Las curvas pF indicaron que pastizales tienen mayor disponibilidad de agua, mientras que el bosque de pino muestra contenido de agua.

### **1.3 Justificación**

La conductividad hidráulica constituye un marcador crucial del desplazamiento del agua y la estructura de los poros del suelo. Por ende, resulta esencial evaluar las características físicas e hidráulicas del suelo en diversas situaciones de utilización del terreno (ÇAL & BARİK, 2020). La comprensión de este parámetro del suelo es fundamental para monitorizar eficientemente la gestión de la tierra y el agua. Se trata de un parámetro crítico que influye directamente en las propiedades físicas del suelo y su capacidad para regular el movimiento del agua, además no existe un único valor representativo de la conductividad hidráulica del suelo, ya que este varía ampliamente en diversas circunstancias y para todos los tipos de suelo (Jiya Musa et al., 2021).

Una data consolidada sobre la conductividad hidráulica en la zona de Yutujapina resulta de gran importancia para la gestión integral de los recursos hídricos y la preservación del equilibrio ecológico. Estos datos permiten comprender la eficiencia del suelo en retener y filtrar el agua, siendo esenciales para evaluar el impacto de cambios en el uso del suelo y planificar estrategias de conservación. Además, la información sobre la conductividad hidráulica facilita la respuesta a los desafíos ambientales, como el cambio climático, y contribuye a la gestión de riesgos, mejorando la capacidad para prevenir inundaciones y deslizamientos de tierra. En última instancia, el proporcionar datos respalda decisiones informadas para asegurar la sostenibilidad de la microcuenca Yutujapina como zona protegida y de recarga hídrica.

Este estudio surge como respuesta a la necesidad de llenar el vacío de información sobre la conductividad hidráulica y parámetros edafológicos en la microcuenca de protección hídrica Yutujapina. Debido a la falta de una data específica sobre la conductividad hidráulica en zonas de páramo protegido e intervenido, esta investigación no solo contribuye al conocimiento científico, sino que también ofrece herramientas para la toma de decisiones en la conservación y manejo del suelo y agua en estos ecosistemas vitales. El Espacio Natural Protegido de Yutujapina, es clave para este estudio debido a sus condiciones variadas, presenta áreas protegidas y otras intervenidas por actividades como tala, quema y actividades agropecuarias que han alterado el suelo. Dada la escasa literatura disponible sobre la conductividad hidráulica en este sitio, este estudio se realiza con el propósito de comprender las condiciones del suelo en esta ubicación específica.

## **1.4 Delimitación**

### **1.4.1 Delimitación geográfica**

La presente investigación se realizó en la microcuenca Yutujapina de la parroquia San Luis de Cumbe, ubicado al Sur del cantón Cuenca, provincia Azuay. En donde se



delimitaron cuatro regiones para el análisis respectivo de la conductividad hidráulica y parámetros edafológicos.

#### **1.4.2 Delimitación sectorial**

Los ensayos de conductividad hidráulica, temperatura y pH se realizaron en la microcuenca Yutujapina, a diferencia de los demás análisis que fueron llevados a cabo en los laboratorios de Ciencias de la Vida e Ingeniería Civil de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.

### **1.5 Objetivos**

#### **1.5.1 Objetivo General**

Evaluar la conductividad hidráulica y parámetros edafológicos del suelo en zonas protegidas y con actividad antropogénica, con el fin de destacar la importancia de la conservación del suelo para asegurar los servicios ecosistémicos en la microcuenca de protección hídrica Yutujapina de la Parroquia Cumbe.

#### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- Determinar las características fisicoquímicas del suelo en zonas protegidas y con actividad antropogénica en el sector de Yutujapina para contrastar el grado de variación y su impacto en la conservación del suelo y los servicios ecosistémicos
- Analizar el comportamiento de la conductividad hidráulica con relación a la cobertura vegetal y la edafología del suelo de páramo en zonas protegidas y con actividad antropogénica, considerando su influencia en la conservación del suelo y la provisión de servicios ecosistémicos.
- Realizar un análisis estadístico de la correlación de variables e identificación de los parámetros que afectan tanto la conservación del suelo como la oferta de servicios ecosistémicos en el sector de Yutujapina de la Parroquia Cumbe.

## **1.6 Hipótesis**

Existe una variación representativa de la conductividad hidráulica entre el área protegida e intervenida, debido a la presencia de distintos tipos de cobertura vegetal, condiciones edafológicas, uso de suelo e impacto por actividades antropogénicas presentes en la región.

## **CAPÍTULO II**

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Páramo**

El páramo andino es un ecosistema neotropical de alta montaña que se encuentra ubicado a una altitud de 3500 a 5000 msnm, abarcando diversos países como Ecuador, Colombia, Venezuela, el norte de Perú e incluso se halla en fragmentos geográficos separados por Panamá y Costa Rica, llegando a cubrir en su totalidad una superficie de 35,000 km<sup>2</sup> (R. G. M. Hofstede & Llambí, 2020). El páramo se distingue por su clima húmedo y frío, con una temperatura promedio diaria de 8°C y precipitaciones que oscilan entre 2000 a 3000 mm al año (W Buytaert et al., 2006). Además, no solo se destaca por su vasta biodiversidad y vegetación endémica que han logrado adaptarse a entornos de gran altitud y desarrollado estrategias especializadas de alimentación (Sevillano-Ríos et al., 2020), sino también por la variedad de servicios ecosistémicos que ofrece a nivel global que son de vital importancia, por lo cual forma parte del Objetivo de Desarrollo Sostenible 15 de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas al considerar la conservación de los páramos como una prioridad (Patiño et al., 2021).

Figura 1. Páramo ecuatoriano.



Fuente: (OROZCO, 2019)

## **2.2 Tipos fisonómicos de los páramos más comunes**

### **Bosque altoandino**

Se encuentra ubicado entre los 3500 a 4500 m.s.n.m. en forma de parches boscosos o islas dominadas por bosques bajos de diferentes especies de *Polylepis*, entre otros árboles de distintos géneros. Frecuentemente, se encuentran en laderas empinadas que están alrededor de lagunas y poseen una gran diversidad de flora y fauna (Llambí et al., 2012).

### **Bosque paramero**

Se encuentra ubicado entre los 2500 a 3500 m.s.n.m., se caracterizan por ser bosques de transición suave o de límite abrupto entre el bosque altoandino y páramo. Entre las especies dominantes en la zona están los árboles y arbustos del género *Gynoxis*, *Gaultheria*, *Vaccinium*, etc. (Llambí et al., 2012).

### **Arbustales o matorrales**

Se encuentran ubicados entre los 2800 a 4200 m.s.n.m., esta zona se encuentra dominada por arbustos y/o bambúes de diferentes especies como *Hypericum*, *Chusquea*,

entre otros que pueden llegar a tener mayor cobertura en zonas que están en contacto con el subpáramo y en vertientes húmedas (Llambí et al., 2012).

### **Pajonales**

Se encuentran ubicados desde los 3000 m.s.n.m. y pueden hallarse en páramos húmedos de origen natural, en áreas secas o arenales, sin embargo, pueden formarse mediante la degradación del páramo por acción antrópica. Generalmente, estas zonas pueden ser dominadas por gramíneas en mancoya del género *Festuca*, *Stipa* y demás (Llambí et al., 2012).

### **2.3 Suelo de páramo**

Los suelos de páramo se destacan por presentar características únicas y heterogéneas, ya que son suelos poco desarrollados que ostentan una tonalidad oscura, acides, humedad y un alto contenido de materia orgánica que se presenta en la capa superficial (Christmann & Oliveras, 2020). Estos suelos son reconocidos por su capacidad de almacenamiento de carbono y retención del agua, mismos que son clasificados en Andisol, Inceptisol, Histosol y Entisol (Thompson et al., 2021).

En Ecuador, los páramos se dividen en dos partes según los tipos de suelos; al norte y centro del país, los suelos están conformados por cenizas volcánicas jóvenes, negras y gruesas debido a la actividad volcánica. En estas zonas los horizontes son pobres, algo característico de los andisoles; mientras tanto, al sur del país, a pesar de que la actividad volcánica se encuentra ausente, existen finas capas de cenizas volcánicas jóvenes que recubren la capa inferior de las cenizas volcánicas antiguas meteorizadas (Chuncho, 2019).

### **2.4 Indicadores de la calidad del suelo**

#### **Conductividad hidraulica**

La conductividad hidráulica (CH), también denominada permeabilidad, indica la velocidad de flujo del agua a través de los poros del suelo, siendo influenciada por factores tales como la textura, tamaño y distribución de partículas, densidad y macroestructura de la superficie, la CH puede ser determinada mediante pruebas realizadas tanto en entornos de laboratorio como de campo (Saravanan et al., 2019).

Para entender la dinámica de la conductividad en el suelo, Holtz & Baroutaji, (2016) explica que el comportamiento estructural de los depósitos superficiales se caracteriza por su elevada dificultad, indicando que al someter el suelo a fuerzas o cambios en las condiciones ambientales, su reacción no sigue una relación directa y sencilla, esta complejidad se da, debido a diversos factores, como la estructura interna del suelo en distintas escalas (micro y macroestructura), la variabilidad en la composición de la geología del sitio y las interacciones físicas y químicas entre el agua, el aire y las partículas sólidas en el suelo.

### **Densidad aparente**

La evaluación de la densidad aparente del suelo ( $\rho_b$ ) es clave para entender las propiedades físicas del suelo, como porosidad, contenido de humedad, que son afectadas por la textura y estructura del suelo. La medición de  $\rho_b$  es crucial, ya que impacta diversas cualidades físicas del suelo, además, factores climáticos y prácticas agrícolas influyen en la carga orgánica del suelo, subrayando la importancia de evaluar  $\rho_b$  en relación con estos factores para una comprensión completa de las propiedades del suelo (AL-SHAMMARY et al., 2018)

La densidad aparente fluctúa con la composición del suelo y el nivel de materia orgánica, pudiendo variar estacionalmente debido a las actividades agrícolas y la

humedad del sustrato, especialmente en suelos con presencia de arcillas (Salamanca & Sadeghian, 2009).

### **Densidad real**

La densidad del suelo, definida como la proporción entre la masa y el volumen de una muestra sin humedad (Oliveira et al., 2015), es una característica crítica que influye en la porosidad del suelo. A medida que el suelo experimenta mayor compactación, disminuye su porosidad, lo que reduce el espacio disponible para el agua y el aire. Este fenómeno se traduce en un aumento de la densidad aparente, limitando así la disponibilidad de agua y aire en el suelo (Shapiro & Elmore, 2017)

Asimismo, se destaca que la densidad del suelo presenta una relación inversa con la porosidad y, generalmente, con el contenido de carbono orgánico. La disminución de la densidad del suelo se acompaña de un aumento en la porosidad y, típicamente, en el contenido de carbono orgánico, según evidencian las investigaciones de (Magid et al., 2020).

### **Porosidad**

La porosidad del suelo se describe como la relación entre el volumen total del suelo y el espacio poroso que abarca. (Ramesh et al., 2019)

La redistribución del suelo y la hojarasca emergen como factores clave en la mejora de la porosidad del suelo, este proceso contribuye a la infiltración efectiva del agua y fortalece la estabilidad de los agregados del suelo. La estabilidad de estos agregados, a su vez, regula la capacidad del suelo para retener agua y nutrientes, promoviendo así un entorno propicio para el crecimiento de las plantas (Schowalter, 2006). Esta conexión entre la redistribución del suelo, la porosidad mejorada y la

estabilidad de los agregados destaca la importancia de la gestión del suelo para promover condiciones óptimas para la retención de agua y nutrientes.

### **Humedad**

(Al-Sharafany, 2021) señala que la humedad del suelo en el ciclo hidrológico y su influencia en el clima se manifiesta como una respuesta eficaz de la superficie terrestre ante las fuerzas atmosféricas. Esta capacidad de adaptación se refleja en la retención máxima de agua en el suelo, determinada por factores como porosidad, textura y compactación. La cantidad máxima de contenido de agua que el suelo puede albergar bajo estas condiciones establece una conexión importante entre los fenómenos atmosféricos y la capacidad de la tierra para regular el flujo hídrico, destacando la interrelación entre los procesos del suelo y el comportamiento hidrológico. Otros autores como Pandey et al., (2021), afirman que el contenido hídrico en el suelo representa apenas un 0,05% del agua total en el ciclo hidrológico global y solo un 0,001% del total de agua dulce disponible. No obstante, a pesar de su proporción aparentemente pequeña, se ha designado como una de las variables climáticas primordiales debido a su papel crucial en el ciclo hidrológico.

### **Materia orgánica**

El contenido de materia orgánica (MO) desempeña un papel esencial en la determinación del color de la capa superficial del suelo, favorece la persistencia estructural mediante la formación de micro y macroagregados y afecta el equilibrio térmico del suelo. La mineralización de residuos vegetales y animales constituye una importante fuente de nutrientes tanto para las plantas como para la biomasa microbiana (Blume et al., 2019). Asimismo, Hatten & Liles, (2019), mencionan que la materia orgánica del suelo actúa como suministro de carbono y energía para la fauna y la

microflora del suelo, estableciendo una estrecha relación entre el contenido de materia orgánica y la actividad biológica, en condiciones ambientales constantes.

## **2.5 Factores de alteración del paramo**

### **Sustitución de la vegetación nativa de los pastizales**

La sustitución de la vegetación nativa en los pastizales por cultivos agrícolas, plantaciones y otras formas de uso del suelo está experimentando un incremento global (Eclesia et al., 2012). Estas alteraciones pueden disminuir la resiliencia y la capacidad de resistencia de los ecosistemas de pastizales, intensificando su vulnerabilidad ante factores como el cambio climático, los incendios forestales y la propagación invasiva, incidiendo en el equilibrio hídrico del suelo, ocasionando un aumento en la evapotranspiración y, por ende, una disminución en la disponibilidad de agua con respecto a los pastizales; además, ciertas especies poseen la capacidad de reducir el pH y la densidad aparente del suelo, perturbando la disponibilidad de nutrientes y el almacenamiento de carbono orgánico, lo cual repercute negativamente en la capacidad productiva del suelo (Li et al., 2022)

### **Pastoreo intensivo**

La práctica generalizada del pastoreo intensivo representa la forma más común de intervención humana en los pastizales, ejerciendo una influencia significativa en la interacción del suelo con otros factores. (Li et al., 2022). Dado que el pastoreo puede tener un impacto directo en el desarrollo de las plantas, la estructura del suelo, el flujo de nitrógeno y las características de la comunidad microbiana del suelo, esta última podría verse afectada no solo directamente por la intensidad del pastoreo, sino también de manera indirecta a través de las alteraciones en las propiedades del suelo y la vegetación que va cambiando con las variaciones en la intensidad del sobrepastoreo (Z. Wang et al., 2021).



## **Agricultura intensiva**

Beegum & Das, (2022), argumentan que las técnicas agrícolas de alta intensidad y no sostenibles han ocasionado una degradación perjudicial de la calidad del suelo y del agua. Estas prácticas excesivas emplean un elevado nivel de consumo de recursos y energía, dichos recursos generalmente son productos químicos, fertilizantes, pesticidas que las personas utilizan para una mayor producción agraria (Someus, 2009). Las reservas de COS se han agotado como resultado de estas prácticas intensivas consignadas a cumplir con la demanda alimentaria para lograr rendimientos agrícolas más altos, y el cambio climático ha exacerbado la gravedad de esta situación (Patsios et al., 2021)

## **Uso desmedido de pesticidas**

Sharma et al., (2019), sostiene que el uso extensivo de pesticidas, con su potencial de biomagnificación y persistencia, tiene graves consecuencias que afectan el aire, el agua, el suelo y el ecosistema en su totalidad, generando riesgos sustanciales para la salud de los organismos vivos a pesar de que inicialmente son utilizados para aumentar la productividad de los cultivos, estos productos químicos se acumulan generando efectos calamitosos en el ambiente.

## **Impacto de quema en los páramos**

La ganadería y la quema están intrínsecamente ligadas en el extenso páramo. Aunque los agricultores suelen usar la quema para proveer pasto fresco al ganado, estudios indican que esta práctica no acelera el crecimiento de la vegetación y, de hecho, puede disminuir la productividad, exponiendo los puntos de crecimiento a condiciones

climáticas extremas (OROZCO, 2019). Asimismo, Amoako & Gambiza, (2019), mencionan que la exposición del suelo durante la quema al eliminar la cubierta vegetal, conlleva degradación como erosión, lixiviación y disminución de porosidad, lo que asocia una infiltración más lenta, generando alta escorrentía que arrastra la capa superior del suelo. Los cambios post-incendio varían según el régimen de incendios que abarca la estación, frecuencia, intensidad y patrón.

### **Impacto de la deforestación**

Hannah, (2022), sostiene que la deforestación supone la destrucción o agotamiento de la cobertura vegetal con la intención de utilizar la tierra para otras actividades provocando la pérdida de biodiversidad, alteración de las dinámicas ambientales y limitación de los servicios ecosistémicos, además, contribuye significativamente a las emisiones globales de CO<sub>2</sub>. De igual manera López, (2022), añade que la deforestación y la disminución de la vegetación se han vinculado frecuentemente al desarrollo de carreteras, la expansión agrícola impulsada por la creciente demanda de cultivos y otros aspectos para el desarrollo económico, social, cultural, etc., por tanto reducir la deforestación es una parte fundamental de una estrategia global para combatir el cambio climático.

### **Erosión del Suelo**

La erosión del suelo es un proceso en que la capa superficial terrestre se desgasta progresivamente a causa de procesos naturales que involucran el agua y viento (FAO, 2019). Sin embargo, actividades antropogénicas como el pastoreo, la labranza, quema y deforestación en estos ecosistemas frágiles, terminan por agravar el proceso de desprendimiento y transporte de partículas de suelo (Poulenard et al., 2001). La magnitud y alcance de la erosión se encuentran condicionados por la pendiente, cambios en la

cobertura vegetal, presencia de lluvias y la corriente de agua; este proceso geomórfico trae consigo efectos negativos, como el detrimento de la calidad del suelo y el deterioro de los servicios ecosistémicos, entre ellos la regulación del flujo hídrico e infiltración (Arias-Muñoz et al., 2023).

### **Cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo**

El crecimiento poblacional, sumado a la falta de planificación territorial, ha propiciado que espacios urbanos y rurales se vean en la necesidad de invadir las áreas naturales. Esto a su vez ha llevado que la frontera agrícola se expanda hacia ecosistemas frágiles, provocando su alteración (Guzmán et al., 2023). Los páramos han experimentado impactos significativos debido a la intervención humana, que incluye la quema deliberada de extensas áreas de vegetación nativa para ser sustituidas por tierras de cultivo y pasto, resultando en la destrucción de la biodiversidad y erosión del suelo. Mientras que las prácticas de pastoreo afectan a la dinámica hídrica de la región por el pisoteo continuo del ganado, que compacta el suelo e incentivan a la transición de la vegetación hacia especies menos resilientes (Brück et al., 2023).

### **2.6 Calidad del Suelo**

El suelo es uno de los componentes indispensables para el desarrollo de la vida en el planeta debido a su importante función en la mitigación del cambio climático, la sostenibilidad alimentaria, la protección de los servicios ecosistémicos y la sostenibilidad ecológica (Dazzi & Lo Papa, 2022). Se entiende la calidad del suelo como la capacidad específica que tiene un suelo para funcionar en un ecosistema natural o antrópico de acuerdo con sus funciones: (1) promover la productividad del sistema sin perder sus propiedades físicas, químicas y biológicas (productividad biológica sostenible); (2) atenuar contaminantes ambientales y patógenos (calidad ambiental); y (3) favorecer la salud de plantas, animales y humanos (Olivera Sánchez & Avellaneda Torres, 2018).

## **2.7 Regulación hídrica**

La evaluación de la regulación hídrica conlleva la necesidad de comprender la variabilidad espaciotemporal del clima y la cobertura del suelo de manera integral. Este proceso se configura como un elemento esencial en la regulación de los servicios ecosistémicos, abarcando diversas funciones tales como la retención de agua, el control de inundaciones y crecidas en afluentes. Asimismo, estos servicios de regulación hídrica mantienen estrechas conexiones con otros servicios reguladores, incluyendo el control de la erosión, la sedimentación y la purificación del agua (Nedkov et al., 2022)

## **2.8 Resiliencia ecológica**

Para entender el término de resiliencia ecológica Ifejika Speranza et al., (2018), señalan que es la capacidad intrínseca de los ecosistemas para enfrentar y ajustarse a las perturbaciones, implica la aptitud para hacer frente a eventos y tendencias riesgosas, respondiendo o reestructurándose de manera que mantengan sus funciones, identidad y estructura fundamentales, al mismo tiempo que conservan su capacidad de recuperación. Además, Herbert et al., (2019), sostienen que la evaluación de la resiliencia implica medir el grado de cambio necesario para que el ecosistema reorganice sus componentes alrededor de un conjunto específico de estructuras y procesos que se fortalecen mutuamente.

## **2.9 Infiltración**

La infiltración se refiere al desplazamiento de agua desde la superficie del suelo hacia las capas subterráneas. Esta dinámica establece una conexión esencial entre los procesos hidrológicos en la superficie y los sistemas subterráneos, el cual ha captado considerable interés debido a su relevancia en diversas áreas, como el riego, la propagación de contaminantes, la recarga de acuíferos y la preservación de la sostenibilidad de los ecosistemas (Ferre & Warrick, 2023). Sin embargo Nistor et al.,

(2021), aclara que la tasa de infiltración no necesita referirse a condiciones de saturación, por tanto no debe confundirse con términos de conductividad hidráulica.

### **2.10 Almacenamiento de agua**

Dang et al., (2020), menciona que la implementación de prácticas agrícolas sin labranza contribuye a la acumulación de agua en el suelo al mejorar el contenido de carbono orgánico, la retención de agua, la capacidad hídrica para las plantas, la conductividad hidráulica y la infiltración, estos aspectos beneficiosos se traducen en una eficiencia notable en el uso del agua. De esta forma, se observa que la retención de agua en suelos cultivados es superior a la de áreas como matorrales, pastizales artificiales y naturales y bosques por lo que la recuperación de la vegetación en suelos erosionados a lo largo del tiempo conlleva a una reducción en la retención de agua.

### **2.11 Resistencia a la erosión**

La erosión del suelo ha sido históricamente reconocida como un problema ambiental serio a nivel global, y con frecuencia se sostiene la creencia de que las prácticas tradicionales de vegetación son las más efectivas. Investigaciones previas han examinado minuciosamente el impacto de cada componente de la planta (como coberturas, tallos, hojas, hojarasca y raíces) en el fenómeno de la erosión hídrica (Zhang et al., 2022). La capacidad de resistir la erosión del suelo es una cualidad significativa en ecosistemas sin alteraciones y sin fertilizantes, en bosques no perturbados, las pérdidas por erosión son de 70 a 2,000 veces menores que en tierras de cultivo y de 20 a 100 veces inferiores a las pérdidas en pastizales fertilizados (Berendse et al., 2015)

### **2.12 Secuestro de carbono**

La captura de carbono en el suelo surge debido a la modificación de las estrategias de gestión de la tierra, lo que amplifica el contenido de carbono del suelo y ocasiona una eliminación de dióxido de carbono de la atmósfera (Kumar, 2022).

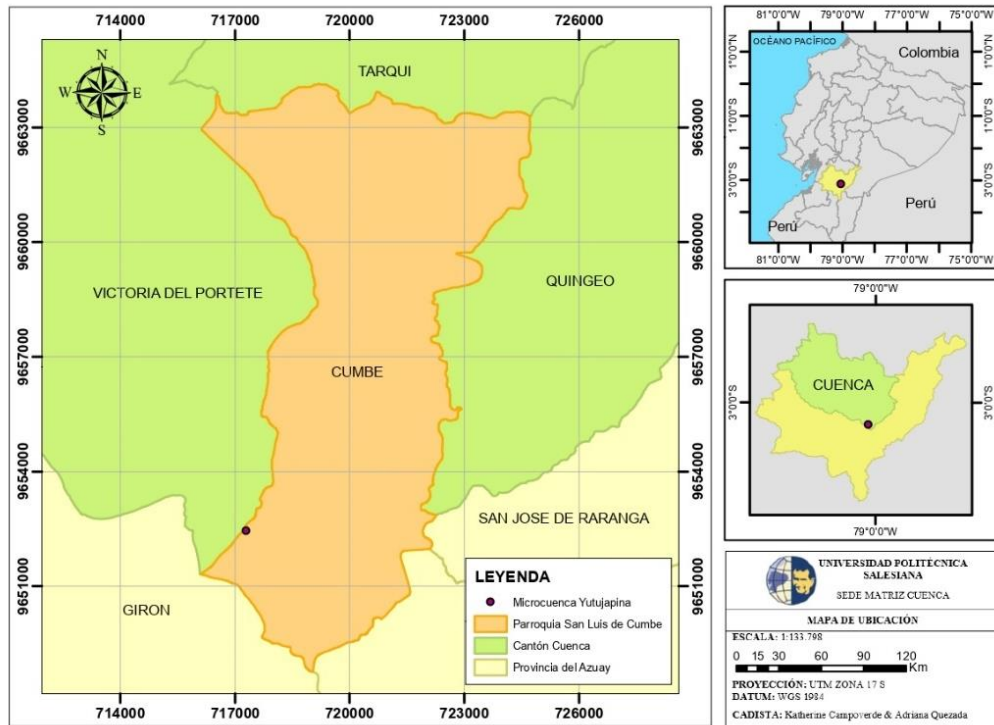
Según, Brock et al., (2023), la capacidad de aprisionamiento de carbono para contrarrestar el cambio climático no se ha evaluado a nivel mundial porque los impactos comúnmente surgen de alteraciones complejas en los sistemas, y no únicamente de la acumulación de carbono. No obstante, hay pruebas sustanciales de los servicios ecosistémicos proporcionados por el suministro de materia orgánica a los suelos.

### **3. MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 Área de estudio**

La investigación se llevó a cabo al sur de la parroquia San Luis de Cumbe, del cantón Cuenca, dentro del área de protección hídrica de la microcuenca hidrográfica Yutujapina, localizada a una altitud de 3309 msnm en las coordenadas geográficas 3°8'28.9"S; 79°2'40.7"W. Esta zona posee un clima mesotérmico templado frío que se caracteriza por ser perhúmedo con un leve déficit hídrico (INAMHI, 2017). Además, registra precipitaciones entre los 950 mm a 1000 mm, junto a temperaturas que varían entre los 7 a 12 °C, lo que propicia al desarrollo de una vegetación predominante compuesta por arbustos (chaparro), pastizal y pajonal (GAD Parroquial Rural de Cumbe, 2015).

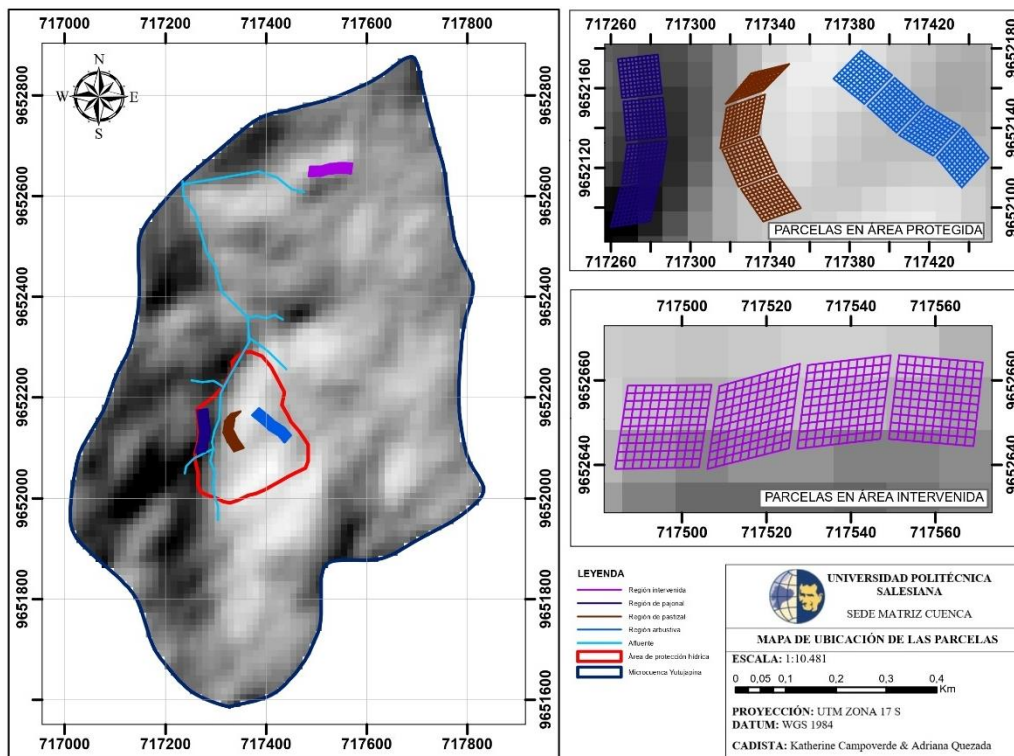
Figura 2. Mapa de ubicación de la zona de estudio.



### 3.2 Identificación puntos de muestreo

La identificación de los puntos de muestreo se basó en la metodología propuesta por Martínez, (2009). El área de estudio se dividió sistemáticamente en cuatro regiones distintas: arbustiva, intervenida, pajonal y pastizal, cada una abarcando una hectárea. Cada región se subdividió en cuatro parcelas, cada una con una extensión de 400 m<sup>2</sup>, observando que compartan la misma cobertura vegetal, pendiente y tipo de suelo. Dentro de cada parcela, se identificaron aleatoriamente cinco puntos de muestreo, para ello se realizó una subdivisión de la misma a través de una malla cuadriculada con cuadrados de 4 m<sup>2</sup> (figura 3).

Figura 3. Delimitación de las regiones de estudio



Es importante resaltar que en cada punto de muestreo se identificaron áreas con características distintas, ya sea por condiciones paisajísticas como pendiente, exposición solar y vegetación, o por historiales de uso diversos. Estas zonas se muestrearon individualmente, evitando influencias externas como carreteras, residuos, deslizamientos, cursos de agua, entre otros. En base a lo recomendado por Martínez, (2009), la toma de muestras se efectuó durante la misma estación del año, y para evitar posibles alteraciones en los datos, se implementó un protocolo que consistía en esperar al menos 48 horas después de eventos de lluvia antes de realizar el muestreo.

### 3.3 Fase de campo

#### 3.3.1 Determinación de la infiltración

La infiltración se determinó aplicando el método del infiltrómetro de doble anillo tomando en cuenta la norma ASTM D3385-03, (2003) y según lo indicado por Ibáñez et al., (2010).



Se construyeron 4 infiltrómetros de acero galvanizado con una altura de 45 cm, un diámetro de 30 cm para el anillo exterior y 15 cm para el anillo interior, como se muestra en la figura 4.

Figura 4. Infiltrómetro de doble anillo



Se llevaron a cabo cinco ensayos aleatorios de infiltración en cada parcela, insertando el infiltrómetro a una profundidad de 10 cm en el suelo sin perturbar su cobertura vegetal. Una vez confirmado que el instrumento estaba enterrado a la profundidad adecuada, se procedió a nivelarlo desde la superficie, con la finalidad que se pueda verificar una adecuada medición (figura 5).

Figura 5. Infiltrómetro nivelado.



A continuación, se procedió a verter agua en el anillo interno después de haber colocado un revestimiento plástico para garantizar su impermeabilidad, antes de llenar el

anillo exterior. La altura del agua en el anillo exterior debe mantenerse a 32 cm en relación con la altura del infiltrómetro. Una vez que el anillo exterior ha sido completamente llenado de agua, se retira el plástico del anillo interno y se controla cuidadosamente el nivel del agua para asegurar que alcance los 32 cm, coincidiendo con el anillo exterior (figura 6).

Figura 6. Llenado del infiltrómetro



El intervalo de tiempo para la medición fue aplicado según las recomendaciones de Gavilánez Luna & San Martín Larrea, (2023). Se consideró lecturas de medición de infiltración en intervalos de 5, 10 y 15 minutos a lo largo de una hora y media. Con ayuda de una cinta métrica, se midió la distancia desde la superficie del anillo interior hasta el espejo de agua, registrando así cada valor obtenido para poder evaluar la tasa de infiltración del agua como se observa en la figura 7.

Figura 7. Infiltrómetro con cinta métrica



### **3.3.2 Toma de muestras de suelo**

Previo a la obtención la muestra de suelo, se llevó a cabo la limpieza de la hojarasca en la superficie y la remoción de la capa orgánica para prevenir cualquier alteración de datos durante el proceso de muestreo, según lo recomendado por Ramos, (2010). La extracción de las muestras se realizó a una profundidad de 20 cm mediante el uso de un barreno, depositándolas luego en un balde de plástico limpio para llevar a cabo la homogenización. Durante este proceso, se desagregaron los terrones para obtener una submuestra final de aproximadamente un kilogramo. Posteriormente, las muestras se dispusieron en una bolsa Ziploc® para evitar cualquier contaminación. A continuación, se etiquetaron con códigos correspondientes al área de muestreo, la fecha de recolección, el nombre del responsable de la extracción, la profundidad de extracción con el barreno y sus respectivas coordenadas (figura 8) (Andrades & Martinez, 2014).

Las muestras fueron transportadas en al laboratorio antes de las 48 horas de haber sido recolectadas, donde se conservaron en refrigeración a una temperatura de 4 a 8°C en un intervalo de tiempo no mayor a 3 días según lo recomendado por el Ministerio de Agricultura, (2019). Cabe resaltar que las submuestras de suelo fueron tomadas por cada ensayo de infiltración.

Figura 8. Etiquetado de la muestra



### 3.3.3 Medición de temperatura y pH

La medición de la temperatura y el pH se llevó a cabo siguiendo las pautas establecidas por Gutiérrez & Restrepo, (2019) y Pokladníková et al., (2008). Estas se realizaron para cada punto de muestreo con un medidor digital a 5, 10 y 20 cm de profundidad desde la superficie del suelo, para ambos parámetros. En adelante se mencionan como T5, T10, y T20 para temperatura, y pH5, pH10 y pH20 para pH. Es importante destacar que las mediciones se llevaron a la par con cada ensayo de infiltración.

Figura 9. Medidor De PH, y temperatura.



Fuente: (Survey, 2021)

### **3.4 Fase de laboratorio**

#### **3.4.1 Estimación de la humedad (H)**

Para evaluar la humedad en el campo, se aplicó el método gravimétrico. En este proceso, se obtuvo una muestra compuesta de 100 g, compuesta por 20 g de cada una de las cinco submuestras de suelo extraídas de la parcela. Se determinó la masa de la muestra compuesta antes y después de su deshidratación usando una balanza analítica. Posteriormente, se colocó la muestra en un recipiente de aluminio y se introdujo en un horno desecador a una temperatura de  $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas, siguiendo las pautas establecidas por Reynolds, (1970). Tras obtener el valor de secado, se llevó a cabo la diferencia entre la muestra recién tomada y la desecada para obtener el resultado final (Sevruk, 2014). Se destaca que se realizó un análisis gravimétrico por parcela.

#### **3.4.2 Determinación de la granulometría**

Se obtuvo una muestra compuesta de 500 g, integrada por 100 g de cada una de las cinco muestras de suelo obtenidas en la parcela. Después de colocar la muestra en un envase de aluminio, se introdujo en un horno desecador a una temperatura de  $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$  durante un periodo de 24 horas. Seguidamente, la muestra se colocó en el desecador por 1 hora para su enfriamiento. Posteriormente, se tamizó a través de un tamiz N°40 (2 mm) sobre una bandeja plástica. Los terrones que no pasaron por el tamiz se desintegraron con un mortero (figura 10). Finalmente, la muestra se ubicó en una funda plástica etiquetada y se preservó en una caja de plástico para su utilización en el análisis fisicoquímico del suelo (Martínez, 2009). Es esencial señalar que se creó una muestra compuesta por cada parcela.

Figura 10. Granulometría de las muestras de suelo



### 3.4.3 Estimación de la materia orgánica (MO)

Para el análisis del contenido de materia orgánica del suelo, se empleó el método de calcinación, según lo propuesto por Izquierdo Bautista & Arévalo Hernández, (2021). En este método, se extrajo una submuestra de 10 g de la muestra compuesta previamente preparada y se colocó en un crisol. La submuestra fue secada en la mufla en un periodo de 6 horas a  $430^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ , en conformidad con la norma AASHTO T 267-22, (2013) (figura 11). Posteriormente, se dejó enfriar la muestra en un desecador de vidrio durante 1 hora y, finalmente, se determinó la masa en una balanza analítica para realizar los cálculos correspondientes.

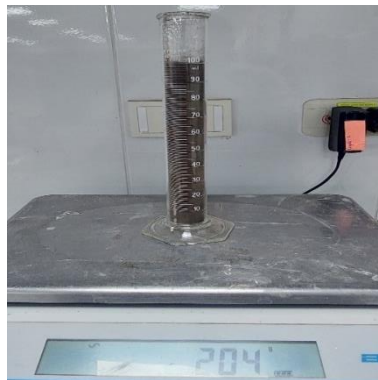
Figura 11. Calcinación de la materia orgánica en la mufla



### 3.4.4 Estimación de la densidad aparente (DA)

Para este análisis, se procedió a desbrozar el sustrato utilizando un tamiz N° 40 con el fin de eliminar las partículas más grandes, logrando así una medida más precisa del volumen. Posteriormente, se pesó la probeta vacía, obteniendo el valor correspondiente a P1. Seguidamente, se llenó el recipiente con la muestra de suelo hasta llegar a la línea referencial de 100 ml. Se determinó la masa del recipiente con la muestra de suelo, anotando este valor como P2. Luego, se determinó el volumen de la muestra de suelo en el recipiente y se aplicaron 5 golpes sobre la palma de la mano para lograr una distribución proporcional de la muestra en la probeta. Una vez completado este paso, se obtuvo el volumen aparente y se pesó, registrando el valor de P3 (figura 12) (Cabrera et al., 2019).

Figura 12. Estimación de la densidad aparente.



### 3.4.5 Estimación de la densidad real (DR)

Para llevar a cabo este análisis, se determinó la masa del matraz aforado de 100 ml, registrando el valor de W1. Luego, se tomó 20 g de la muestra de suelo que pasaron por el tamiz N°40, mismos que fueron vertidos dentro del recipiente para proceder a pesar nuevamente y se anotó como el valor de W2. Después, se agregaron 40 ml de agua en el matraz y se agitó con un movimiento de rotación suave durante cinco minutos. Culminado el tiempo, se añadió agua hasta la línea de aforo del matraz y se llevó a la balanza,

obteniendo un valor correspondiente a W3. Se procedió a arrojar el contenido del recipiente y a enjuagarlo. Finalmente, se aforó el matraz con agua y se pesó, obteniendo el valor de W4 (figura 13) (Cabrera et al., 2019).

Figura 13. Estimación de la densidad real



### 3.5 Cálculo de la conductividad hidráulica (CH)

Los cálculos se basaron en la metodología publicada por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS), se aplicaron las siguientes ecuaciones según lo recomendado por Larrea, (2022):

- a) En donde se asume que la conductividad hidráulica tiene una igualdad respecto con la infiltración básica, por lo que se buscó obtener el valor  $I_b$ :

$$I_b = K$$

**Donde:**

**K**= Conductividad hidráulica

**$I_b$** = Infiltración básica

- b) Se calculó  $I_b$  considerando las lecturas realizadas de la medición de la infiltración hidráulica en campo mediante la siguiente fórmula:



$$I_b = a(-600b)^b$$

**Donde:**

**a y b**= Coeficientes a deducir

Por lo tanto, los valores de a y b se obtiene mediante los siguientes cálculos:

$$I = B - 1$$

$$a = A * B = A(b + 1)$$

c) Se observó que dicha función corresponde a la siguiente expresión:

$$I_T = At^B$$

**Donde:**

**I<sub>T</sub>**= Infiltración total

**A y B**= Son los valores obtenidos de la infiltración aplicando el método de mínimos cuadrados ordinarios, con su respectiva linealización

### **3.6 Cálculo del porcentaje de humedad**

Se determinó el contenido de humedad en la muestra de suelo mediante la aplicación de las siguientes ecuaciones recomendadas por Sevruk, (2014):

a) Se calculó el valor del agua contenida en la muestra aplicando la siguiente fórmula:

$$Peso_{agua\ muestra} = Peso_{recipiente} + suelo\ seco - Peso_{recipiente} + suelo\ húmedo$$

b) Se obtuvo el porcentaje de humedad contenida en la muestra de suelo, se aplicando la siguiente fórmula:

$$\% Humedad = \frac{Peso\ agua\ muestra}{Peso\ seco\ muestra} * 100$$

### 3.7 Cálculo del porcentaje de materia orgánica

Se determinó el porcentaje de materia orgánica contenida en el peso del suelo seco en el horno mediante la siguiente ecuación recomendada por la AASHTO T 267-22, (2013):

$$\% MO = \frac{A-B}{B-C} * 100$$

Donde:

**%MO**= Porcentaje de la materia orgánica

**A**= Peso suelo seco y crisol antes de la calcinación

**B**= Peso suelo seco y crisol después de la calcinación

**C**= Peso del crisol

### 3.8 Cálculo de la densidad aparente

Se obtuvo el valor de la densidad aparente del suelo aplicando la siguiente ecuación recomendada por Escobar Perea et al., (2021):

- a) Se calculó la masa del material encontrada en el recipiente mediante la siguiente expresión:

$$Masa\ del\ material = M2 - M1$$

**Donde:**

**M1**= Peso del crisol

**M2**= Peso del crisol con la muestra de suelo

- b) Se calculó la densidad aparente aplicando la siguiente ecuación:

$$DA = \frac{Masa\ del\ material}{Volumen\ ocupado\ por\ el\ material}$$

**Donde:**

**DA**= Densidad aparente

### **3.9 Cálculo de la densidad real**

Se obtuvo el valor de la densidad real del suelo aplicando la siguiente ecuación recomendada por Cabrera et al., (2019):

$$DR = \frac{W2 - W1}{(W4 - W1) - (W3 - W2)}$$

**Donde:**

**DR**= Densidad real

**W1**= Peso del matraz

**W2**= Peso del suelo + peso del matraz

**W3**= Peso del suelo + peso del matraz + peso del agua

**W4**= Peso del matraz limpio + peso del agua

### **3.10 Cálculo del porcentaje de porosidad (P)**

Se calculó el porcentaje de la porosidad aplicando la siguiente ecuación recomendada por Cabrera et al., (2019):

$$EP = 100 - \left(\frac{DA}{DR}\right)(100)$$

**Donde:**

**EP**= Espacio poroso

**DA**= Densidad aparente

**DR**= Densidad real

### **3.11 Cobertura vegetal y caracterización edafológica**

En cada región se realizó una calicata con dimensiones de profundidad y ancho de 1m, cuya finalidad fue la identificación y caracterización edafológica basado en textura y horizontes del suelo.

#### **3.11.1 Cobertura vegetal**

Para la obtención de imágenes satelitales, se optó por el sensor Sentinel-2B MSI, destacado por ofrecer una mayor densidad espacial y resoluciones temporales. Esta elección se basó en las recomendaciones de Memon et al., (2023), quienes resaltan la capacidad de este sensor para proporcionar información detallada y precisa. Luego, se realizaron procesos de preprocesamiento, que incluyeron correcciones geométricas y radiométricas para mejorar la calidad de los datos. Se seleccionaron bandas espectrales específicas y se aplicó el método de clasificación de máxima verosimilitud supervisada para generar el mapa de cobertura vegetal y uso de suelo.

#### **3.11.2 Identificación de los horizontes del suelo**

La identificación de los horizontes de suelo en el páramo se basó en la metodología propuesta por la FAO, (2009), la cual fue aplicada considerando las parcelas establecidas en la zona de estudio. A cada parcela se le asignó una calicata estratégicamente ubicada como punto de partida para el análisis respectivo. Se realizaron excavaciones de calicatas con una profundidad y ancho de 1 metro como se observa en la figura 14 (Obispo et al., 2020). Luego, se procedió a diferenciar a cada uno de los horizontes de acuerdo con su color, consistencia, contenido de raíces y minerales. Para concluir, se procedió a medir el espesor de los horizontes con la asistencia de una cinta métrica, y se registraron los datos en conjunto con sus respectivas coordenadas.

Figura 14. Calicata con profundidad y ancho de 1m.



### 3.11.3 Estimación de la clasificación textural

Para el análisis de la textura del suelo, se tomó muestra a 40 cm de profundidad. Se determinó la clase textural mediante el método del tacto. En este procedimiento, se tomaron 50 gramos de la muestra de suelo, a los cuales se les añadieron gradualmente gotas de agua hasta que los agregados estuvieron humedecidos, permitiendo que el suelo adquiriera maleabilidad. Posteriormente, se llevaron a cabo diversas pruebas táctiles en todas las muestras recolectadas en base a la información proporcionada por (USDA, 2005), con el propósito de identificar las partículas en función de su tamaño, tales como arenas, limos y arcillas. Este proceso facilitó la clasificación de las clases texturales conforme al Triángulo de Clasificación Textural (Llambí et al., 2012).

Figura 15. Análisis de la textura del suelo por método del tacto



### **3.12 Análisis estadístico**

Se determinó la normalidad en los grupos de datos mediante la prueba de Shapiro-Wilk y homocedasticidad mediante la prueba de Fligner - Killeen según lo recomendado por Qishlaqi & Moore, (2007), fundamental para la elección adecuada de las pruebas estadísticas subsiguientes. Se empleó la prueba no paramétrica de correlación de Spearman, para comprender la dirección y fuerza de la relación entre los parámetros medidos (H, MO, DR, DA, P, T5, T10, T20, pH5, pH10, pH20 y CH) (Yáñez Díaz et al., 2018). Además, se realizó un análisis de regresión lineal para explorar la relación entre la variable dependiente (conductividad hidráulica) con cada una de las variables medidas conforme lo menciona Siegel & Wagner, (2022). Esta relación se evaluó mediante el análisis de los valores del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y el nivel de significancia (p-valor). Asimismo, se realizó un análisis de varianza empleando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para determinar posibles diferencias significativas entre las regiones de estudio (arbustiva, intervenida, pajonal y pastizal) con respecto a cada parámetro medido. Der haber encontrado un resultado significativo en el análisis de varianza, se realizó un análisis post hoc mediante la prueba de Dunn, para comparar las medias efectuando comparaciones por pares entre los grupos (Dinno, 2015).

## **CAPÍTULO III**

### **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1 Resultados**

##### **4.1.1 Características fisicoquímicas del suelo**

En la tabla 1, se detallan las características fisicoquímicas en cada región: arbustiva, intervenida, pajonal y pastizal.

Tabla 1. Promedio de los parámetros según cada región de estudio.

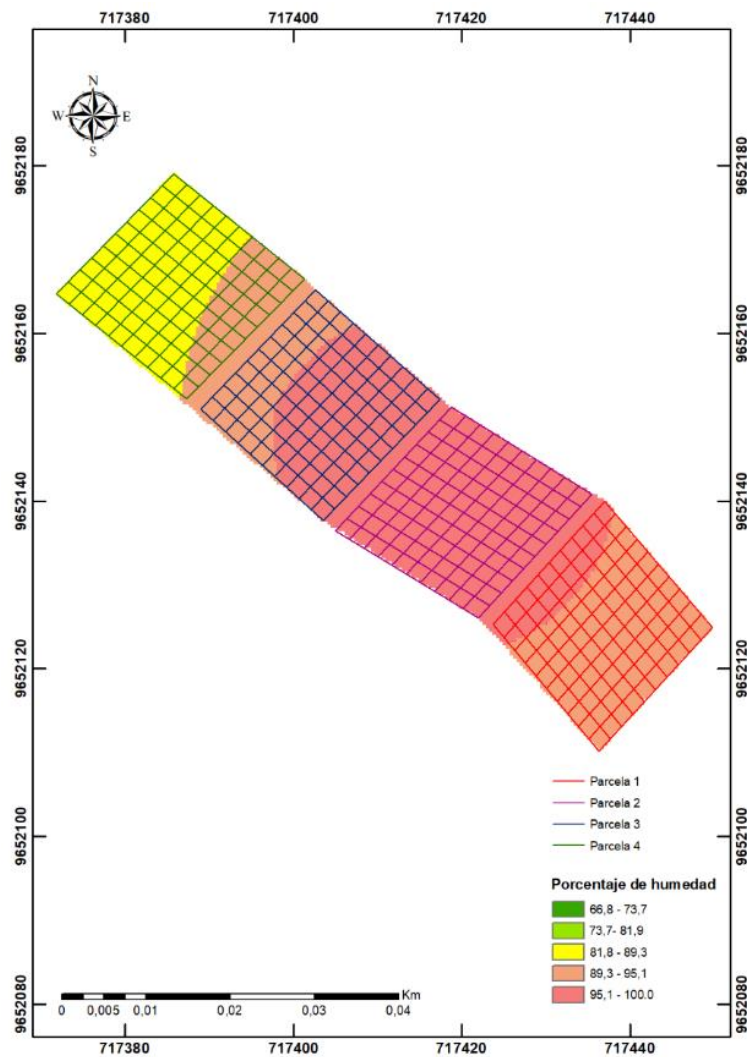
REGIÓN	Promedio											
	H	MO	DA	DR	P	T5	T10	T20	Ph 5	pH1 0	pH2 0	CH
<b>ARBUSTIVA</b>	<b>95.1 4</b>	<b>32.0 4</b>	<b>0.9 5</b>	<b>1.9 6</b>	<b>51.2 4</b>	<b>14.6 5</b>	<b>13.4 0</b>	<b>12.7 0</b>	<b>6.8 8</b>	<b>6.85</b>	<b>6.78</b>	<b>0.09</b>
<b>INTERVENI DA</b>	<b>74.1 4</b>	<b>31.8 3</b>	<b>0.9 6</b>	<b>2.1 1</b>	<b>54.5 0</b>	<b>16.7 0</b>	<b>15.7 0</b>	<b>13.6 5</b>	<b>6.9 8</b>	<b>6.85</b>	<b>6.85</b>	<b>0.04</b>
<b>PAJONAL</b>	<b>78.8 5</b>	<b>34.1 8</b>	<b>0.9 6</b>	<b>2.1 6</b>	<b>55.7 9</b>	<b>15.6 0</b>	<b>13.6 5</b>	<b>12.3 5</b>	<b>6.6 8</b>	<b>6.50</b>	<b>6.52</b>	<b>0.00 8</b>
<b>PASTIZAL</b>	<b>70.4 0</b>	<b>21.7 0</b>	<b>0.9 4</b>	<b>2.2 2</b>	<b>57.4 3</b>	<b>14.5 0</b>	<b>13.1 0</b>	<b>12.7 0</b>	<b>6.9 3</b>	<b>6.76</b>	<b>6.80</b>	<b>0.02 8</b>

En el marco de esta investigación, los resultados han sido detalladamente reflejados en diversos mapas, poniendo especial énfasis en la representación visual de los parámetros fisicoquímicos del suelo mediante técnicas de interpolación contribuyendo así al logro satisfactorio del primer objetivo planteado.

### **Mapas de humedad del suelo**

A continuación, se presentan los mapas detallados que exploran la humedad del suelo (H), resaltando los resultados obtenidos en las diversas coberturas vegetales de la región arbustiva, intervenida, pajonal y pastizal.

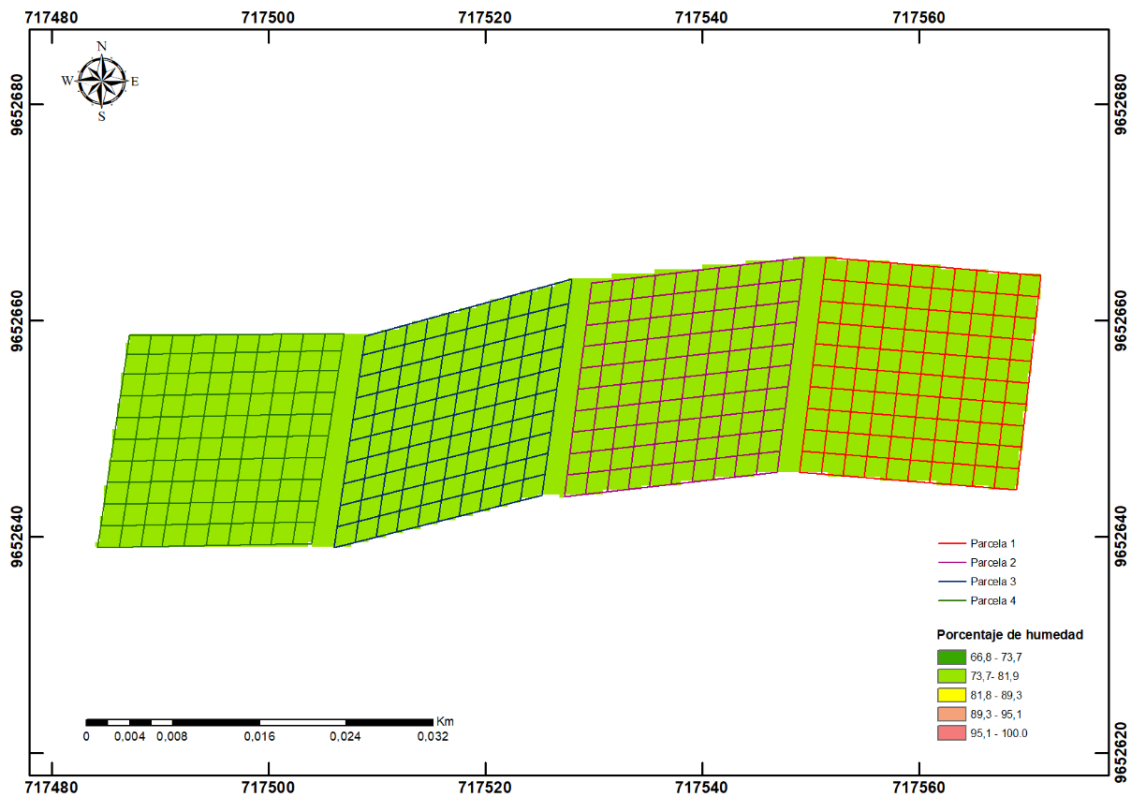
Figura 16. Mapa de humedad- Región Arbustiva.



En la figura 16 se observa la región cubierta por vegetación arbustiva, evidenciando una variabilidad en los porcentajes de humedad entre las diferentes parcelas analizadas. En particular, la parcela 4 exhibió, en ciertas áreas, un menor contenido de humedad en comparación con las otras parcelas, fluctuando entre el 81,8% y el 89,3%. En contraste, el resto de la parcela, incluyendo las parcelas 1 y 3, presentó rangos de humedad más elevados, situándose entre el 89,3% y el 95,1%. Los niveles de humedad más elevados para esta región se encontraron específicamente en algunas áreas de las parcelas 1 y 3, así como en la totalidad de la parcela 2.

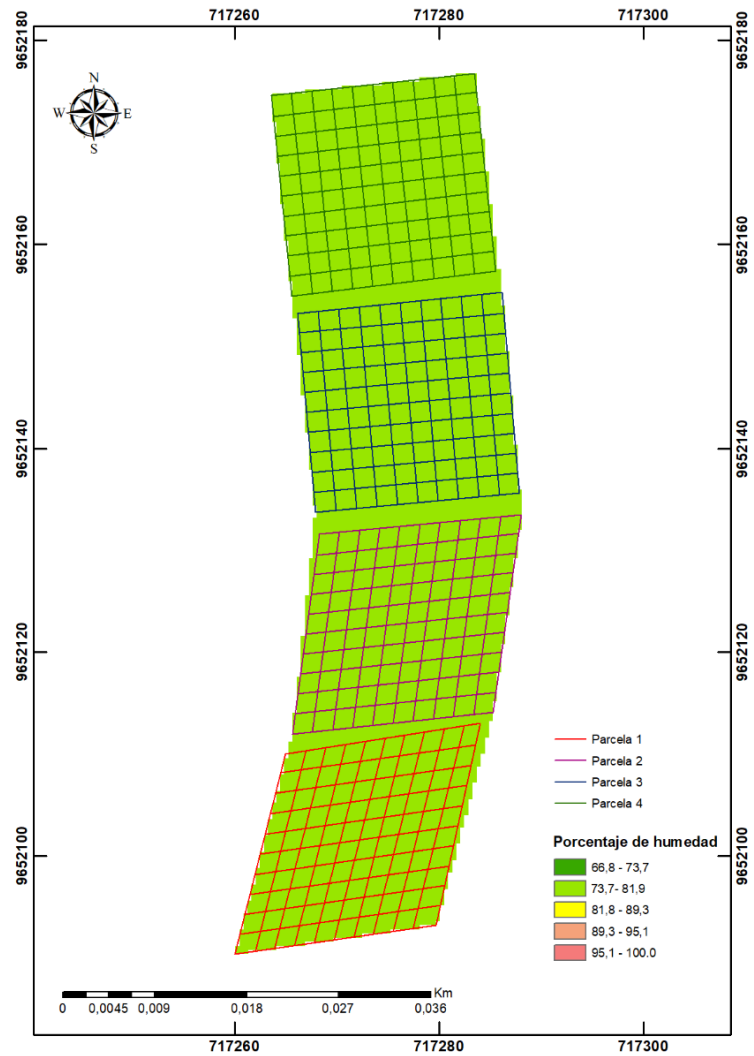


Figura 17. Mapa de humedad-Región intervenida.



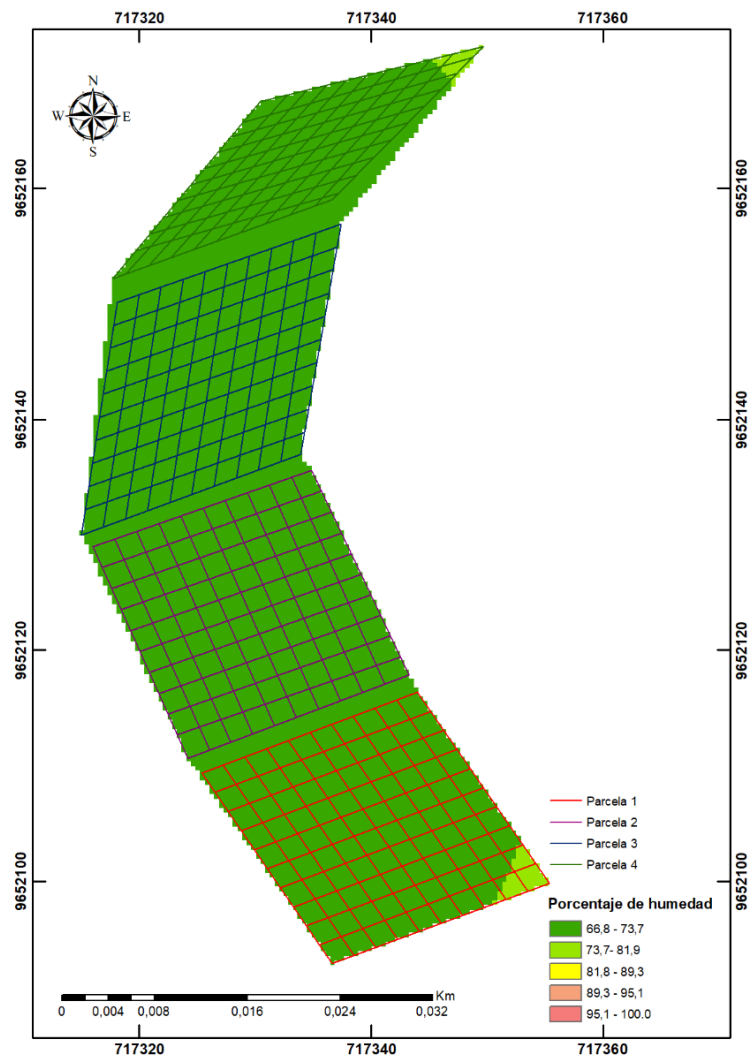
En la figura 17, se evidencia que la región intervenida presenta valores del parámetro de humedad en un rango consistente, fluctuando entre 73,7% y 81,9%. Este intervalo indica una notable uniformidad en los datos dentro de las cuatro parcelas.

Figura 18. Mapa de humedad-Región cubierta de pajonal.



En la figura 18 se destaca que la región cubierta de pajonal, de manera análoga a la región intervenida, se muestra un porcentaje de humedad comparable, oscilando entre el 73,7% y el 81,9%. A pesar de la diferencia en las coberturas vegetales, ambas áreas presentan un rango de porcentaje de humedad idéntico.

Figura 19. Mapa de humedad-Región cubierta de pastizal.

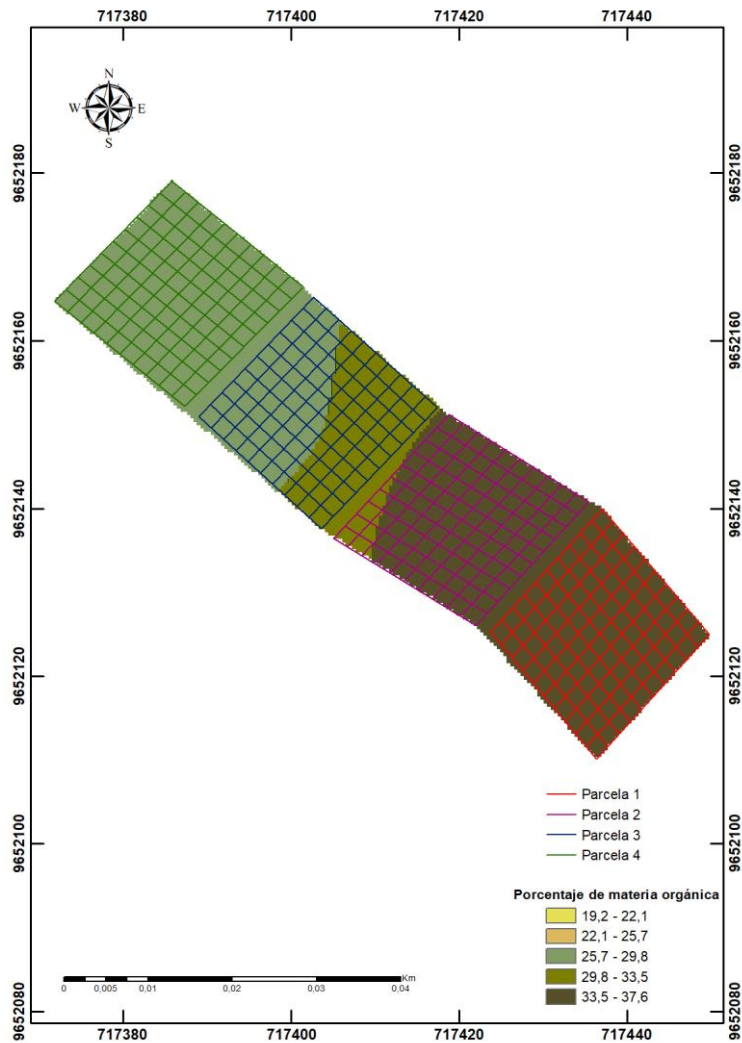


La región cubierta de pastizal representada en la figura 19, se destaca que en las parcelas 1 y 4, los niveles de humedad oscilan entre el 66,8% y el 73,7%. Además, se identifica secciones específicas en estas parcelas donde la humedad alcanza valores superiores, registrando porcentajes comprendidos entre el 73,7% y el 81,9%. Por contraste, las parcelas 2 y 3 exhiben valores de humedad que se situaron dentro de los rangos previamente mencionados, entre el 66,8% y el 73,7%.

### Mapas de materia orgánica del suelo

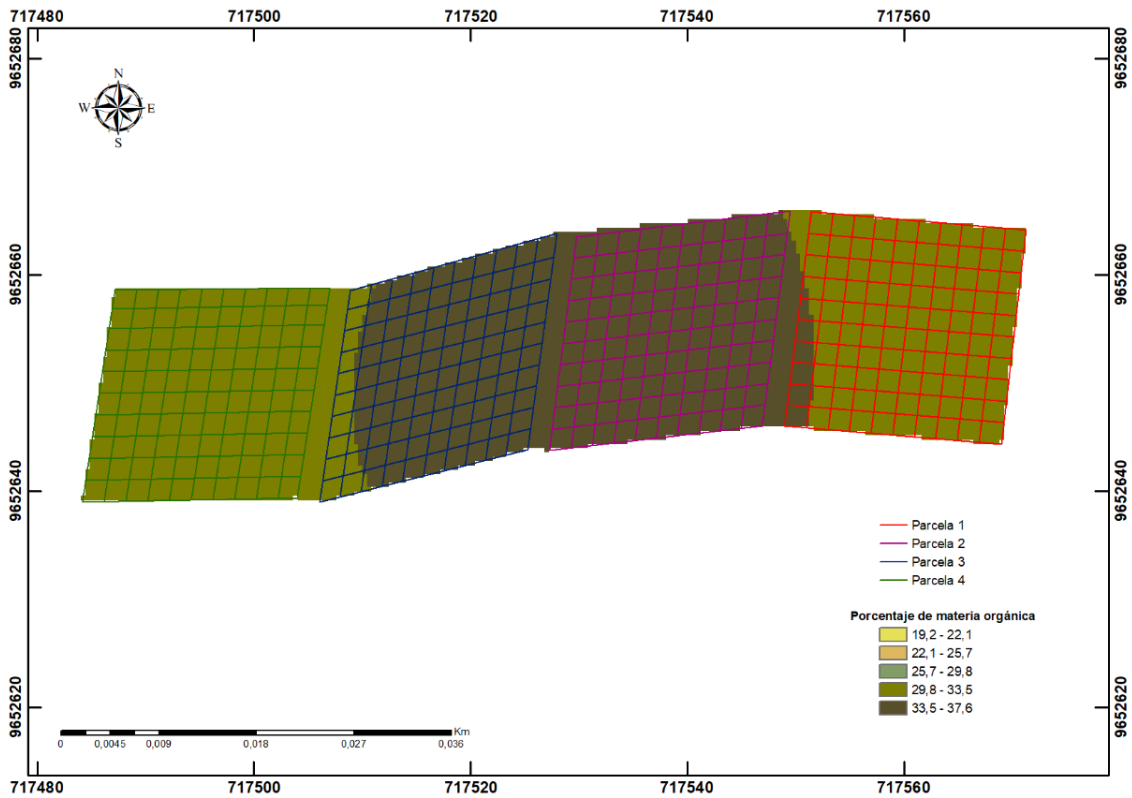
Aquí se detallan los mapas que reflejan los resultados de la materia orgánica (MO) en las distintas coberturas vegetales de la región arbustiva, intervenida, pajonal y pastizal.

Figura 20. Mapa de materia orgánica- Región arbustiva.



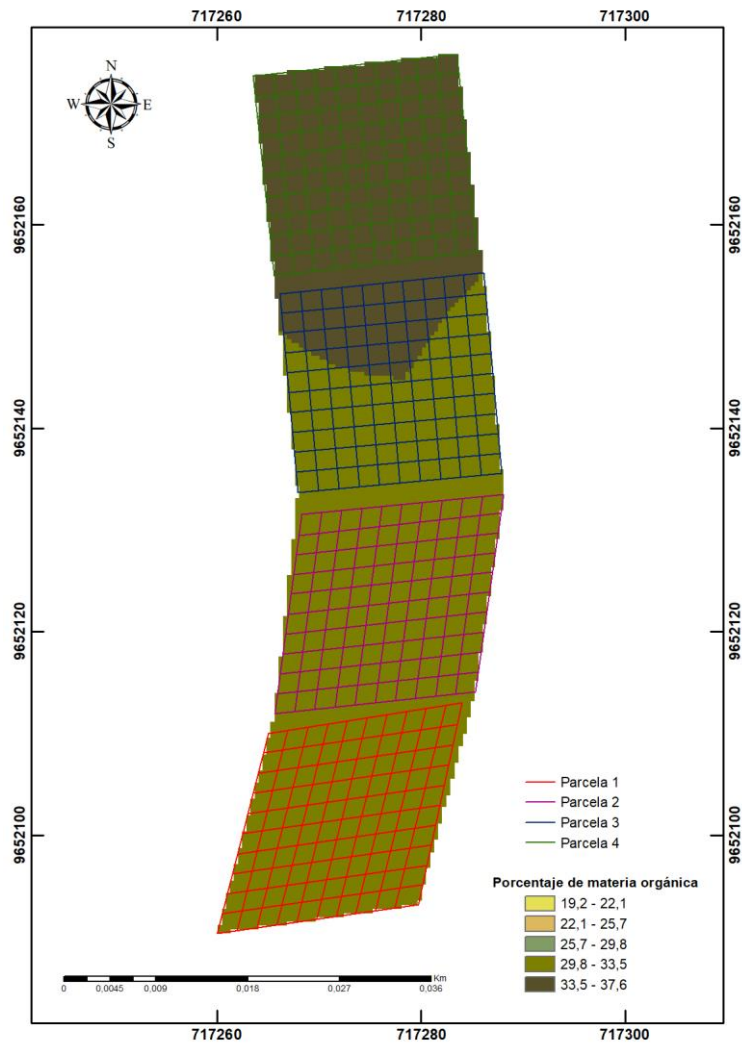
En la figura 20, se destaca notablemente que esta región exhibe la mayor concentración de materia orgánica en comparación con las demás áreas analizadas. Al examinar la parcela 1 y la mayor parte de la parcela 2, se observa que los porcentajes de materia orgánica abarcan un rango que va desde 33,5% hasta 37,6%. En áreas más limitadas de las parcelas 2 y 3, los valores varían entre 29,8% y 33,5%. Por último, en parte de la región 3 y en su totalidad en la parcela 4, se registran valores de materia orgánica que oscilan desde 25,7% hasta 29,8%.

Figura 21. Mapa de materia orgánica -Región intervenida.



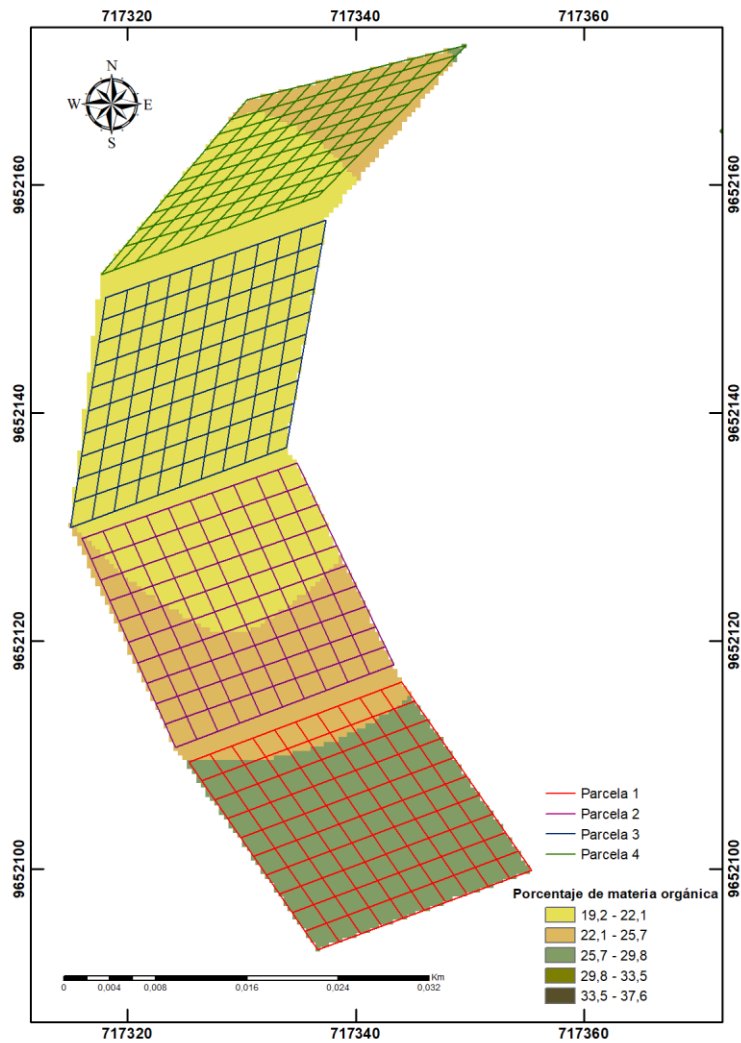
En la figura 21, se determina que en ciertas áreas de la parcela 1, 3 y en la totalidad de la parcela 4, los porcentajes de materia orgánica se sitúan en un intervalo que va desde el 29,8% hasta el 33,5%. Por otro lado, tanto la parcela 1 como la 3, además de presentar los porcentajes ya mencionados, exhiben rangos adicionales de materia orgánica que fluctúan entre el 33,5% y el 37,6%. Esta tendencia se aprecia también en la parcela 2, cubriendo la totalidad de su área con un porcentaje de materia orgánica similar.

Figura 22. Mapa de materia orgánica -Región cubierta de pajonal.



En la figura 22, de la región cubierta de pajonal se corrobora que en la parcela 1, 2 y determinadas áreas de la parcela 3, se encuentra en un rango de contenido de materia orgánica con porcentajes que varían entre el 29,8% y el 33,5%. Por otro lado, en las restantes secciones de la parcela 3 y en la totalidad de la parcela 4, se observa intervalos de materia orgánica que abarcan desde el 33,5% hasta el 37,6%.

Figura 23. Mapa de materia orgánica -Región cubierta de pastizal.

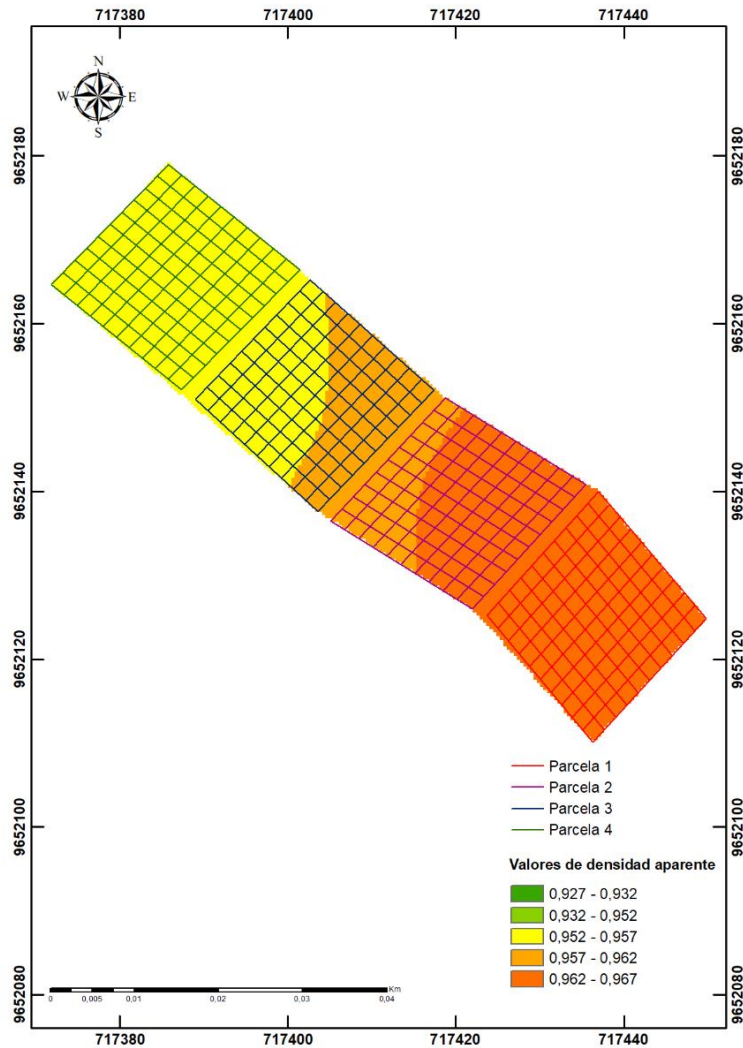


En la figura 23, se evidencia que, la cantidad de materia orgánica experimenta una disminución en algunas parcelas en comparación con las otras coberturas vegetales analizadas. Este aspecto fue particularmente notable en las parcelas 2, 3 y 4, donde los porcentajes registrados se encuentran en un rango de 19,2% a 22,1%. Además, se observa que en determinadas áreas de la parcela 1, 2 y 4, los porcentajes de humedad varían entre el 22,1% y el 25,7%, mientras que en la mayor parte de la parcela 1, el porcentaje oscila entre el 25,7% y el 29,8%.

## Mapas de densidad aparente (DA) del suelo

Se presentan a continuación los mapas detallados concernientes al análisis de la densidad aparente (DA), destacando los resultados obtenidos en las diversas coberturas vegetales de la región arbustiva, intervenida, pajonal y pastizal.

Figura 24. Mapa de densidad aparente-Región arbustiva.

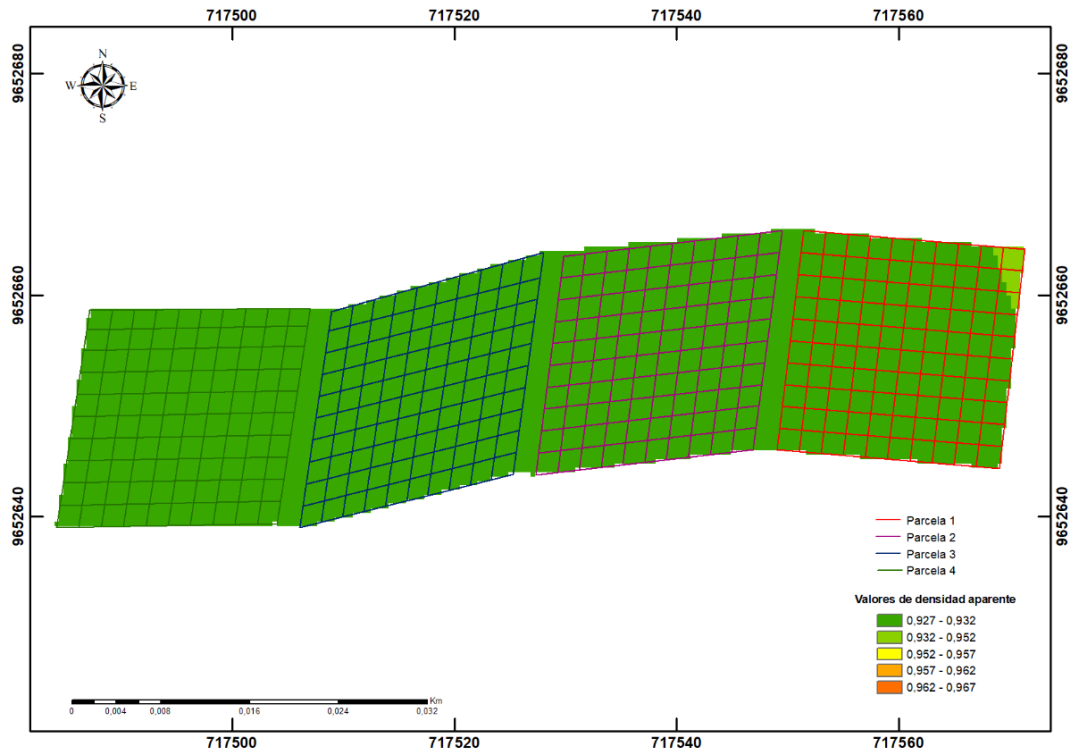


En la figura 24 correspondiente a la región arbustiva, se destaca una mayor variabilidad en los valores de densidad aparente en comparación con las otras regiones analizadas. Se observa que en toda la extensión de la parcela 1 y en una considerable parte de la parcela 2, los valores de densidad aparente son significativamente superiores, oscilando entre 0,962 g/cm<sup>3</sup> y 0,967 g/cm<sup>3</sup>. En las áreas restantes de la parcela 2 y en una



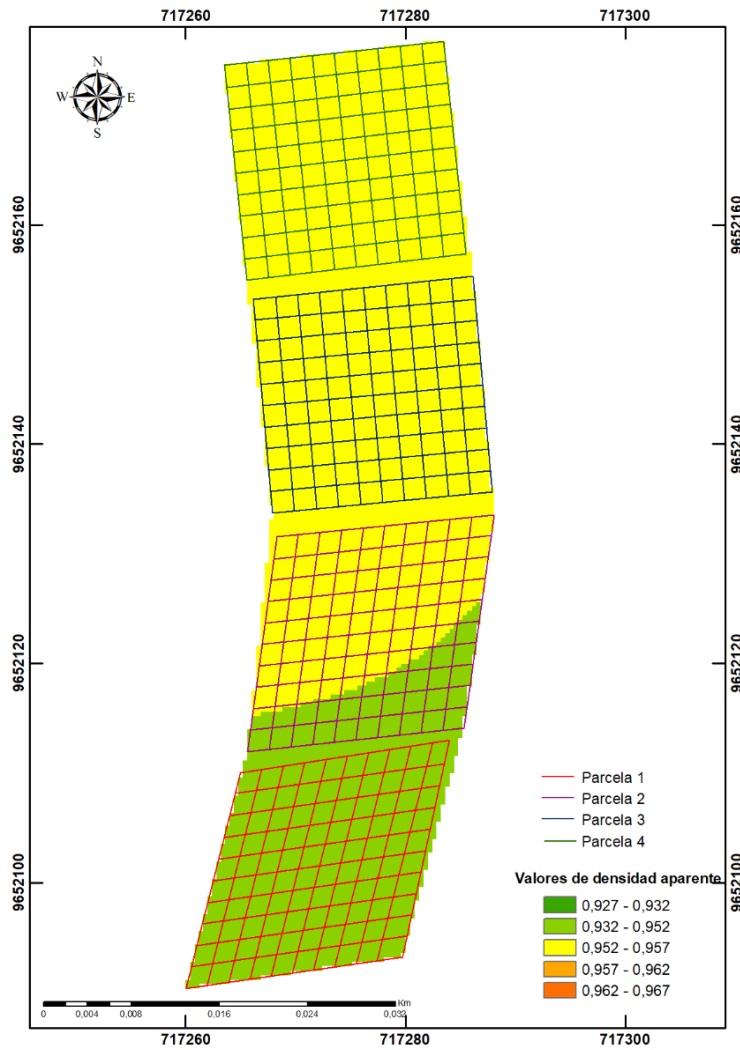
sección de la parcela 3, se observa en un rango de densidad aparente de  $0,957 \text{ g/cm}^3$  a  $0,962 \text{ g/cm}^3$ . En las áreas restantes de la parcela 3 y la totalidad de la parcela 4 exhiben valores en el rango de  $0,952 \text{ g/cm}^3$  a  $0,957 \text{ g/cm}^3$ .

Figura 25. Mapa de densidad aparente- Región intervenida.



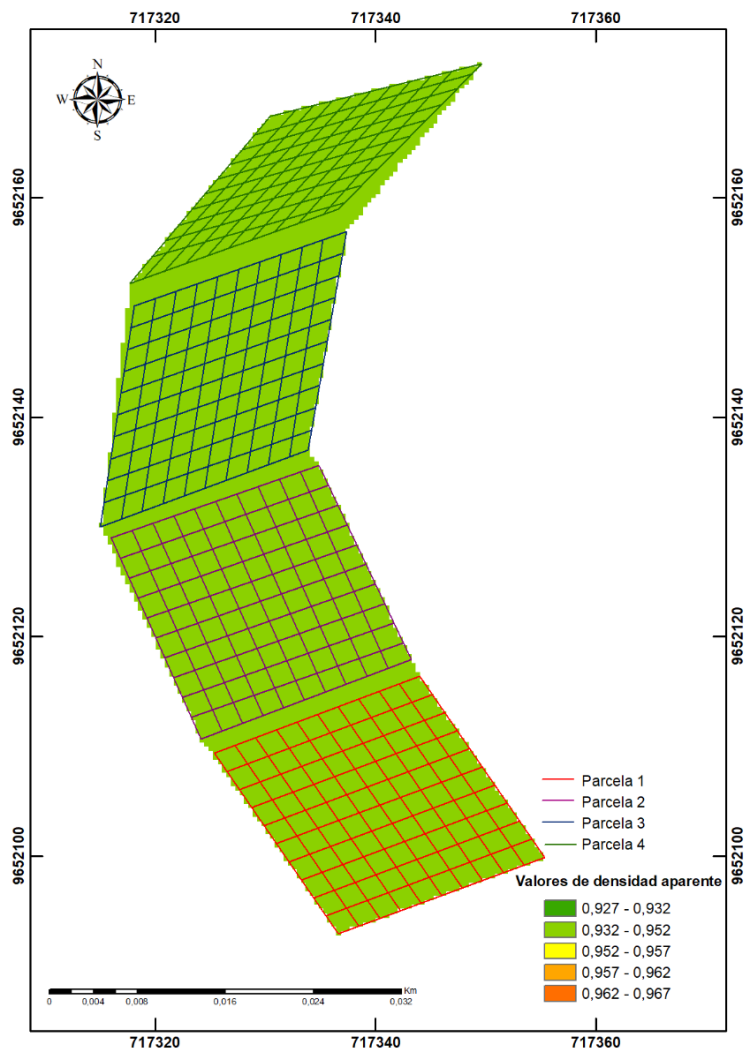
En la figura 25, se evidencia que, en la región intervenida, la densidad aparente en todas sus parcelas se sitúa en un intervalo entre  $0,927 \text{ g/cm}^3$  y  $0,932 \text{ g/cm}^3$ . No obstante, en la parcela 1 se constata la presencia de pequeñas zonas donde la densidad aparente presenta variaciones, con valores que oscilan entre  $0,932 \text{ g/cm}^3$  y  $0,952 \text{ g/cm}^3$ . Este fenómeno indica ciertas discrepancias puntuales en la densidad aparente dentro de la región analizada.

Figura 26. Mapa de densidad aparente-Región cubierta de pajonal.



En el análisis de la figura 26, referente a la región cubierta de pajonal, se constata que en la totalidad de la parcela 1 y en ciertas áreas específicas de la parcela 2, la densidad aparente se encuentra en un rango que abarca de  $0,932 \text{ g/cm}^3$  hasta  $0,952 \text{ g/cm}^3$ . Por otro lado, tanto la parcela 3 como la parcela 4 exhiben valores de densidad aparente uniformes en toda su extensión, con oscilaciones entre  $0,952 \text{ g/cm}^3$  y  $0,957 \text{ g/cm}^3$ .

Figura 27. Mapa de densidad aparente-Región cubierta de pastizal

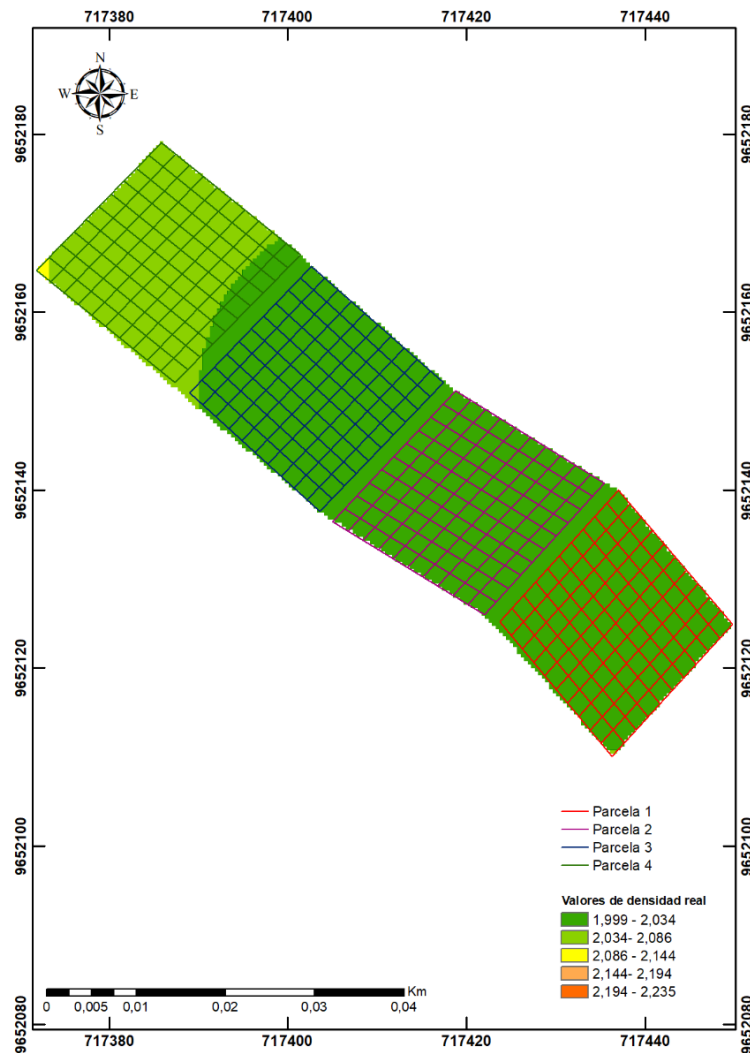


Referente a la figura 27, que representa la región cubierta de pastizal, se observa que los valores de densidad aparente son consistentes en toda la región, fluctuando entre  $0,932 \text{ g/cm}^3$  y  $0,952 \text{ g/cm}^3$ .

### Mapas de densidad real (DR) del suelo

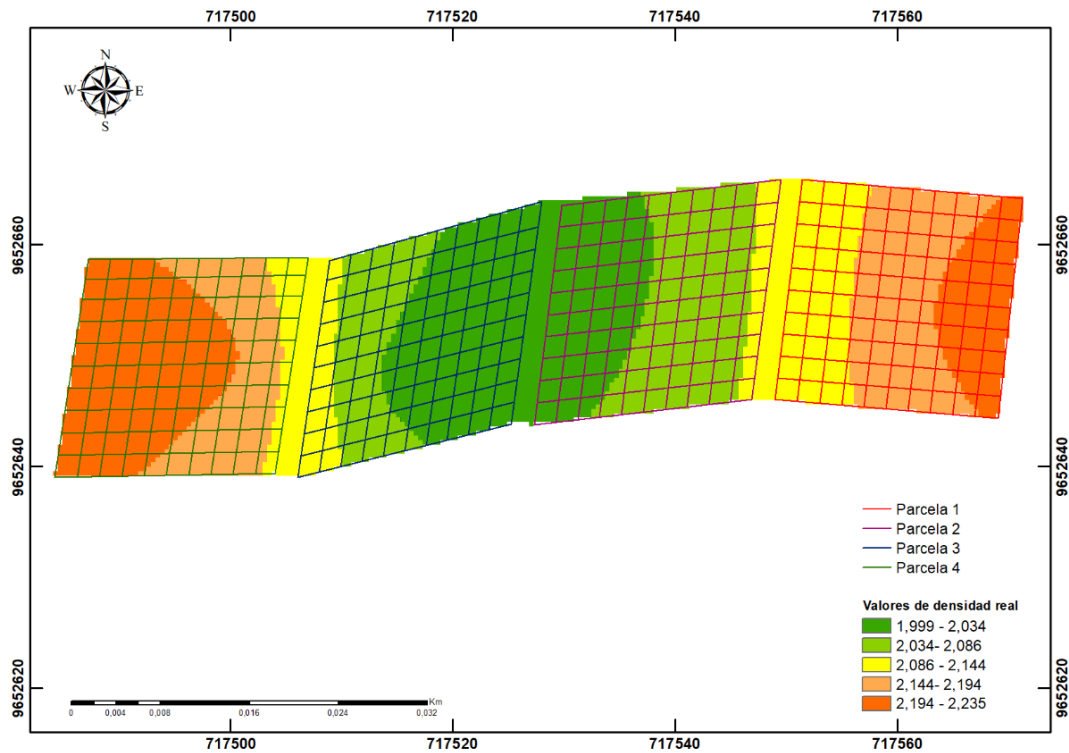
A continuación, se exhiben los mapas detallados correspondientes al análisis de densidad real (DR), resaltando los resultados obtenidos en las distintas coberturas vegetales de la región arbustiva, intervenida, pajonal y pastizal.

Figura 28. Mapa de densidad real-Región arbustiva



En la figura 28, de la región arbustiva se observa que los valores obtenidos para la parcela 1, 2, 3 y áreas limitadas de la parcela 4 presentan rangos de densidad real que oscilan entre  $1,999 \text{ g/cm}^3$  y  $2,034 \text{ g/cm}^3$ , mientras que el resto de la parcela 4 presenta valores que también se encuentran en un rango de  $2,034 \text{ g/cm}^3$  y  $2,086 \text{ g/cm}^3$ . Se considera que, en una pequeña parte de la misma parcela, la densidad real es mayor, con un rango de  $2,086 \text{ g/cm}^3$  y  $2,144 \text{ g/cm}^3$ .

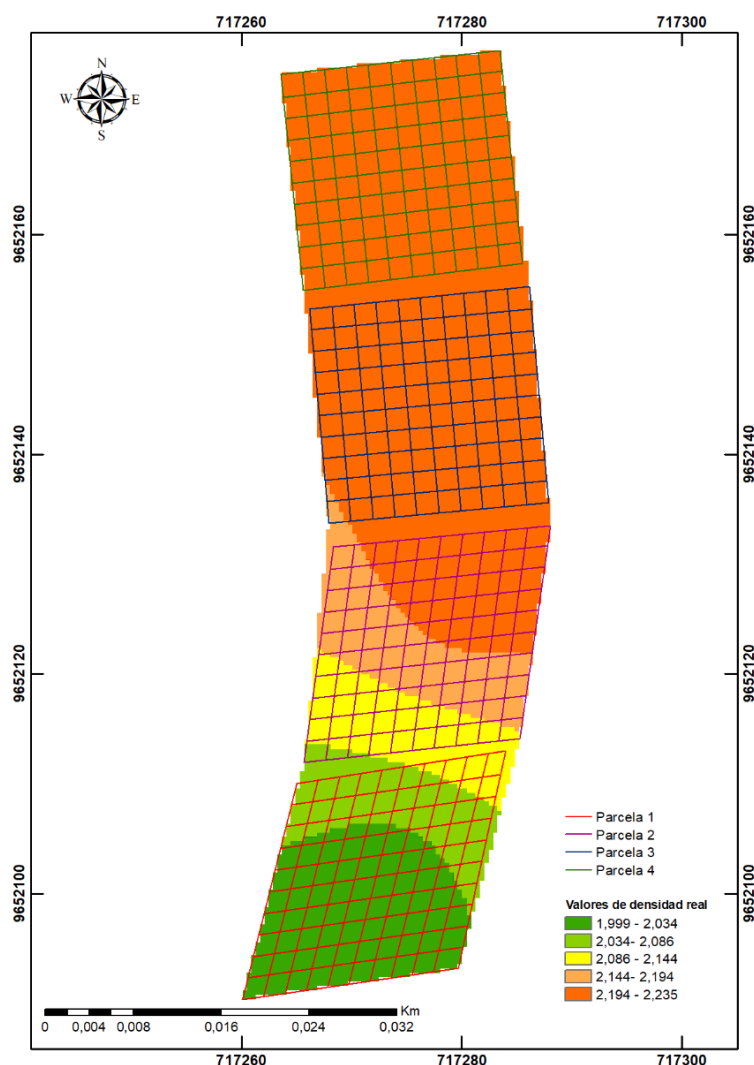
Figura 29. Mapa de densidad real-Región intervenida.



En relación con la densidad real de la región intervenida, se puede observar en la figura 29, que existe una variabilidad significativa de los valores obtenidos para este parámetro en cada parcela. Al analizar la parcela 2 y 3, se identifica áreas con rangos menores de densidad real, fluctuando entre  $1,999 \text{ g/cm}^3$  y  $2,034 \text{ g/cm}^3$ . En contraste, otras áreas de estas mismas parcelas presentan rangos de  $2,034 \text{ g/cm}^3$  a  $2,086 \text{ g/cm}^3$ , mientras que áreas más reducidas exhiben rangos de  $2,086 \text{ g/cm}^3$  a  $2,144 \text{ g/cm}^3$ .

Este último intervalo de densidad aparente también se observa en el caso de la parcela 1 y 4, donde se identifican pequeñas áreas con estos valores. En estas parcelas, se aprecian áreas del terreno en el cual este parámetro aumenta a rangos de  $2,144 \text{ g/cm}^3$  a  $2,194 \text{ g/cm}^3$ , y otras áreas más reducidas con valores que oscilaron entre  $2,194 \text{ g/cm}^3$  y  $2,235 \text{ g/cm}^3$ .

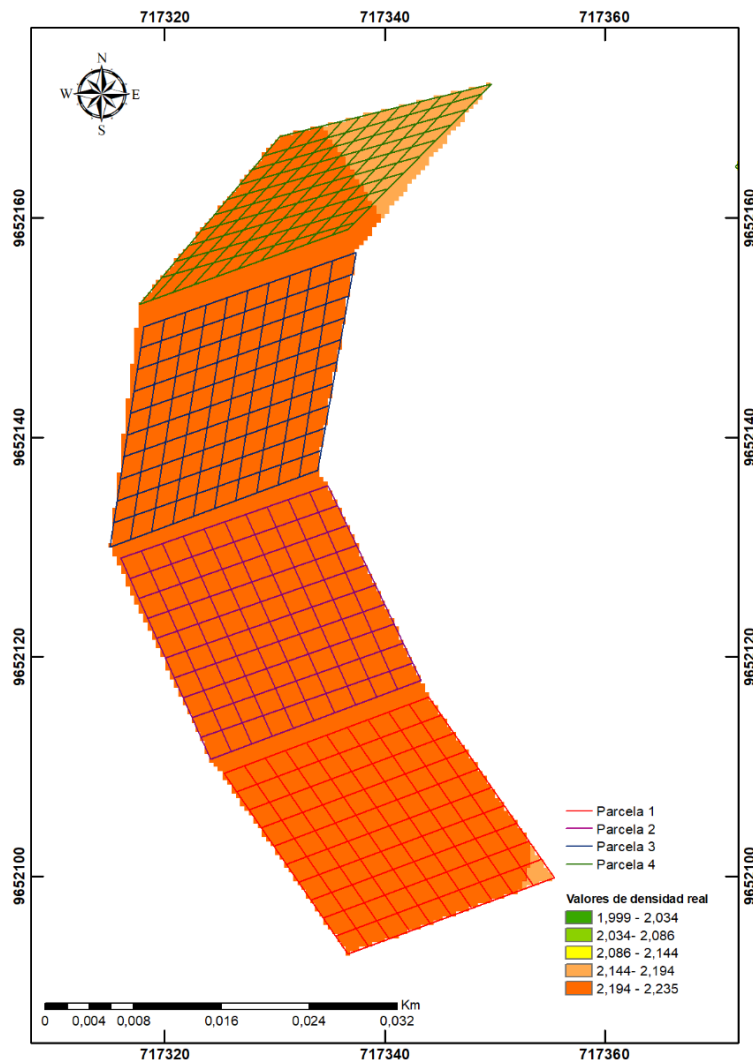
Figura 30. Mapa de densidad real-Región cubierta de pajonal.



Dentro de la extensión cubierta por pajonal, se evidencia, a través de la figura 30, una notoria variabilidad en los valores asociados a este parámetro. En la mayor extensión de la parcela 1, se destaca los valores más bajos de densidad aparente, oscilando entre  $1,999 \text{ g/cm}^3$  y  $2,034 \text{ g/cm}^3$ . En un sector más reducido, correspondiente a la misma parcela, se registra valores comprendidos entre  $2,034 \text{ g/cm}^3$  y  $2,086 \text{ g/cm}^3$ , extendiéndose a una porción limitada de la parcela 2. En paralelo, una minoría de la parcela 1 presenta valores que oscilan entre  $2,086 \text{ g/cm}^3$  y  $2,144 \text{ g/cm}^3$ , con extensión a una parte del terreno de la parcela 2.

En otras secciones de la parcela 2, se observa valores de este parámetro en el rango de  $2,144 \text{ g/cm}^3$  a  $2,194 \text{ g/cm}^3$ . Asimismo, se identifica un reducido sector en la parcela 2 y la totalidad de las parcelas 3 y 4, donde se registran valores de densidad real comprendidos entre  $2,194 \text{ g/cm}^3$  y  $2,235 \text{ g/cm}^3$ .

Figura 31. Mapa de densidad real-Región cubierta de pastizal

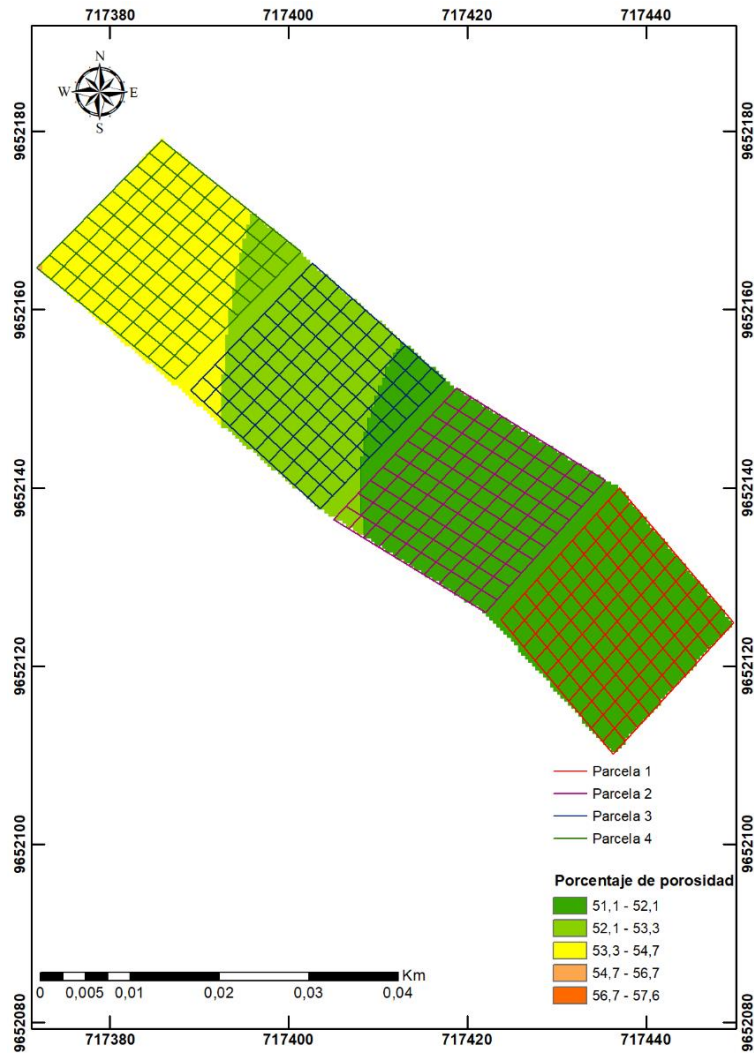


En lo que respecta a la región cubierta de pastizal se evidencia a través de la figura 31, que en la mayor parte de las parcelas existe un intervalo de densidad real con valores que fluctúan entre  $2,194 \text{ g/cm}^3$  y  $2,235 \text{ g/cm}^3$ . Cabe destacar que en las parcelas 1 y 4 también se identifica áreas específicas del terreno con valores de densidad real situados entre  $2,144 \text{ g/cm}^3$  y  $2,194 \text{ g/cm}^3$ .

## Mapas de porosidad (P) del suelo

Se exponen los mapas derivados del análisis de porosidad (P), resaltando de manera especial los resultados obtenidos en las diversas coberturas vegetales de la región arbustiva, intervenida, pajonal y pastizal.

Figura 32. Mapa de porosidad-Región arbustiva.

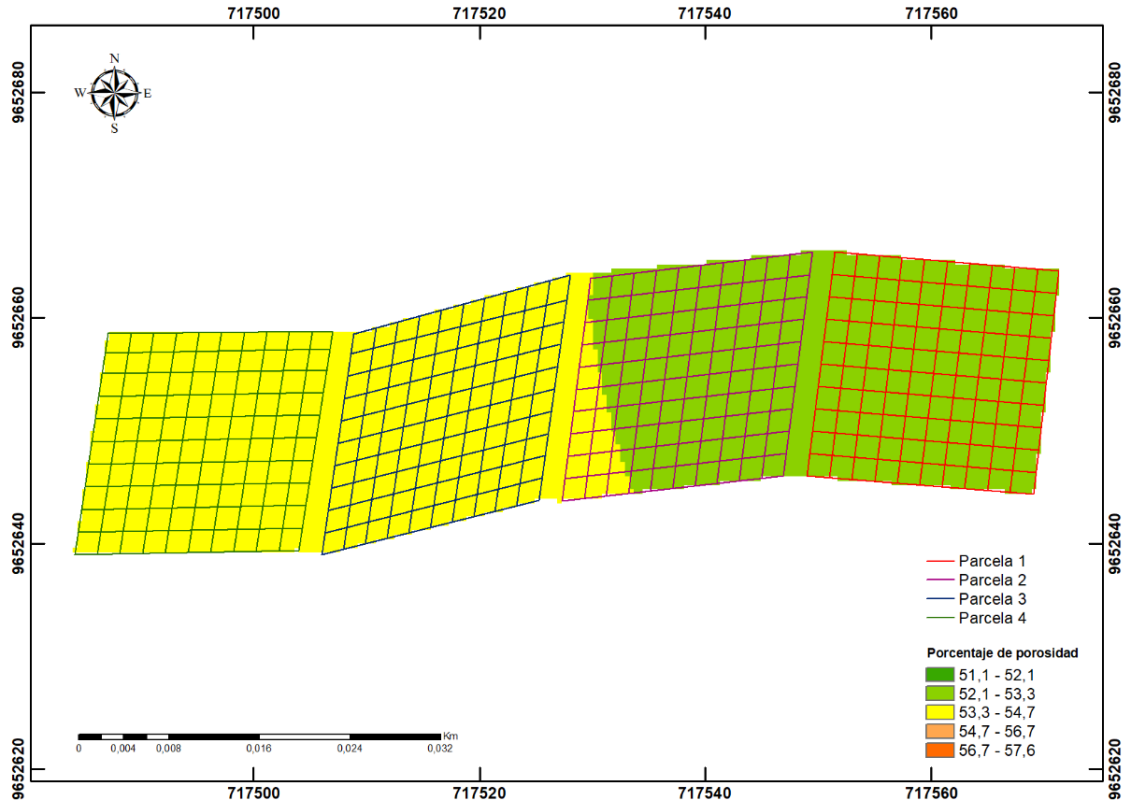


En la región arbustiva, se aprecia, a través de la Figura 32, que los porcentajes de porosidad para la parcela 1, la mayoría de la parcela 2 y una sección de la parcela 3 varían entre el 51,1 % y el 52,1 %. Por otro lado, en una pequeña área de la parcela 2, una sección de las parcelas 3 y 4, los porcentajes se sitúan en un rango de 52,1 % y 53,3 % y en las



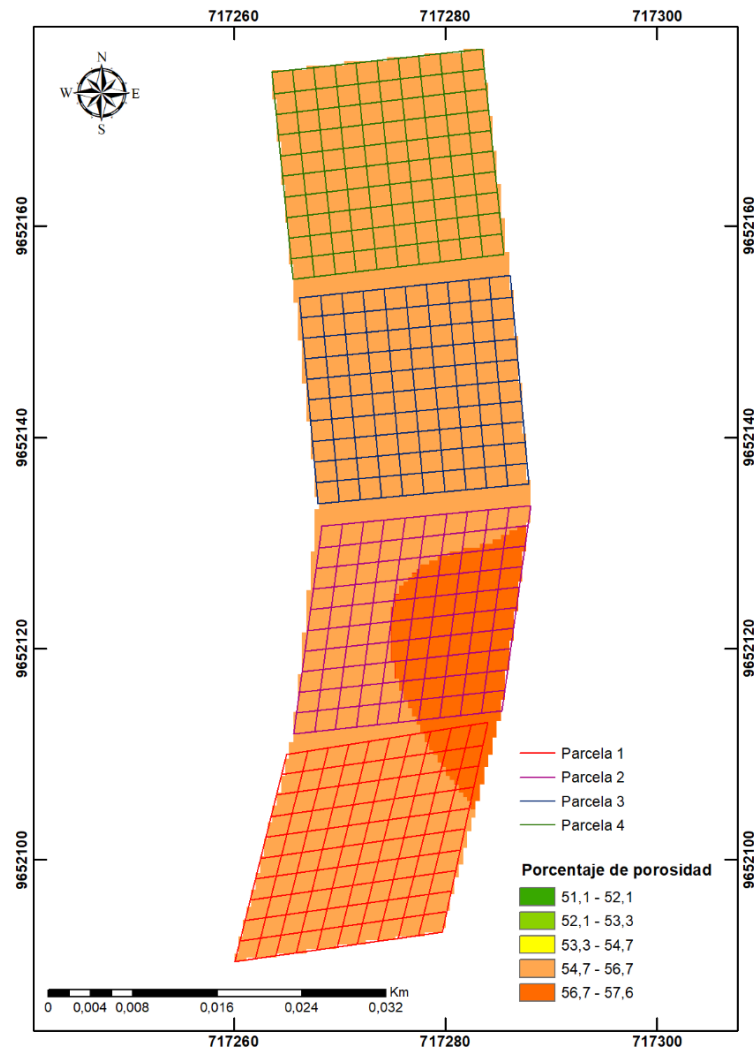
áreas restantes del terreno, los valores de porosidad aumentan a un intervalo de 53,3 % y 54,7 %.

Figura 33. Mapa de porosidad- Región intervenida.



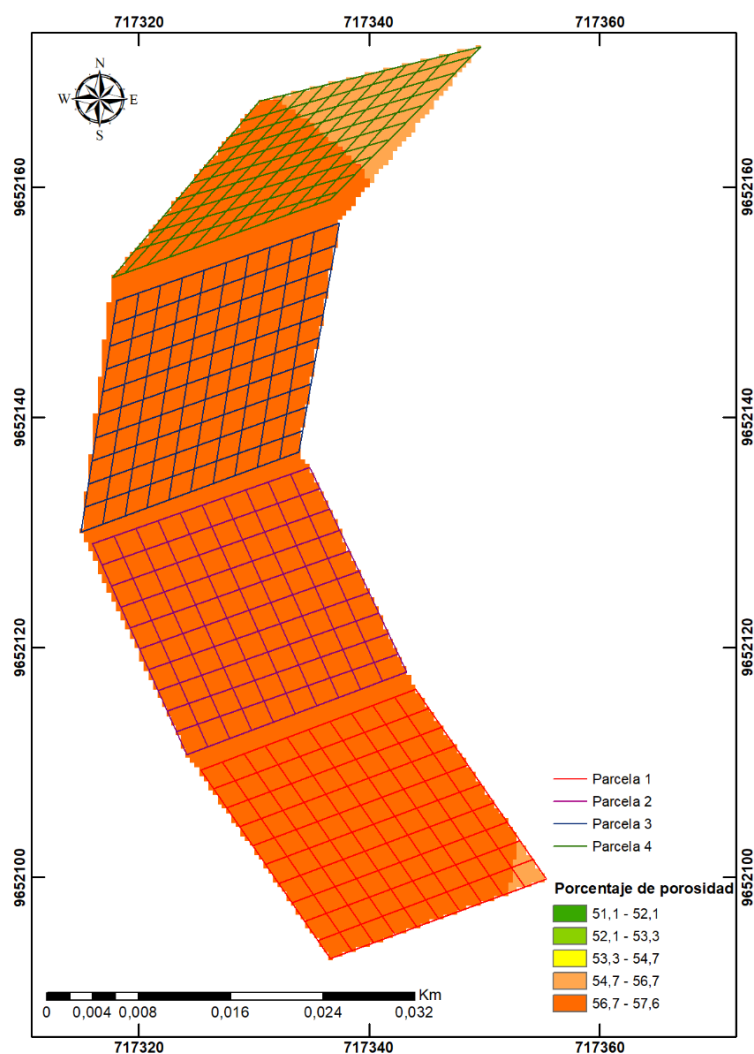
Para el caso de la región intervenida, con respecto al parámetro de porosidad en la figura 33, se evidencia que en la parcela 1 y una extensa área de la parcela 2, los valores obtenidos se ubican en un intervalo comprendido entre el 52,1 % y el 53,3 %. Además, se observa que en una porción reducida del suelo de la parcela 2, así como en la totalidad de las parcelas 3 y 4, los rangos de porcentaje varían entre el 53,3 % y el 54,7 %.

Figura 34. Mapa de porosidad-Región cubierta de pajonal.



En el área cubierta de pajonal, mediante la figura 34, se observa los resultados del parámetro de porosidad en relación con las cuatro parcelas, revelando porcentajes que oscilan entre el 54,7 % y el 56,7 %. Cabe señalar que, adicionalmente, en áreas específicas de las parcelas 2 y 3 se observan rangos de porcentajes situados entre el 56,7 % y el 57,6 %.

Figura 35. Mapa de porosidad-Región cubierta de pastizal.

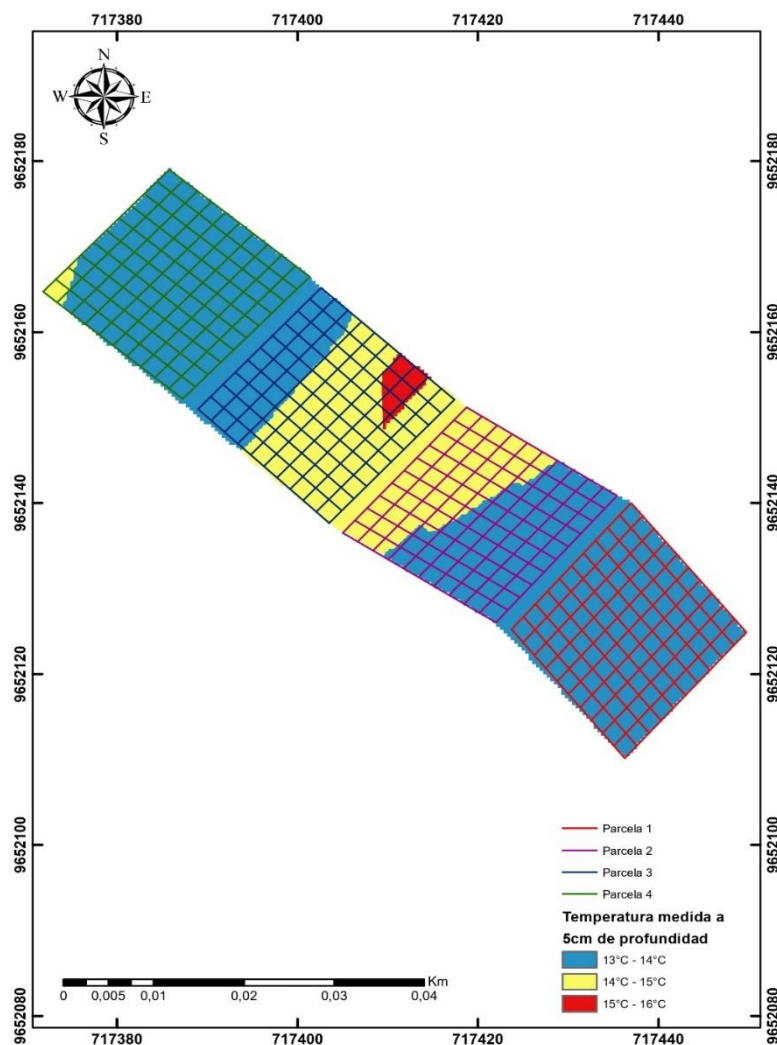


En la región cubierta de pastizal, representada en la figura 35, se corrobora una mayor porosidad en todas las parcelas, con rangos que se sitúan entre el 56,7 % y el 57,6 %. Es relevante señalar que también se identifican porcentajes menores de porosidad dentro de las parcelas 1 y 4, fluctuando entre el 54,7 % y el 56,7 %.

#### 4.16. Mapas de la temperatura 5 cm de profundidad

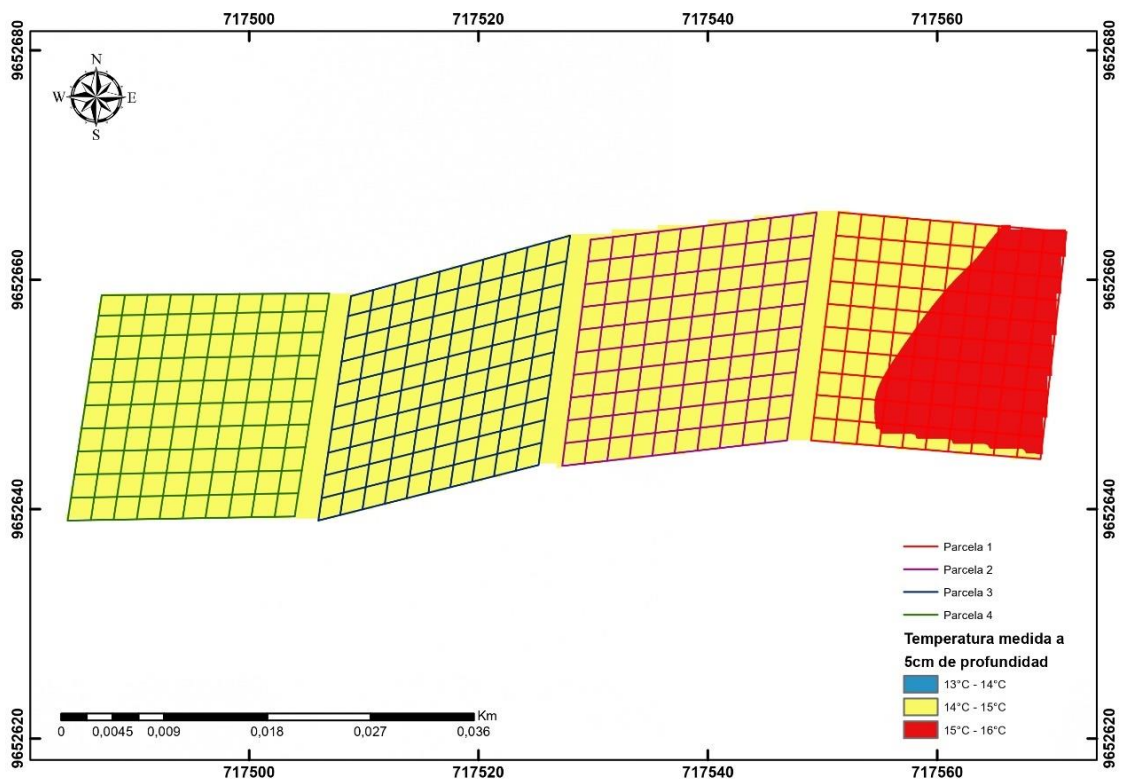
Se presentan los mapas detallados correspondientes al análisis de la temperatura a una profundidad de 5 cm, en donde se destacan los resultados obtenidos en las coberturas vegetales de la región arbustiva, intervenida, pajonal y pastizal.

Figura 36. Mapa de la temperatura 5 cm de profundidad-Región arbustiva



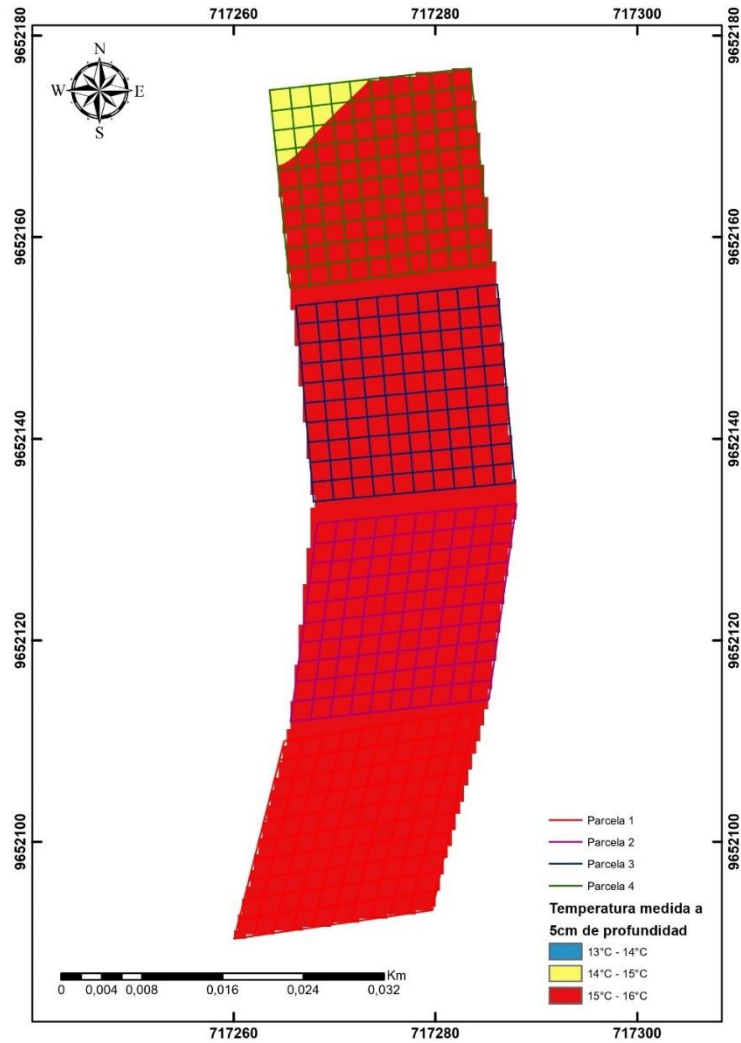
En relación con la región arbustiva evidenciada en la figura 36, se destaca que una zona específica de la parcela 3, exhibe temperaturas que varía entre 15°C a 16°C. Mientras tanto, en áreas particulares de las parcelas 2, 3 y 4, así como en la totalidad de la parcela 1, los valores de temperatura oscilan en un intervalo de 13°C a 14°C. No obstante, en zonas específicas de las parcelas 2, 3 y 4, se registra un valor adicional en un rango de 14°C a 15°C.

Figura 37. Mapa de temperatura 5cm de profundidad - Región intervenida



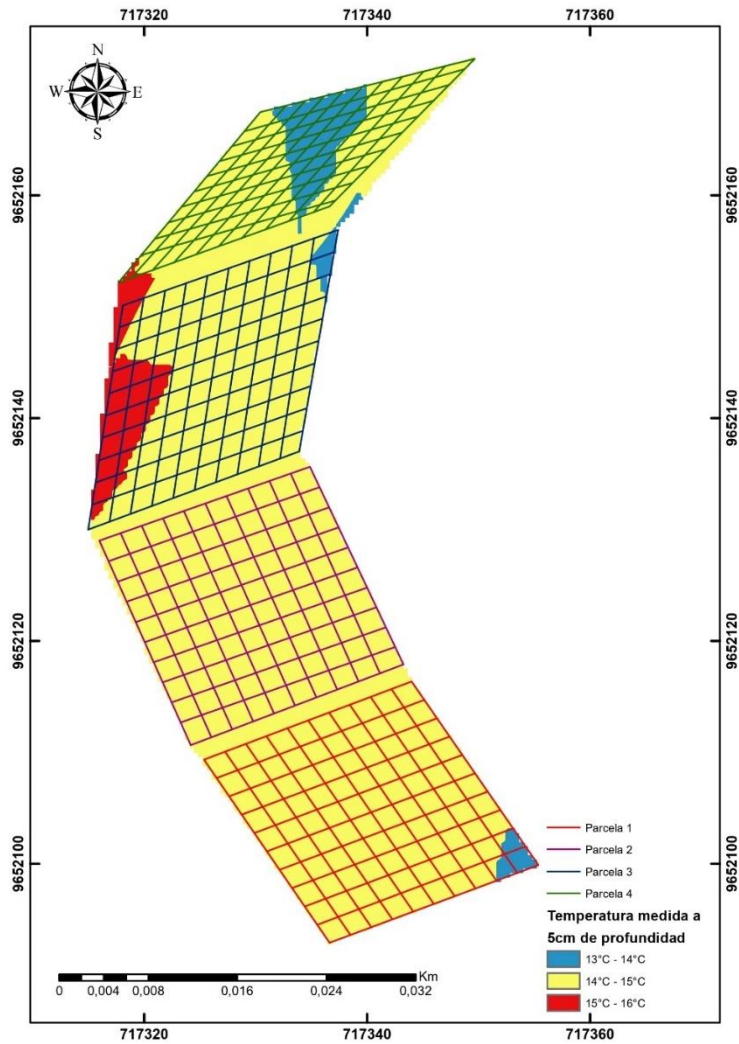
En la región intervenida, correspondiente a la figura 37, se evidencia que en la totalidad de las parcelas 2, 3 y 4, así como en un área en específico de la parcela 1, los valores de temperatura oscilan en un intervalo de 14°C a 15°C. No obstante, destaca la presencia de un valor adicional en un rango de 15°C a 16°C en una extensión significativa de la parcela 1.

Figura 38. Mapa de la temperatura 5 cm de profundidad -Región cubierta por pajonal



Al examinar la región de pajonal, representada en la figura 38, se observa que en una zona específica de las parcelas 1, así como en la totalidad de las parcelas 2, 3 y 4, los valores de temperatura fluctúan en un intervalo de 15°C a 16°C. Por otro lado, en un área específica de la parcela 1, se registran valores adicionales de temperatura en un rango de 14°C a 15°C.

Figura 39. Mapa de la temperatura 5 cm-Región cubierta por pastizal



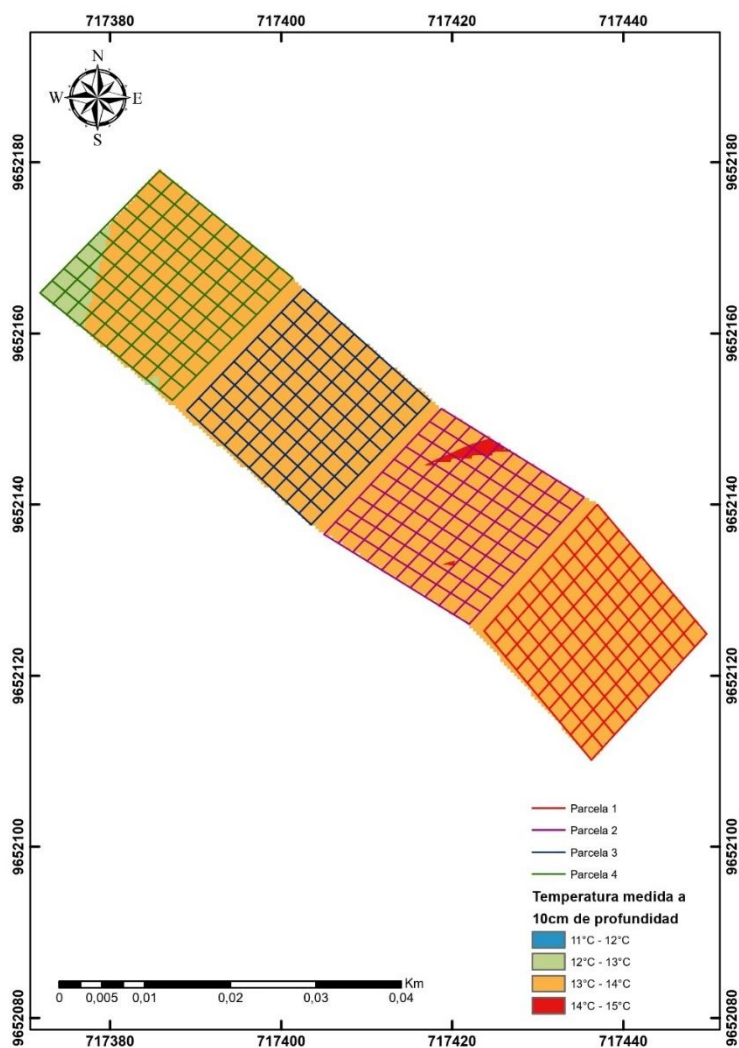
Con respecto a la figura 39, representada por la región cubierta de pastizal se evidencian notables cambios de temperatura en determinadas áreas de las parcelas 1, 3, 4, y la totalidad de la parcela 2 con un intervalo de 14°C a 15°C. Sin embargo, es relevante destacar que en algunas zonas específicas de las parcelas 1, 3 y 4, se presentan otros

intervalos de temperatura, fluctuando entre 13°C a 14°C. Por otro lado, las parcelas 3 y 4 presentan un valor adicional que oscilan en un intervalo de 15°C a 16°C.

#### 4.17. Mapas de temperatura 10 cm de profundidad

Más adelante, se proporcionan los mapas detallados que corresponden al análisis de la temperatura a una profundidad de 10 cm, resaltando los resultados obtenidos en las distintas coberturas vegetales de la región arbustiva, intervenida, pajonal y pastizal.

Figura 40. Mapa de temperatura 10 cm de profundidad -Región arbustiva

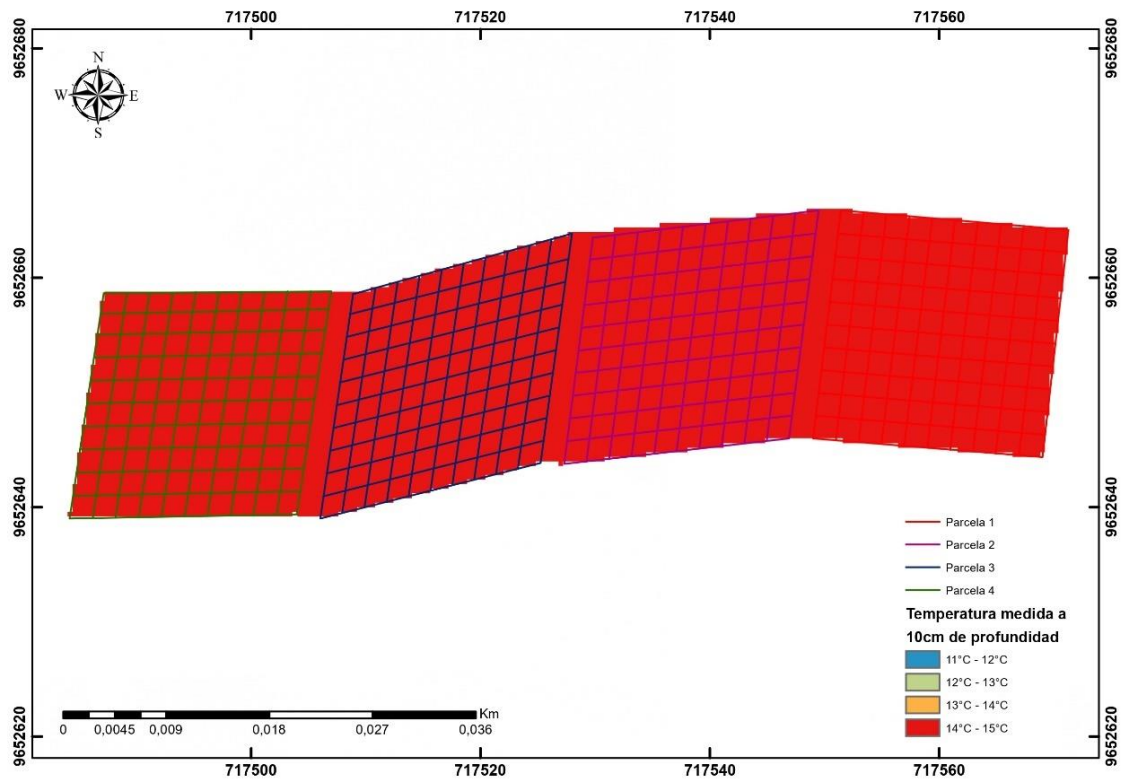


En la figura 40, correspondiente a la región arbustiva, se evidencia que en determinadas áreas de las parcelas 2 y 4, así como en la totalidad de las parcelas 1 y 3 los valores de temperatura varían en un intervalo de 13°C a 14°C. Por otro lado, la parcela 2



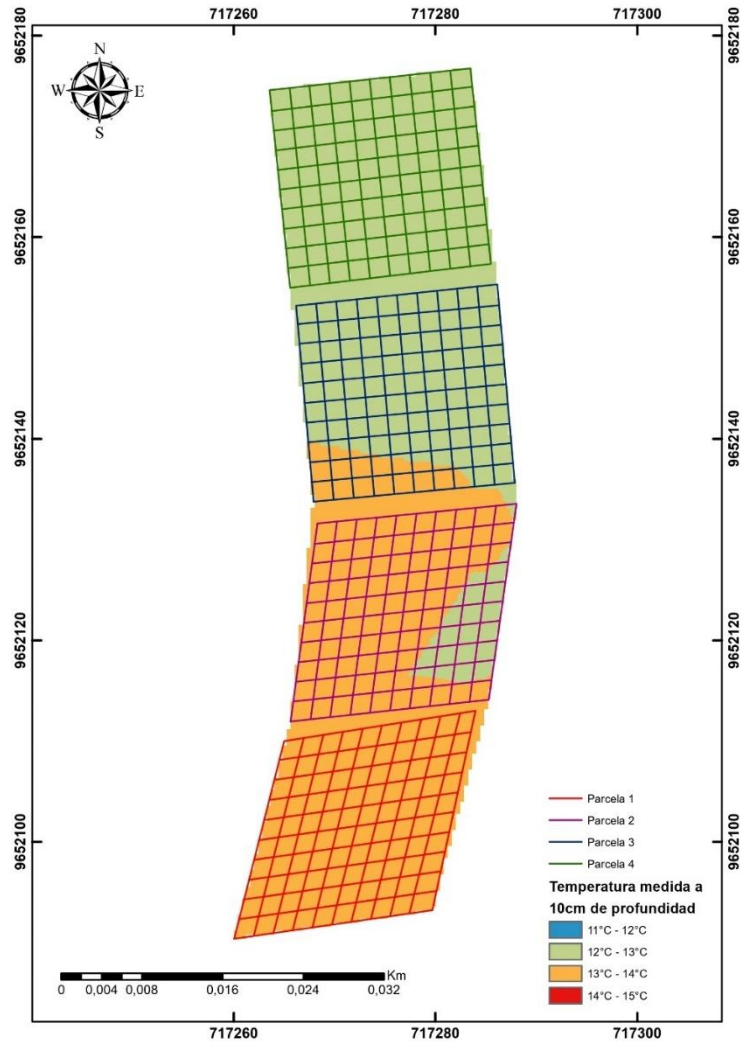
exhibe un valor extra de temperatura en un intervalo de 14°C a 15°C, mientras que la parcela 4 presenta un valor adicional de 12°C a 13°C.

Figura 41. Mapa de temperatura 10 cm de profundidad -Región intervenida



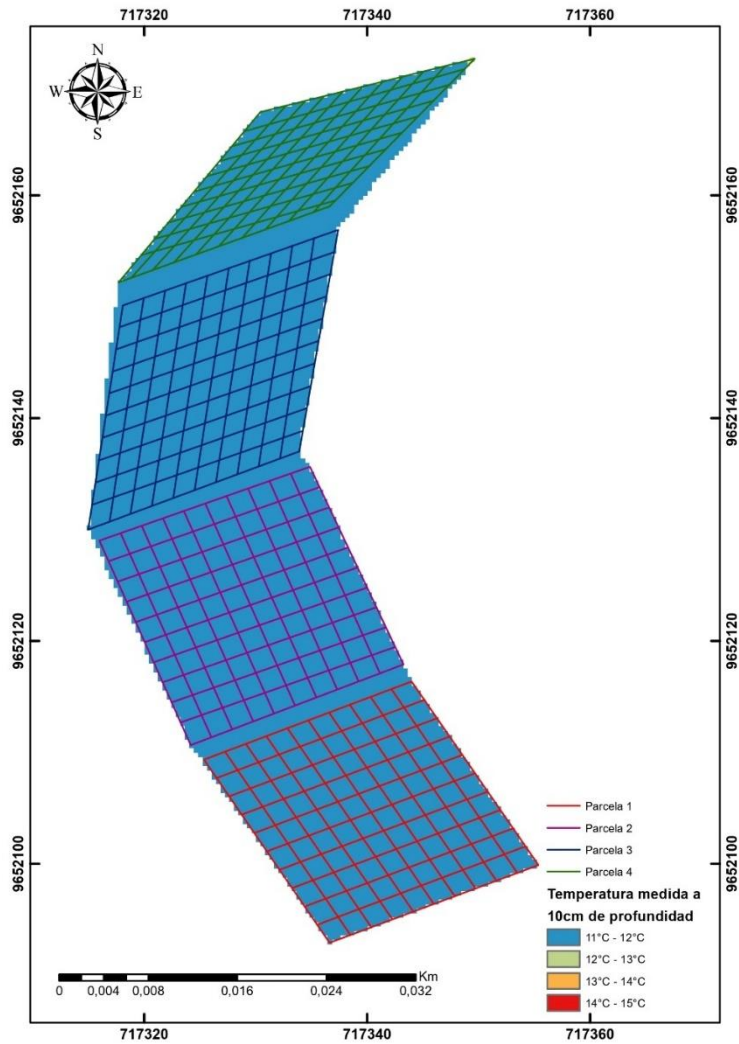
Al analizar la región intervenida representada en la figura 41, se evidencia que en la totalidad del área de las parcelas 1, 2, 3 y 4, los valores de temperatura se encuentran en un intervalo que varía entre 14°C a 15°C.

Figura 42. Mapa de temperatura 10 cm de profundidad -Región cubierta por pajonal



Se examina la región cubierta de pajonal, representada en la figura 42, se evidencia que en áreas específicas de las parcelas 2 y 3, así como en la totalidad de la parcela 1, los valores de temperatura varían en un intervalo de 13°C a 14°C. Mientras tanto, en ciertas áreas de las parcelas 2 y 3, así como en la totalidad de la parcela 4, los valores se encuentran en un rango de 12°C a 13°C.

Figura 43. Mapa de la temperatura 10 cm-Región cubierta por pastizal

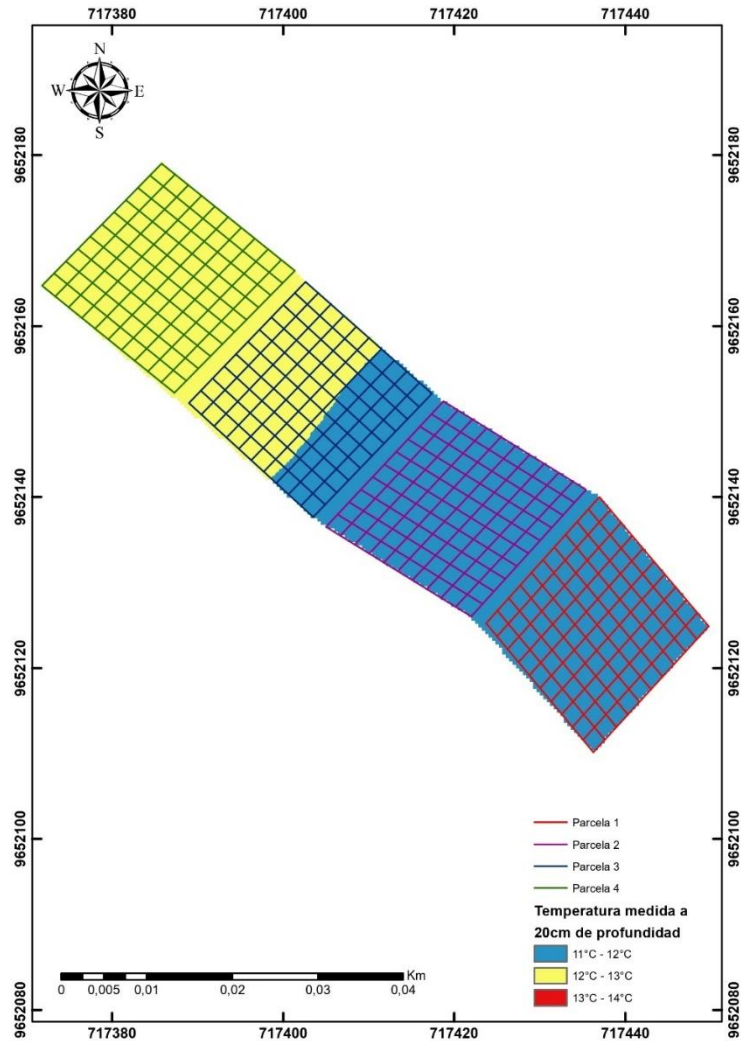


En la región cubierta de pastizal, representada en la figura 43, se observa que en la totalidad de las parcelas 1, 2, 3 y 4 los valores de temperatura fluctúan en un intervalo de 11°C a 12°C.

#### 4.18. Mapas de temperatura 20 cm de profundidad

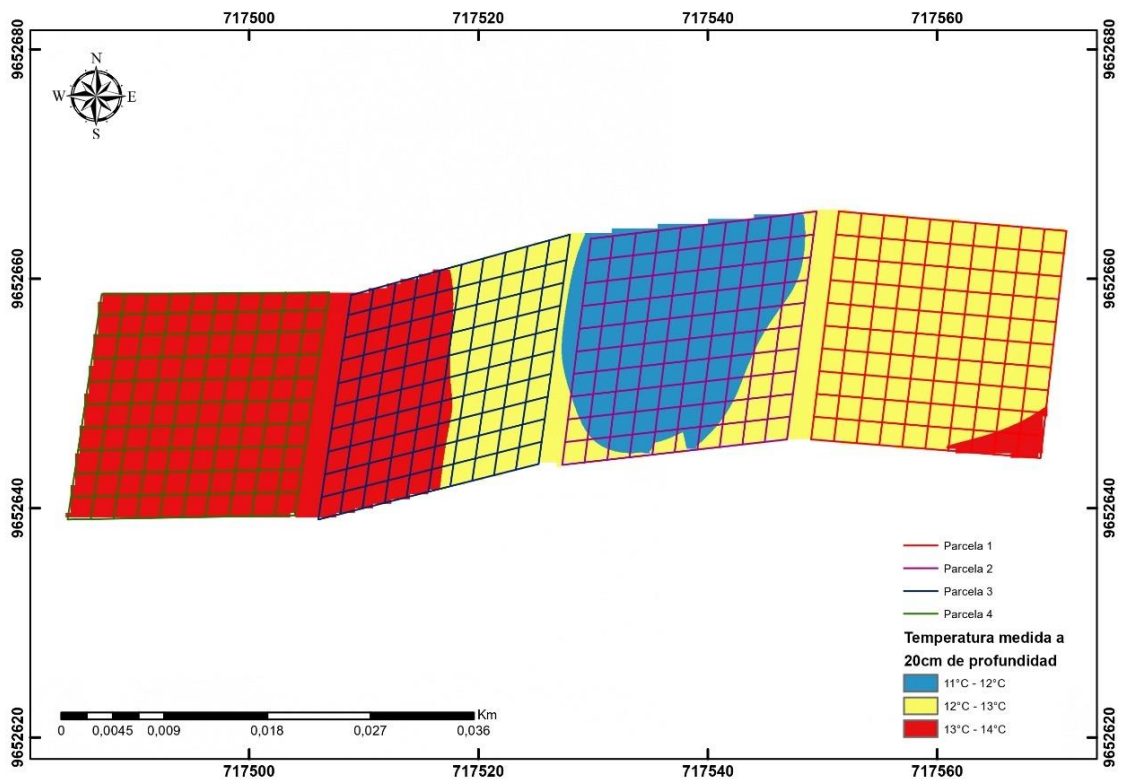
A continuación, se presentan los mapas detallados con respecto al análisis de la temperatura a una profundidad de 20 cm, destacando los resultados obtenidos en las diversas coberturas vegetales de la región arbustiva, intervenida, pajonal y pastizal.

Figura 44. Mapa de temperatura 20 cm de profundidad -Región arbustiva



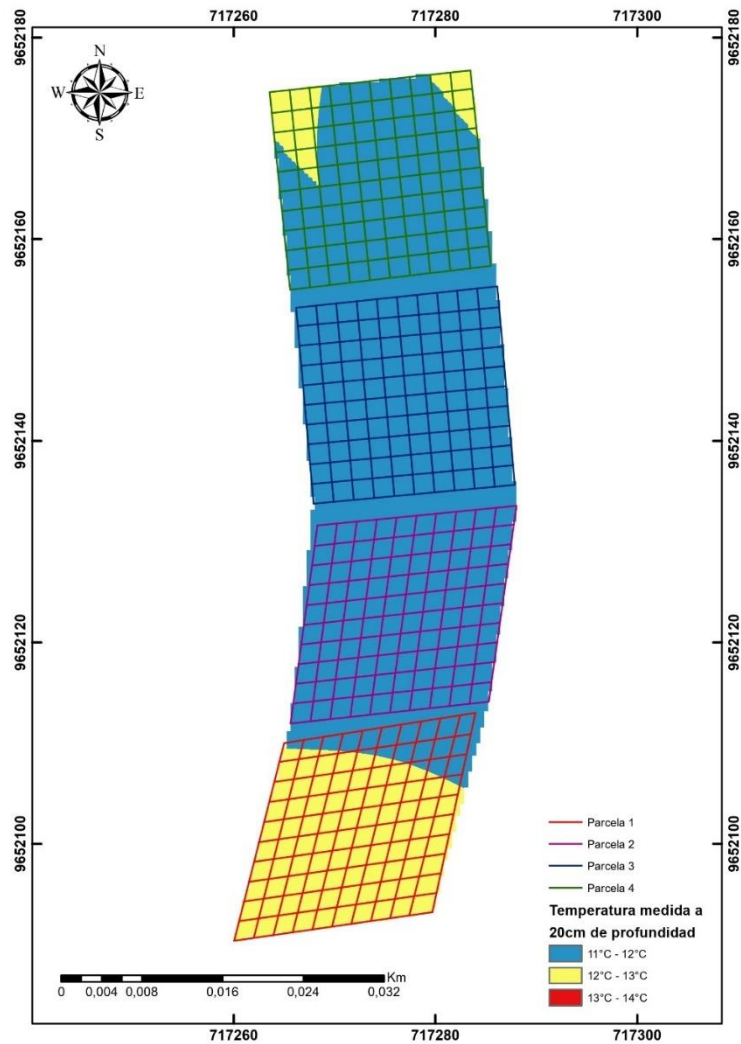
Referente a la región arbustiva que se visualiza en la figura 44, se evidencia que en cierta área de la parcela 3, así como en la totalidad de las parcelas 1 y 2 los valores de temperatura varían en un intervalo de 11°C a 12°C. Sin embargo, un área en específico de la parcela 3, así como en la totalidad de la parcela 4 exhiben valores de temperatura que fluctúan en intervalos de 12°C a 13 °C.

Figura 45. Mapa de temperatura 20 cm de profundidad -Región intervenida



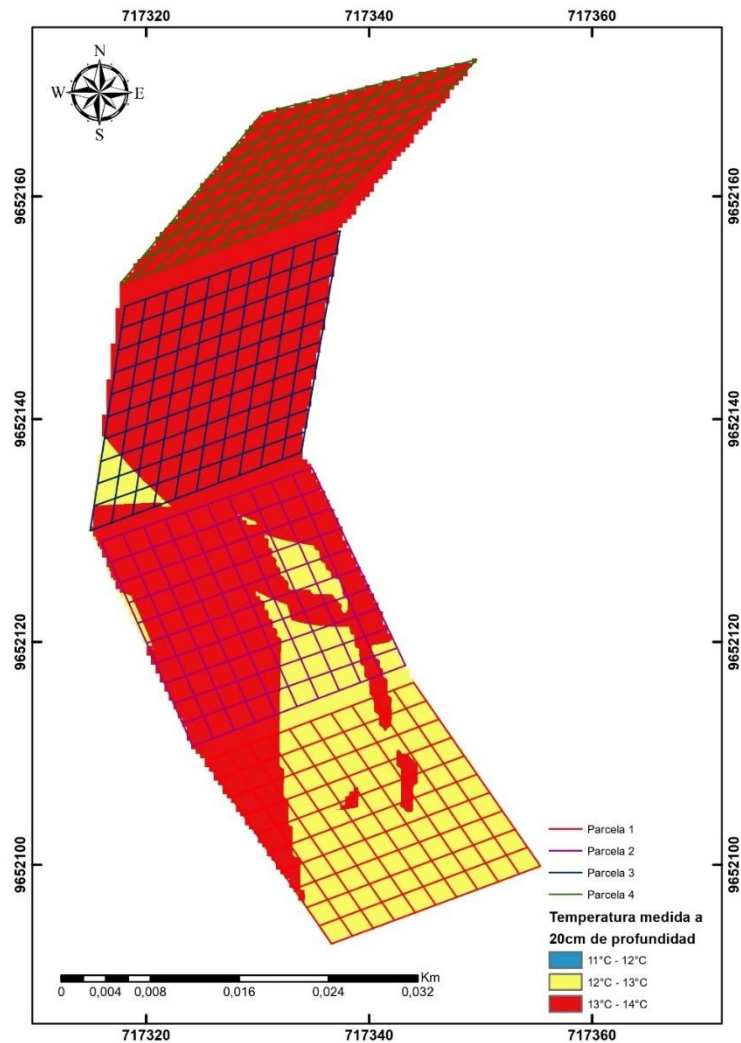
Al observar la región intervenida de la figura 45, se evidencian notables cambios de temperatura en determinadas áreas de las parcelas 1 y 3, así como en la totalidad de la parcela 4 que varían en un intervalo de 13°C a 14°C. Mientras que en algunas zonas específicas de las parcelas 1, 2 y 3, se presentan otros intervalos de temperatura, fluctuando entre 12°C a 13°C. Por otro lado, tanto la parcela 2 presentan un valor adicional que oscilan en un intervalo de 11°C a 12°C.

Figura 46. Mapa de temperatura 20 cm de profundidad -Región cubierta por pajonal



En la figura 46 que corresponde a la región cubierta de pajonal, se evidencian notables cambios de temperatura en determinadas áreas de las parcelas 1 y 4, así como en la totalidad de las parcelas 2 y 3 que varían en un intervalo de 11°C a 12°C. Por otro lado, tanto la parcela 1 como la parcela 4 presentan un valor adicional que oscilan en un intervalo de 12°C a 13°C.

Figura 47. Mapa de temperatura 20 cm de profundidad -Región cubierta por pastizal

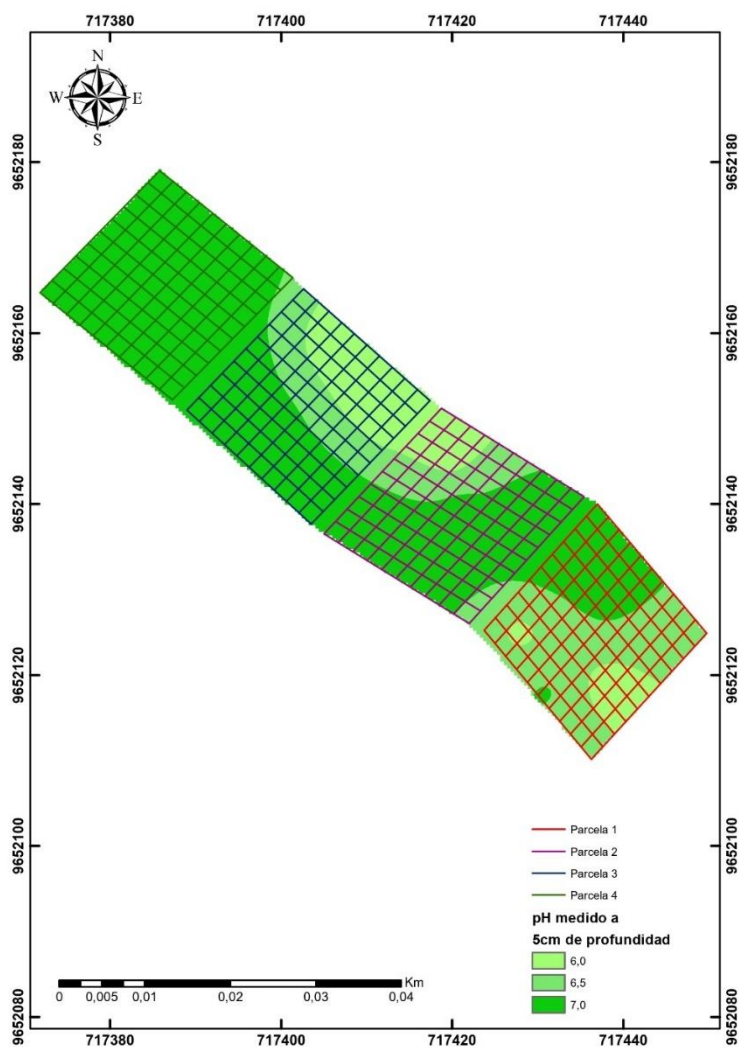


Con respecto a la región cubierta de pastizal en la figura 47, se evidencian notables cambios de temperatura en determinadas áreas de las parcelas 1, 2 y 3 que varían en un intervalo de 12°C a 13°C. Sin embargo, en las parcelas 1, 2 y 3, así como en la totalidad de la parcela 4 presentan valores de temperatura adicionales que fluctúan entre 13°C a 14°C.

#### 4.19. Mapas de pH 5 cm de profundidad

Se presentan los mapas relacionados con el análisis de pH del suelo a una profundidad de 5 cm, con sus respectivos resultados relacionados a las distintas coberturas vegetales de la región arbustiva, intervenida, pajonal y pastizal.

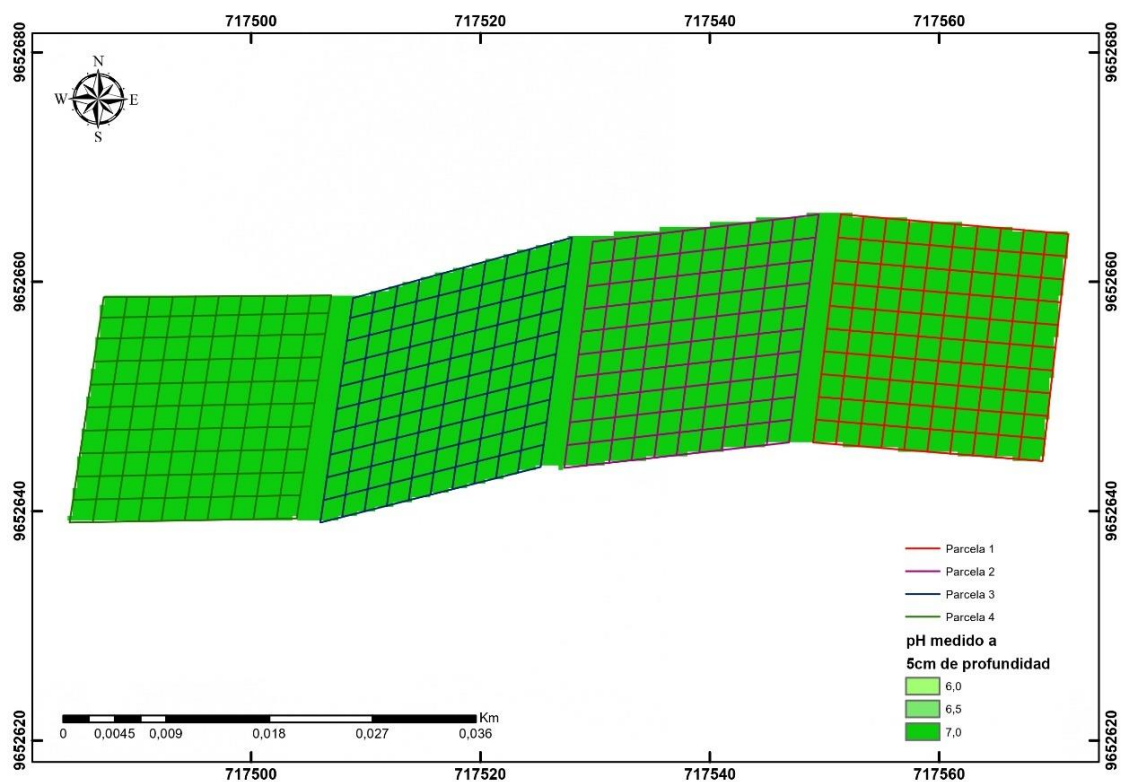
Figura 48. Mapa de pH 5cm de profundidad -Región arbustiva



En la región arbustiva, mediante la figura 48, se aprecia que en determinadas áreas de las parcelas 1, 2, 3 y 4 los valores de pH son de 7. Además, las parcelas 1 y 2 presentan un valor adicional en un rango de 6 a 6,5.

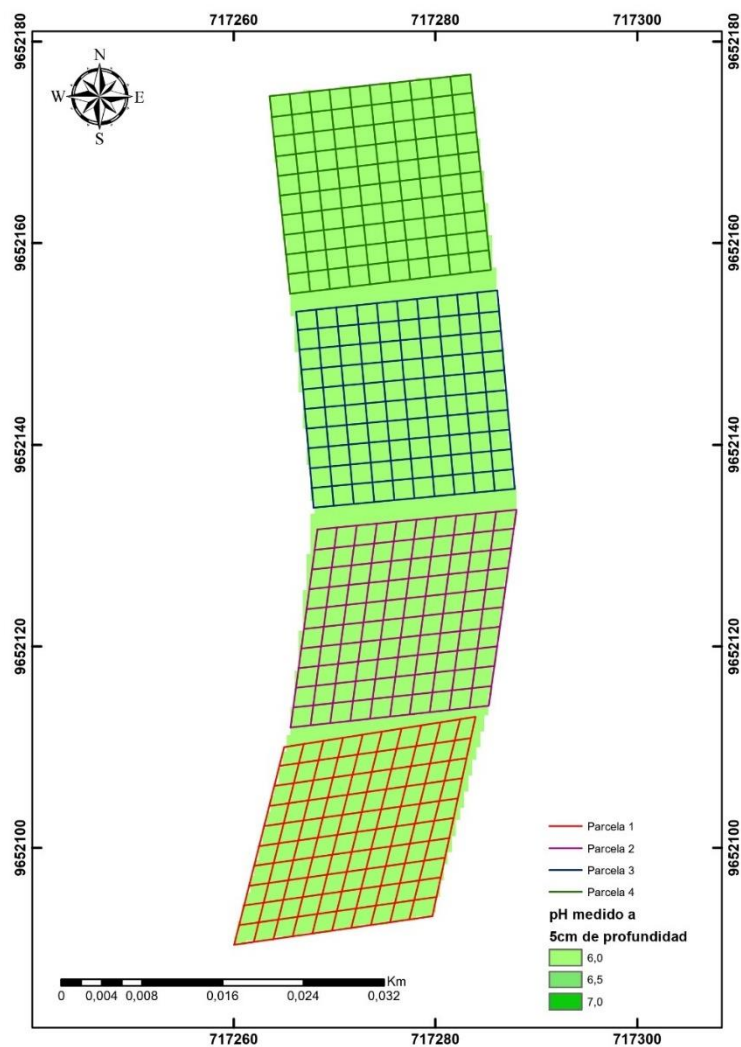


Figura 49. Mapa de pH 5cm de profundidad - Región intervenida



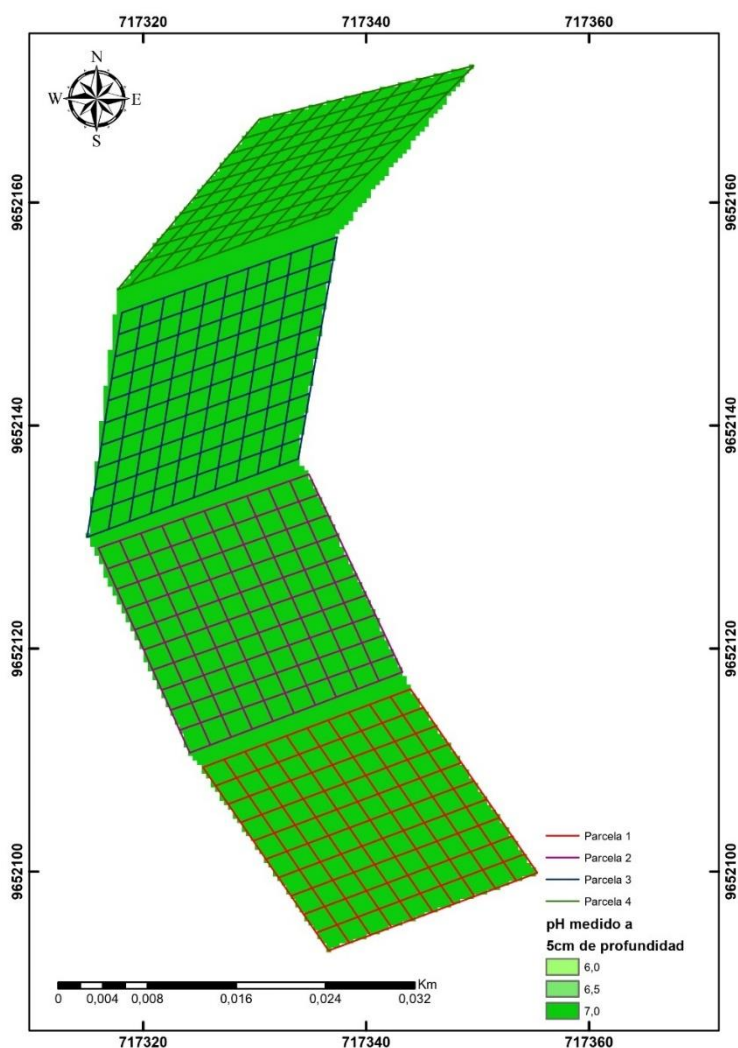
Al analizar la figura 49, que representa a la región intervenida se evidencia que, en la totalidad del área de las 4 parcelas, los valores de pH se encuentran en un valor de 7.

Figura 50. Mapa de pH 5cm de profundidad -Región cubierta por pajonal



Al evaluar la figura 50, correspondiente a la región cubierta de pajonal se observa que en la totalidad del área de las parcelas 1, 2, 3 y 4 presentan un pH de 6.

Figura 51. Mapa de pH 5cm de profundidad -Región cubierta por pastizal

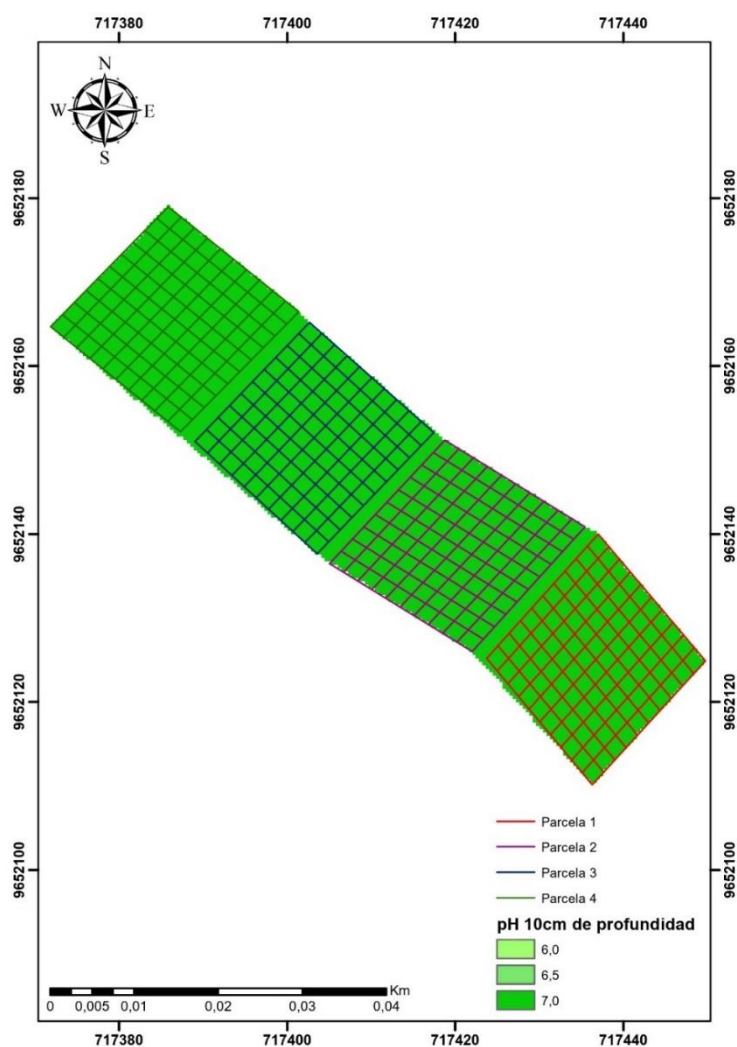


Al evaluar la región cubierta de pastizal en la figura 51, es posible visualizar que en la totalidad del área de las parcelas 1, 2, 3 y 4, los valores de pH corresponden a 7.

#### 4.20. Mapas de pH 10 cm de profundidad

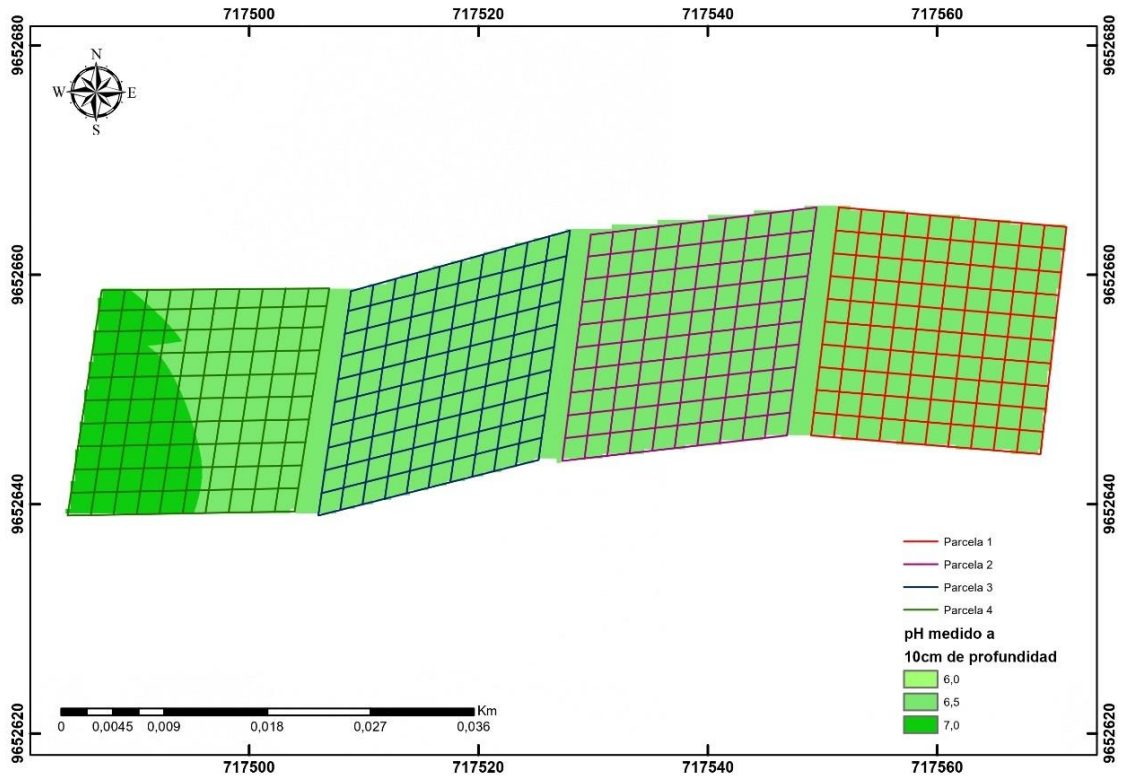
Se presenta mapas completos que resultaron del análisis detallado de pH del suelo a 10 cm de profundidad, obtenidos de diferentes coberturas vegetales que corresponden a la región arbustiva, intervenida, pajonal y pastizal.

Figura 52. Mapa de pH 10cm de profundidad -región arbustiva



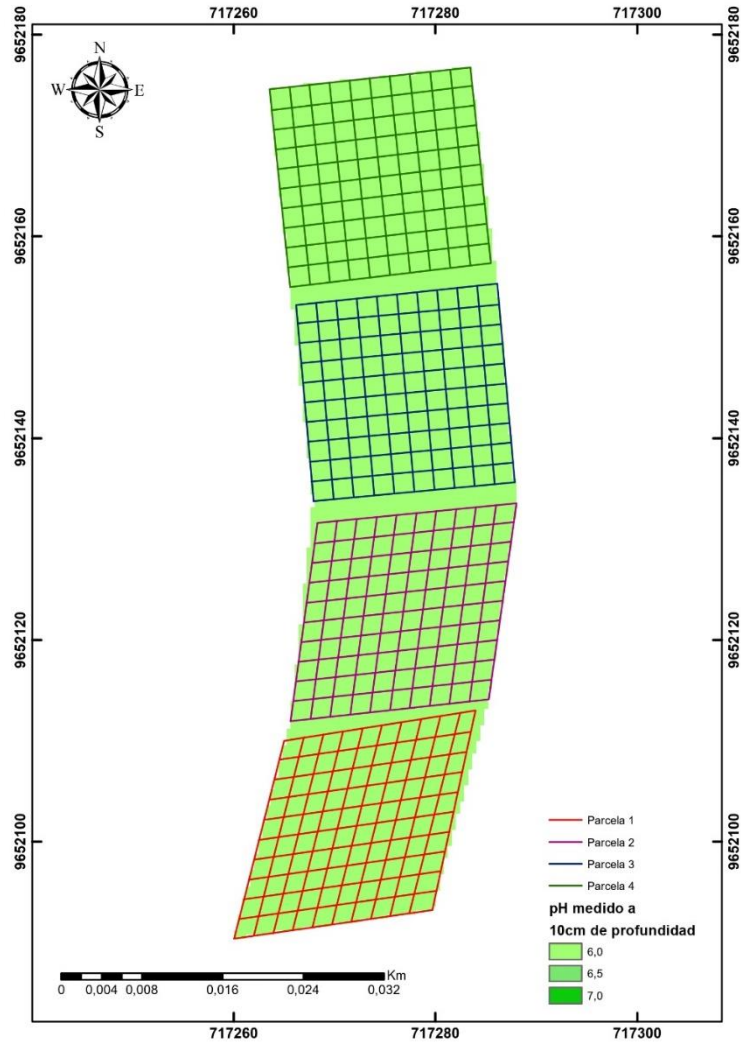
En la figura 51, se evidencia que en la totalidad del área de las parcelas 1, 2, 3 y 4, los valores de pH corresponden a 7.

Figura 53. Mapa de pH 10cm de profundidad -Región intervenida



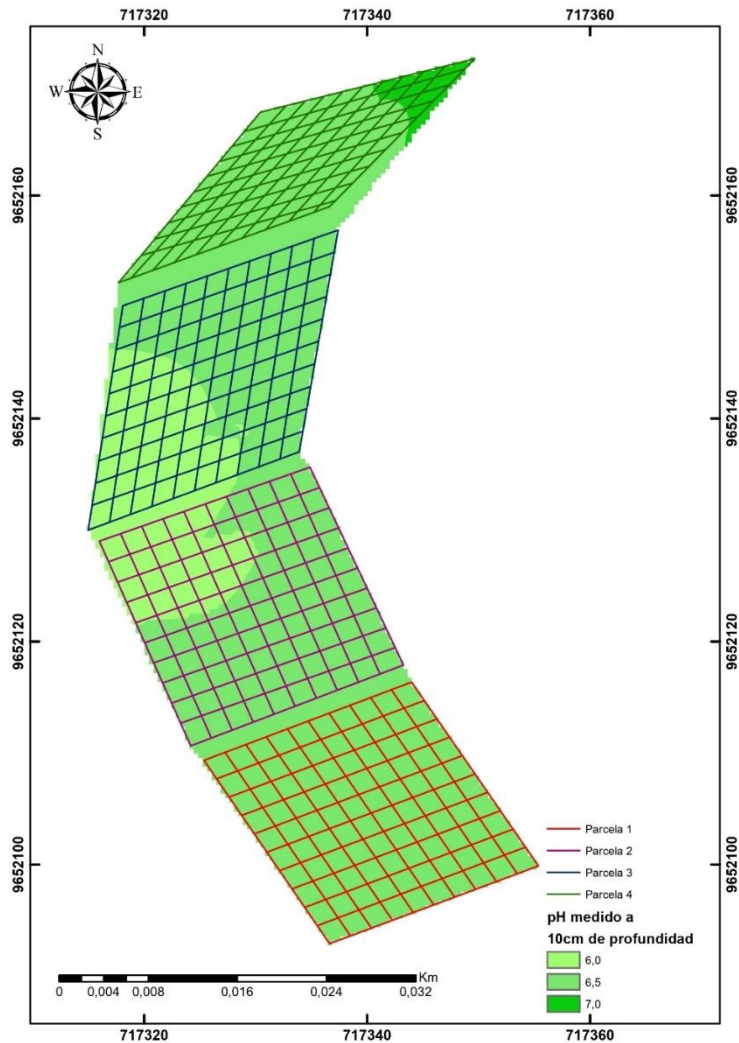
Para el caso de la región intervenida, representada en la figura 53, se observa que en cierta área de la parcela 4, así como en la totalidad de las parcelas 1, 2 y 3 presentan un valor de pH de 6,5. Además, la parcela 4 presentan un valor adicional de 7.

Figura 54. Mapa de pH 10cm de profundidad -Región cubierta por pajonal



Con respecto a la figura 54 que corresponde a la región cubierta de pajonal, se evidencia que en la totalidad del área de las parcelas 1, 2, 3 y 4, los valores de pH corresponden a 6.

Figura 55. Mapa de pH 10cm de profundidad -Región cubierta por pastizal

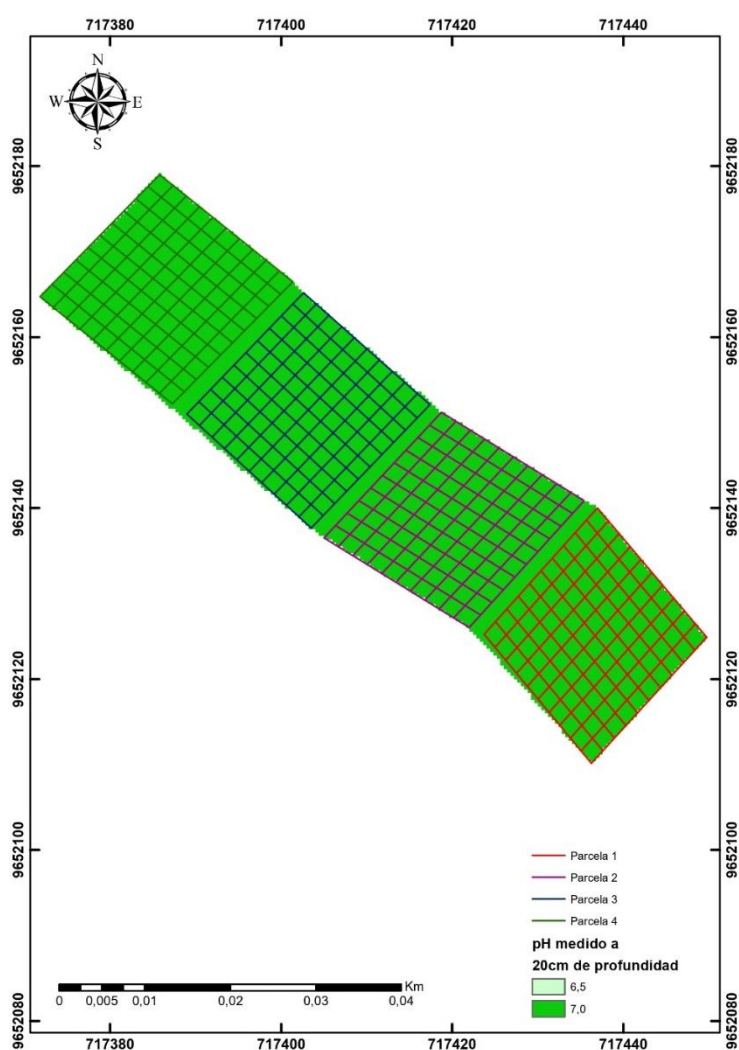


En la figura 55 que hace referencia a la región cubierta de pastizal, se evidencia que en cierta área de las parcelas 2, 3 y 4, así como en la totalidad de la parcela 1 los valores de pH son de 6. Sin embargo, las parcelas 2 y 3 exhiben valores adicionales de pH de 6,5, mientras que en una zona específica de la parcela 4 se registra valores en un rango de 7.

#### 4.21. Mapas de pH 20 cm de profundidad

Se exhiben los mapas generados a partir del análisis de pH del suelo a una profundidad de 20 cm. Estos resultados provienen de diversas coberturas vegetales presentes en la región, incluyendo la arbustiva, intervenida, pajonal y pastizal.

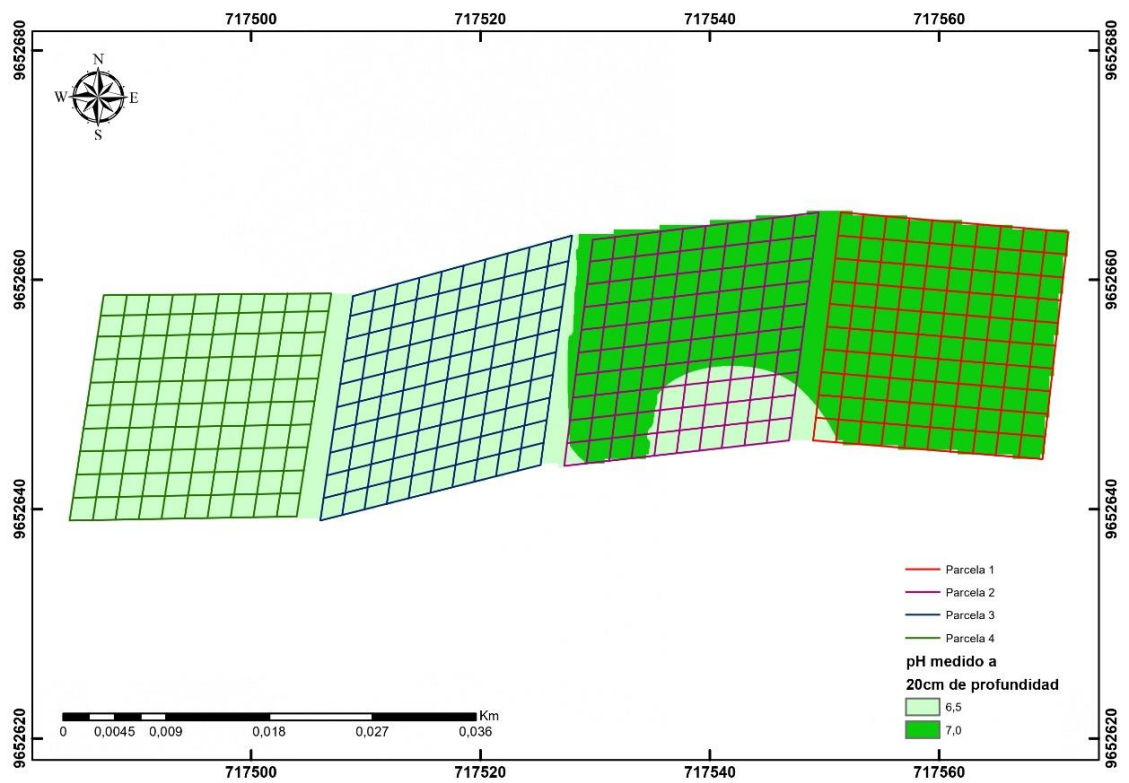
Figura 56. Mapa de pH 20 cm de profundidad -Región arbustiva



En la representación gráfica de la región arbustiva identificada como figura 56, se evidencia que en la totalidad del área de las parcelas 1, 2, 3 y 4, los valores de pH que corresponden a 7.

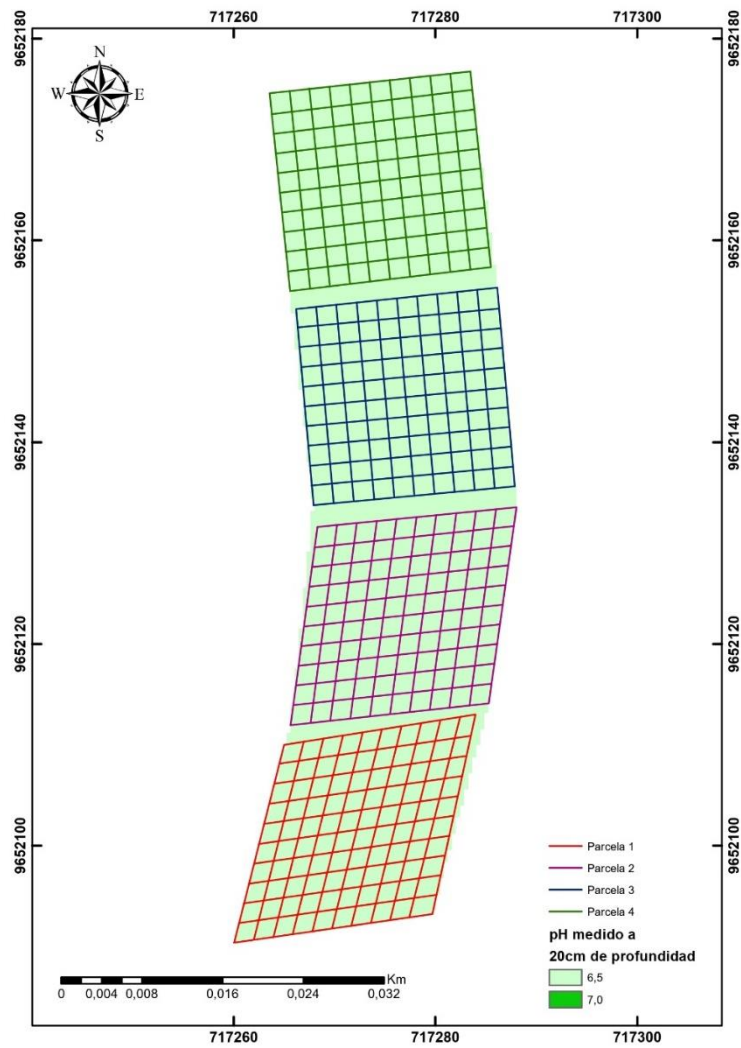


Figura 57. Mapa de pH 20 cm de profundidad -Región intervenida



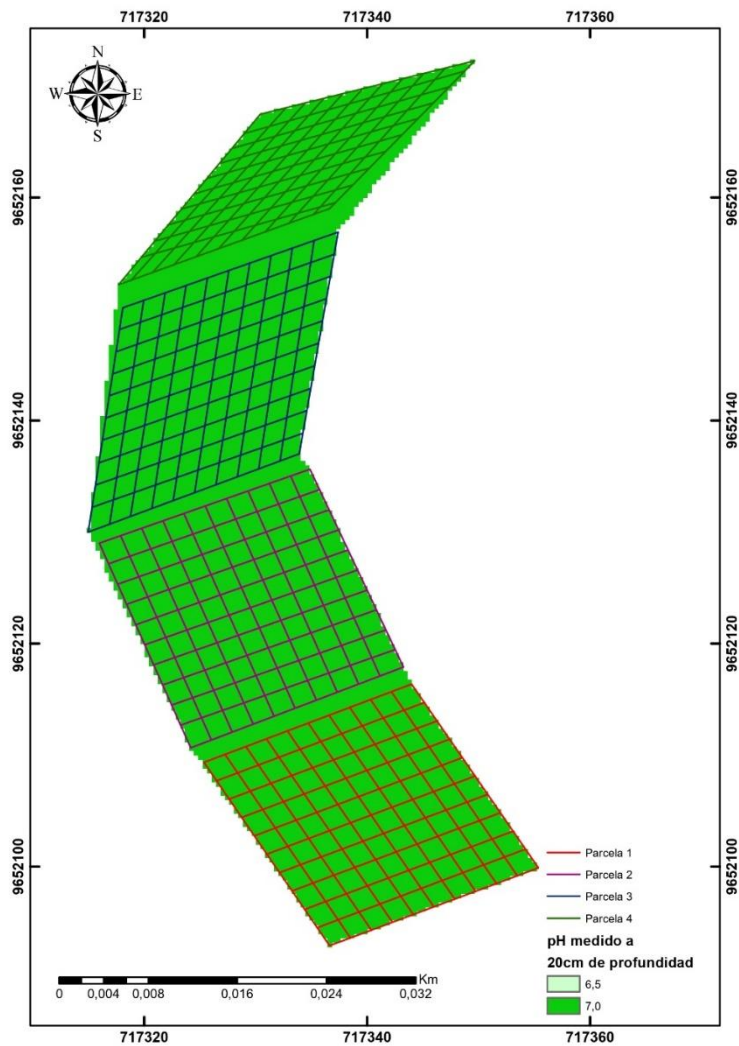
El gráfico de la región intervenida identificado como figura 57, se evidencia que en determinadas áreas de las parcelas 1 y 2, así como en la totalidad de las parcelas 3 y 4 los valores de pH son de 6,5. Además, tanto la parcela 1 como la 2 presentan valores de pH que corresponden a 7.

Figura 58. Mapa de pH 20 cm de profundidad -Región cubierta por pajonal



En la representación gráfica de la región cubierta por pajonal designada como figura 57, se evidencia que en la totalidad del área de las parcelas 1, 2, 3 y 4, los valores de pH son de 6,5.

Figura 59. Mapa de pH 20 cm de profundidad -Región cubierta por pastizal

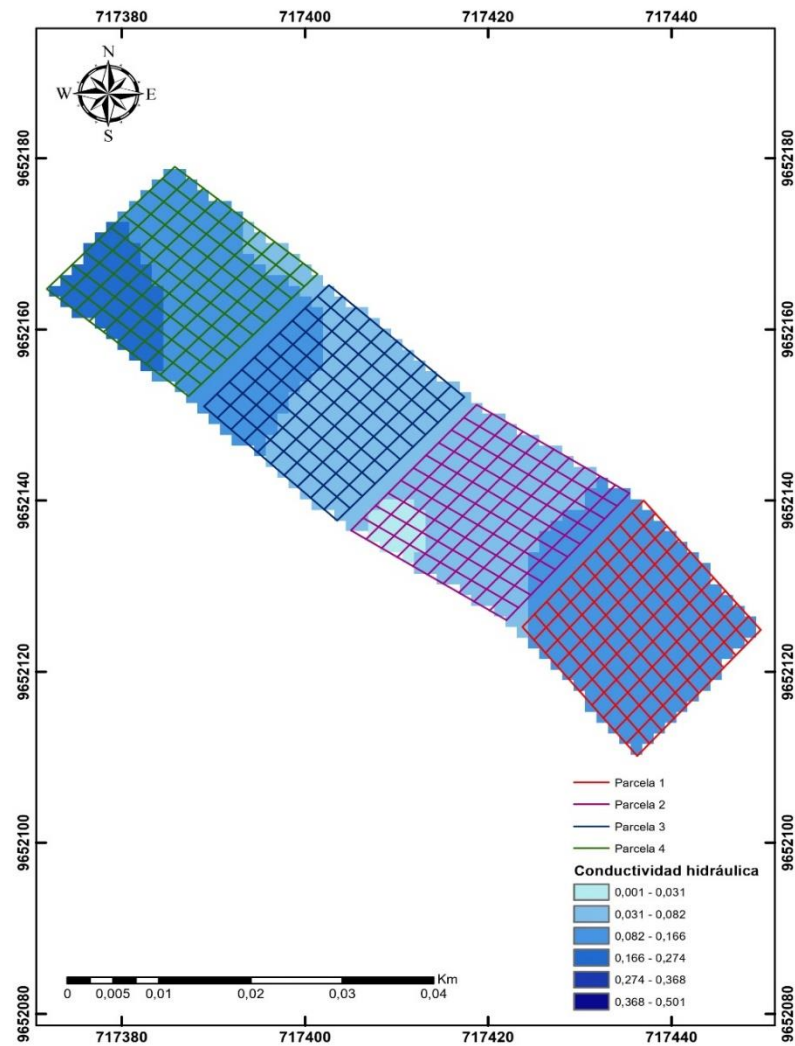


En el análisis de la figura 58 que hace referencia a la región cubierta de pajonal, se evidencia que en la totalidad del área de las parcelas 1, 2, 3 y 4, los valores de pH se encuentran en 7.

#### 4.22. Mapas de conductividad hidráulica (CH)

A continuación, se muestran los mapas resultantes con respecto a la conductividad hidráulica (CH), obtenidos de diversas coberturas vegetales que comprenden la región arbustiva, intervenida, pajonal y pastizal.

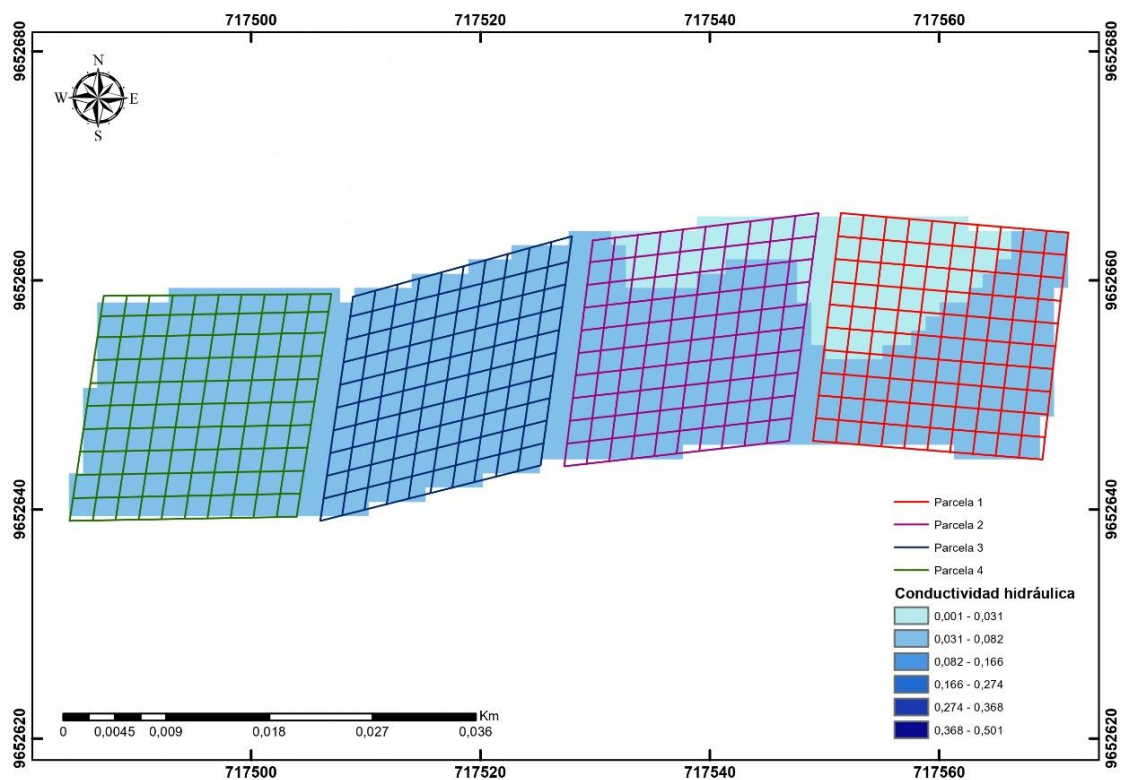
Figura 60. Mapa de conductividad hidráulica-Región arbustiva



En la figura 60, correspondiente a la región arbustiva se evidencian variaciones significativas en los valores de conductividad hidráulica en diferentes áreas de las parcelas 1, 2, 3 y 4. En un área específica de la parcela 1, los valores se encuentran en el intervalo de 0,082 a 0,166 mm/h, mientras que la parcela 2 los valores oscilan entre 0,001 a 0,166 mm/h. Por otro lado, en la parcela 3 los valores se sitúan en un rango de 0,031

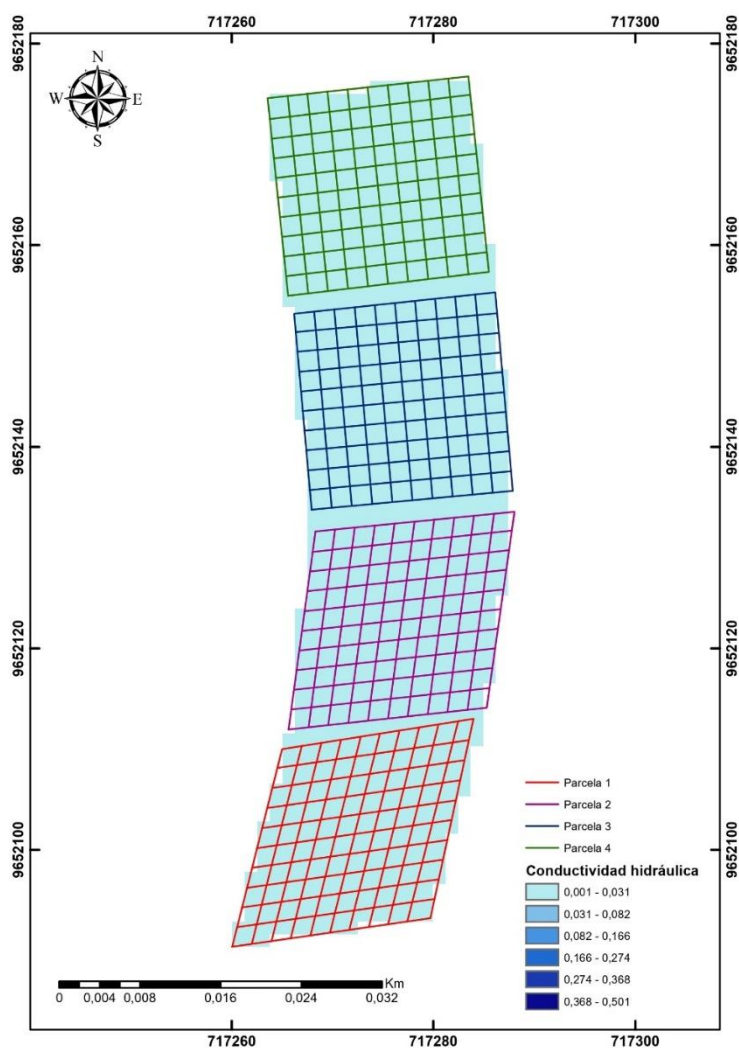
mm/h a 0,166 mm/h, y en la parcela 4 los valores fluctúan entre 0,031 mm/h a 0,274 mm/h.

Figura 61. Mapa de conductividad hidráulica-Región intervenida



Analizando la región intervenida en la figura 61, se visualizó que en determinadas áreas de las parcelas 1 y 2, así como en la totalidad de las parcelas 3 y 4, los valores de conductividad hidráulica se encuentran en un intervalo que varía entre 0,031mm/h a 0,082mm/h. Conviene destacar que tanto la parcela 1 como la parcela 2 exhiben valores adicionales de conductividad hidráulica que oscilan entre 0,001 mm/h a 0,031 mm/h.

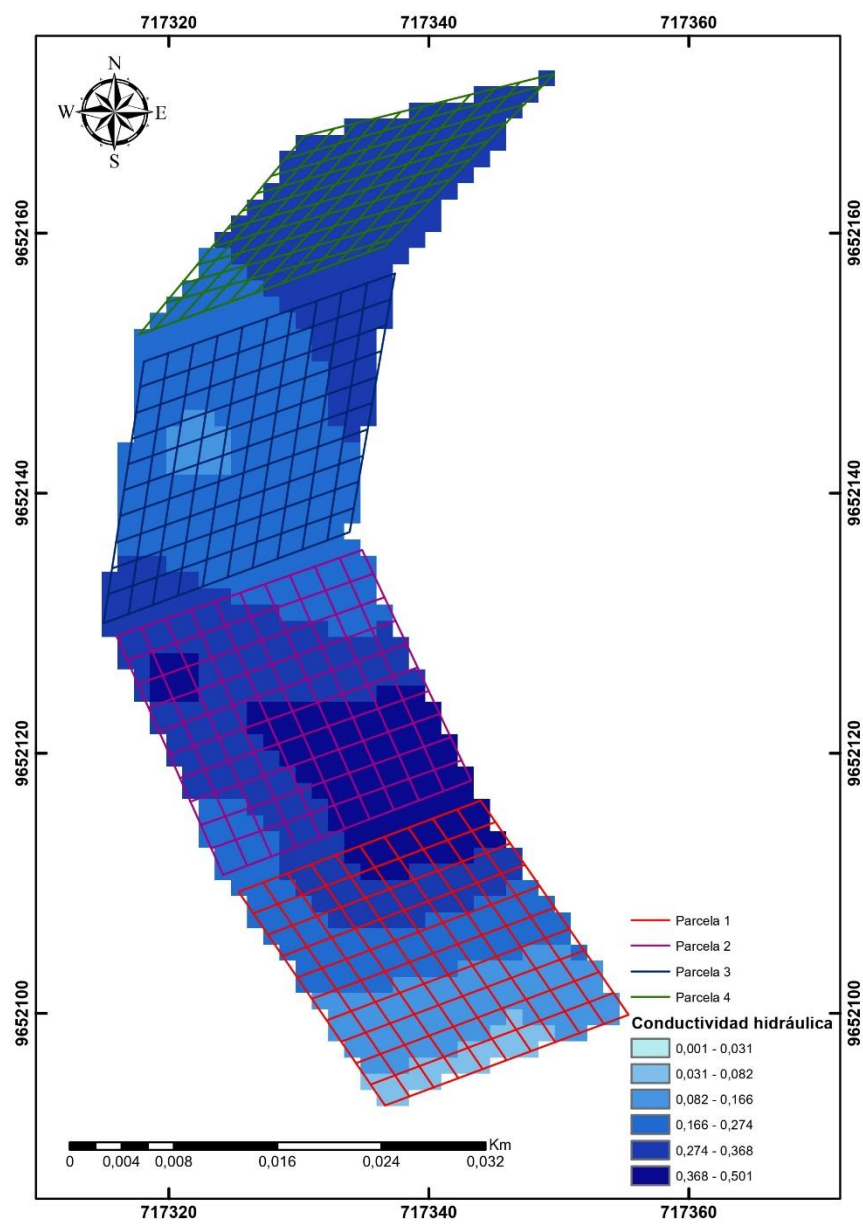
Figura 62. Mapa de conductividad hidráulica-Región cubierta por pajonal



Al observar la región cubierta de pajonal correspondiente a la figura 62, se denota que en la totalidad del área de las parcelas 1, 2, 3 y 4, los valores de conductividad hidráulica se encuentran en un intervalo que varía entre 0,001mm/h a 0,029mm/h. Este

rango evidenció una marcada consistencia en los datos de las cuatro parcelas, indicando una homogeneidad en los niveles de conductividad hidráulica en esa área específica.

Figura 63. Mapa de conductividad hidráulica-Región cubierta por pastizal



En relación con la región cubierta de pastizal que se aprecia en la figura 63, se pueden notar fluctuaciones sustanciales en los valores de conductividad hidráulica en diversas zonas de las parcelas 1, 2, 3 y 4. En la parcela 1, los valores se encuentran en el intervalo de 0,001mm/h a 0,368mm/h, mientras que en la parcela 2 los valores oscilan entre 0,082mm/h a 0,368mm/h. Por otro lado, en la parcela 3 los valores se sitúan en un rango de 0,031mm/h a 0,274mm/h, y en la parcela 4 los valores fluctúan entre 0,082mm/h a 0,274mm/h.

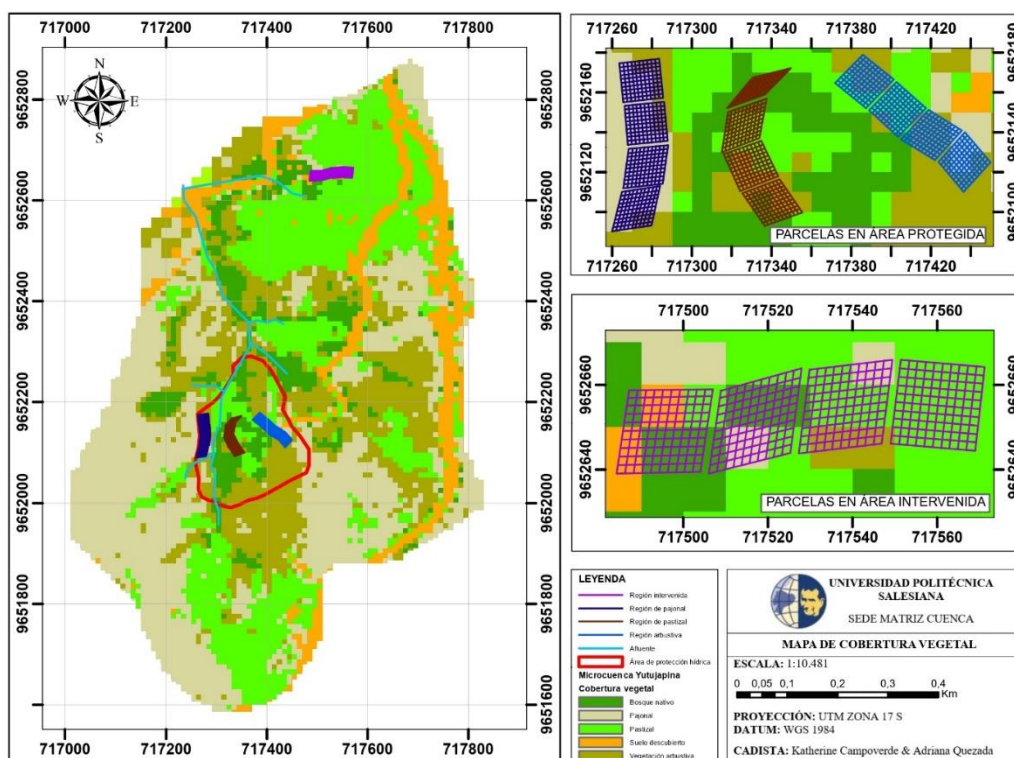
## **4.2 Cobertura vegetal y edafología del suelo**

### **4.2.1 Cobertura vegetal**

En la región arbustiva, se observa que la vegetación predominante es de tipo arbustivo (chaparro), además se cuenta con la presencia de otro tipo de vegetación en ciertas áreas como el pastizal y el pajonal. En la región intervenida, se observa distintos tipos de vegetación, entre los cuales se encuentran pastizal, pajonal, arbustivo y suelo desnudo, área que ha sido destinada para la labranza y pastoreo. En la región cubierta de pajonal, se observa que la vegetación predominante en las parcelas es de pajonal, mientras que en ciertas áreas existe la presencia de vegetación arbustiva. En la región cubierta de pastizal, se observa la incidencia de ciertos tipos de vegetación como la arbustiva y bosque nativo.



Figura 64. Mapa de cobertura vegetal.



#### 4.2.2 Textura del suelo

En la tabla 2, se presenta los resultados de la textura del suelo por cada región y profundidad a la que han sido tomadas las muestras.

Tabla 2. Textura del Suelo

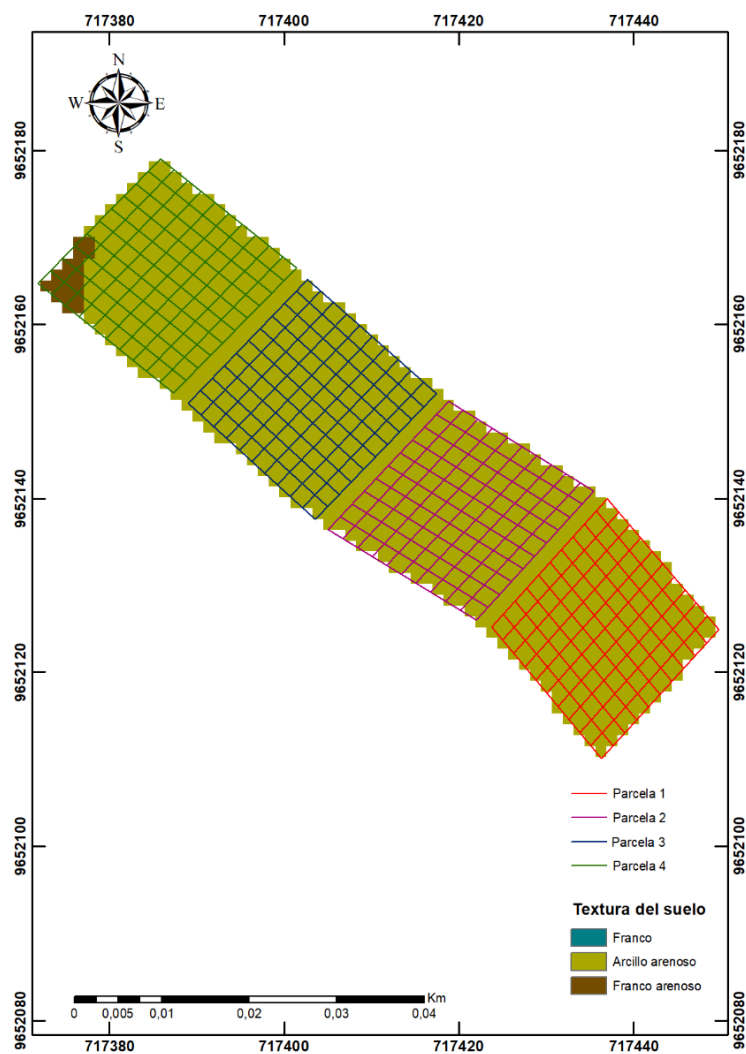
Región	Código	Profundidad (cm)	Textura
Arbustiva	ARP1	40	Arcilloso arenoso
	ARP2	100	Franco arcilloso arenoso
	ARP3	40	Arcilloso arenoso
	ARP4	40	Arcilloso arenoso
Intervenida	INP1	40	Franco
	INP2	40	Franco
	INP3	40	Franco
	INP4	100	Arenoso franco
Pajonal	PAJP1	40	Arcilloso arenoso
	PAJP2	40	Arcilloso arenoso
	PAJP3	100	Arenoso franco
	PAJP4	40	Arcilloso arenoso
	PASP1	40	Arcilloso arenoso

<b>Pastizal</b>	PASP2	40	Franco arenoso
	PASP3	100	Franco arenoso
	PASP4	40	Franco arenoso

La información proporcionada en la tabla 2 indica que la región arbustiva, a 40 cm de profundidad se obtuvo un suelo arcilloso-arenoso, mientras que a 1 m de profundidad se identificó un tipo de suelo franco-arcilloso arenoso. La región intervenida exhibe un tipo de suelo franco, a una profundidad de 40 cm mientras que, a 1 m de profundidad, se presenta un suelo arenoso-franco. En el caso de la región de pajonal, se evidencia que, a una profundidad de 40 cm, el suelo resultante es arcilloso-arenoso, en contraste con la muestra obtenida a 1 m de profundidad, que revela un tipo de suelo arenoso-franco. Con respecto a la región de pastizal, se observa la presencia de dos tipos distintos de suelo: arcilloso-arenoso y franco-arenoso. Es importante señalar que, incluso a una profundidad de 1 m, se obtiene el mismo tipo de suelo, franco-arenoso.

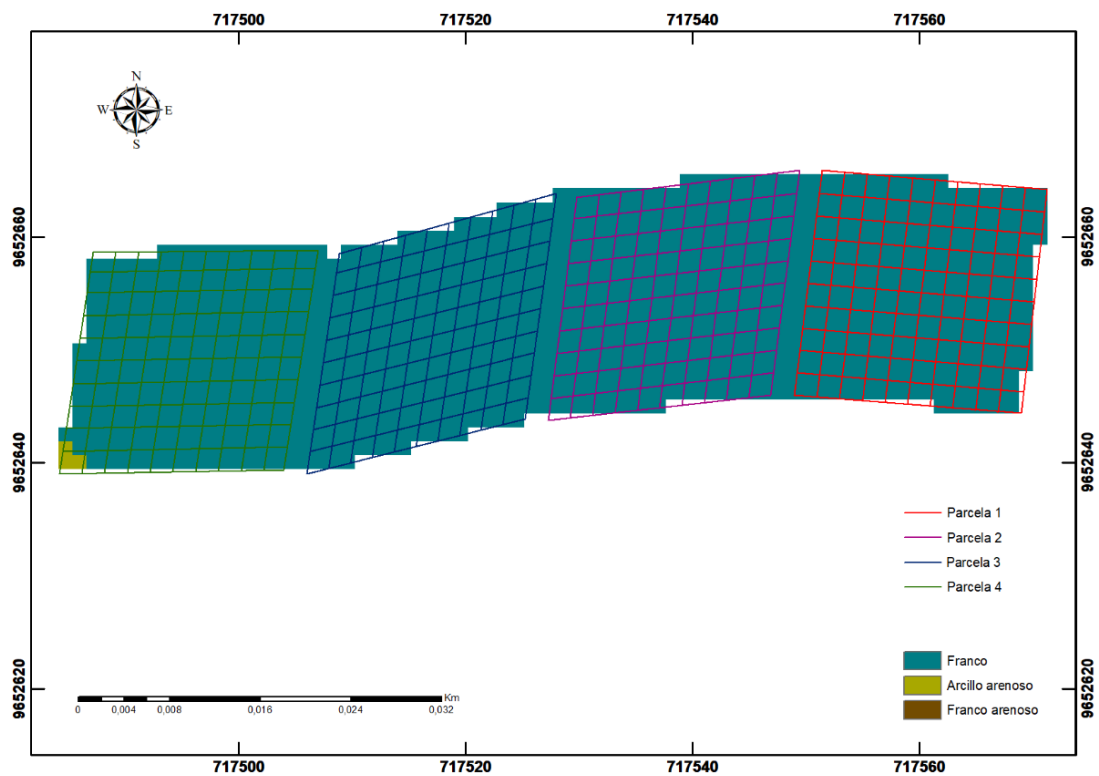
A continuación, se describe la textura de suelo por cada región estudiada.

Figura 65. Textura del suelo-Región arbustiva



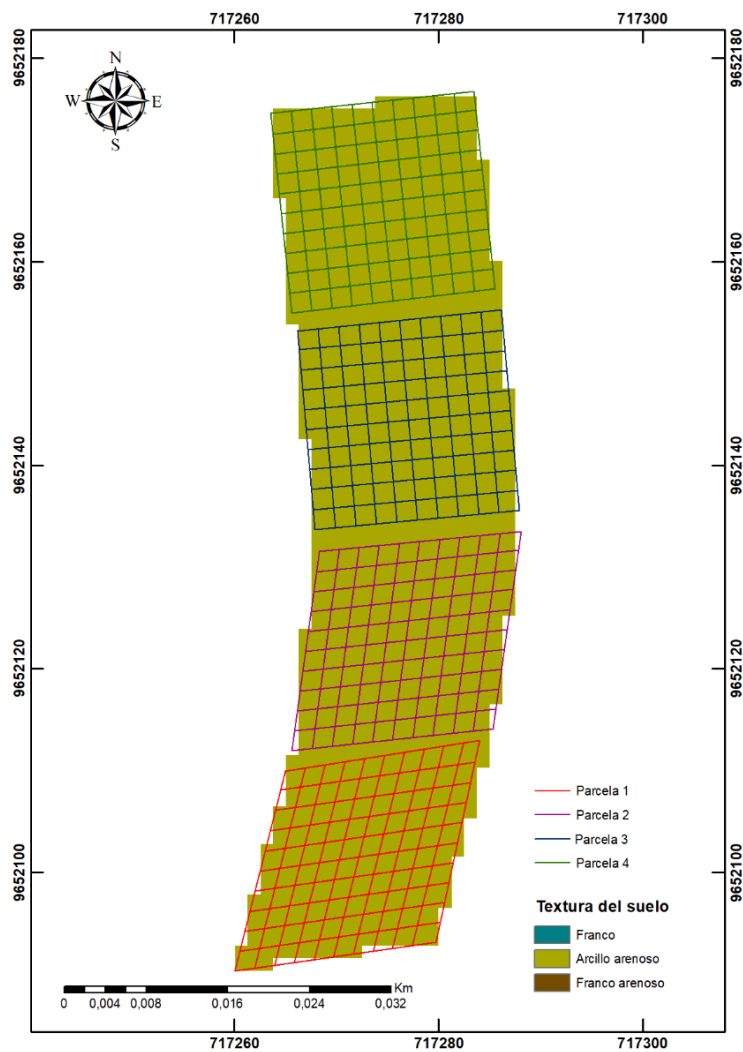
En la región arbustiva, destacada en la figura 65, se aprecia que el suelo predominante es del tipo arcilloso-arenoso en un área considerable de la parcela 1, así como en la totalidad de las parcelas 2, 3 y 4. No obstante, se identifica que en una zona específica de la parcela 1, la composición del suelo se caracteriza por ser franco-arenoso.

Figura 66. Textura del suelo-Región intervenida



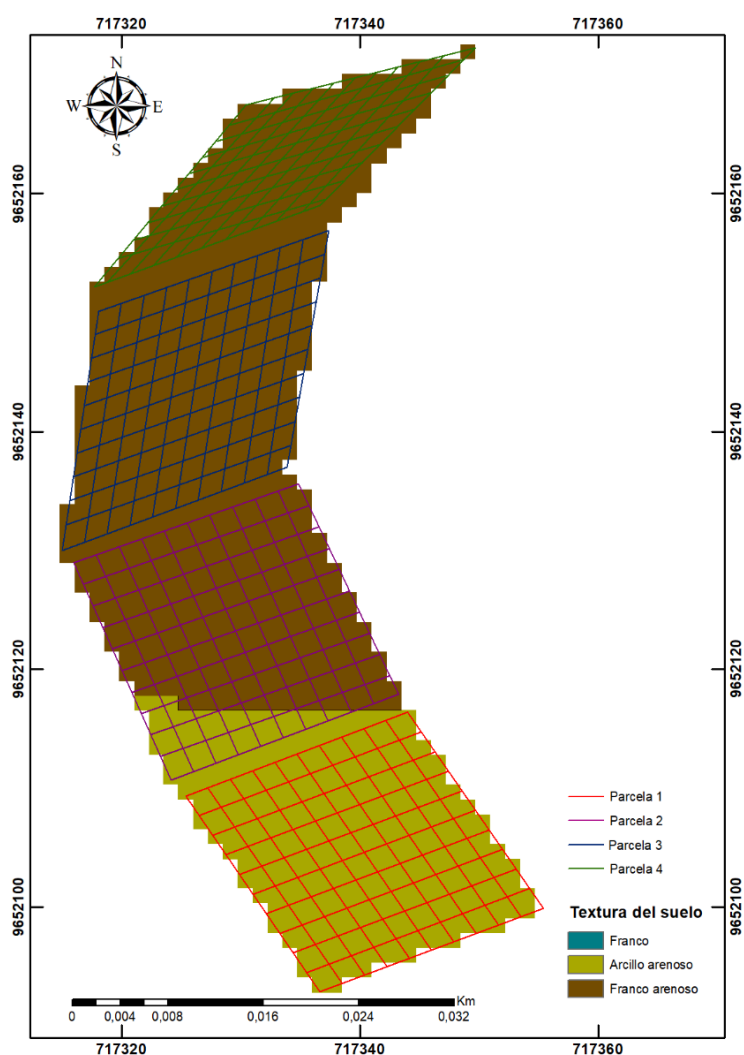
Con respecto a la región intervenida indicada en la figura 66 se observa que la totalidad de las parcelas 1, 2 y 3, así como una parte significativa de la parcela 4, presentaban un suelo franco. No obstante, en un área limitada de dicha parcela se identificó la presencia de un suelo arcilloso-arenoso.

Figura 67. Textura del suelo-Región cubierta de pajonal



En la figura 67 que ilustra la región cubierta de pajonal, se evidencia que las parcelas 1, 2, 3 y 4 exhiben uniformemente las características de un suelo arcilloso-arenoso.

Figura 68. Textura del suelo-Región cubierta de pastizal



De acuerdo con la representación en la figura 68, correspondiente al área cubierta de pastizal, se evidencia que la parcela 2 y la totalidad de las parcelas 3 y 4 presentan un suelo con características franco-arenosas. Por otro lado, se identifica que una zona específica de la parcela 2, así como la totalidad de la parcela 1, exhiben un suelo arcilloso-arenoso.

#### 4.2.3 Horizontes del suelo

Se realizó el reconocimiento de los horizontes que conforman el perfil del suelo en cada una de las regiones arbustiva, intervenida, pajonal y pastizal.

Figura 69. Horizontes de la región arbustiva



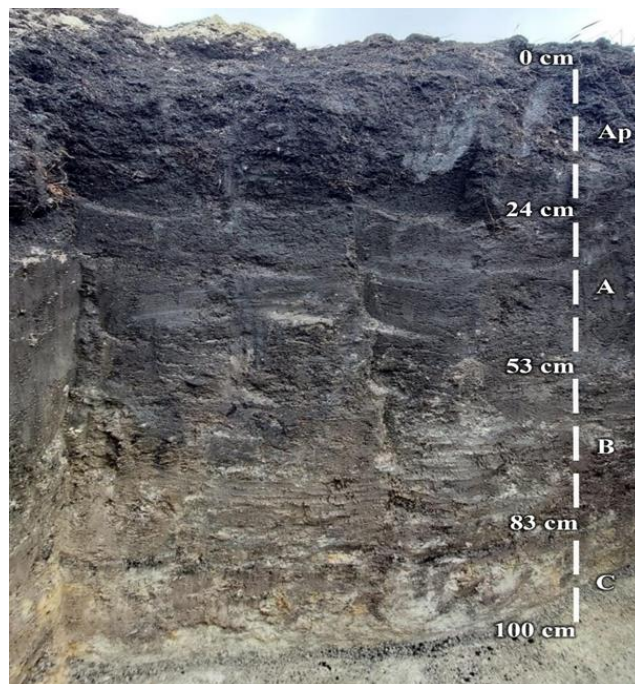
Analizando detalladamente la figura 69, vinculada a la región arbustiva, se aprecia una distribución estratificada de los horizontes del suelo. La superficie se encuentra definida por el horizonte Oe, al estar compuesto principalmente por desechos intactos y parcialmente descompuestos, como ramas, hojas y restos vegetales, que se han acumulado en la capa superior. A este horizonte le sucede el horizonte OA que se encuentra entre 0 cm y 6 cm de profundidad, caracterizada por una mezcla de materia orgánica y actividad biológica.

A partir de los 6 cm y hasta los 20 cm de profundidad, emerge el horizonte A, que se destaca por poseer un suelo de tonalidad negra y aberturas creadas por organismos vivos. Posteriormente, el horizonte E se despliega entre los 20 cm y los 31 cm de profundidad, donde la lixiviación de minerales se destaca en una capa más clara.

En el siguiente transecto, se encuentra el horizonte Bt, que abarca desde los 31 cm hasta los 63 cm de profundidad. Este se distingue por una capa de color café claro, a menudo con la presencia de piedras blancas, sugiriendo procesos de iluviación. Continuando hacia la capa inferior, el horizonte B se presenta entre los 63 cm y los 92 cm de profundidad, exhibiendo un suelo de tonalidad amarilla con piedras blancas que indican la acumulación de minerales a lo largo de los procesos de formación del suelo.

Finalmente, el horizonte C emerge a una profundidad de 92 cm a 100 cm. Este estrato se caracteriza por su color amarillo, una textura ligeramente arenosa y presencia de fragmentos de roca.

Figura 70. Horizontes de la región intervenida



Al evaluar la figura 70 correspondiente a la región intervenida, se observa que se encuentra conformada por horizontes claramente diferenciables. Se denota la presencia de la capa Ap desde la superficie del suelo hasta los 24 cm de profundidad, debido a que es un horizonte que se encontraba alterado por la labranza.



A continuación, se ubica el horizonte A que se encuentra entre los 24 cm a 53 cm de profundidad, debido a que destaca por su color oscuro, la acumulación de materia orgánica y presencia de actividad biológica. Mientras que en el horizonte B, ubicado a una profundidad de 53cm a 83cm, se caracteriza por ser una capa de color café grisáceo, lo cual puede indicar la acumulación de minerales y procesos de traslocación.

Finalmente, en la capa C, que se encuentra a una profundidad entre 83cm a 100cm, se destaca por su color blanco que puede deberse a material calcáreo y la presencia de partículas o fragmentos de roca que no están unidos entre sí (material parental no consolidado).

Figura 71. Horizonte de suelo cubierto por pajonal



Examinando minuciosamente la figura 71, perteneciente a la región cubierta de pajonal, se revela una distribución estratificada de los horizontes del suelo. En la superficie, el horizonte Oe domina, compuesto principalmente por desechos intactos y parcialmente descompuestos de restos vegetales, que se han acumulado en la capa superior. Prosiguiendo hacia abajo, entre 0 cm y 36 cm de profundidad, se encuentra el

horizonte OA, que se caracteriza por una mezcla de materia orgánica y actividad biológica.

En el siguiente estrato se halló al horizonte A, que se halla entre los 36 cm a 60 cm de profundidad, comúnmente asociado a vegetación tipo pajonal. Mientras que el horizonte AC, se encuentra a una profundidad de 60 cm a 76 cm de profundidad, representando un periodo de transición a material parental con pequeñas piedras y suelo oscuro, lo que indica la acumulación y transporte de minerales desde la capa superior hacia el material parental.

Finalmente, el horizonte C está situado a una profundidad entre 76cm a 100cm, se distingue por su color café claro y presencia de fragmentos de roca.

Figura 72. Horizontes de la región cubierta por pastizal



Al examinar la figura 72, relacionada con la región arbustiva se revela que en la capa superficial del suelo se localiza el horizonte Oe, compuesto principalmente por desechos intactos y parcialmente descompuestos, como ramas, hojas y restos de vegetación.

Seguidamente, entre 0 cm y 44 cm de profundidad, se halla el horizonte OA, caracterizada por una mezcla de materia orgánica, actividad biológica y conductos en el suelo creados por organismos vivos. Finalmente, a partir de los 44 cm y hasta los 100 cm de profundidad, emerge el horizonte A, que se destaca por un suelo de tonalidad café oscuro. Este análisis detallado proporciona una visión completa de la estratificación del suelo en la región arbustiva, destacando la presencia y características de cada horizonte a diferentes profundidades.

### 4.3 Análisis estadístico

#### 4.3.1 Supuesto de normalidad y homocedasticidad

Se realizó la verificación del supuesto de normalidad y homocedasticidad para cada grupo de datos (arbustiva, intervenida, pajonal, pastizal).

La mayor parte de los datos muestran una distribución no normal ( $p$ -valor  $< 0.05$ ). Además, se evidencia la falta de homocedasticidad ( $p$ -valor  $< 0.05$ ) lo que sugiere que al menos una de las varianzas es significativamente diferente de las demás en el conjunto de datos (tabla 3).

En este contexto, se empleó pruebas no paramétricas tanto para el análisis de correlación y el análisis de varianza.

Tabla 3. Análisis de normalidad

Supuesto de Normalidad										
REGIÓN	p-valor									
	H	MO	DA	P	T5	T10	T20	Ph5	pH20	CH
ARBUSTIVA	2.60e-4	1.61e-4	1.91e-4	1.59e-3	0.641	1.66e-3	5.51e-3	8.08e-7	7.39e-6	9.49e-3
INTERVENIDA	6.09e-5	2.62e-4	2.24e-6	3.90e-5	0.293	1.57e-2	2.54e-1	2.96e-4	1.18e-2	1.03e-1
PAJONAL	1.81e-3	1.76e-6	7.30e-3	1.39e-3	0.596	2.90e-1	1.54e-2	3.54e-6	1.86e-6	3.87e-5

PASTIZAL	2.40e-3	1.14e-4	6.29e-4	1.14e-3	0.110	6.40e-2	4.55e-5	8.32e-8	1.77e-5	1.03e-1
Supuesto de Homocedasticidad										
PRUEBA					p-valor					
<b>Fligner-Killeen test of homogeneity of variances</b>					<b>2.2e-16</b>					

### 4.3.2 Análisis de correlación

Este análisis se llevó a cabo para cada una de las áreas: arbustiva, intervenida, pajonal y pastizal.

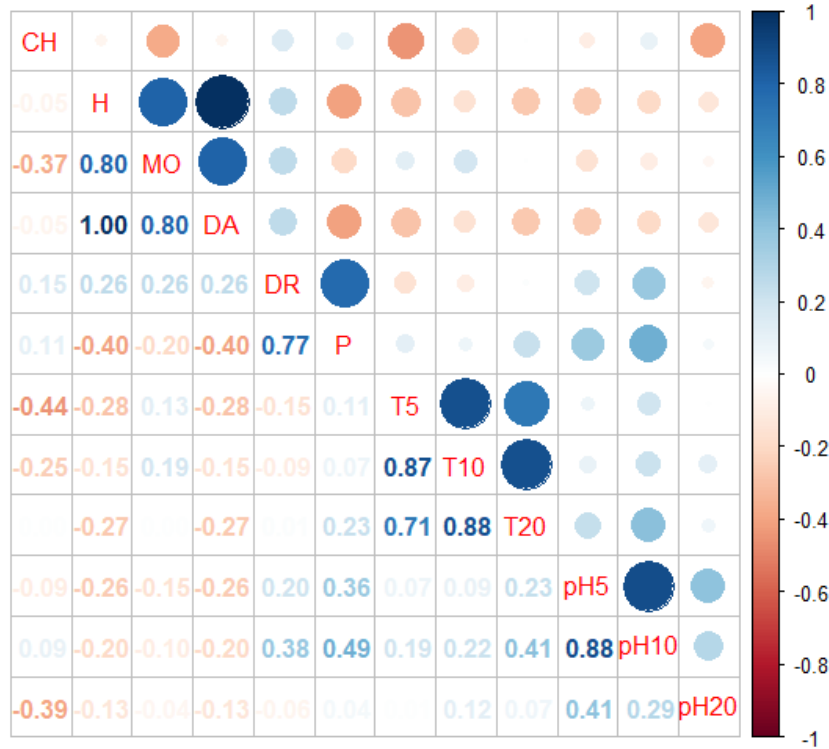
#### Región arbustiva

En el análisis de correlación para la región arbustiva, se identifica correlación negativa entre todos los parámetros, distinguiéndose entre estos la MO, T5 y pH20, con valores de -0.37, -0.44 y -0.39, respectivamente. Sin embargo, es importante destacar que estos valores negativos indican una asociación débil entre la conductividad hidráulica y las variables mencionadas (tabla 4 y figura 73).

Tabla 4. Análisis de correlación-Región arbustiva

	CH	H	MO	DA	DR	P	T5	T10	T20	pH5	pH10	pH20
CH	1,00000000	-	-	-0,0542896	0,1501878	0,1085794	-0,4441791	-0,248223	0,00164679	-	0,0946094	-
H	0	0,0542896	0,37227203	-	5	-	-	-	0,0901127	-	-	0,39216523
MO	0,05428967	1,00000000	0,80000000	1,00000000	0,2581988	-0,4000000	-0,2843829	-0,152982	0,26754064	0,2581988	0,1951800	0,13483997
DA	0,37227203	0	0	0,80000000	0,80000000	-0,2000000	0,12639241	0,1851893	0,00424667	-	0,1549193	0,04494665
DR	-	1,00000000	0,80000000	1,00000000	0,2581988	-0,4000000	-0,2843829	-0,152982	-	-	-	-
P	0,05428961	0	0	0	9	0	9	0	0,26754064	0,2581988	0,1951800	0,13483997
T5	0,15018785	0,2581988	0,25819889	0,2581988	1,00000000	0,7745966	-0,1529734	-0,093552	0,01096487	0,20000000	0,3779644	0,05802588
T10	0,10857934	-	-	-0,40000000	0,7745966	1,00000000	0,11059335	0,0724652	0,22507387	0,3614784	0,4879500	0,04494665
T20	-	0,40000000	0,20000000	-	7	-	-	-	0,1105933	1,00000000	0,8713827	0,0713877
pH5	0,44417914	0,2843829	1	0,2843829	0,1529736	5	0	0,71454536	0,0713877	0,1927286	0,00887643	1
pH10	-	-	0,18518902	-	4	0,0724652	0,87138275	1,00000000	0,87790412	0,0935522	0,2160854	0,11761647
pH20	0,24822397	0,1529822	7	0,1529822	0,0935522	7	7	0	7	6	2	9
CH	0,00164679	-	0,00424667	-	0,0109648	0,2250738	0,71454536	0,8779041	1,00000000	0,2302623	0,4144332	0,06680587
H	-	0,2675406	7	0,2675406	7	8	9	3	0	3	3	7
MO	-	-	-	5	0,20000000	0,3614784	0,07138770	0,0935522	0,23026232	1,00000000	0,8819171	0,40618119
DA	0,09011271	0,2581988	0,15491933	0,2581988	0	5	1	6	7	0	0	7
DR	0,09460945	-	-	-	0,3779644	0,4879500	0,19272867	0,2160854	0,41443323	0,8819171	1,00000000	0,28511240
P	-	0,1951800	0,09759000	0,1951800	7	4	7	2	4	0	0	1
T5	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
T10	0,39216523	0,1348399	0,04494665	0,1348399	0,0580258	0,0449466	0,00887643	0,1176164	0,06680587	0,4061812	0,2851124	1,00000000
T20	-	-	-	-	9	6	1	8	7	0	0	0

Figura 73. Análisis de correlación-Región arbustiva.



### Región intervenida

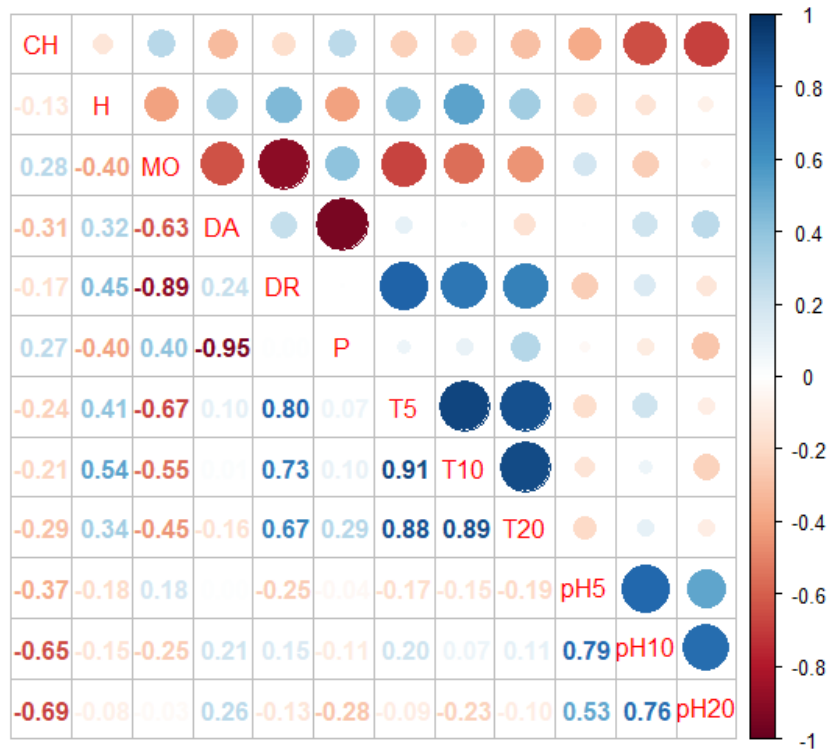
En la región intervenida, se destacan dos parámetros con valores negativos más pronunciados, específicamente pH10 y pH20, registrando coeficientes de -0.65 y -0.69, respectivamente. A pesar de estos valores, es importante señalar que indican una asociación débil entre la conductividad hidráulica y las variables medidas (tabla 5 y figura 74).

Tabla 5. Análisis de correlación-Región intervenida

	CH	H	MO	DA	DR	P	T5	T10	T20	pH5	pH10	pH20
CH	1,000000 0	- 0,1326466 3	0,2769973 8	- 0,310486 7	- 0,174474 6	0,2691946 4	- 0,2383854 5	- 0,2120461 1	- 0,2927378 7	- 0,3719436 7	- 0,6481729 5	- 0,6898413 9
H	- 0,132646 6	1,000000 0	- 0,4000000 0	0,316227 8	0,447213 6	- 0,4000000 0	0,4060517 8	0,5386025 8	0,3400777 2	- 0,1833397 3	- 0,1467208 3	0,0750651 9
MO	0,276997 4	- 0,4000000 0	1,000000 0	- 0,632455 5	- 0,894427 2	0,4000000 0	- 0,6715471 8	- 0,5503967 9	- 0,4468463 0	0,1833397 0	- 0,2459731 6	- 0,0250217 3
DA	- 0,310486 7	0,316227 7	- 0,632455 3	1,000000 0	0,235702 3	- 0,948683 0	0,1028885 0	0,0124322 0	- 0,1563110 7	0,0000000 0	0,2069679 0	0,2637521 9
DR	0,174474 6	0,4472136 0	0,8944271 9	0,235702 3	1,000000 0	0,0000000 0	0,8031948 4	0,7296439 0	0,6720140 0	- 0,2459760 2	0,1543895 3	- 0,1305506 7
P	0,269194 6	- 0,4000000 0	0,4000000 0	- 0,948683 3	0,0000000 0	1,0000000 0	0,0702781 9	0,0982851 4	0,2886706 2	- 0,0366679 4	0,1078829 6	0,2752390 3
T5	- 0,238385 4	0,4060517 8	- 0,6715471 8	- 0,102888 5	0,803194 8	0,0702781 9	1,0000000 0	0,9109964 1	0,8757947 0	- 0,1740340 4	- 0,2030242 8	- 0,0911805 5

<b>T10</b>	-	0,5386025	-	0,012432	0,729643	0,0982851	0,9109964	1,0000000	0,8915814	-	0,0729506	-	
	0,212046	8	0,5503967	2	9	4	1	0	2	0,1495624	5	0,2262523	
<b>T20</b>	-	0,3400777	-	-	0,672014	0,2886706	0,8757947	0,8915814	1,0000000	-	0,1083593	-	
	0,292737	2	0,4468463	0	0	2	0	2	0	0,1916711	3	0,0972966	
<b>pH5</b>	-	-	0,1833397	0,000000	-	-	-	-	-	1,0000000	0,7867188	0,5256483	
	0,371943	0	0	0	0,245976	0,0366679	0,1740340	0,1495624	0,1916711	0	7	4	
<b>pH10</b>	-	-	-	0,206967	0,154389	-	0,2030242	0,0729506	0,1083593	0,7867188	1,0000000	0,7612359	
	0,648172	0	0,2459731	9	5	0,1078829	8	5	3	7	0	7	
<b>pH20</b>	-	-	-	0,263752	-	-	-	-	-	-	0,5256483	0,7612359	1,0000000
	0,689841	0,0750651	0,0250217	2	0,130550	0,2752390	0,0911805	0,2262523	0,0972966	4	7	0	
	4	9	3	7	3	5	1	3	3				

Figura 74. Análisis de correlación-Región intervenida.



### Región pajonal

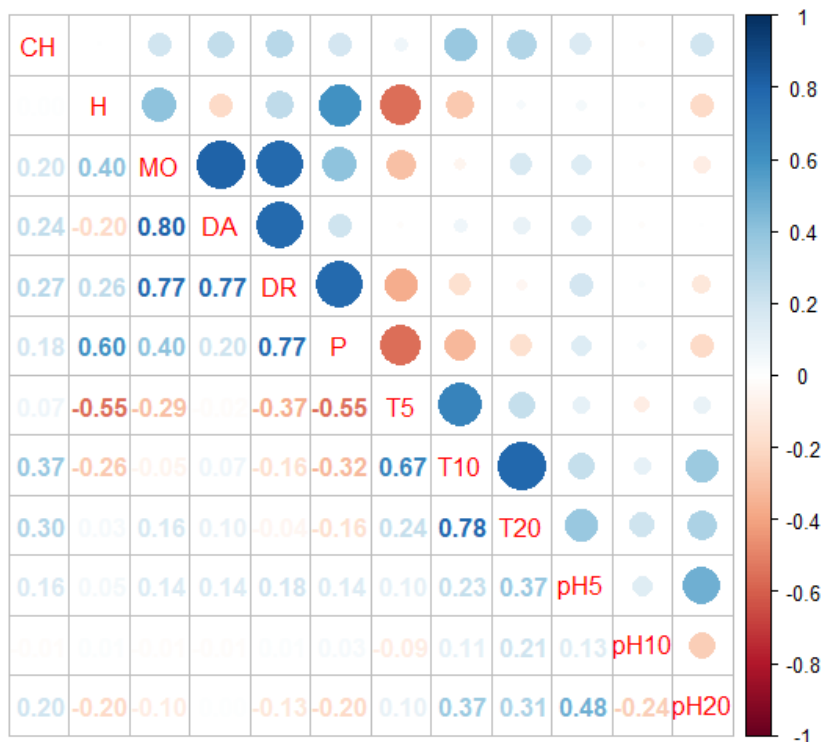
En la región de pajonal, se evidencia dos parámetros con valores positivos más pronunciados, específicamente en T10 y T20, registrando coeficientes de 0,37 y 0,30, respectivamente, sugiriendo una asociación débil entre la conductividad hidráulica y las variables medidas (tabla 6 y figura 75).

Tabla 6. Análisis de correlación-Región cubierta de pajonal

	CH	H	MO	DA	DR	P	T5	T10	T20	pH5	pH10	pH20
CH	1,00000000	0,004214498	0,1980813	0,2402263	0,2720446	0,1812233	0,0687609	0,3712301	0,2973023	0,1580629	-	0,1953641
H	0,004214498	1,00000000	0,4000000	-	0,2581988	0,6000000	-	-	0,0328105	0,0468807	0,011283	0
MO	0,19808138	0,40000000	1,0000000	0,8000000	0,7745966	0,4000000	0,5503967	0,2649442	0,1640529	0,1406421	-	0,1951801
DA	0,24022635	-	0,8000000	1,0000000	0,7745966	0,2000000	0,2909240	0,0514071	0,0984317	0,1406421	0,011283	0,0975900
DR	0,27204464	0,258198890	0,7745966	0,7745966	1,0000000	0,7745966	0,0157256	0,0672246	0,0984317	0,1406421	0,011283	0,0000000
P	0,18122339	0,60000000	0,4000000	0,2000000	0,7745966	1,0000000	0,3654304	0,1633631	0,0423582	0,1406421	0,0333848	0,1259881
T5	0,0687609	-	0,5503967	-	-	-	1	-	-	-	-	-
T10	0,3712301	-	0,2649442	-	0,0157256	0,1633631	-	1	-	-	-	-
T20	0,2973023	-	0,1640529	-	0,0672246	0,0423582	-	-	1	-	-	-
pH5	0,1580629	0,0468807	0,1406421	0,1406421	0,1406421	0,1406421	0,1406421	0,1406421	0,1406421	1	-	-
pH10	-	0,011283	-	0,011283	0,011283	0,011283	0,011283	0,011283	0,011283	-	1	-
pH20	0,1953641	0	0,1951801	0,0975900	0,0000000	0,1259881	-	-	-	-	-	1

T5	0,06876093	-	-	-	-	-	1,0000000	0,6669371	0,2382316	0,1013689	-	0,0959164
T10	0,37123015	0,550396794	0,2909240	0,0157256	0,3654304	0,5503967	0	0	3	3	0,0913278	8
T20	0,29730233	0,264944268	0,0514071	0,0672246	0,1633631	0,3203057	0,6669371	1,0000000	0,7817193	0,2317309	0,1050634	0,3666136
pH5	0,15806295	0,032810591	0,1640529	0,0984317	0,0423582	0,1640529	0,2382316	0,7817193	1,0000000	0,3749324	0,2099474	0,3101923
pH10	0,15806295	0,046880723	0,1406421	0,1406421	0,1815682	0,1406421	0,1013689	0,2317309	0,3749324	1,0000000	0,1304256	0,4803844
pH20	0,01231129	0,011128298	0,0111283	0,0111283	0,0143665	0,0333848	-	0,1050634	0,2099474	0,1304256	1,0000000	-
0	0,19536410	-	0,0000000	0,0000000	-	-	0,0913278	9	7	6	0	0,2443524
0	0,19536410	0,195180015	0,0975900	0	0,1259881	0,1951800	0,0959164	0,3666136	0,3101923	0,4803844	0	1,0000000
0	1	0,195180015	0,0975900	0	0,1259881	0,1951800	8	9	8	6	0,2443524	0

Figura 75. Análisis de correlación-Región cubierta de pajonal.



### Región pastizal

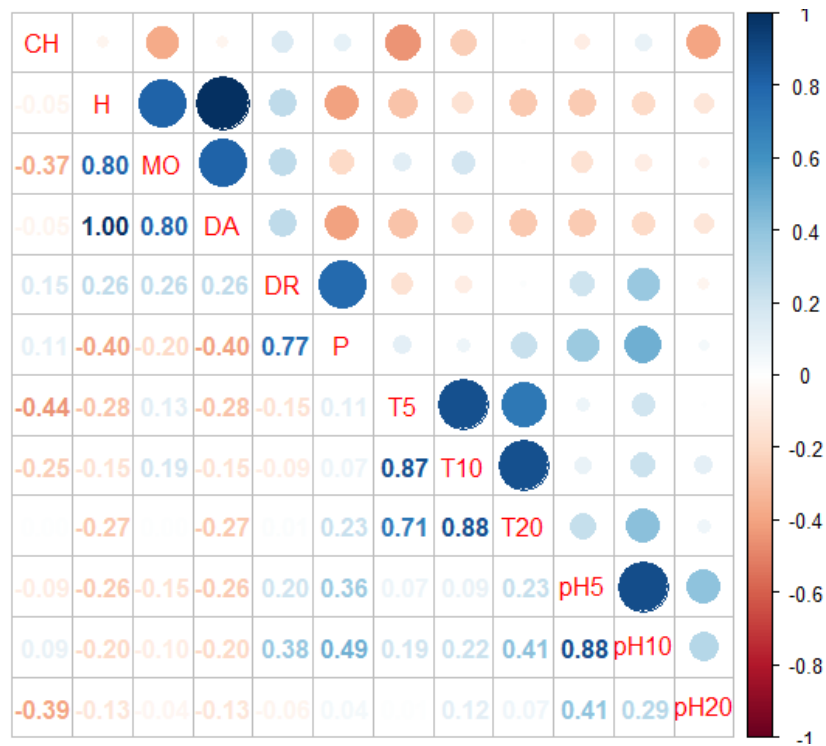
En la región de pastizal, al igual que en las regiones arbustiva e intervenida, se observan una correlación negativa, destacándose tres parámetros con coeficientes negativos más pronunciados, siendo materia MO, T5 y pH20, registrando valores de -0.37, -0.44 y -0.39, respectivamente, lo que sigue una asociación débil entre la conductividad hidráulica y las variables medidas (tabla 7 y figura 76).

Tabla 7. Análisis de correlación-Región cubierta de pastizal

	CH	H	MO	DA	DR	P	T5	T10	T20	pH5	pH10	pH20
CH	1,0000000	-0,0542896	-	-	0,1501878	0,1085793	-0,4441791	-0,248223	0,00164679	-	0,0946094	-0,3921652
H	0	1,0000000	0,37227203	0,0542896	0,2581988	-0,400000	-0,2843829	-0,152982	0,26754064	0,0901127	5	-
MO	-0,05428967	0,8000000	1,0000000	1,0000000	0,2581988	-0,200000	0,12639240	0,1851890	0,00424667	0,2581988	0,1951800	0,13483997
DA	-0,37227203	0,8000000	1,0000000	0,8000000	0,2581988	-0,200000	0,12639240	0,1851890	0,00424667	0,1549193	0,0975900	0,04494665
DR	-0,05428967	1,0000000	0,8000000	1,0000000	0,2581988	-0,400000	-0,2843829	-0,152982	-	0,26754064	0,2581988	0,1951800
P	0,15018785	0,2581988	0,2581988	0,2581988	1,0000000	0,7745966	-0,1529736	0,0935522	0,01096487	0,2000000	0,3779647	-
T5	2	9	0	9	0	0,7745966	-0,1529736	0,0935522	0,01096487	0,2000000	0,3779647	0,05802588

<b>P</b>	0,10857934 3	-0,4000000	-0,2000000	-	0,7745966 7	1,0000000	0,11059335	0,0724652	0,22507387	0,3614784	0,4879500	0,04494665	
<b>T5</b>	-	-	0,12639240 1	0,2843829	-	0,1105933 5	1,00000000	0,8713827 6	0,71454536 9	0,0713877	0,1927286	0,00887643	
<b>T10</b>	-0,24822397 2	-0,1529822 0	0,18518902 7	-	-	0,0724652	0,87138275	1,00000000	0,87790412	0,0935522	0,2160854	0,11761647	
<b>T20</b>	0,00164679 1	-0,2675406 7	0,00424667 7	0,1529822 7	0,0935522 7	0,2250738	0,71454536 9	0,8779041 3	1,00000000 0	0,2302623 3	0,4144332	0,06680587 7	
<b>pH5</b>	-0,09011271 1	-0,2581988 7	-	0,2675406 7	-0,258198 0	0,2000000 5	0,3614784 8	0,07138770 1	0,0935522 6	0,23026232 7	1,0000000 0	0,8819171 7	0,40618119 7
<b>pH10</b>	0,09460945 4	-0,1951800 7	0,15491933 7	-	0,3779644 7	0,4879500 4	0,19272867 7	0,2160854 2	0,41443323 4	0,8819171 0	1,0000000 0	0,28511240 1	
<b>pH20</b>	-0,39216523 0	-0,1348399 7	-	0,09759000 7	0,1951800 7	-	0,0449466 6	0,00887643 1	0,1176164 8	0,06680587 7	0,4061812 0	0,2851124 0	1,00000000 0

Figura 76. Análisis de correlación-Región cubierta de pastizal.



### 4.3.3 Análisis de regresión lineal

Se realizó el análisis de regresión lineal para las cuatro regiones de estudio: arbustiva, intervenida, pajonal y pastizal, donde se explica la relación de la CH con cada uno de los parámetros medidos.

#### Región arbustiva



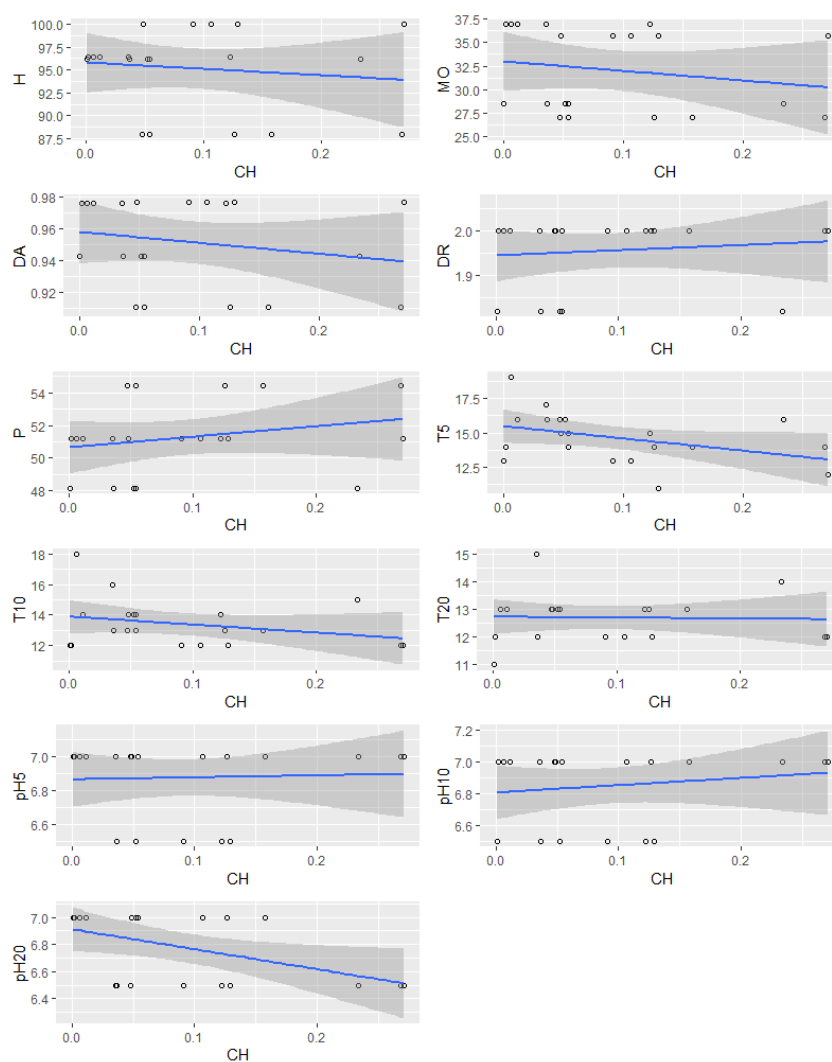
Los resultados indican un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) que fluctúa entre 0.001053 y 0.2388, destacando que el pH20 explica el 23.88% de la variabilidad en la CH. (tabla 8 y figura 77).

En el mismo contexto, el p-valor asociado con parámetro de pH20 fue inferior a 0.05, indicando que la relación observada es estadísticamente significativa. No obstante, la robustez de la relación ( $R^2 < 1$ ) no es suficiente para proponer un modelo de manera concluyente (tabla 8).

Tabla 8. Análisis de regresión lineal-Región arbustiva.

V. Dependiente	H	MO	DA	DR	P	T5	T10	T20	pH5	pH10	pH20
CH											
<b>R<sup>2</sup></b>	<b>0.0169</b>	<b>0.0372</b>	<b>0.0434</b>	<b>0.0147</b>	<b>0.0567</b>	<b>0.1661</b>	<b>0.080</b>	<b>0.001</b>	<b>0.002</b>	<b>0.026</b>	<b>0.238</b>
<b>p-valor</b>	<b>0.5849</b>	<b>0.4152</b>	<b>0.3776</b>	<b>0.6097</b>	<b>0.3119</b>	<b>0.0744</b>	<b>0.224</b>	<b>0.892</b>	<b>0.850</b>	<b>0.489</b>	<b>0.028</b>

Figura 77. Representación gráfica de regresión lineal-Región arbustiva.



### Región intervenida

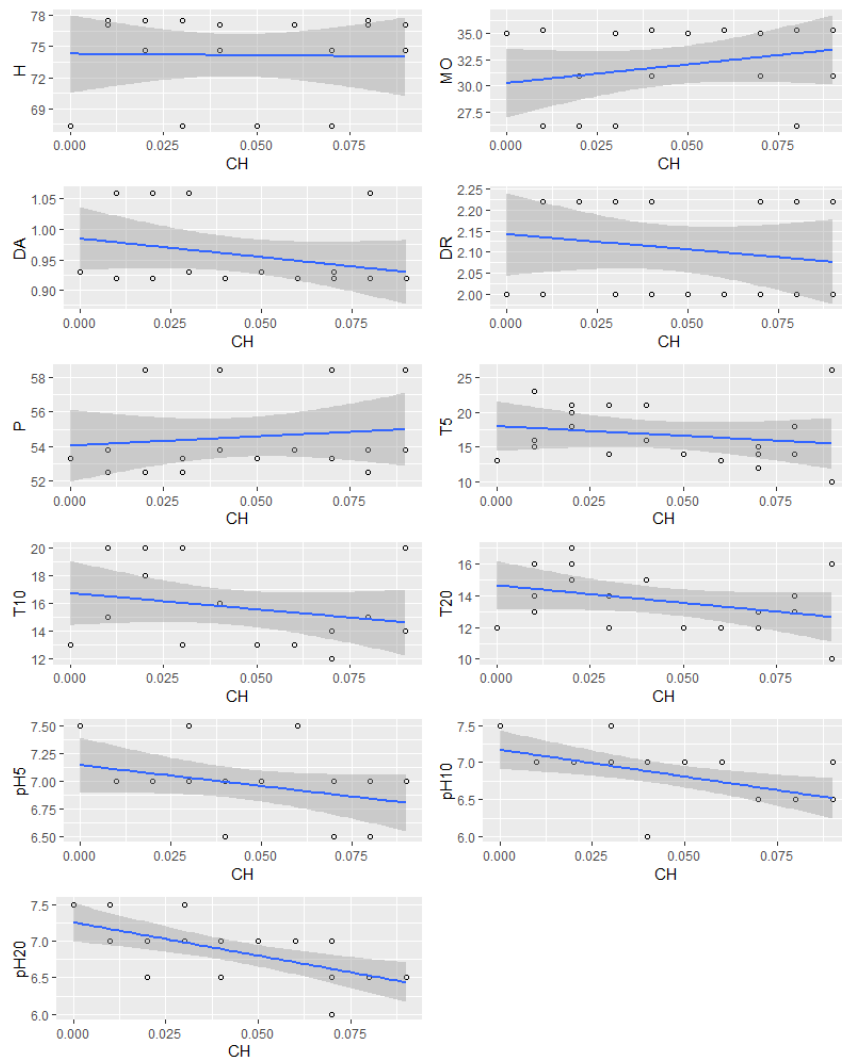
Los resultados indican un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) que fluctúa entre 0.0004511 y 0.4508, siendo los parámetros pH10 y pH20, correspondientes a 0.3468 y 0.4508, que representan el 34.68% y 45.08% de la variabilidad de la CH respectivamente. (tabla 9 y grafica 78)

Asimismo, el p-valor asociado con los parámetros de pH10 y pH20 fueron inferiores a 0.05, indicando que la relación observada es estadísticamente significativa. No obstante, la robustez de la relación ( $R^2 < 1$ ) no es suficiente para proponer un modelo de manera concluyente (tabla 9).

Tabla 9. Análisis de regresión lineal-Región intervenida.

V. Dependiente	H	MO	DA	DR	P	T5	T10	T20	pH5	pH10	pH20
CH											
R <sup>2</sup>	0.000451 1	0.074 6	0.0881 2	0.0362 4	0.0174 9	0.0393 6	0.0669 4	0.126 7	0.135 7	0.3468 1	0.4508 9
p-valor	0.9292	0.244	0.2037	0.4215	0.5783	0.4017	0.2707	0.124 6	0.11	0.00630 1	0.0011 9

Figura 78. Representación gráfica de regresión lineal-Región intervenida.



### Región de pajonal

Los resultados revelan un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) que varía entre 0.009518 y 0.2645, destacando que los parámetros T10 y T20 exhiben valores de 0.2031

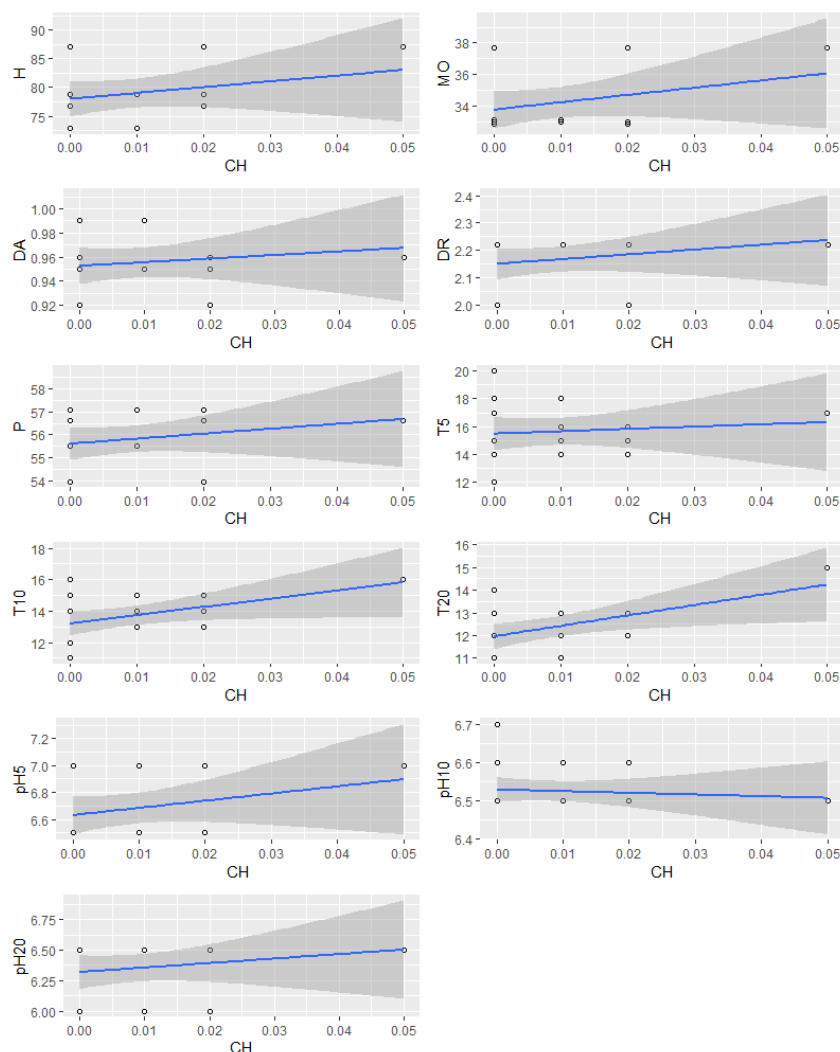
y 0.2645, representando el 20.31% y 26.45% de la variabilidad de la CH, respectivamente. (tabla 10 y figura 79).

Además, los p-valores asociados a los parámetros de T10 y T20 fueron inferiores a 0.05, señalando una significancia estadística en la relación observada. Sin embargo, la solidez de la relación ( $R^2 < 1$ ) no es lo bastante firme como para proponer un modelo de manera concluyente (tabla 10).

Tabla 10. Análisis de regresión lineal-Región cubierta de pajonal

V. Dependiente	H	MO	DA	DR	P	T5	T10	T20	pH5	pH10	pH20
CH											
<b>R<sup>2</sup></b>	<b>0.05373</b>	<b>0.07317</b>	<b>0.02025</b>	<b>0.04729</b>	<b>0.04617</b>	<b>0.01024</b>	<b>0.2031</b>	<b>0.2645</b>	<b>0.07161</b>	<b>0.009518</b>	<b>0.03678</b>
<b>p-valor</b>	<b>0.3254</b>	<b>0.2487</b>	<b>0.5496</b>	<b>0.3571</b>	<b>0.3629</b>	<b>0.6712</b>	<b>0.04615</b>	<b>0.02034</b>	<b>0.254</b>	<b>0.6824</b>	<b>0.418</b>

Figura 79. Representación gráfica de regresión lineal-Región cubierta de pajonal.



### Región de pastizal

Los resultados revelan un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) que varía entre 0.001053 y 0.2388, destacando que los parámetros T5 y pH20 exhiben valores entre 0.1661 y 0.2388, representando el 16.61% y 23.88% de la variabilidad de la CH, respectivamente. (tabla 11 y figura 80).

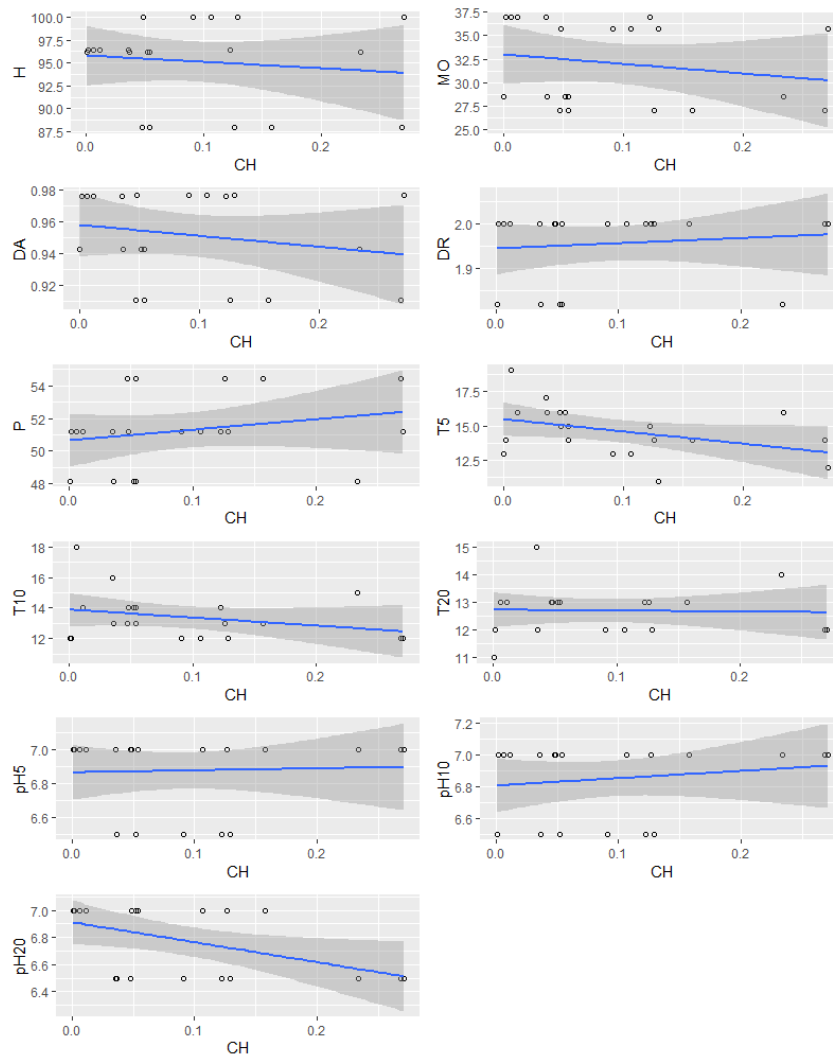
Además, los p-valor asociados a los parámetros de T5 y pH20 fueron inferiores a 0.05, señalando una significancia estadística en la relación observada. Sin embargo, la

solidez de la relación ( $R^2 < 1$ ) no es lo bastante firme como para proponer un modelo de manera concluyente (tabla 11).

Tabla 11. Análisis de regresión lineal-Región cubierta de pastizal.

V. Dependiente	H	MO	DA	DR	P	T5	T10	T20	pH5	pH10	pH20
CH											
$R^2$	0.0169	0.0372	0.04349	0.01477	0.05672	0.1661	0.08084	0.001053	0.002022	0.02696	0.2388
p-valor	0.5849	0.4152	0.3776	0.6097	0.3119	0.07445	0.2244	0.892	0.8507	0.4891	0.02879

Figura 80. Representación gráfica de regresión lineal-Región cubierta de pastizal.



#### 4.3.4 Análisis de varianza

Se llevó a cabo un análisis de varianza para cada uno de los parámetros medidos; a continuación, se presentan los resultados.

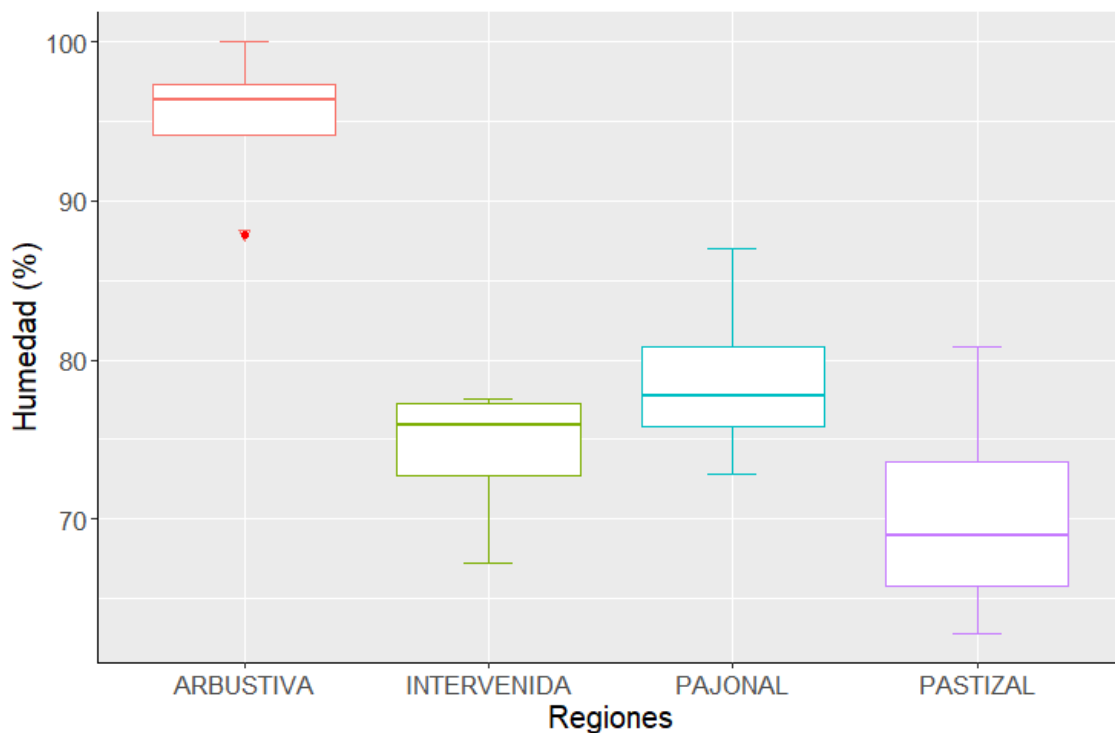
##### Humedad

Los resultados revelan una diferencia estadísticamente significativa ( $p$ -valor  $< 0.05$ ) en los niveles de humedad entre las distintas regiones de estudio (tabla 12 y figura 81).

Tabla 12. Prueba estadística-humedad

Prueba estadística	p-valor
Kruskal-Wallis	2.927e-11

Figura 81. Representación gráfica del análisis de varianza-humedad.



Los resultados de la prueba post hoc, revelan diferencias significativas entre las regiones arbustiva-intervenida, arbustiva-pajonal y arbustiva-pastizal (tabla 13).

Tabla 13. Prueba post hoc-humedad.

Prueba estadística	Región	p-valor
<b>Dunn's Test</b>	Arbustiva - Intervenida	0.0000
	Arbustiva - Pajonal	0.0001
	Arbustiva - Pastizal	0.0000
<b>Corrección = bonferroni</b>	Intervenida - Pajonal	0.5183
	Intervenida - Pastizal	0.5183
	Pajonal - Pastizal	0.0192

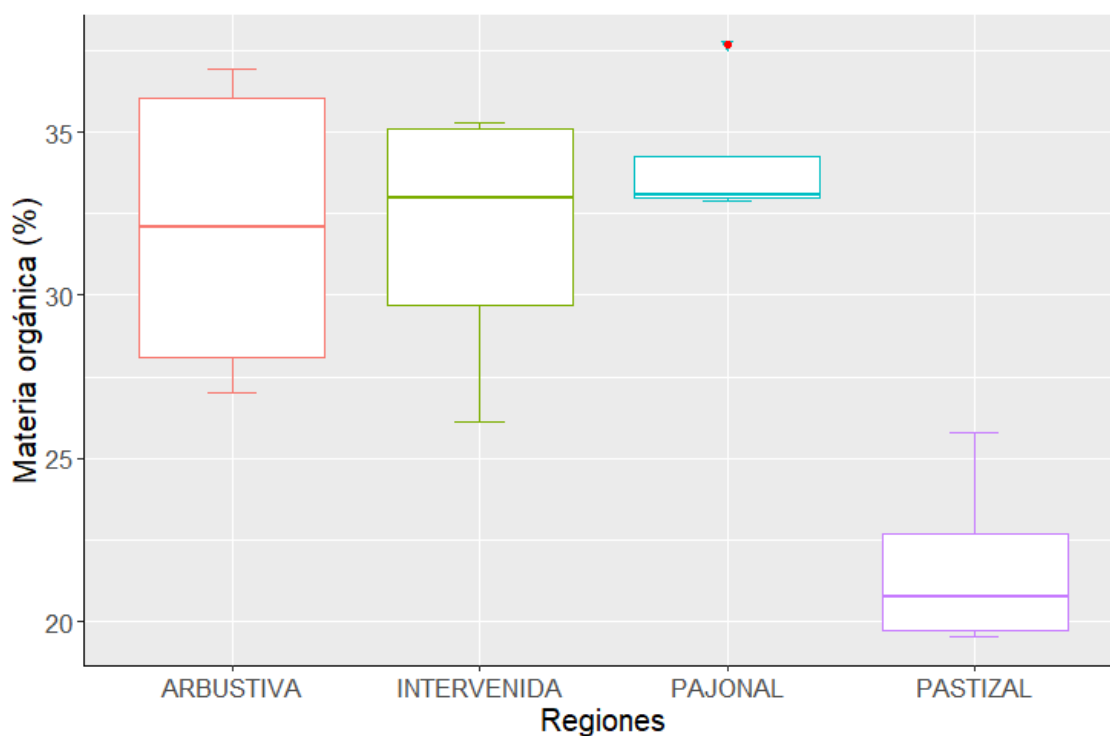
### Materia orgánica

Los resultados evidencian una diferencia estadísticamente significativa ( $p\text{-valor} < 0.05$ ) en los niveles de materia orgánica entre las distintas regiones de estudio (tabla 14 y figura 82).

Tabla 14. Prueba estadística-materia orgánica.

Prueba estadística	p-valor
<b>Kruskal-Wallis</b>	4.504e-10

Figura 82. Representación gráfica del análisis de varianza-materia orgánica.



A través del análisis post hoc, los resultados evidencian diferencias significativas en las regiones arbustiva-pastizal, intervenida-pastizal y pajonal-pastizal (tabla 15).



Tabla 15. Prueba post hoc-materia orgánica.

<b>Prueba estadística</b>	<b>Región</b>	<b>p-valor</b>
<b>Dunn's Test</b>	Arbustiva - Intervenida	1.0000
	Arbustiva - Pajonal	1.0000
	Arbustiva - Pastizal	0.0000
<b>Corrección = bonferroni</b>	Intervenida - Pajonal	0.5183
	Intervenida - Pastizal	0.0000
	Pajonal - Pastizal	0.0000

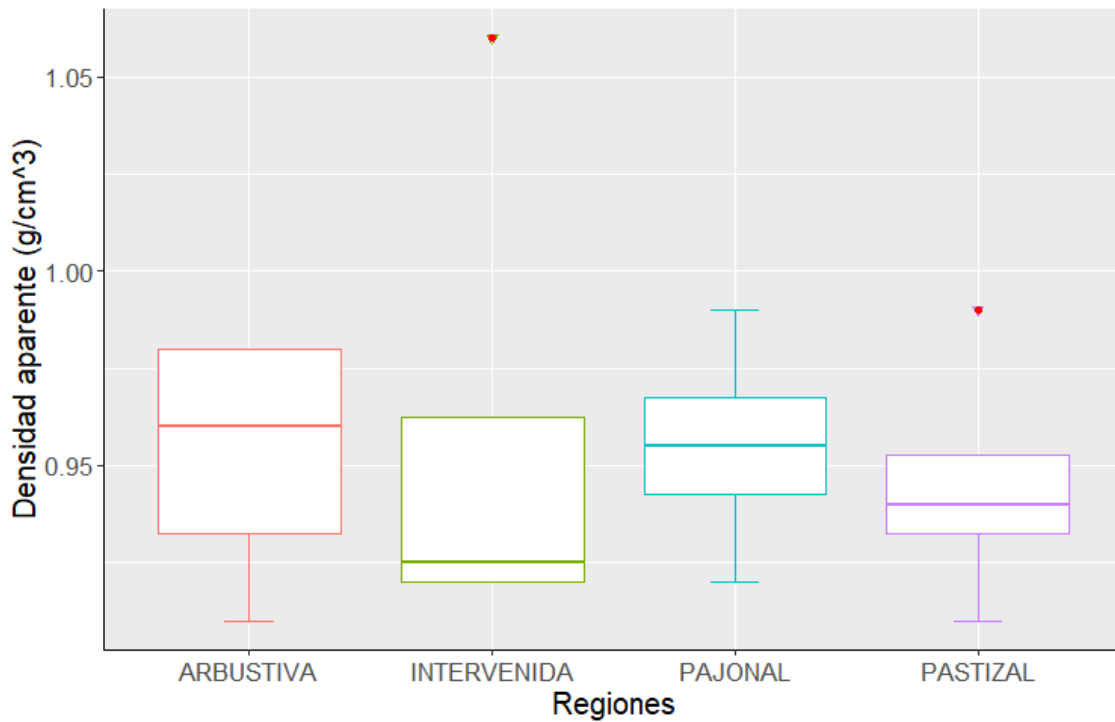
### **Densidad aparente.**

Los resultados muestran que no existe diferencia estadísticamente significativa (p-valor > 0.05) en los niveles de densidad aparente entre las distintas regiones de estudio (arbustiva, intervenida, pajonal, pastizal), tal como se observa en la figura siguiente (tabla 16 y figura 83).

Tabla 16. Prueba estadística-densidad aparente.

<b>Prueba estadística</b>	<b>p-valor</b>
<b>Kruskal-Wallis</b>	0.3945

Figura 83. Representación gráfica del análisis de varianza de varianza-densidad aparente.



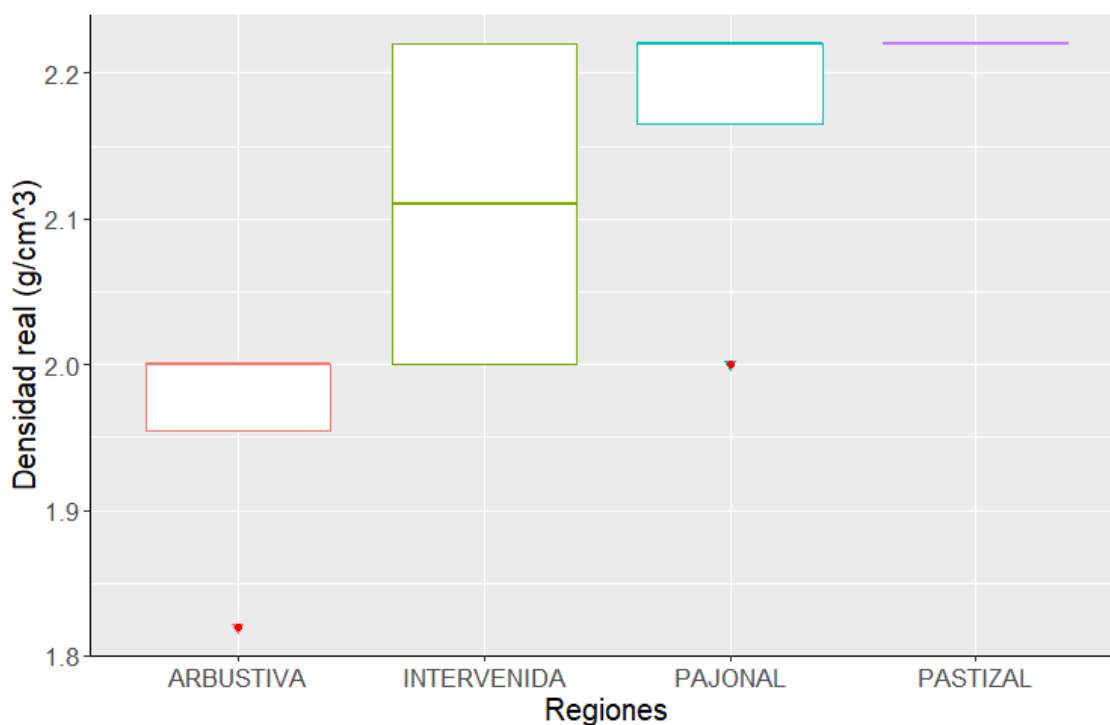
### Densidad real

Los resultados exponen una diferencia estadísticamente significativa (p-valor < 0.05) en los niveles de densidad real entre las distintas regiones de estudio (tabla 17 y figura 84).

Tabla 17. Prueba estadística-densidad real.

Prueba estadística	p-valor
Kruskal-Wallis	4.207e-10

Figura 84. Representación gráfica del análisis de varianza de varianza-densidad real.



A través del análisis post hoc, los resultados evidencian diferencias significativas entre la región arbustiva y las regiones intervenida, pajonal, y pastizal, así como en las regiones intervenida-pastizal (tabla 18).

Tabla 18. Prueba post hoc-densidad real.

Prueba estadística	Región	p-valor
<b>Dunn's Test</b>	Arbustiva - Intervenida	0.0010
	Arbustiva - Pajonal	0.0000
	Arbustiva - Pastizal	0.0000
<b>Corrección = bonferroni</b>	Intervenida - Pajonal	0.4373
	Intervenida - Pastizal	0.0109
	Pajonal - Pastizal	0.4373

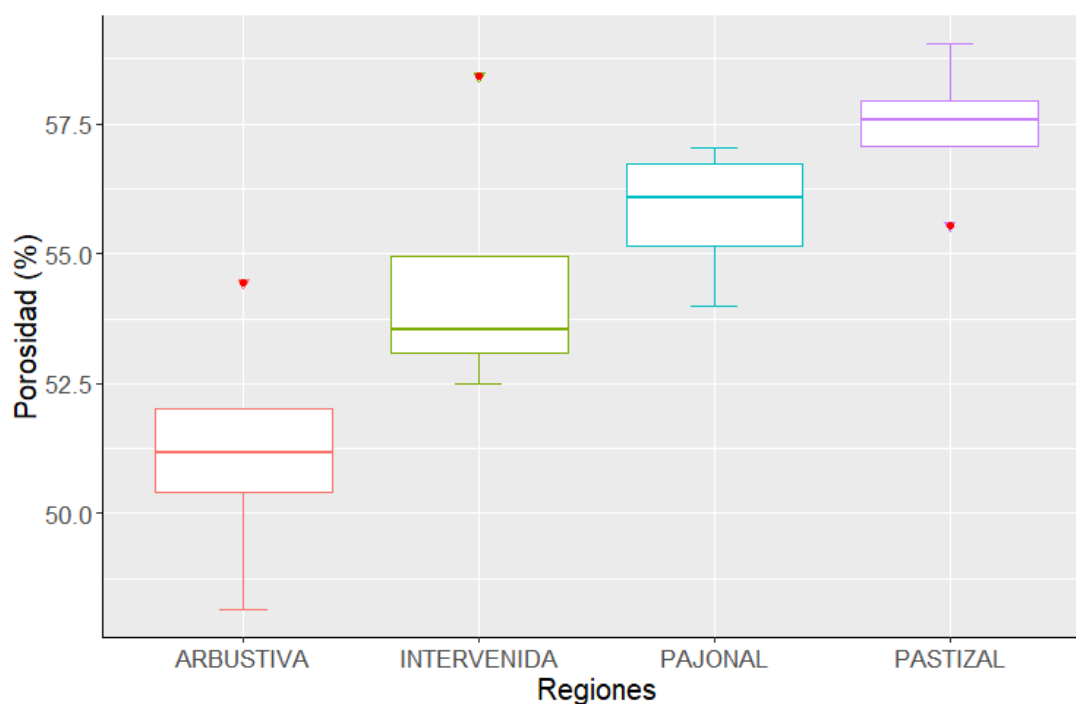
### Porosidad del suelo

Los resultados indican una diferencia estadísticamente significativa (p-valor < 0.05) en los niveles de porosidad del suelo entre las distintas regiones de estudio (tabla 19 y figura 85).

Tabla 19. Prueba estadística-porosidad.

Prueba estadística	p-valor
Kruskal-Wallis	4.255e-10

Figura 85. Representación gráfica del análisis de varianza-porosidad.



A través del análisis post hoc, los resultados evidencian diferencias significativas en las regiones arbustiva-pajonal, arbustiva-pastizal, e intervenida-pastizal (tabla 20).

Tabla 20. Prueba post hoc-porosidad.

Prueba estadística	Región	p-valor
<b>Dunn's Test</b>	Arbustiva - Intervenida	0.0192
	Arbustiva - Pajonal	0.0001
	Arbustiva - Pastizal	0.0000
<b>Corrección = bonferroni</b>	Intervenida - Pajonal	0.3752
	Intervenida - Pastizal	0.0003
	Pajonal - Pastizal	0.0511

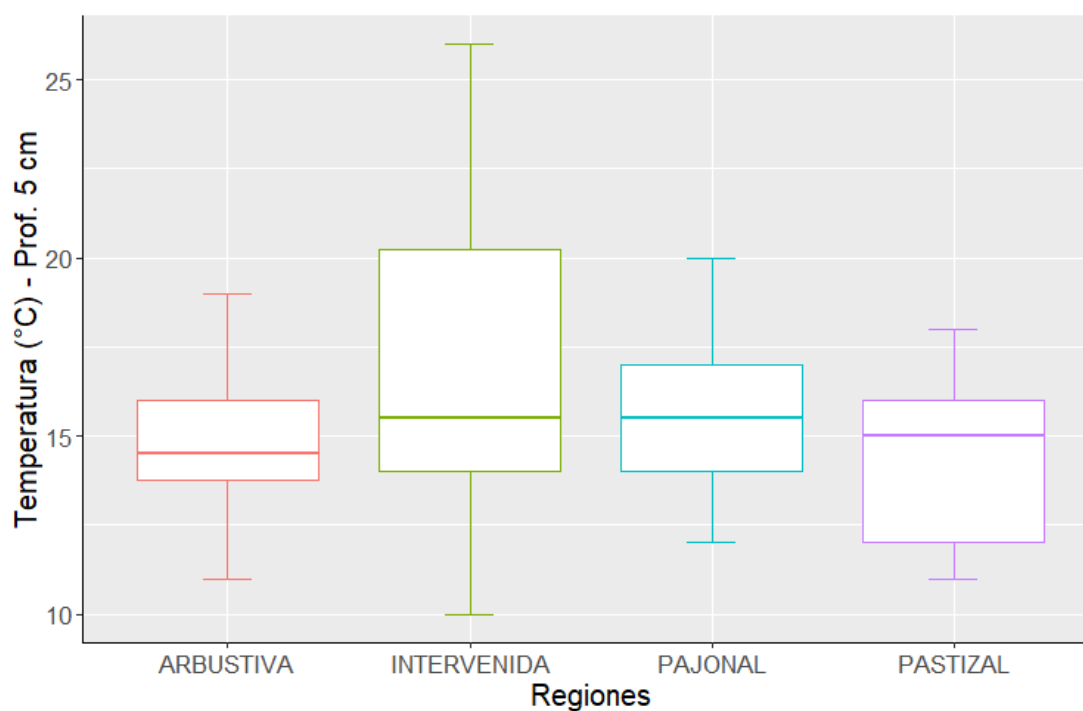
### Temperatura a 5cm

Se observa que no existe diferencia estadísticamente significativa ( $p\text{-valor} > 0.05$ ) en los niveles de temperatura del suelo medido a 5 cm de la superficie entre las diversas regiones de estudio (tabla 21 y figura 86).

Tabla 21. Prueba estadística-temperatura 5cm.

Prueba estadística	p-valor
Kruskal-Wallis	0.2308

Figura 86. Representación gráfica del análisis de varianza-temperatura 5cm.



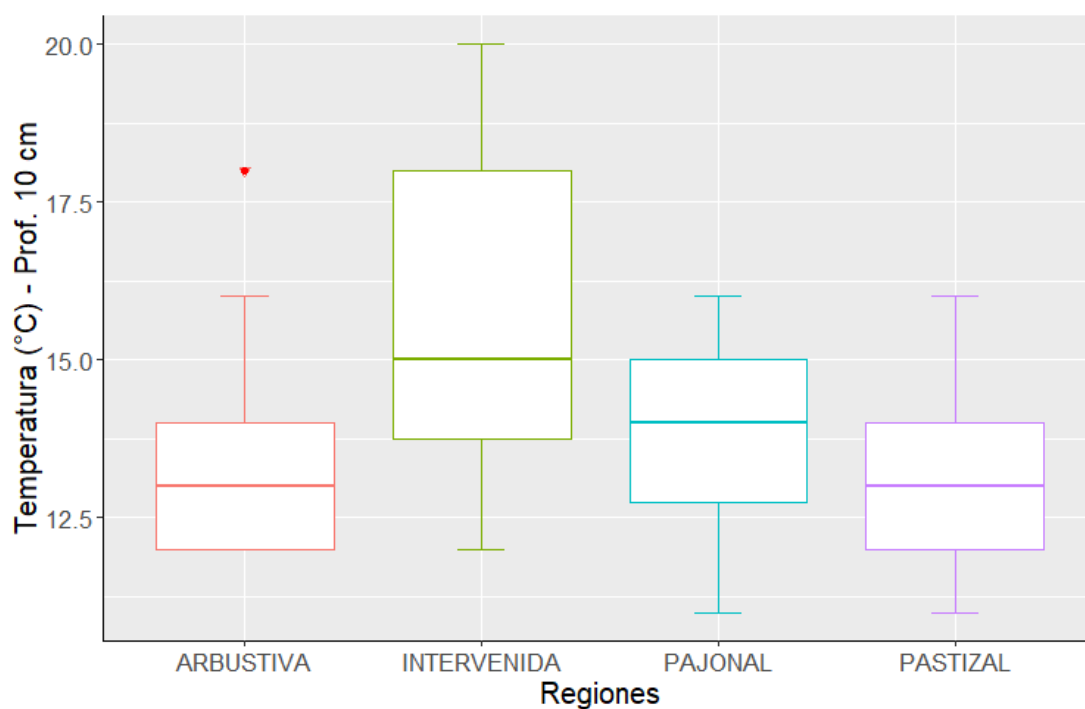
### Temperatura a 10cm

Se evidencia una diferencia estadísticamente significativa ( $p\text{-valor} < 0.05$ ) en los niveles de temperatura del suelo medido a 10 cm de la superficie entre las diversas regiones de estudio (tabla 22 y figura 87).

Tabla 22 Prueba estadística-temperatura 10cm.

Prueba estadística	p-valor
Kruskal-Wallis	0.003148

Figura 87. Representación gráfica del análisis de varianza-temperatura 10cm



A través del análisis post hoc, los resultados evidencian diferencias significativas en las regiones arbustiva-intervenida, e intervenida-pastizal (tabla 23).

Tabla 23. Prueba post hoc-temperatura 10 cm.

Prueba estadística	Región	p-valor
<b>Dunn's Test</b>	Arbustiva - Intervenida	0.0057
	Arbustiva - Pajonal	1.0000
	Arbustiva - Pastizal	1.0000
<b>Corrección = bonferroni</b>	Intervenida - Pajonal	0.0687
	Intervenida - Pastizal	0.0027
	Pajonal - Pastizal	0.8916

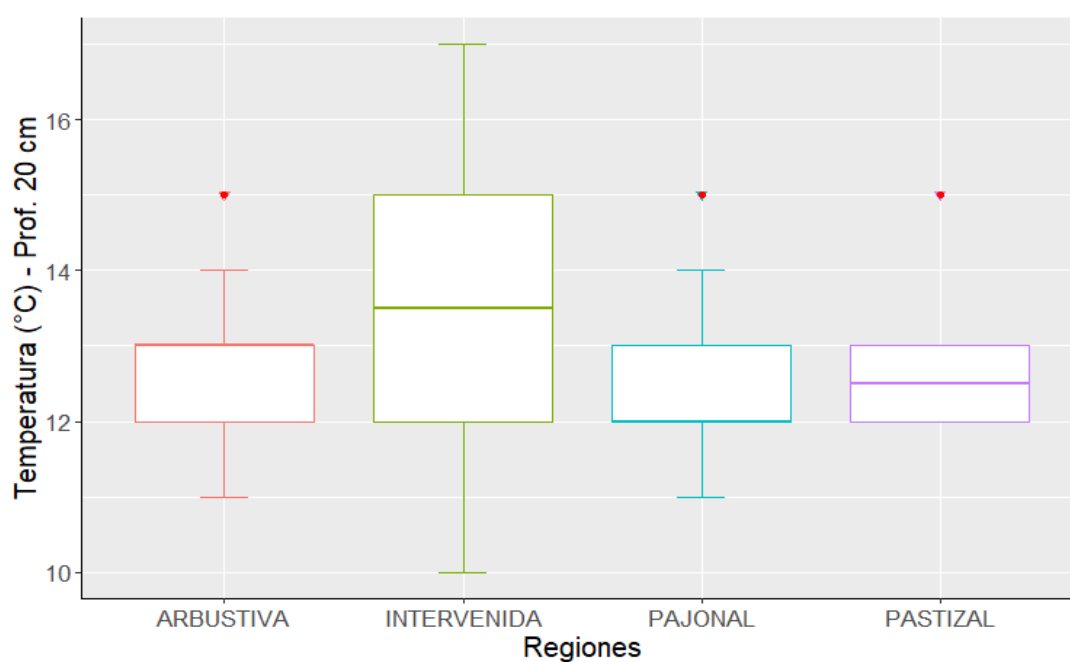
## Temperatura a 20cm

Se muestra una diferencia estadísticamente significativa ( $p$ -valor  $< 0.05$ ) en los niveles de temperatura del suelo medido a 20 cm de la superficie entre las diversas regiones de estudio (tabla 24 y figura 88).

Tabla 24. Prueba estadística-temperatura 20 cm.

Prueba estadística	p-valor
Kruskal-Wallis	0.04494

Figura 88. Representación gráfica del análisis de varianza-temperatura 20cm



A través del análisis post hoc, los resultados evidencian diferencias significativas en la región intervenida-pajonal (tabla 25).

Tabla 25. Prueba post hoc-temperatura 20cm.

Prueba estadística	Región	p-valor
Dunn's Test	Arbustiva - Intervenida	0.3960
	Arbustiva - Pajonal	0.5748
	Arbustiva - Pastizal	1.0000

<b>Corrección = bonferroni</b>	Intervenida - Pajonal	0.0148
	Intervenida - Pastizal	0.2481
	Pajonal - Pastizal	0.8446

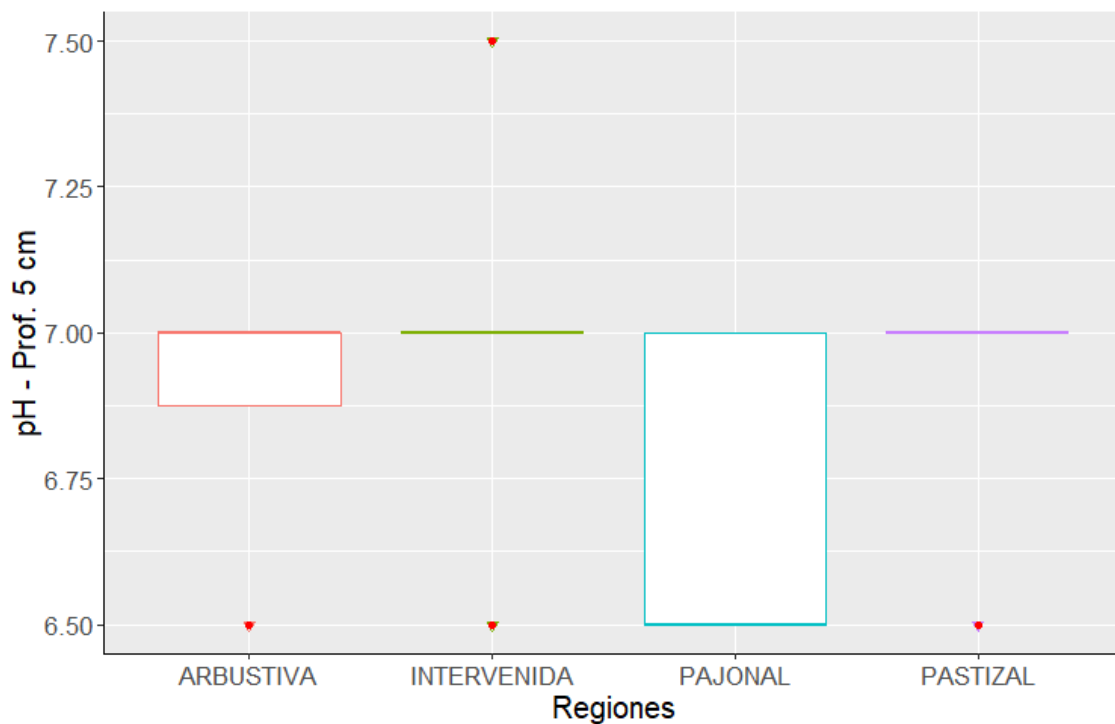
**pH a 5cm**

De acuerdo con los resultados, se observa una diferencia estadísticamente significativa ( $p$ -valor  $< 0.05$ ) en los niveles de pH del suelo medido a 5 cm de la superficie entre las diversas regiones de estudio (tabla 26 y figura 89)

Tabla 26. Prueba estadística-pH 5cm.

Prueba estadística	p-valor
<b>Kruskal-Wallis</b>	0.001836

Figura 89. Representación gráfica del análisis de varianza-pH 5cm



A través del análisis post hoc, los resultados evidencian diferencias significativas en las regiones arbustiva-pajonal, intervenida-pajonal, y pajonal-pastizal (tabla 27).

Tabla 27. Prueba post hoc-pH 5cm.

Prueba estadística	Región	p-valor
	Arbustiva - Intervenida	0.9700
	Arbustiva - Pajonal	0.0358



<b>Dunn's Test</b>	Arbustiva – Pastizal	1.0000
	Intervenida - Pajonal	0.0014
<b>Corrección = bonferroni</b>	Intervenida - Pastizal	1.0000
	Pajonal - Pastizal	0.0050

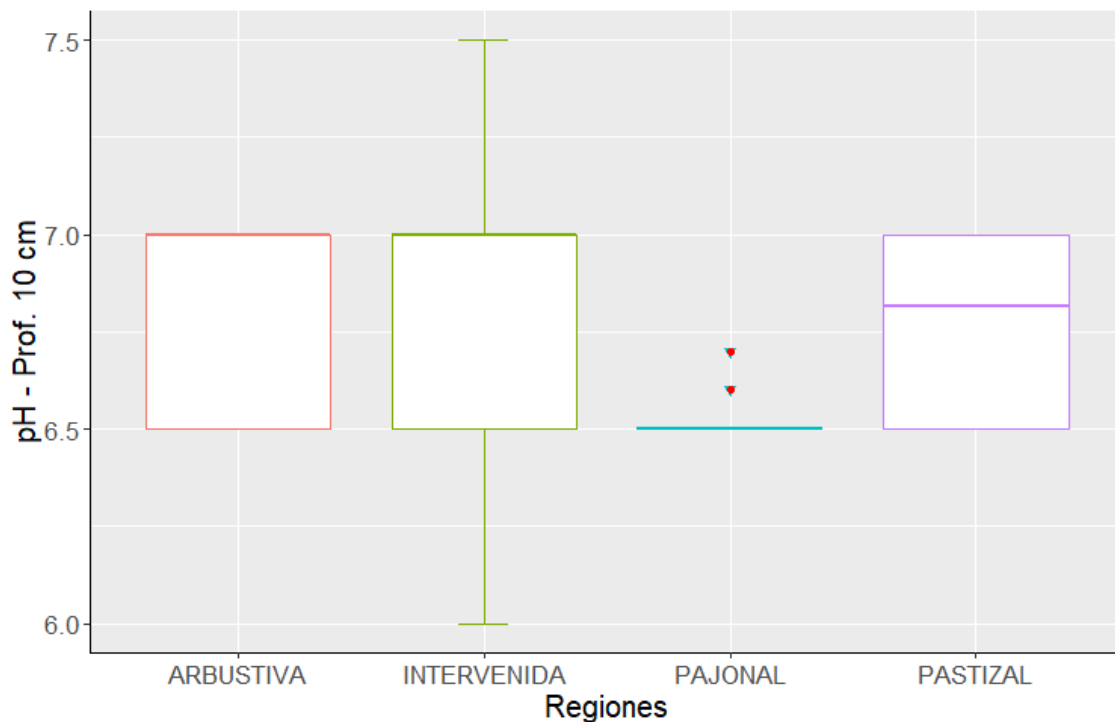
**pH a 10cm**

De acuerdo con los resultados, se observa una diferencia estadísticamente significativa ( $p\text{-valor} < 0.05$ ) en los niveles de pH del suelo medido a 10 cm de la superficie entre las diversas regiones de estudio (tabla 28 y figura 90).

Tabla 28, Prueba estadística-pH 10 cm.

Prueba estadística	p-valor
<b>Kruskal-Wallis</b>	0.0005666

Figura 90. Representación gráfica del análisis de varianza-pH 10 cm



A través del análisis post hoc, los resultados evidencian diferencias significativas en las regiones arbustiva-pajonal, intervenida-pajonal, y pajonal-pastizal (tabla 29).

Tabla 29. Prueba post hoc-pH 10cm.

Prueba estadística	Región	p-valor
	Arbustiva - Intervenida	1.0000

<b>Dunn's Test</b>	Arbustiva - Pajonal	0.0007
	Arbustiva - Pastizal	0.8556
<b>Corrección = bonferroni</b>	Intervenida - Pajonal	0.0013
	Intervenida - Pastizal	1.0000
	Pajonal - Pastizal	0.0259

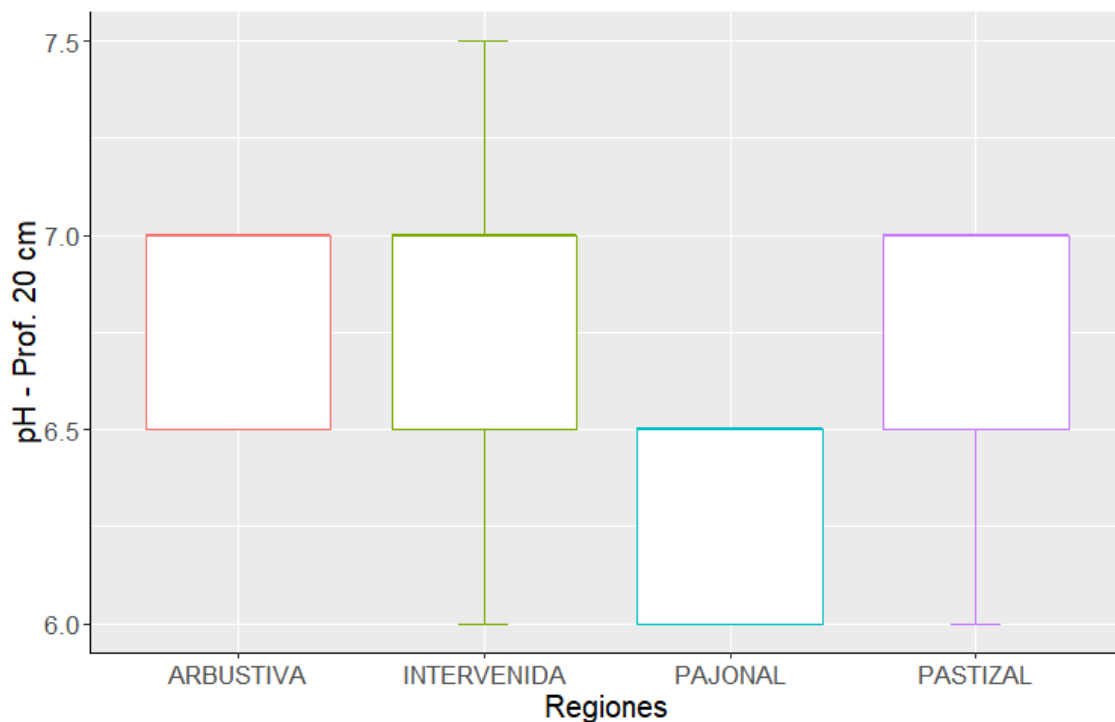
**pH a 20cm**

Se manifiesta una diferencia estadísticamente significativa ( $p$ -valor  $< 0.05$ ) en los niveles de pH del suelo medido a 20 cm de la superficie entre las diversas regiones de estudio (tabla 30 y figura 91).

Tabla 30. Prueba estadística-pH 20cm

Prueba estadística	p-valor
<b>Kruskal-Wallis</b>	1.354e-05

Figura 91. Representación gráfica del análisis de varianza-pH 20 cm



A través del análisis post hoc, los resultados evidencian diferencias significativas en las regiones arbustiva-pajonal, intervenida-pajonal, y pajonal-pastizal (tabla 31).

Tabla 31. Prueba post hoc-pH 20cm

Prueba estadística	Región	p-valor
--------------------	--------	---------

<b>Dunn's Test</b>	Arbustiva - Intervenida	1.0000
	Arbustiva - Pajonal	0.0004
	Arbustiva - Pastizal	1.0000
	Intervenida - Pajonal	0.0001
<b>Corrección = bonferroni</b>	Intervenida - Pastizal	1.0000
	Pajonal - Pastizal	0.0001

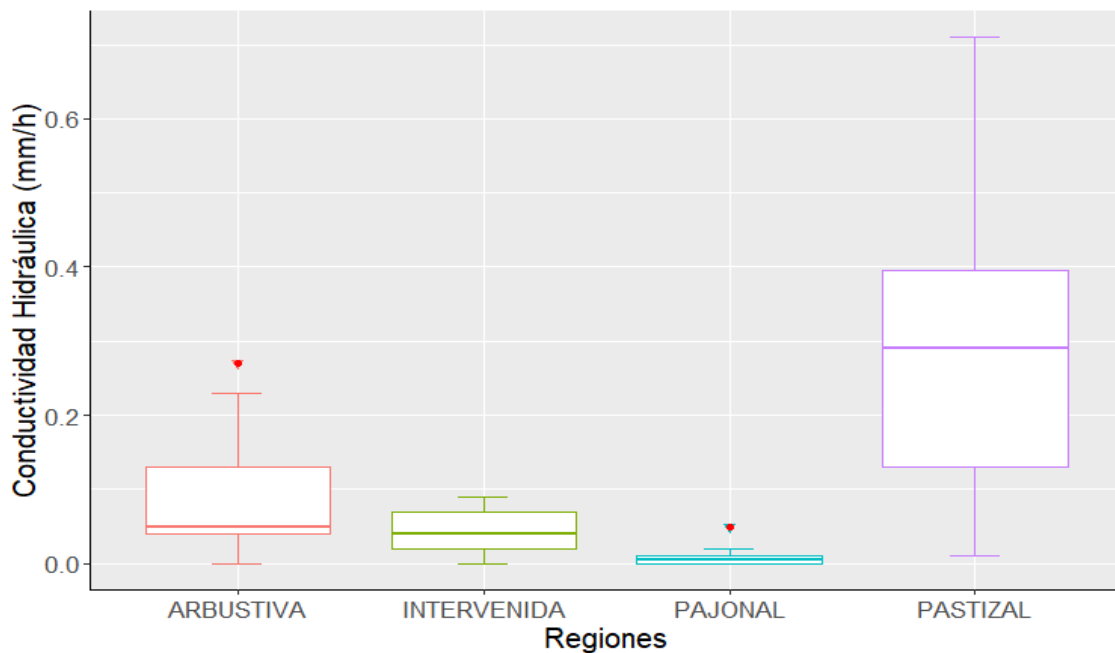
### Conductividad hidráulica

De acuerdo con los resultados del análisis de varianza, se observa una diferencia estadísticamente significativa ( $p\text{-valor} < 0.05$ ) en los niveles de conductividad hidráulica entre las diversas regiones de estudio (tabla 32 y figura 92).

Tabla 32. Prueba estadística-conductividad hidráulica

Prueba estadística	p-valor
<b>Kruskal-Wallis</b>	1.084e-09

Figura 92. Representación gráfica del análisis de varianza-conductividad hidráulica



A través del análisis post hoc, los resultados evidencian diferencias significativas en las regiones arbustiva-pajonal, arbustiva-pastizal, intervenida-pajonal, intervenida-pastizal, y pajonal-pastizal (tabla 33).

Tabla 33. Prueba post hoc-conductividad hidráulica

<b>Prueba estadística</b>	<b>Región</b>	<b>p-valor</b>
<b>Dunn's Test</b>	Arbustiva - Intervenida	0.8773
	Arbustiva - Pajonal	0.0002
	Arbustiva - Pastizal	0.0268
<b>Corrección = bonferroni</b>	Intervenida - Pajonal	0.0102
	Intervenida - Pastizal	0.0007
	Pajonal - Pastizal	0.0000

#### **4.2 Discusión**

Esta investigación se enfocó en analizar las características fisicoquímicas del suelo en la zona de páramo Yutujapina, teniendo en cuenta variables como la humedad, materia orgánica, densidad aparente, densidad real, porosidad, temperatura y pH a diferentes profundidades (5, 10 y 20 cm de profundidad), y la conductividad hidráulica. Además, se analizó la cobertura vegetal, así como la edafología asociada a la textura del suelo. Así también la posible relación existente entre la conductividad hidráulica y los parámetros mencionados anteriormente.

Con relación a la humedad, de acuerdo con Berrones et al., (2022), el suelo de páramo experimenta una saturación constante, indicando que su contenido de agua normalmente supera el 80%. Esta afirmación se respalda con los resultados obtenidos en nuestro estudio, donde se muestra que los valores en las regiones de estudio oscilan entre 70.40% y 95.14%, identificando la región arbustiva con el mayor valor de humedad. Además, se muestra una similar estadística entre las regiones intervenida-pajonal e intervenida-pastizal. Las variaciones en los niveles de humedad entre estas regiones puede ser explicada por distintas condiciones como la textura (Lim et al., 2023), propiedades del suelo, la topografía, la profundidad, la vegetación (Gwak & Kim, 2017), parámetros climáticos, e hidrológicos (Reddy et al., 2020). Se destaca que la humedad puede influir en diversos procesos que inciden directa o indirectamente en el equilibrio hídrico, entre ellos incluyen el crecimiento vegetal, las propiedades hidráulicas del suelo, los procesos de infiltración, percolación, entre otros (Echeverría et al., 2019).

En cuanto a la relación entre la conductividad hidráulica del suelo y la humedad, no se identificó una relación significativa para las diversas zonas, que incluye la región arbustiva ( $R^2=0.0169$ ; p-valor=0.5849), intervenida ( $R^2=0.0004511$ ; p-valor=0.9292), pajonal ( $R^2=0.05373$ ; p-valor=0.3254), y pastizal ( $R^2=0.0169$ ; p-valor=0.5849). La ausencia de una relación es coherente con las conclusiones de Wankmüller et al., (2023), quienes destacan su complejidad, además sugieren que factores como la textura del suelo, el estado hídrico del suelo, la matriz del suelo de las raíces entre otras, pueden influir en esta relación de manera multifacética. Así mismo Gou et al., (2023) coincide que los cambios en la conductividad hidráulica no son predecibles de una manera simple en función del contenido de agua subrayando la necesidad de considerar múltiples variables para una comprensión completa de esta relación.

Los suelos de páramo se caracterizan por su alto contenido de carbono orgánico del suelo producto de la baja tasa de degradación de la MO como resultado de las bajas temperaturas y el alto contenido de agua (Patiño et al., 2021). Los resultados obtenidos reflejan un contenido de MO para las regiones que varía entre el 21.70% y el 34.18%, mostrándose un porcentaje mayor en la región de pajonal, mostrando una diferencia significativa entre la región arbustiva-pastizal, intervenida-pastizal y pajonal-pastizal (p-valor<0.05). Según Richardson et al., (2023) las variaciones en el contenido de MO están controladas por muchos factores ambientales, incluida la topografía, el uso de la tierra, la salinización, la erosión del suelo, la fertilización y el clima.

En este contexto, la relación entre la CH y la MO, no se expresa como una relación significativa para las diversas regiones, que incluye la región arbustiva ( $R^2=0.0372$ ; p-valor=0.4152), intervenida ( $R^2=0.0746$ ; p-valor=0.244), pajonal ( $R^2=0.07317$ ; p-valor=0.2487), y pastizal ( $R^2=0.0372$ ; p-valor=0.4152). Estos resultados indican la posible influencia de otros factores no contemplados en el estudio. Considerando la

recomendación de She et al., (2015), es imperativo abordar el potencial matricial para determinar la movilidad del agua en el suelo, bajo la influencia de fuerzas capilares y de adsorción.

Algunos estudios han demostrado una fuerte relación positiva de la materia orgánica del suelo y la conductividad hidráulica del suelo, como es el caso de (Nath & Bhattacharyya, 2014) en condiciones de suelos arcillosa arenosa, franco arenosa y arcillosa arenosa, época lluviosa y un pH que oscila de 4,2 y 5,5., Sin embargo, otros estudios han encontrado una relación negativa entre el contenido de materia orgánica y la conductividad hidráulica considerando factores como porosidad, textura y densidad aparente (Nemes et al., 2005). Este contraste resalta la complejidad de los factores involucrados y subraya la importancia de abordar otras variables como la presencia de minerales, actividad microbiana topografía, entre otros, para una comprensión más completa de esta relación.

La DA para las regiones de estudio osciló entre  $0.94\text{g/m}^3$  y  $0.96\text{g/m}^3$  presentando una similitud estadística ( $p\text{-valor}=0.3945$ ), pudiendo ser que estas propiedades particulares del suelo de cada región no son lo suficientemente significativas como para producir disparidades estadísticas en las densidades aparentes. Así mismo se observa que la DR en todas las regiones estuvo en un rango de  $1.96\text{ g/m}^3$  y  $2.22\text{ g/m}^3$ , siendo mayor en la región de pastizal, y notándose una diferencia estadística ( $p\text{-valor}<0.05$ ) entre las regiones arbustiva-intervenida, arbustiva-pajonal, arbustiva-pastizal e intervenida-pastizal. Según Carrasco et al., (2017) esta densidad es considerada baja y puede estar influyendo tanto la porosidad, textura y la cantidad de materia orgánica.

No se muestra una relación clara entre la CH y la DA entre las regiones arbustiva ( $R^2=0.04349$ ;  $p\text{-valor}=0.3776$ ), intervenida ( $R^2=0.08812$ ;  $p\text{-valor}=0.2037$ ), pajonal ( $R^2=0.02025$ ;  $p\text{-valor}=0.5496$ ), y pastizal ( $R^2=0.04349$ ;  $p\text{-valor}=0.3776$ ), al igual que

la DR entre las regiones arbustiva ( $R^2=0.01477$ ; p-valor=0.6097), intervenida ( $R^2=0.03624$ ; p-valor=0.4215), pajonal ( $R^2=0.04729$ ; p-valor=0.3571), y pastizal ( $R^2=0.01477$ ; p-valor=0.6097). En base a la literatura, no hay una relación estadística lineal universal entre la densidad y la CH. La relación entre estos dos factores puede ser compleja y no necesariamente seguir una forma lineal. La conductividad hidráulica depende de una variedad de factores, y la densidad es solo uno de ellos (Hidayat et al., 2022).

La porosidad del suelo desempeña un papel fundamental al proporcionar un espacio propicio para el crecimiento microbiano, la aireación del suelo y la disponibilidad de nutrientes, así como la capacidad de drenaje y retención de agua (Weralupitiya et al., 2022). Los resultados de este estudio revelan que la porosidad en las regiones estudiadas está en un rango de 51.24%, y 57.43%, siendo mayor en la región pastizal. Además, se evidenció una similitud estadística entre las regiones intervenida-pajonal y pajonal-pastizal. Según Páez-Bimos et al., (2020) el sistema de poros del suelo, esencial en la estructura del suelo, se ve influenciado por diversas interacciones biológicas. La vegetación puede incidir en el sistema de poros del suelo al modificar la distribución y la porosidad de los diferentes tamaños de poros, generando variaciones en las propiedades hidráulicas del suelo y en los procesos suelo-agua.

La relación entre la CH y la P no es tan evidente para las regiones arbustiva ( $R^2=0.05672$ ; p-valor=0.3119), intervenida ( $R^2=0.01749$ ; p-valor=0.5783), pajonal ( $R^2=0.04617$ ; p-valor=0.3629), y pastizal ( $R^2=0.05672$ ; p-valor=0.3119). Esta falta de asociación podría atribuirse a la complejidad inherente del suelo, donde otros factores como la textura del suelo, la estructura del suelo y la presencia de materia orgánica también influyen en la capacidad del suelo para conducir el agua. Además, la variabilidad

local en las condiciones del suelo, la historia de uso del suelo y las diferencias climáticas entre las regiones podrían contribuir a la ausencia de una relación lineal entre CH y P.

Los páramos se encuentran entre los ecosistemas más vulnerables al cambio climático global. Se espera que el cambio de temperatura del páramo sea menor que en otras regiones de menor altitud (V. García et al., 2020). La temperatura, medida a una profundidad de 5 cm en todas las áreas de estudio, se mantuvo uniforme, fluctuando entre 14.50°C y 16.70°C. A una profundidad de 10 cm, la temperatura varió entre 13.10°C y 15.70°C, mientras que, a 20 cm de profundidad, osciló entre 12.32°C y 13.65°C. Es relevante señalar que en todas estas mediciones se registraron valores más elevados en la región intervenida.

La relación entre la CH y la T5, T10 y T20 es nula ( $R^2 < 1$ ;  $p\text{-valor} > 0.05$ ) para las regiones arbustiva intervenida, pajonal, y pastizal. En general, el aumento de temperatura puede provocar un aumento de la conductividad hidráulica (H. Wang et al., 2023), esto se debe a que las temperaturas más altas pueden reducir la viscosidad del agua y promover el flujo preferencial a través de los canales de las raíces inducido por la contracción de las raíces (Yang et al., 2022). Sin embargo, la relación entre la temperatura y la conductividad hidráulica puede verse influenciada por otros factores como el tipo de suelo, la densidad aparente y el contenido de agua (Hopmans & Horton, 2023).

El pH de los suelos de páramo puede variar, pero generalmente tiende a ser ácidos  $< 5.4$ . Sin embargo, esta cifra puede variar dependiendo de la ubicación específica, las condiciones climáticas y otros factores ambientales (Díaz-Granados Ortiz et al., 2005; Páez-Bimos et al., 2023). Los resultados obtenidos en nuestro estudio revelan que el pH medido a una profundidad de 5 cm oscila entre 6.68 y 6.98, a 10 cm de profundidad, el pH varía entre 6.50 y 6.85, mientras que a 20 cm de profundidad fluctúa entre 6.52 y 6.85. Es relevante señalar que en todas las mediciones se registraron valores superiores en la



región intervenida. Además, a pesar de compartir valores homogéneos, se observaron diferencias significativas entre las cuatro regiones estudiadas.

La relación entre la CH y los niveles de pH a 5 cm, 10 cm y 20 cm de profundidad no es significativa ( $R^2 < 1$ ;  $p\text{-valor} > 0.05$ ) en las regiones arbustiva, intervenida, pajonal y pastizal. La relación entre el pH y la CH en el suelo es intrincada y está sujeta a diversos factores. Se destaca que, en la región intervenida, el pH medido a una profundidad de 20 cm muestra un  $R^2 = 0.4508$  y  $p\text{-valor} = 0.01195$ , indicando que la relación es estadísticamente significativa; sin embargo, se considera que el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) no es suficiente para respaldar la formulación de un modelo de manera concluyente.

La CH varió en cada una de las regiones, manifestándose de la siguiente manera: en la región arbustiva la infiltración fue de 0.09 mm/h, este valor podría atribuirse a la presencia de raíces superficiales y fibrosas, así como la existencia de materia orgánica y sequedad en el suelo que influye en la repelencia del agua (Hervé-Fernández et al., 2023). Además, la región exhibe suelos arcillo arenosos, lo que podría influir en cierta medida. En cuanto a la región intervenida, se obtuvo una infiltración de 0.04 mm/h, una posible razón de este resultado es que la alteración de los suelos de páramo conduce a la pérdida de su capacidad hidrofílica, convirtiéndolos en hidrófobos y facilitando una infiltración descontrolada que erosiona el suelo (De la Cruz et al., 2009). La presencia adicional de un suelo franco podría contribuir negativamente a la tasa de infiltración. En contraste con la región de pajonal, donde se registró una infiltración de 0.008 mm/h, este valor se justifica por el hecho de que el suelo, al mantener su capacidad hidrofílica y estar resguardado por la vegetación nativa, actúa como un reservorio durante las épocas de sequía (Vásconez & Hofstede, 2006). En este contexto, el suelo almacena y libera el agua de forma gradual, lo que contribuye eficazmente a prevenir la erosión (Crespo et al.,

2023). Asimismo, la incidencia de suelos arcillo arenosos en esta región también puede potenciar la capacidad de retención del agua. Por otro lado, en la región pastizal se presentó una infiltración de 0.028 mm/h, lo cual podría asociarse con la presencia significativa de raíces herbáceas. La penetración de estas raíces en la superficie del suelo favorece a la porosidad y la aireación (Sandoval García et al., 2021). Incluso, la existencia de suelos franco-arenosos y arcillo-arenosos podrían ejercer una influencia en este proceso. De acuerdo con Aird, (2019) un incremento en la CH implica un aumento en la cantidad de fluido que se filtrará a través de los poros por unidad de tiempo. Asimismo, Patiño et al., (2021), señalan que los valores de CH en suelos de páramo andino varían en función de las actividades y las propiedades del suelo. Los suelos nativos con cobertura vegetal exhiben una elevada capacidad de retención de agua y contenido de materia orgánica, lo que resulta en una efectiva amortiguación hidrológica.

Se pudo determinar que en la región arbustiva predomina el suelo arcilloso-arenoso, en la región intervenida el suelo franco, en la región pajonal el suelo arcilloso-arenoso, y en la región de pastizal el suelo franco-arenoso. Según García-Gutiérrez et al., (2018), la heterogeneidad textural es un factor crucial que afecta la conductividad hidráulica del suelo, pero actúa junto con muchos otros factores ecológicos, como la actividad animal, los exudados de raíces, la agregación del suelo, entre otros.

En la región arbustiva, se destaca la prevalencia de una vegetación caracterizada por la presencia predominante de arbustos (chaparros), complementada con otras formas vegetales como pastizales y áreas de pajonal en ciertas zonas. En la región intervenida, se evidencian distintos tipos de vegetación, que incluyen pastizales, zonas de pajonal, áreas con vegetación arbustiva y sectores de suelo desnudo destinados a labranza y pastoreo. En las regiones cubiertas de pajonal, se aprecia principalmente la presencia de vegetación de tipo pajonal, aunque se observan áreas donde también coexiste vegetación

arbustiva. En la región cubierta de pastizal, se identifican diversos tipos de vegetación, como la arbustiva y fragmentos de bosque nativo, influyendo en la diversidad y composición de este ecosistema particular.

La modificación en la cobertura vegetal de las zonas de páramo responde a la interacción de diversos factores, tanto naturales como antropogénicos, que inciden en la configuración y dinámica de estos delicados ecosistemas de alta montaña.

La aplicación de prácticas agroproductivas no sostenibles y la urbanización son actividades humanas que desencadenan transformaciones significativas en la cobertura vegetal. La introducción de especies invasoras representa otra amenaza, compitiendo con las plantas nativas y alterando la ecología del páramo. Incidentes como los incendios forestales pueden causar pérdidas devastadoras en la cobertura vegetal del páramo. Además, el cambio climático puede ejercer una influencia relevante, introduciendo variaciones en la temperatura, los patrones de precipitación y eventos climáticos extremos.

## **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 Conclusiones**

En síntesis, la determinación de las características fisicoquímicas de H, MO, DA, DR, P, T5, T10, T20, pH5, pH10, pH20, textura y CH en las diferentes regiones de estudio aporta una comprensión fundamental de cómo estas variables influyen en la capacidad del suelo para retener y transportar agua, lo que es esencial para la resiliencia de los ecosistemas de páramo. Además, los resultados obtenidos en las diferentes regiones proporcionan información valiosa para el manejo sostenible del agua, preservación de la biodiversidad, entre otros. La presentación de esta información es fundamental para

estudios posteriores, ya que proporciona una base sólida de datos sobre los parámetros del suelo y su relación con la conductividad hidráulica en los ecosistemas de páramo.

La variabilidad en la textura y horizontes del suelo en las diferentes coberturas estudiadas de la microcuenca se refleja en patrones distintivos de conductividad hidráulica. La identificación de horizontes del tipo Oe, OA y A encontrados a una profundidad de 20 cm, junto con la prevalencia de suelo arcilloso-arenoso en la región arbustiva, reconocido por su capacidad de retención de agua, podría ser la explicación de la elevada conductividad hidráulica observada en contraste con la región intervenida, caracterizada por suelo franco y la presencia de un horizonte Ap a la misma profundidad. Asimismo, la existencia de horizontes Oe y OA a los 20 cm de profundidad, junto con el predominio de suelo arcilloso-arenoso en el pajonal, podría contribuir a la menor conductividad hidráulica registrada en esa zona. Mientras que, en la región de pastizal, se hallaron horizontes del tipo Oe y OA a los 20 cm de profundidad, señalando la presencia de un suelo franco arenoso y arcillo arenoso. Esta característica podría explicar la conductividad hidráulica relativamente alta en comparación con el pajonal y, al mismo tiempo, menor en comparación con las regiones intervenida y arbustiva. Estas relaciones sugieren que la textura del suelo desempeña un papel crucial en la capacidad del suelo para conducir el agua, destacando la influencia directa de la edafología en la hidrodinámica del ecosistema de páramo.

El análisis de correlación definió que la conductividad hidráulica y los parámetros medidos presentan una baja asociación positiva y negativa entre estas. Estos hallazgos sugieren que puede existir influencia de una combinación compleja de factores, y que ciertas características fisicoquímicas por sí solas no predicen de manera lineal la capacidad de conducción del agua. Lo observado respalda la noción de que el estudio de

más parámetros relacionados con la conductividad es crucial para una mejor comprensión de esta microcuenca.

### **5.1.1 Medidas para fortalecer la comprensión de los ecosistemas de páramo.**

#### **Monitoreo Continuo:**

Establece un programa de monitoreo a largo plazo para seguir registrando datos sobre variables clave como la conductividad hidráulica, la humedad del suelo, la composición de la vegetación, y otros parámetros. Esto permitirá observar tendencias a lo largo del tiempo y entender mejor las dinámicas del ecosistema.

#### **Estudios de Biodiversidad:**

Realizar estudios detallados sobre la biodiversidad en la zona. Identifica especies vegetales y animales presentes y evalúa cómo están distribuidas en diferentes áreas de la microcuenca. Esto puede proporcionar información valiosa general del ecosistema.

#### **Análisis de Cambio Climático:**

Examina cómo el cambio climático puede estar afectando la zona de páramo. Analizar patrones climáticos a lo largo de los años y proyectar posibles escenarios futuros. Esto ayudará a entender los posibles cambios en la temperatura, precipitación y otros factores ambientales.

#### **Mapeo de Uso del Suelo:**

Realiza estudios detallados de uso del suelo utilizando técnicas de teledetección y sistemas de información geográfica (SIG). Esto permitirá entender cómo las actividades humanas han afectado la cobertura vegetal y la calidad del suelo en diferentes partes de la microcuenca.

#### **Modelado de Ecosistemas:**

Desarrollar modelos ecológicos que integren datos de diferentes variables para prever posibles escenarios futuros. Esto puede ayudar a anticipar cambios en el ecosistema y a planificar estrategias de conservación.

#### **Educación Ambiental:**

Implementa programas de educación ambiental dirigidos tanto a la comunidad local como a visitantes. Fomenta la comprensión de la importancia del páramo y promueve prácticas sostenibles para conservar este ecosistema único.

### **5. 2 Recomendaciones**

Basándonos en los hallazgos de esta investigación sobre los ecosistemas de páramo, se sugiere que estos resultados sirvan como punto de partida para investigaciones adicionales. La diversidad edafológica identificada, la influencia de la cobertura vegetal y parámetros del suelo en la conductividad hidráulica, ofrece oportunidades para explorar más a fondo las interacciones entre diversos factores, y las variaciones climáticas, que afectan directamente el comportamiento de la conductividad hidráulica. Además, se recomienda investigar el impacto de eventos climáticos extremos y actividades antropogénicas en la dinámica de estos ecosistemas. Este estudio proporciona una base valiosa para comprender la ecología de los páramos, y futuras investigaciones podrían centrarse en evaluar la resiliencia de estos ecosistemas frente a cambios ambientales y

antropogénicos, así como en diseñar estrategias de manejo que fomenten su conservación a largo plazo.

## 6. REFERENCIAS

- AASHTO T 267-22. (2013). *Standard Method of Test for Determination of Organic Content in Soils by Loss on Ignition Standard Method of Test for Determination of Organic Content in Soils by Loss on Ignition*. 86, 2013–2015.
- Aird, P. (2019). Deepwater Pressure Management. *Deepwater Drilling*, 69–109. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102282-5.00003-X>
- AL-SHAMMARY, A. A. G., KOUZANI, A. Z., KAYNAK, A., KHOO, S. Y., NORTON, M., & GATES, W. (2018). Soil Bulk Density Estimation Methods: A Review. *Pedosphere*, 28(4), 581–596. [https://doi.org/10.1016/s1002-0160\(18\)60034-7](https://doi.org/10.1016/s1002-0160(18)60034-7)
- Al-Sharafany, D. (2021). Soil moisture retrieval from the AMSR-E. *Agricultural Water Management: Theories and Practices*, 241–277. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812362-1.00013-8>
- Alvarado, C., & Barahona, M. (2017). Comparación de tres métodos de infiltración utilizados para el cálculo del balance hídrico del suelo, en la Cuenca del río Suquiapa, El Salvador. *UNED Research Journal*, 9(1), 23–33. <https://doi.org/10.22458/urj.v9i1.1674>
- Amoako, E. E., & Gambiza, J. (2019). Effects of anthropogenic fires on soil properties and the implications of fire frequency for the Guinea savanna ecological zone, Ghana. *Scientific African*, 6. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00201>
- Andrades, M., & Martinez, E. (2014). Fertilidad del suelo y parámetros que la definen. In

*Universidad de la Rioja-Servicio de Publicaciones.* (Vol. v3, pp. 16–34).

Arias-Muñoz, P., Saz, M. A., & Escolano, S. (2023). Estimation of soil erosion through the RUSLE model. Case study: upper-middle basin of Mira River in Andean-Ecuador. *Investigaciones Geograficas*, 2023(79), 207–230. <https://doi.org/10.14198/INGEO.22390>

ASTM D3385-03. (2003). Standard Test Method for Infiltration Rate of Soils in Field Using Double-Ring Infiltrometer. *American Society for Testing and Materials*.

Barbecho, J., & Calle, J. (2015). *Caracterizacion De La Conductividad Hidráulica De Los Suelos De La Subcuenca Del Rio Tarqui*.

Beegum, S., & Das, S. (2022). Nanosensors in agriculture. *Agricultural Nanobiotechnology: Biogenic Nanoparticles, Nanofertilizers and Nanoscale Biocontrol Agents*, 465–478. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91908-1.00012-2>

Berendse, F., van Ruijven, J., Jongejans, E., & Keesstra, S. (2015). Loss of plant species diversity reduces soil erosion resistance. *Ecosystems*, 18(5), 881–888. <https://doi.org/10.1007/s10021-015-9869-6>

Berrones, G., Crespo, P., Ochoa-Sánchez, A., Wilcox, B. P., & Céleri, R. (2022). Importance of Fog and Cloud Water Contributions to Soil Moisture in the Andean Páramo. In *Hydrology* (Vol. 9, Issue 4). <https://doi.org/10.3390/hydrology9040054>

Blume, H., Brümmer, G. W., Horn, R., & Kögel-knabner, I. (2019). *Soil Science* (Vol. 70, Issue 1).

Brock, C., Franko, U., & Wiesmeier, M. (2023). Soil management for carbon sequestration. In *Encyclopedia of Soils in the Environment* (pp. 424–432). Elsevier.



<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822974-3.00124-5>

Brück, S. A., Torres, B. D. M., & de Moraes Polizeli, M. de L. T. (2023). The Ecuadorian paramo in danger: What we know and what might be learned from northern wetlands. *Global Ecology and Conservation*, 47, e02639. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gecco.2023.e02639>

Buytaert, W., Iñiguez, V., Celleri, R., De Bièvre, B., Wyseure, G., & Deckers, J. (2006). *Analysis of the Water Balance of Small Páramo Catchments in South Ecuador BT - Environmental Role of Wetlands in Headwaters* (J. Krecek & M. Haigh (eds.); pp. 271–281). Springer Netherlands.

Buytaert, Wouter, Céleri, R., De Bièvre, B., Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J., & Hofstede, R. (2006). Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews*, 79(1–2), 53–72. <https://doi.org/10.1016/J.EARSCIREV.2006.06.002>

Cabrera, A., Bustos, M., Rosas, M., Romero, M., & Díaz, L. (2019). *MANUAL PARA EL CURSO DE EDAFOLOGÍA LABORATORIO Y CAMPO*. UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO. <http://bios.biologia.umich.mx/assets/files/manual-edafologa.pdf>

ÇAL, S., & BARİK, K. (2020). Hydraulic Conductivity Values of Soils in Different Soil Processing Conditions. *Alinteri Ziraat Bilimler Dergisi*, 35(1), 132–138. <https://doi.org/10.28955/alinterizbd.740904>

Carrasco, M., Padilla, A., & Echeverría, M. (2017). ANÁLISIS DEL ECOSISTEMA PÁRAMO IGUALATA FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO EN BASE A LOS RECURSOS NATURALES. *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*.

- Christmann, T., & Oliveras, I. (2020). *Nature of Alpine Ecosystems in Tropical Mountains of South America* (M. I. Goldstein & D. A. B. T.-E. of the W. B. DellaSala (eds.); pp. 282–291). Elsevier. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.12481-9](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.12481-9)
- Chuncho, G. (2019). Páramos del Ecuador, importancia y afectaciones: Una revisión. *Bosques Latitud Cero*, 2(September), 13. <https://www.researchgate.net/publication/344180955>
- Chuncho Morocho, C., & Chuncho, G. (2019). Páramos del Ecuador, importancia y afectaciones: Una revisión. *Bosques Latitud Cero*, 9(2), 71–83.
- Crespo, P., Mosquera, G., Ochoa-Sánchez, A., & Pesántez, J. (2023). *Hidrología de los páramos*. January. <https://doi.org/10.18272/usfqpress.71.c259>
- Dang, Y. P., Dalal, R. C., & Menzies, N. W. (2020). No-till Farming Systems for Sustainable Agriculture: Challenges and Opportunities. In *No-till Farming Systems for Sustainable Agriculture: Challenges and Opportunities*. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-46409-7>
- Dazzi, C., & Lo Papa, G. (2022). A new definition of soil to promote soil awareness, sustainability, security and governance. *International Soil and Water Conservation Research*, 10(1), 99–108. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.07.001>
- De la Cruz, R., Mena Vásquez, P., M. Morales, P., Ortiz, G. R., S. Rivadeneira, E., Suárez, J. F. T., & Velázquez, C. (2009). Gente y Ambiente de Páramo: Realidades y Perspectivas en el Ecuador. In *EcoCiencia-Abya Yala*.
- Díaz-Granados Ortiz, M. A., Navarrete González, J. D., & Suárez López, T. (2005).

- Páramos: Hidrosistemas Sensibles. *Revista de Ingeniería*, 22, 64–75.  
<https://doi.org/10.16924/revinge.22.8>
- Dinno, A. (2015). Nonparametric pairwise multiple comparisons in independent groups using Dunn's test. *Stata Journal*, 15(1), 292–300.  
<https://doi.org/10.1177/1536867x1501500117>
- Echeverría, C., Ruiz-Pérez, G., Puertes, C., Samaniego, L., Barrett, B., & Francés, F. (2019). Assessment of Remotely Sensed Near-Surface Soil Moisture for Distributed Eco-Hydrological Model Implementation. *Water* 2019, Vol. 11, Page 2613, 11(12), 2613. <https://doi.org/10.3390/W11122613>
- Eclesia, R. P., Jobbagy, E. G., Jackson, R. B., Biganzoli, F., & Piñeiro, G. (2012). Shifts in soil organic carbon for plantation and pasture establishment in native forests and grasslands of South America. *Global Change Biology*, 18(10), 3237–3251.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2012.02761.x>
- Escobar Perea, Y., Vargas Batis, B., Ramos García, Y. M., Rodríguez Suárez, E. J., Rodríguez Osoria, O., & Rodríguez Fonseca, R. (2021). Propiedades físicas del suelo en cuatro fincas suburbanas de Santiago de Cuba. *Physical Properties of the Soil in Four Suburban Farms in Santiago de Cuba.*, 48(2), 74–78.
- FAO. (2019). Soil erosion: the greatest challenge to sustainable soil management. In *Australian Surveyor* (Vol. 8, Issue 5).  
<https://doi.org/10.1080/00050326.1941.10437468>
- Ferre, T., & Warrick, A. (2023). Infiltration. *Encyclopedia of Soils in the Environment*, 646–651. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822974-3.00250-0>
- GAD Parroquial Rural de Cumbe. (2015). *Actualización del PDF y OT de la parroquia*

Cumbe.

[http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdiagnostico/0160025690001\\_Presentación priorización de problemas 2015-05-14\\_15-05-2015\\_22-36-49.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/0160025690001_Presentación priorización de problemas 2015-05-14_15-05-2015_22-36-49.pdf)

García-Gutiérrez, C., Pachepsky, Y., & Ángel Martín, M. (2018). Technical note: Saturated hydraulic conductivity and textural heterogeneity of soils. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(7), 3923–3932. <https://doi.org/10.5194/HESS-22-3923-2018>

García, M., Ochoa, J., Yanza, Á., Ramón, J., Avila, G., & Durán, D. (2020). *PDOT Cumbe 2020*.

García, V., Márquez, C., Rodríguez, M., Orozco, J., Aguilar, C., & Ríos, A. (2020). Páramo Ecosystems in Ecuador's Southern Region: Conservation State and Restoration. *Agronomy 2020*, Vol. 10, Page 1922, 10(12), 1922. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY10121922>

Gavilánez Luna, F., & San Martín Larrea, L. S. (2023). Comparación de los métodos doble anillo y pozo invertido en la determinación de conductividad hidráulica. *La Técnica: Revista de Las Agrociencias*. e-ISSN 2477-8982, 13(1), 1–7. <https://doi.org/10.33936/latecnica.v13i1.5633>

González, A., Rodríguez, G., & Fábrega Duque, J. (2021). Impacto de la cobertura boscosa y uso de suelo sobre la textura y conductividad hidráulica del suelo en la subcuenca del río Estibaná. *Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología - APANAC*, *Apanac*, 257–262. <https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3194>

Gou, L., Zhang, C., Lu, N., & Hu, S. (2023). A Soil Hydraulic Conductivity Equation Incorporating Adsorption and Capillarity. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 149(8), 04023056.

<https://doi.org/10.1061/JGGEFK.GTENG-11388>

Gutiérrez, N., & Restrepo, F. (2019). EVALUACIÓN DE CORRECTIVOS DE ACIDEZ EN UN ANDISOL CULTIVADO CON AGUACATE “HASS.” *Sociedad Colombiana de La Ciencia Del Suelo*, 49, 38–44. Francisco

Guzmán, A., Córdova, J., Morales, V., & Peña, R. (2023). mediante teledetección en una cuenca hidrográfica Characterization of vegetation cover and its provision of ecosystem services through remote sensing in a hydrographic basin Caracterização da cobertura vegetal e sua prestação de serviços ecossistêmicos po. *Ciencias Naturales*, 9, 1657–1674.

Gwak, Y., & Kim, S. (2017). Factors affecting soil moisture spatial variability for a humid forest hillslope. *Hydrological Processes*, 31(2), 431–445. <https://doi.org/10.1002/HYP.11039>

Hannah, L. (2022). International Climate Policy. *Climate Change Biology*, 425–438. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102975-6.00020-0>

Hatten, J., & Liles, G. (2019). A ‘healthy’ balance – The role of physical and chemical properties in maintaining forest soil function in a changing world. 373–396. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-63998-1.00015-x>

Herbert, R. J. H., Ross, K., Whetter, T., & Bone, J. (2019). Maintaining ecological resilience on a regional scale: Coastal saline lagoons in a Northern European marine protected area. In *Marine Protected Areas: Science, Policy and Management*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102698-4.00032-0>

Hervé-Fernández, P., Muñoz-Arriagada, R., Glucevic-Almonacid, C., Bahamonde-Vidal, L., & Radic-Schilling, S. (2023). Influence of Rangeland Land Cover on Infiltration

Rates, Field-Saturated Hydraulic Conductivity, and Soil Water Repellency in Southern Patagonia. *Rangeland Ecology & Management*, 90, 92–100. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rama.2023.06.004>

Hidayat, Y., Purwakusuma, W., Wahjunie, E. D., Tejo Baskoro, D. P., Rachman, L. M., Yusuf, S. M., Adawiyah, R. M., Syaepudin, I., Siregar, M. M. R., & Isnaini, D. A. (2022). Characteristics of Soil Hydraulic Conductivity in Natural Forest, Agricultural Land, and Green Open Space Area. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 12(2), 352–362. <https://doi.org/10.29244/jpsl.12.2.352-362>

Hofstede, R. G. M., & Llambí, L. D. (2020). *Plant Diversity in Páramo—Neotropical High Mountain Humid Grasslands* (M. I. Goldstein & D. A. B. T.-E. of the W. B. DellaSala (eds.); pp. 362–372). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11858-5>

Hofstede, R., Segarra, P., & Mena V., P. (2003). *LOS PÁRAMOS DEL MUNDO*.

Holtz, R. D., & Baroutaji, A. (2016). Construction Materials: Soil and Natural Materials. *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803581-8.02258-x>

Hopmans, J. W., & Horton, R. (2023). Temperature effects of soil hydraulic properties. *Encyclopedia of Soils in the Environment*, 379–384. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822974-3.00057-4>

Ibáñez, S., Moreno, H., & Blanquer, J. (2010). Características del infiltrómetro de doble anillo (anillos de Munz). *Artículo de La Universidad Politecnica de Valencia*, 10.

Ifejika Speranza, C., Ochege, F. U., Nzeadibe, T. C., & Agwu, A. E. (2018). Agricultural

Resilience to Climate Change in Anambra State, Southeastern Nigeria: Insights From Public Policy and Practice. In *Beyond Agricultural Impacts: Multiple Perspectives on Climate Change and Agriculture in Africa*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812624-0.00012-0>

INAMHI. (2017). *TIPOS DE CLIMA DEL ECUADOR*. Geoinformación Hidrometeorológica.

Izquierdo Bautista, J., & Arévalo Hernández, J. J. (2021). Determinación del carbono orgánico por el método químico y por calcinación. *Ingeniería y Región*, 26, 20–28. <https://doi.org/10.25054/22161325.2527>

Jiya Musa, J., Akpoebidimiyen, O. E., Olusegun Dada, P. O., Kayode Adewumi, J., & Usman Gupa, Y. (2021). Effect of Land Management on Soil Hydraulic Conductivity in Gidan Kwano, Niger State, Nigeria. *Open Journal of Forestry*, 11(02), 108–116. <https://doi.org/10.4236/ojf.2021.112008>

Kumar, A. (2022). Coping with climate chang. *Ecosystem-Based Adaptation*, 143–233. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815025-2.00004-6>

Larrea, L. (2022). *EVALUACIÓN DEL MÉTODO DE LOS ANILLOS INFILTRÓMETROS COMO ALTERNATIVA DE MEDICIÓN DE CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA*.

Li, X., Zhang, Z., Lü, X., Li, Y., Jin, K., & van der Putten, W. H. (2022). Soil aggregate microbiomes steer plant communityoveryielding in ungrazed and intensively grazed grassland soils. *Journal of Environmental Management*, 321, 115919. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2022.115919>

Lim, S., Cassardo, C., & Park, S. K. (2023). Optimization of Soil Texture and Hydraulic

Parameters Using the Soil Moisture Observation in Land Surface Model. *EGU23*.

<https://doi.org/10.5194/EGUSPHERE-EGU23-17547>

Llambí, L. D., Soto-W, A., Célleri, R., De Bievre, B., Ochoa, B., Borja, P., Soto, A.,

Borja, P., Ochoa, B., Celleri, R., & Bievre, B. (2012). Páramos Andinos: Ecología, hidrología y suelos de páramos. In *Los suelos del Páramo*.

<https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/56477.pdf><sup>0</sup>Awww.flacsoandes.ed

u.ec

López, S. (2022). Deforestation, forest degradation, and land use dynamics in the

Northeastern Ecuadorian Amazon. *Applied Geography*, 145(June).

<https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2022.102749>

Magid, J., Pedersen, K. E., Hansen, M., Cedergreen, N., & Brandt, K. K. (2020).

Comparative assessment of the risks associated with use of manure and sewage sludge in Danish agriculture. *Advances in Agronomy*, 164, 289–334.

<https://doi.org/10.1016/BS.AGRON.2020.06.006>

Martínez, F. (2009). *Influencia de la textura en la permeabilidad del suelo en la*

*subcuenca Zamora Huayco- Cantón Loja*. UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA.

Memon, M. S., Chen, S., Niu, Y., Zhou, W., Elsherbiny, O., Liang, R., Du, Z., & Guo,

X. (2023). *Evaluating the Efficacy of Sentinel-2B and Landsat-8 for Estimating and*

*Evaluating the Efficacy of Sentinel-2B and Landsat-8 for Estimating and Mapping*

*Wheat Straw Cover in October*. <https://doi.org/10.3390/agronomy13112691>

Mendez, K., & Molina, S. (2023). Análisis comparativo de las propiedades químicas e

hidrofísicas del suelo con diferente cobertura vegetal en las microcuencas

Yutujapina y Lluchucarrumi, ubicadas en la parroquia Cumbe del cantón Cuenca. In



*Universidad de Cuenca* (Vol. 1, Issue 5).

Ministerio de Agricultura. (2019). *INSTRUCTIVO TÉCNICO PARA LA CAPTACIÓN DE MUESTRAS DE SUELO / SUSTRATOS / RAÍCES Y REALIZACIÓN DE ANÁLISIS NEMATOLÓGICO*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/faolex/results/details/en/c/LEX-FAOC161662/>

Nath, T., & Bhattacharyya, G. (2014). *Influence of soil texture and total organic matter content on soil hydraulic conductivity of some selected Tea growing soils in Dibrugarh district of Assam, India*.

Nedkov, S., Campagne, S., Borisova, B., Krpec, P., Prodanova, H., Kokkoris, I. P., Hristova, D., Le Clec'h, S., Santos-Martin, F., Burkhard, B., Bekri, E. S., Stoycheva, V., Bruzón, A. G., & Dimopoulos, P. (2022). Modeling water regulation ecosystem services: A review in the context of ecosystem accounting. *Ecosystem Services*, 56(June). <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2022.101458>

Nemes, A., Rawls, W. J., & Pachepsky, Y. A. (2005). Influence of Organic Matter on the Estimation of Saturated Hydraulic Conductivity. *Soil Science Society of America Journal*, 69(4), 1330–1337. <https://doi.org/10.2136/SSSAJ2004.0055>

Nistor, M. M., Nicula, A. S., Surdu, I., Man, T. C., Vasu, N. N., Carebia, I. A., Irimuş, I. A., & Kamarajugedda, S. A. (2021). Groundwater vulnerability assessment in the Iberian Peninsula under climate and land cover changes. *Climate and Land Use Impacts on Natural and Artificial Systems: Mitigation and Adaptation*, 225–250. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822184-6.00017-X>

Oliveira, R. A., Ramos, M. M., & de Aquino, L. A. (2015). Irrigation management. In *Sugarcane: Agricultural Production, Bioenergy and Ethanol* (pp. 161–183). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802239-9.00008-6>

- Olivera Sánchez, C., & Avellaneda Torres, L. M. (2018). *Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales : construcción participativa del diagnóstico de suelos, diseño de planes de intervención prácticas de manejo sostenible de los suelos*. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/35025>
- OROZCO, W. B. M. (2019). Los paramos Andinos, Crisis ambiental. In *Tiempos de Crisis sistémica*. <https://doi.org/10.2307/j.ctvpv50bh.8>
- Páez-Bimos, S., Molina, A., Calispa, M., Delmelle, P., Lahuatte, B., Villacís, M., Muñoz, T., & Vanacker, V. (2023). Soil-vegetation-water interactions controlling solute flow and chemical weathering in volcanic ash soils of the high Andes. *Hydrology and Earth System Sciences*, 27(7), 1507–1529. <https://doi.org/10.5194/HESS-27-1507-2023>
- Páez-Bimos, S., Vanacker, V., Villacís, M., Morales, O., Calispa, M., Salgado, S., Delmelle, P., & Molina, A. (2020). Impact of vegetation species on soil pore system and soil hydraulic properties in the high Andes. *EGU2020*. <https://doi.org/10.5194/EGUSPHERE-EGU2020-6284>
- Pandey, D. K., Putrevu, D., & Misra, A. (2021). Large-scale soil moisture mapping using Earth observation data and its validation at selected agricultural sites over Indian region. *Agricultural Water Management: Theories and Practices*, 185–207. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812362-1.00010-2>
- Patiño, S., Hernández, Y., Plata, C., Domínguez, I., Daza, M., Oviedo-Ocaña, R., Buytaert, W., & Ochoa-Tocachi, B. F. (2021). Influence of land use on hydro-physical soil properties of Andean páramos and its effect on streamflow buffering. *CATENA*, 202, 105227. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105227>

- Patsios, S. I., Kontogiannopoulos, K. N., & Baniyas, G. F. (2021). Environmental impact assessment in agri-production: a comparative study of olive oil production in two European countries. *Bio-Economy and Agri-Production: Concepts and Evidence*, 83–116. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819774-5.00005-9>
- Pokladníková, H., Rožnovský, J., & Středa, T. (2008). Evaluation of soil temperatures at agroclimatological station pohořelice. *Soil and Water Research*, 3(4), 223–230. <https://doi.org/10.17221/2092-swr>
- Poulenard, J., Podwojewski, P., Janeau, J.-L., & Collinet, J. (2001). Runoff and soil erosion under rainfall simulation of Andisols from the Ecuadorian Páramo: effect of tillage and burning. *CATENA*, 45(3), 185–207. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(01\)00148-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0341-8162(01)00148-5)
- Qishlaqi, A., & Moore, F. (2007). Statistical Analysis of Accumulation and Sources of Heavy Metals Occurrence in Agricultural Soils of Khoshk River Banks, Shiraz, Iran. *J. Agric. & Environ. Sci*, 2(5), 565–573.
- Quichimbo, P., Tenorio, G., Borja, P., Cárdenas, I., Crespo, P., & Célleri, R. (2012). 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*, 42(2), 138–153.
- Ramesh, T., Bolan, N. S., Kirkham, M. B., Wijesekara, H., Kanchikerimath, M., Srinivasa Rao, C., Sandeep, S., Rinklebe, J., Ok, Y. S., Choudhury, B. U., Wang, H., Tang, C., Wang, X., Song, Z., & Freeman, O. W. (2019). Soil organic carbon dynamics: Impact of land use changes and management practices: A review. *Advances in Agronomy*, 156, 1–107. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.02.001>
- Ramos, A. (2010). Miden filtración de agua. *Reforma, Mexico City*, 1–3.

- Reddy, H., Ranjan, A., & Denis, D. (2020). Understanding Sensitivity of the Soil Moisture Routine Parameters using Integrated Hydrological Modelling System (HBV) in a Small Semi-Arid Agricultural Watershed. *Journal of Water Engg. and Management*.
- Rey-Romero, D. C., Domínguez, I., & Oviedo-Ocaña, E. R. (2022). Effect of agricultural activities on surface water quality from páramo ecosystems. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(55), 83169–83190. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21709-6>
- Reynolds, S. G. (1970). The gravimetric method of soil moisture determination Part I A study of equipment, and methodological problems. *Journal of Hydrology*, 11(3), 258–273. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90066-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90066-1)
- Richardson, G. S., Ruark, M. D., Radatz, T., Radatz, A., Cooley, E., Silva, E. M., Augarten, A. J., Zhu, J., & Zegler, C. H. (2023). The influence of inherent soil factors and agricultural management on soil organic matter. *Ecosphere*, 14(3), e4459. <https://doi.org/10.1002/ECS2.4459>
- Salamanca, A., & Sadeghian, S. (2009). LA DENSIDAD APARENTE Y SU RELACION CON OTRAS PROPIEDADES EN SUELOS DE LA ZONA CAFETERA COLOMBIANA. In *Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé)* (Issue 1). <https://doi.org/10.23840/agehrd.2009.41.1.191>
- Sandoval García, C., Cantú Silva, I., González Rodríguez, H., Yáñez Díaz, M. I., Marmolejo Monsiváis, J. G., & Gómez Meza, M. V. (2021). Efecto de diferentes usos del suelo en las propiedades físicas e hidrológicas de un Luvisol en Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(68), 151–177. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i68.982>

- Saravanan, S., Parthasarathy, K. S. S., & Sivaranjani, S. (2019). Assessing Coastal Aquifer to Seawater Intrusion: Application of the GALDIT Method to the Cuddalore Aquifer, India. *Coastal Zone Management: Global Perspectives, Regional Processes, Local Issues*, 233–250. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814350-6.00010-0>
- Schowalter, T. D. (2006). Decomposition and Pedogenesis. *Insect Ecology*, 405–435. <https://doi.org/10.1016/B978-012088772-9/50040-6>
- Sevillano-Ríos, C. S., Rodewald, A. D., & Morales, L. V. (2020). *Alpine Birds of South America* (M. I. Goldstein & D. A. B. T.-E. of the W. B. DellaSala (eds.); pp. 492–504). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11806-8>
- Sevruk, B. (2014). Medición de la humedad del suelo. In *Operational hydrology report* (Issue no 35).
- Shapiro, C. A., & Elmore, R. W. (2017). Agricultural Crops. *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*, 3, 1–8. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394807-6.00022-8>
- Sharma, A., Kumar, V., Shahzad, B., Tanveer, M., Sidhu, G. P. S., Handa, N., Kohli, S. K., Yadav, P., Bali, A. S., Parihar, R. D., Dar, O. I., Singh, K., Jasrotia, S., Bakshi, P., Ramakrishnan, M., Kumar, S., Bhardwaj, R., & Thukral, A. K. (2019). Worldwide pesticide usage and its impacts on ecosystem. *SN Applied Sciences*, 1(11), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1485-1>
- She, D., Zheng, J., Shao, M., Timm, L. C., & Xia, Y. (2015). Multivariate Empirical Mode Decomposition Derived Multi-Scale Spatial Relationships between Saturated Hydraulic Conductivity and Basic Soil Properties. *CLEAN – Soil, Air, Water*, 43(6), 910–918. <https://doi.org/10.1002/CLEN.201400143>

- Siegel, A., & Wagner, M. (2022). Chapter 11 - Correlation and Regression: Measuring and Predicting Relationships. *Practical Business Statistics*, 313–370. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820025-4.00011-7>
- Someus, E. (2009). Recycling and upgrading of bone meal for environmentally friendly crop protection and nutrition: The PROTECTOR project. In *Handbook of Waste Management and Co-Product Recovery in Food Processing* (Vol. 2). Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9781845697051.4.553>
- Survey, S. (2021). *1 Información General 3 MEDICIÓN DE LUZ SOLAR 2 Componentes Medidor Digital de suelo 4 en 1 Humedad , Temperatura , Luz y pH del suelo 4 MEDICIÓN DEL VALOR DE PH Manual de Usuario 6 MEDICIÓN DE LA HUMEDAD 8 INTERPRETACIÓN DE LAS LECTURAS DE PH. PRO INSTRUMENTS.* [https://www.multiofertas.com.py/Catalogos/PRO\\_INSTRUMENTS\\_Medidor\\_Digital\\_suelo.pdf](https://www.multiofertas.com.py/Catalogos/PRO_INSTRUMENTS_Medidor_Digital_suelo.pdf)
- Thompson, J. B., Zurita-Arthos, L., Müller, F., Chimbolema, S., & Suárez, E. (2021). Land use change in the Ecuadorian páramo: The impact of expanding agriculture on soil carbon storage. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 53(1), 48–59. <https://doi.org/10.1080/15230430.2021.1873055>
- USDA. (2005). Calculo de la Humedad del Suelo por Tacto y Apariencia. In *Usda* (pp. 1–14).
- Vásconez, P. M., & Hofstede, R. (2006). *Los páramos ecuatorianos*.
- Wang, H., Chen, R., Leung, A. K., & Huang, J. (2023). Temperature effects on the hydraulic properties of unsaturated rooted soils. *Canadian Geotechnical Journal*, 60(6), 936–945. <https://doi.org/10.1139/cgj-2022-0475>

- Wang, Z., Sun, Y., Chi, X., & Hong, S. (2021). Effects of Grazing Intensity on Soil Bacterial Community Structure of *Stipa grandis* Grasslands in Inner Mongolia, China. *ACM International Conference Proceeding Series*.  
<https://doi.org/10.1145/3469678.3469700>
- Wankmüller, F., Delval, L., Cecere, A., Lehmann, P., Javaux, M., & Carminati, A. (2023). Soil Hydraulic Conductivity Controls Soil Moisture Limitation of Transpiration Globally. *EGU23*. <https://doi.org/10.5194/EGUSPHERE-EGU23-12613>
- Weralupitiya, C., Keerthanan, S., Vithanage, M., Gunarathne, V., Rinklebe, J., Biswas, J. K., & Jayasanka, J. (2022). Influence of biochar on soil biology in the charosphere. *Biochar in Agriculture for Achieving Sustainable Development Goals*, 273–291.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85343-9.00024-0>
- Yáñez Díaz, M. I., Cantú Silva, I., & González Rodríguez, H. (2018). Effect of land use change on chemical properties of a vertisol. *Terra Latinoamericana*, 36(4), 369–379. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i4.349>
- Yang, G., Xu, Y., Huo, L., Wang, H., & Guo, D. (2022). Analysis of Temperature Effect on Saturated Hydraulic Conductivity of the Chinese Loess. *Water* 2022, Vol. 14, Page 1327, 14(9), 1327. <https://doi.org/10.3390/W14091327>
- Zhang, Z., Li, Q., Yu, W., & Sun, H. (2022). Soil Erosion Resistance-enlarging Potential by Plant Roots as Determined in a Simulated Flume Experiment. *Eurasian Soil Science*, 55(10), 1490–1497. <https://doi.org/10.1134/S1064229322100179>