



USO DEL SUELO Y SUS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS EN ZONAS AGROECOLÓGICAS ANDINAS DE LA PROVINCIA BOLÍVAR



Culebrillas

El Corazón

Los Casaichis

Nelson Arturo Monar Gavilanez
Sonia del Carmen Fierro Borja
Araceli Beatriz Lucio Quintana

ISBN: 978-9907-0-0544-8

2025

**USO DEL SUELO Y SUS
PROPIEDADES FÍSICO-
QUÍMICAS EN ZONAS
AGROECOLÓGICAS ANDINAS
DE LA PROVINCIA BOLÍVAR**

AUTORES:

NELSON ARTURO MONAR GAVILANEZ

SONIA DEL CARMEN FIERRO BORJA

ARACELI BEATRIZ LUCIO QUINTANA



Este libro ha sido debidamente examinado y valorado en la modalidad doble par ciego con fin de garantizar la calidad científica.

©Grupo Editorial BLR
Universidad Estatal de Bolívar
Riobamba – Ecuador
Correo: publicaciones@grupobl.com
<https://grupobl.com/libros-investig>
REPOSITORIO



Monar, N., Fierro, S., Lucio, A. (2025) Uso del suelo y sus propiedades físico-químicas en zonas agroecológicas andinas de la provincia Bolívar. Grupo Editorial BLR.

© Nelson Arturo Monar Gavilanez
Sonia del Carmen Fierro Borja
Araceli Beatriz Lucio Quintana

ISBN: 978-9907-0-0544-8

El copyright promueve la libertad de expresión, protege la diversidad de ideas y conocimiento, además apoya la libre expresión. Se prohíbe de manera rigurosa la producción o el almacenamiento de esta publicación, ya sea en su totalidad o en parte, está estrictamente prohibido por ley, incluyendo el diseño de la portada, así como su difusión a través de cualquiera de sus medios, ya sean electrónicos, mecánicos, ópticos, de grabación o incluso de fotocopia, sin permiso de los propietarios de los derechos de autor.

FILIACIONES DE LOS AUTORES

Nelson Arturo Monar Gavilanez

Universidad Estatal de Bolívar

Correo Electrónico: nmonar@ueb.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8154-6413>

Sonia del Carmen Fierro Borja

Universidad Estatal de Bolívar

Correo Electrónico: sfierro@ueb.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3947-0046>

Araceli Beatriz Lucio Quintana

Universidad Estatal de Bolívar

Correo Electrónico: alucio@ueb.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2999-7038>



PRÓLOGO

El suelo es uno de los recursos más valiosos para el desarrollo agrícola y la conservación ambiental, especialmente en regiones andinas donde la diversidad de altitudes, climas y paisajes genera una gran variabilidad de condiciones para el cultivo. La provincia de Bolívar, con su relieve accidentado y su riqueza natural, constituye un escenario ideal para estudiar cómo las propiedades físicas y químicas del suelo determinan el uso adecuado de la tierra y la productividad sostenible.

Este documento aborda de manera integral el análisis de los suelos de las zonas agroecológicas andinas de Bolívar, examinando sus características físicas y químicas y su relación con las prácticas agrícolas locales. Su finalidad es ofrecer información clara y útil para la toma de decisiones en el manejo del suelo, fomentando técnicas que promuevan la conservación del recurso y la optimización de la producción.

Se espera que este trabajo sirva como referencia para estudiantes, profesionales y agricultores interesados en aplicar principios agroecológicos adaptados a las condiciones específicas de la región, contribuyendo así a un desarrollo rural sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

ÍNDICE	
PRÓLOGO	I
ÍNDICE	II
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XV
INTRODUCCIÓN	XIX
CAPÍTULO I	22
1 CONTEXUALIZACIÓN DEL USO DEL SUELO Y SUS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS	22
1.1 Uso del suelo.....	26
1.1.1 El uso actual de los suelos	27
1.1.2 Suelo rural.....	27
1.1.3 Cobertura vegetal.....	28
1.1.4 Características físico-químicas del suelo.....	28
1.2 Propiedades físicas del suelo y el crecimiento de las plantas ..	29
1.2.1 Propiedades físicas del suelo	29
1.2.2 Propiedades químicas del suelo	31
CAPÍTULO II	33
2 CARACTERIZACIÓN DE HERRAMIENTAS FUNDAMENTALES PARA EL ANÁLISIS DE TERRITORIO	33
2.1 Georreferenciación.....	34

2.2	Sensores remotos	34
2.3	Sistema global de localización (global positioning system GPS)	35
2.4	Sistema de coordenadas geográficas.....	35
2.5	Sistema de información geográfica (SIG)	36
2.6	Ingreso de datos	36
2.7	Producción de datos	37
2.8	La Cartografía	37
2.9	Mapas.....	39
2.9.1	Mapeo participativo de recursos y de usos del suelo.....	39
2.9.2	Mapas temáticos	39
2.10	Escala.....	40
2.11	Fracción representativa	40
2.12	Proyección	40
2.12.1	Tipos de proyecciones	41
2.13	Análisis del terreno	42
2.13.1	Trabajo preliminar en el terreno	42
2.13.2	Análisis del terreno y cartografía preliminar	42
2.14	Teledetección	43
2.14.1	Teledetección como fuente de información.....	43
2.15	Modelo digital de las elevaciones.....	44

2.15.1	Modelo digital del terreno (mdt).....	44
2.16	Zonificación.....	44
2.17	Ordenamiento territorial	45
2.18	Plan de Ordenamiento Territorial	45
2.18.1	Uso de SIG en el ordenamiento territorial (OT).....	45
2.18.2	Clasificación de pendientes	46
CAPÍTULO III		48
3	PROCESOS EROSIVOS DEL SUELO Y CARACTERISTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	48
3.1	El suelo	48
3.2	Erosión.....	49
3.3	Tipos de erosión.....	50
3.3.1	Erosión hídrica.....	50
3.3.2	Erosión eólica	52
3.4	Factores que participan en el proceso de erosión	52
3.4.1	El régimen climático.....	52
3.4.2	El relieve.....	53
3.4.3	Los suelos	53
3.4.4	La vegetación.....	54
3.5	Principales procesos erosivos actuantes	55
3.5.1	Mecanismos de erosión hídrica.....	55

3.5.2	Mecanismo de la erosión eólica.....	56
3.5.3	Mecanismo erosivo-gravitacional.....	58
3.6	Erosión en el Ecuador.....	58
3.6.1	Causas de la erosión en el Ecuador.....	59
3.7	Situación del recurso suelo en la provincia Bolívar	60
3.8	Textura del suelo.....	60
3.9	Susceptibilidad del suelo a la erosión.....	62
3.9.1	Susceptibilidad nula.....	62
3.9.2	Zonas de susceptibilidad baja	62
3.9.3	Zonas de susceptibilidad media	63
3.9.4	Zonas de susceptibilidad alta	63
	CAPÍTULO IV.....	64
4	CARACTERÍSTICAS Y PROCESOS METODOLÓGICOS DE LA ZONA DE ESTUDIO	64
4.1	Localización de la investigación.....	64
4.1.1	Zona de vida.....	65
4.2	Características de la zona de estudio	65
4.2.1	El Carbón.....	65
4.2.2	Casaiches San Antonio	66
4.2.3	Culebrillas.....	66
4.2.4	Procesos metodológicos.....	67

4.3	Métodos de evaluación	69
4.3.1	Georreferenciación.....	69
4.3.2	Levantamiento de información física	69
4.3.3	Teledetección (drone) foto aérea	70
4.3.4	Sistematización de datos georreferenciados	70
4.3.5	Distribución sectorial del territorio.....	70
4.3.6	Forma del relieve	73
4.3.7	Evaluación morfológica.....	73
4.3.8	Evaluación morfométrica.....	74
4.3.9	Evaluación morfoedafológica	74
4.3.10	Evaluación descriptiva-comparativa.....	75
4.3.11	Humedad.....	75
4.3.12	pH.....	75
4.3.13	Conductividad.....	76
4.3.14	Textura del suelo.....	76
4.3.15	Materia orgánica	76
4.3.16	Micronutrientes.....	77
4.3.17	Macronutrientes	77
4.4	Manejo del experimento	78
4.4.1	Recolección de información secundaria	78
4.4.2	Recorrido de campo y georreferenciación.....	78

4.4.3	Sistematización de la información de campo	78
4.4.4	Elaboración de mapas base a partir de ortofotos	78
4.4.5	Zonificación agroecológica.....	79
4.4.6	Identificación de los actores o sistemas.....	80
4.4.7	Toma de muestras	80
4.4.8	Preparación de la muestra	80
4.4.9	Secado.....	81
4.4.10	Molido y tamizado	81
4.4.11	Ingreso al proceso de análisis	81
4.4.12	Análisis físico-químico	81
4.4.13	Determinación de fósforo	81
4.4.14	Determinación de calcio	82
4.4.15	Determinación de manganeso.....	82
4.4.16	Determinación de potasio	83
4.4.17	Determinación de cobre y hierro	83
4.4.18	Análisis de la información.....	84
	CAPÍTULO V	85
5	RESULTADOS	85
5.1	Uso general del territorio	85
5.1.1	Uso del territorio comunidad Culebrillas.....	85
5.1.2	Uso del territorio comunidad El Corazón	87

5.1.3	Uso del territorio organización “Los Casaiches”	89
5.1.4	Distribución sectorial del territorio	91
5.1.5	Distribución del territorio por área de actividad agrícola	92
5.2	Identificación de los principales procesos erosivos	98
5.3	Descripción morfogenética de los agro sistemas en estudio..	100
5.3.1	Descripción morfogenética de la localidad “El Carbón”	101
5.3.2	Descripción morfogenética de la localidad “Casaiches”	102
5.3.3	Descripción morfogenética de la localidad “Culebrillas”	103
5.4	Propiedades físico-químicas del suelo	105
5.4.1	Determinación de pH	105
5.4.2	Determinación de la Conductividad (uS/cm).....	109
5.4.3	Determinación de humedad	112
5.4.4	Determinación de textura.....	116
5.4.5	Determinación de materia orgánica	119
5.4.6	Determinación de macronutrientes (potasio, calcio y magnesio)	124
5.4.7	Determinación de micronutrientes (manganeso, hierro y cobre)	135
5.4.8	Determinación de amonio (NH ₄)	145
5.4.9	Determinación de fósforo	149
	BIBLIOGRAFÍAS	153

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de pendientes según Lugo.	47
Tabla 2. Clasificación de la textura del suelo	61
Tabla 3. Ubicación de las localidades donde se desarrolló la investigación.....	64
Tabla 4. Grados de erosión para las localidades investigadas.....	68
Tabla 5. Perfil representativo del agrosistema “El Carbón”.....	102
Tabla 6. Perfil representativo de la zona agroecológica “Casaiches San Antonio”.....	103
Tabla 7. Perfil representativo de la zona agroecológica “Culebrillas”.	104
Tabla 8. Determinación del pH en las zonas agroecológicas, estrato 1.	105
Tabla 9. Análisis de varianza para pH en el estrato 1 de los suelos evaluados.	106
Tabla 10. Determinación del pH en las zonas agroecológicas, estrato 2.	107
Tabla 11. Análisis de varianza para pH en el estrato 2 de los suelos evaluados.	107

Tabla 12. Determinación de la conductividad (uS/cm) en las zonas agroecológicas,	109
Tabla 13. Análisis de varianza para la conductividad en el estrato 1 de los suelos evaluados.....	110
Tabla 14. Determinación de la conductividad (uS/cm) en las zonas agroecológicas, estrato 2.....	111
Tabla 15. Análisis de varianza para la conductividad en el estrato 2, de los suelos evaluados.....	111
Tabla 16. Determinación de humedad (%) en las zonas agroecológicas, estrato 1.....	113
Tabla 17. Análisis de varianza para la humedad (%) en el estrato 1 de los suelos evaluados.....	113
Tabla 18. Determinación de humedad (%) en las zonas agroecológicas, estrato 2.....	114
Tabla 19. Análisis de varianza para la humedad (%) en el estrato 2 de los suelos evaluados.....	115
Tabla 20. Textura del suelo en las zonas evaluadas, estrato 1.....	116
Tabla 21. Textura del suelo en las zonas evaluadas, estrato 2.....	118
Tabla 22. Determinación de materia orgánica (%) en las zonas agroecológicas, estrato 1.....	120

Tabla 23. Análisis de varianza para la materia orgánica (%) en el estrato 1 de los suelos evaluados.....	121
Tabla 24. Determinación de materia orgánica (%) en las zonas agroecológicas, estrato 2.....	122
Tabla 25. Análisis de varianza para la materia orgánica en el estrato 2 de los suelos evaluados.....	122
Tabla 26. Determinación de potasio (meq/100ml) en las zonas agroecológicas, estrato 1.....	124
Tabla 27. Análisis de varianza para el potasio en el estrato 1 de los suelos evaluados.	125
Tabla 28. Determinación de potasio (meq/100ml) en las zonas agroecológicas, estrato 2.....	126
Tabla 29. Análisis de varianza para el potasio en el estrato 2 de los suelos evaluados.	127
Tabla 30. Determinación de calcio (meq/100ml) en las zonas agroecológicas, estrato 1.....	127
Tabla 31. Análisis de varianza para el calcio en el estrato 1 de los suelos evaluados.	128
Tabla 32. Determinación de calcio (meq/100ml) en las zonas agroecológicas, estrato 2.....	129

Tabla 33. Análisis de varianza para el calcio en el estrato 2 de los suelos evaluados.	130
Tabla 34. Determinación de magnesio (meq/100ml) en las zonas agroecológicas, estrato 1.....	131
Tabla 35. Análisis de varianza para el magnesio en el estrato 1 de los suelos evaluados.	132
Tabla 36. Determinación de magnesio (meq/100ml) en las zonas agroecológicas, estrato 2.....	132
Tabla 37. Análisis de varianza para el magnesio en el estrato 2 de los suelos evaluados.	133
Tabla 38. Determinación de manganeso (ppm) en las zonas agroecológicas, estrato 1.....	135
Tabla 39. Análisis de varianza para el manganeso en el estrato 1 de los suelos evaluados.	136
Tabla 40. Determinación de manganeso (ppm) en las zonas agroecológicas, estrato 2.....	137
Tabla 41. Análisis de varianza para el manganeso en el estrato 2 de los suelos evaluados.	138
Tabla 42. Determinación de hierro (ppm) en las zonas agroecológicas, estrato 1.....	138

Tabla 43. Análisis de varianza para el hierro en el estrato 1 de los suelos evaluados.	139
Tabla 44. Determinación de hierro (ppm) en las zonas agroecológicas, estrato 2.....	140
Tabla 45. Análisis de varianza para el hierro en el estrato 2 de los suelos evaluados.	141
Tabla 46. Determinación de cobre (ppm) en las zonas agroecológicas, estrato 1.....	141
Tabla 47. Análisis de varianza para el cobre en el estrato 1 de los suelos evaluados.	142
Tabla 48. Determinación de cobre (ppm) en las zonas agroecológicas, estrato 2.....	143
Tabla 49. Análisis de varianza para el cobre en el estrato 2 de los suelos evaluados.	143
Tabla 50. Determinación de amonio (ppm) en las zonas agroecológicas, estrato 1.....	146
Tabla 51. Análisis de varianza para el contenido de amonio en el estrato 1 de los suelos evaluados.....	146
Tabla 52. Determinación de amonio (ppm) en las zonas agroecológicas, estrato 2.....	147

Tabla 53. Análisis de varianza para el contenido de amonio (ppm) en el estrato 2 de los suelos evaluados.	148
Tabla 54. Determinación de fósforo (ppm) en las zonas agroecológicas, estrato 1.....	149
Tabla 55. Análisis de varianza para el contenido de fósforo en el estrato 1 de los suelos evaluados.....	150
Tabla 56. Determinación de fósforo (ppm) en las zonas agroecológicas, estrato 2.....	150
Tabla 57. Análisis de varianza para el contenido de fósforo (ppm) en el estrato 2 de los suelos evaluados.	151

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de proyecciones (Fernández, C. et al. 2012).....	41
Figura 2. Área de actividades agrícolas.....	71
Figura 3. Área actividades pecuarias.	71
Figura 4. Área Páramo.....	72
Figura 5. Área destinada para actividades forestales.	72
Figura 6. Área destinada para viviendas.....	73
Figura 7 . Mapa temático sobre el uso general del territorio comunidad Culebrillas.	85
Figura 8. Mapa temático sobre el uso general del territorio comunidad El Corazón.....	87
Figura 9. Mapa temático comunidades de la organización Los Casaiches.....	89
Figura 10. Mapa temático sobre el uso general del territorio en la organización “Los Casaiches”.	90
Figura 11. Mapa temático distribución del territorio por área de actividad agrícola.....	92
Figura 12. Mapa temático distribución del territorio por actividad Pecuaria.	93

Figura 13. Mapa temático distribución del territorio por área Páramo.	94
Figura 14. Mapa temático distribución del territorio por actividad Forestal.	95
Figura 15. Mapa temático distribución del territorio por área destinada para Viviendas.	96
Figura 16. Mapa temático sobre la distribución del territorio Pendiente.	97
Figura 17. Grados de erosión en la localidad “El Carbón.....	98
Figura 18. Grados de erosión en la localidad “Casaiches.....	99
Figura 19. Grados de erosión en la localidad “Culebrillas”.	100
Figura 20. Determinación del pH de los suelos evaluados, estrato 1.	106
Figura 21. Determinación del pH de los suelos evaluados, estrato 2.	107
Figura 22. Determinación de la conductividad de los suelos evaluados, estrato 1.	109
Figura 23. Determinación de la conductividad de los suelos evaluados, estrato 2.	111
Figura 24. Determinación de humedad (%) de los suelos evaluados, estrato 1.	113

Figura 25. Determinación de humedad (%) de los suelos evaluados, estrato 2.	115
Figura 26. Textura del suelo en las zonas evaluadas, estrato 1.	117
Figura 27. Textura del suelo en las zonas evaluadas, estrato 2.	118
Figura 28. Determinación de materia orgánica (%) de los suelos evaluados, estrato 1.	120
Figura 29. Determinación de materia orgánica (%) de los suelos evaluados, estrato 2.	122
Figura 30. Determinación de potasio (meq/100ml) de los suelos evaluados, estrato 1.	125
Figura 31. Determinación de potasio (meq/100ml) de los suelos evaluados, estrato 2.	126
Figura 32. Determinación de calcio (meq/100ml) de los suelos evaluados, estrato 1.	128
Figura 33. Determinación de calcio (meq/100ml) de los suelos evaluados, estrato 2.	130
Figura 34. Determinación de magnesio (meq/100ml) de los suelos evaluados, estrato 1.	131
Figura 35. Determinación de magnesio (meq/100ml) de los suelos evaluados, estrato 2.	133

Figura 36. Determinación de manganeso (ppm) de los suelos evaluados, estrato 1.	136
Figura 37. Determinación de manganeso (ppm) de los suelos evaluados, estrato 2.	137
Figura 38. Determinación de hierro (ppm) de los suelos evaluados, estrato 1.	139
Figura 39. Determinación de hierro (ppm) de los suelos evaluados, estrato 2.	140
Figura 40. Determinación de cobre (ppm) de los suelos evaluados, estrato 1.	142
Figura 41. Determinación de cobre (ppm) de los suelos evaluados, estrato 2.	143
Figura 42. Determinación de amonio (ppm) de los suelos evaluados, estrato 1.	146
Figura 43. Determinación de amonio (ppm) de los suelos evaluados, estrato 2.	147
Figura 44. Determinación de fósforo (ppm) de los suelos evaluados, estrato 1.	150
Figura 45. Determinación de fósforo de los suelos evaluados, estrato 2.	151

INTRODUCCIÓN

Los cambios en el uso del suelo son procesos que acompañan a la humanidad desde sus orígenes, impulsados principalmente por la necesidad de aprovechar los recursos naturales y aumentar la productividad (López & Méndez, 2021). Actualmente, estos cambios están estrechamente vinculados con el crecimiento urbano, la deforestación y las actividades agrícolas intensivas, generando impactos ambientales y sociales significativos (Pérez et al., 2022).

El conocimiento del uso actual del suelo constituye una base esencial para la planificación territorial sostenible, ya que el suelo experimenta transformaciones constantes debido a la acción humana y los fenómenos naturales (García et al., 2023). Tradicionalmente, estas evaluaciones se realizaban mediante la interpretación de fotografías aéreas; sin embargo, los avances tecnológicos en teledetección han permitido obtener información más precisa a través de imágenes satelitales, facilitando la elaboración de cartografía digital y el monitoreo de los recursos naturales (Ramos & Torres, 2022).

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han consolidado como herramientas fundamentales para la gestión y análisis del territorio. Estos sistemas integran hardware, software y metodologías que permiten capturar, almacenar y representar información georreferenciada, facilitando la toma de decisiones en el manejo del suelo y los recursos naturales (Martínez & Flores, 2021). Gracias a los SIG, es posible analizar la relación entre las actividades humanas y las

condiciones ambientales, generando datos esenciales para la planificación urbana y la conservación (Cruz & Vera, 2023).

En los últimos años, la cartografía digital de suelos ha cobrado gran relevancia al incorporar información de sensores remotos y modelos digitales de elevación. Este enfoque ha permitido mejorar la comprensión de las propiedades del suelo, su distribución y su relación con el relieve, contribuyendo a un uso más sostenible del territorio (Castro et al., 2020).

El estudio del uso del suelo resulta vital, ya que este sustenta la producción de alimentos, regula los ciclos del agua y del carbono, y sirve de hábitat para una gran diversidad de organismos. Un manejo inadecuado puede provocar degradación, pérdida de fertilidad y reducción de la biodiversidad (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE, 2023). Por ello, comprender las propiedades físico-químicas del suelo —como textura, estructura, pH, contenido de materia orgánica y capacidad de retención de nutrientes— es fundamental para evaluar su salud y su capacidad de sostener la vida vegetal (Salazar & Jiménez, 2022).

El uso de herramientas como los SIG, la cartografía social y las imágenes satelitales permite analizar integralmente las dinámicas del territorio, combinando aspectos ambientales, económicos y sociales. Estas tecnologías facilitan la elaboración de diagnósticos más precisos y estrategias de manejo sostenible (Ramírez et al., 2024).

Finalmente, los estudios sobre el uso del suelo implican una metodología que combina trabajo de campo, análisis de laboratorio y procesamiento digital, con el objetivo de determinar su aptitud, promover prácticas de conservación y garantizar la sostenibilidad ambiental (Díaz & Cabrera, 2023). Los resultados obtenidos orientan la toma de decisiones sobre la fertilización, la rotación de cultivos y la gestión del territorio, contribuyendo a mantener la productividad agrícola y mitigar los efectos del cambio climático (Aguilar & Gómez, 2025).

CAPÍTULO I

1 CONTEXTUALIZACIÓN DEL USO DEL SUELO Y SUS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Los suelos del mundo se están deteriorando rápidamente debido a la erosión, el agotamiento de los nutrientes, la pérdida de carbono orgánico, el sellado del suelo y otras amenazas. Esta tendencia puede revertirse si los países toman la iniciativa en la promoción de prácticas de manejo sostenible y el uso de tecnologías apropiadas. Actualmente, la degradación del suelo afecta a 1.66 mil millones de hectáreas en todo el mundo, lo que representa aproximadamente el 60% de los recursos edáficos del planeta. La erosión del suelo, responsable del 85% de esa degradación, es el factor que más contribuye a ella (FAO, 2025).

El suelo es el recurso natural más importante y quizás el menos estudiado en Ecuador. Ha sido y continuará siendo afectado por numerosos procesos erosivos. En la actualidad, aproximadamente el 50% del territorio está afectado por este temible flagelo y cerca del 36% adicional está bajo potenciales procesos de degradación. Específicamente en las provincias de la Sierra, se viene observando cómo el recurso suelo y agua se utiliza inadecuadamente, lo cual hace necesario que en el país se vayan dando pasos definitivos que tiendan a establecer sistemas de conservación y riego, que permitan aprovechar eficientemente estos recursos y reducir el riesgo de erosión (Sánchez et al., 2024).

Son numerosos los sistemas agrícolas del Ecuador en que el valor de la producción no excede el valor de los recursos naturales consumidos o

su costo de reposición. Es probable que muchos de los ecosistemas agrícolas de la Sierra estén justamente en esa condición, toda vez que no internalizan los costos de sus efectos en términos de erosión. No obstante, la erosión ocasionada como resultado de la expresión cultural del deterioro no es igual en todo el país, lo que significa que aún se pueden encontrar muchas áreas que funcionen como comunidades paradigma de la cultura andina (Barrera et al., 2021).

En muchos lugares del Ecuador, la frontera agrícola se ha extendido hacia tierras clasificadas como frágiles, lo que ha generado erosión, así como desequilibrios en los regímenes hídricos, provocando movilización de sedimentos hacia zonas bajas y, por ende, el deterioro general en la calidad ambiental, lo cual está considerado como uno de los índices para medir el avance de la desertificación (Pacheco, 2019).

En la provincia de Bolívar, el 92% de la superficie corresponde a los suelos de ladera, de los cuales el 45% se encuentran sufriendo procesos de erosión crítica, debido principalmente al uso inadecuado de las prácticas agropecuarias asociadas a las condiciones climáticas y edáficas de la zona. La forma más grave de la degradación de estos suelos es la provocada por la erosión hídrica, que depende de la cantidad, intensidad, duración, diámetro de la gota de agua, velocidad y energía cinética de las gotas de lluvia, nivel de pendiente, cobertura del suelo y deficientes prácticas de conservación por parte de los pobladores (Sánchez et al., 2024).

En el Ecuador y la provincia Bolívar, la erosión no es una entidad, sino un fenómeno concreto, cambiante en sus modalidades y efectos. De ahí

se desprende la necesidad de precisar los factores que hacen referencia a los hechos de la erosión, con el fin de estimar los principales mecanismos erosivos y sus principales modalidades, expresadas en las características físico-químicas de las extensas áreas de los suelos noroccidentales de la provincia Bolívar.

Las investigaciones desarrolladas por docentes y estudiantes de la Carrera Agronomía evidencian evaluaciones de la influencia de la erosión en la modificación de las propiedades físico-químicas de los suelos en la zona agroecológica noroccidental de la provincia de Bolívar, así como la identificación de los principales procesos erosivos, la descripción de los agroecosistemas en estudio, con el fin de conocer su estructura, funcionamiento y manejo y la evaluación de la calidad del suelo en función de las propiedades físico-químicas.

Sin embargo, es importante manifestar que la falta de información sobre el uso del suelo y la precipitada expansión de la frontera agrícola sin ningún tipo de control en las comunidades Culebrillas, El Corazón y Los Casaiches, es una de las principales amenazas del ecosistema (deforestación agresiva y el avance agrícola hacia los páramos), a la vez no contar con datos que permita una planificación territorial en la cual se puede visualizar de manera digital y objetiva la distribución de las diferentes áreas productivas y de conservación.

El uso del suelo es dependiente a la ordenación territorial establecidas en programas de desarrollo territorial, pero éstos no son renovados periódicamente, por lo que su estudio se encuentra desactualizado,

obstaculizando la planificación territorial, la distribución del suelo y el manejo de los recursos naturales.

Entonces el estudio de la caracterización del uso del suelo es muy importante como respuesta a la sociedad, con información geográfica, espacial y temática, ofreciendo un conjunto de mapas individuales, digitales, cuya publicación y difusión sirve como fuente de información y conocimiento y como aporte al desarrollo social, ambiental, académico e insumo de nuevas investigaciones.

El renglón más importante de la realidad socioeconómica de la provincia Bolívar es la agricultura, de cuya explotación vive aproximadamente el 90% de la población; por lo cual la erosión de los suelos se transforma en uno de los problemas ambientales más críticos de las zonas agroecológicas, pudiendo deberse a varios factores como: el minifundio, el nivel de pendiente, la dependencia total de insumos externos, el cambio de cultivos asociados a monocultivos, deficientes prácticas de conservación de suelos, entre otros. Hasta la actualidad no se tiene la información exacta de la gravedad del fenómeno de la erosión en los suelos de la zona noroccidental de la provincia Bolívar, habiendo localidades con erosión muy activa en las que se ha reducido significativamente la capacidad productiva, provocando el gradual afloramiento de un material inerte de origen volcánico denominado cangagua.

La erosión del suelo en estas localidades representa un proceso que conlleva la pérdida de material edáfico por la acción del agua de lluvia, pues en estos sectores predomina la erosión hídrica y/o la erosión eólica;

las cuales se caracterizan por arrastrar parte de los minerales que se encuentran en las capas superficiales de los suelos de unos puntos a otros, impidiendo que el suelo erosionado no se recupere de nuevo y por ende las actividades culturales que se desarrollan provocan cultivos de baja calidad y pérdida de la fertilidad del suelo.

La investigación estuvo orientada a dar una visión general de esta problemática, a través del análisis de las principales características que involucran la erosión del suelo, tomando como referencia las zonas agroecológicas noroccidentales de la provincia Bolívar, estableciendo los problemas más comunes con relación al suelo y al medio ambiente, así como la actividad de los pobladores de las localidades. La creación de conciencia y responsabilidad acerca del deterioro del recurso suelo por la erosión y su efecto negativo sobre la producción agrícola, así como la repercusión en la economía de la zona. Esta información favoreció la identificación y puesta en práctica de estrategias efectivas de conservación de suelos y rehabilitación de tierras, considerando soluciones que impliquen una recuperación efectiva.

1.1 Uso del suelo

El uso del suelo se refiere a la ocupación de una superficie determinada en función de su capacidad agrológica y, por tanto, de su potencial de desarrollo. Se clasifica de acuerdo con su ubicación como urbano o rural y representa un elemento fundamental para el desarrollo de la ciudad y sus habitantes, ya que es a partir de estos que se conforma su estructura urbana y, por tanto, se define su funcionalidad (González & Herrera, 2022).

1.1.1 El uso actual de los suelos

Los mapas de cobertura y uso de suelo son la mejor expresión de la actividad del ser humano, así como de las condiciones naturales, reales y potenciales de un espacio geográfico. La cantidad y detalle de información representada en este tipo de mapas es directamente proporcional a la escala cartográfica utilizada y al propósito de este. Por ejemplo, grandes formaciones vegetales homogéneas en grandes extensiones de terreno podrán representarse en escalas pequeñas, mientras que comunidades de plantas o áreas con especies vegetales, ubicadas en áreas pequeñas, probablemente tendrán que implementarse en mapas de escala grande.

El mapa de cobertura vegetal y uso de suelo tiene como fin representar la distribución del área de los diferentes tipos de vegetación o de uso, entre cuyas unidades existen límites; lo anterior representa un problema técnico, dado que estos generalmente son transicionales (Molina & Torres, 2020).

1.1.2 Suelo rural

El área rural es la comprendida entre los perímetros de la zona urbana y los límites geográficos que constituyen esta categoría. Incluye los terrenos no aptos para el uso urbano, ya sea por razones de oportunidad o por su destinación a usos agrícolas, ganaderos, forestales, de explotación de recursos naturales y actividades análogas (INEC, 2021).

1.1.3 Cobertura vegetal

La cobertura vegetal puede definirse como la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprendiendo una amplia gama de biomásas con diferentes características fisonómicas y ambientales, que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales. También se incluyen las coberturas vegetales inducidas, que son el resultado de la acción humana, como las áreas de cultivos (Pacheco & Zambrano, 2022).

1.1.4 Características físico-químicas del suelo

Se discute e informa sobre las características físicas y químicas de los suelos. Se definen los siguientes términos relacionados con las características físicas de los suelos: perfil del suelo, textura, estructura (granular, en placas, en bloques, prismática), color, permeabilidad, densidad, porosidad total, consistencia y capacidad de retención de agua.

Se afirma que las propiedades químicas modifican las propiedades físicas del suelo y que la naturaleza química del suelo controla la disponibilidad de nutrientes para el crecimiento de las plantas. Se definen los siguientes términos: anión, catión, adsorción, intercambio de cationes, capacidad de intercambio de cationes, peso equivalente, suelo dispersado y floculación.

Se incluye información sobre la arcilla, fracción mineral del suelo menor de 0,002 mm de diámetro. La materia orgánica del suelo, resultante de la acumulación de residuos de plantas y animales, es una fuente de

nutrientes e influye sobre algunas propiedades del suelo. Se define el término bases intercambiables como la suma de los cationes Ca, Mg, K y Na que posee un suelo en forma intercambiable. La relación entre la cantidad de iones H y de iones hidróxidos se conoce como acidez relativa. El pH del suelo es una medida de la acidez activa del suelo y se define como el logaritmo del recíproco de la concentración de iones H (González & Morales, 2021).

1.2 Propiedades físicas del suelo y el crecimiento de las plantas

El suelo es un recurso natural no renovable compuesto por sustancias sólidas (materia orgánica, organismos y minerales), agua y aire. La proporción de estos componentes le confiere propiedades físicas, químicas y biológicas propias. La productividad de un suelo no solo depende de los contenidos de nutrientes, sino también de las características físicas del mismo, ya que el desarrollo de la parte aérea de las plantas está directamente relacionado con el desarrollo radical. El crecimiento de las raíces está fuertemente influido por el balance entre humedad y aireación del suelo. Por lo tanto, antes de iniciar cualquier actividad agrícola o instalar una huerta, es fundamental conocer las propiedades físicas del suelo (Pacheco & Martínez, 2022).

1.2.1 Propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas se refieren a las características del suelo que afectan el movimiento del agua, el aire y el calor. Se centran en los componentes minerales, la materia orgánica, el agua y el aire.

- **Textura:** Descompone la proporción relativa de arena, limo y arcilla. El tamaño de estas partículas define la textura y otras propiedades físicas clave del suelo (González & Morales, 2021).
- **Estructura:** Es la forma en que las partículas primarias (arena, limo y arcilla) se agrupan en agregados secundarios. La estructura puede ser floculada, agregada o dispersa, lo que afecta la porosidad y la circulación del agua (Pacheco & Zambrano, 2022).
- **Porosidad:** Es el espacio poroso del suelo, determinado por la textura y la estructura. La porosidad es crucial para los procesos biológicos y la circulación de agua y aire en el suelo (González & Morales, 2021).
- **Densidad aparente:** Relación entre la masa de suelo seco y su volumen total, incluyendo los poros. La reducción de la materia orgánica puede aumentar la densidad aparente, lo que afecta negativamente la estructura y la capacidad de retención de agua (Pacheco & Martínez, 2022).
- **Consistencia:** Describe la resistencia del suelo a ser deformado o roto, así como su plasticidad (González & Morales, 2021).
- **Color:** Aunque a menudo se considera una propiedad secundaria, el color puede ser un indicador de otras propiedades del suelo. Un color oscuro sugiere la presencia de materia orgánica, mientras que un color rojizo puede indicar óxidos de hierro (Pacheco & Zambrano, 2022).

1.2.2 Propiedades químicas del suelo

Las propiedades químicas determinan la composición química del suelo y su capacidad para retener y suministrar nutrientes a las plantas y microorganismos.

- **pH del suelo:** Mide la acidez o alcalinidad del suelo, un factor crucial que afecta la disponibilidad de nutrientes para las plantas. La química del suelo está en constante cambio, aunque puede ser modificada a través de diversas prácticas.
- **Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC):** La capacidad del suelo para retener e intercambiar cationes (iones con carga positiva). La FAO considera la CIC como una propiedad química clave.
- **Materia orgánica:** Compuesta por restos de plantas y animales en descomposición, es un almacén de nutrientes y mejora las propiedades físicas del suelo. El cultivo del suelo puede acelerar la descomposición de la materia orgánica, afectando muchas de sus funciones.
- **Contenido de nutrientes:** La disponibilidad de nutrientes esenciales como el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), así como micronutrientes, es vital para el crecimiento de las plantas. La salud y fertilidad del suelo dependen de estos componentes químicos.
- **Salinidad:** El contenido de sales solubles en el suelo. Un exceso de sales puede perjudicar el crecimiento de las plantas. La conductividad eléctrica (CE) se utiliza para evaluar el nivel de salinidad.

- **Potencial redox (Eh o pe):** El potencial de oxidación-reducción del suelo, que indica si el suelo está en un estado oxidado o reducido. Este potencial influye en la movilidad de ciertos elementos en el suelo.

La fertilidad de los suelos depende de un conjunto de interacciones con otros factores, necesarias para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Por lo tanto, los análisis fisicoquímicos del suelo son indispensables para conocer su estado físico y nutrimental antes de iniciar la siembra de cualquier cultivo. Esto permite determinar la adición de enmiendas orgánicas o correctores, así como los nutrientes que se encuentren en cantidades insuficientes para el óptimo desarrollo del cultivo. Asimismo, se recomienda el análisis de agua para detectar problemas potenciales de salinidad, sodicidad o elementos tóxicos (FAO, 2023).

CAPÍTULO II

2 CARACTERIZACIÓN DE HERRAMIENTAS FUNDAMENTALES PARA EL ANÁLISIS DE TERRITORIO

Desde una perspectiva investigativa, la caracterización es una fase descriptiva con fines de identificación, entre otros aspectos, de los componentes, acontecimientos (cronología e hitos), actores, procesos y contexto de una experiencia, un hecho o un proceso (González & Pérez, 2021).

La caracterización es un tipo de descripción cualitativa que puede recurrir a datos cuantitativos o cualitativos con el fin de profundizar el conocimiento sobre un fenómeno. Para cualificar dicho fenómeno, previamente se deben identificar y organizar los datos; a partir de ellos, describir (caracterizar) de forma estructurada y, posteriormente, establecer su significado mediante sistematización crítica (López et al., 2022).

En síntesis, caracterizar consiste en identificar u organizar datos de manera cualitativa y cuantitativa para establecer información de forma estructurada. Esto se logra a partir de un trabajo de investigación profundo y se realiza desde el punto de vista del investigador. Los pasos planteados para una caracterización, de acuerdo con investigaciones recientes, son:

- Determinar los objetivos de la caracterización y los límites del área por caracterizar

- Recolectar datos físicos, biológicos y socioeconómicos.
- Recopilar datos sobre las características de los sistemas existentes.
- Distinguir los problemas, necesidades y oportunidades existentes en el área (Ramírez & Torres, 2020).

2.1 Georreferenciación

La georreferenciación se define como la aplicación tecno-científica para ubicar la existencia de elementos en un espacio físico, estableciendo relaciones entre imágenes raster o vectoriales sobre una proyección geográfica o sistema de coordenadas. La georreferenciación se emplea en diversas aplicaciones, apoyándose en sistemas como el GPS (Sistema de Posicionamiento Global), lo que permite obtener información de geolocalización. Para su correcta utilización, el término implica el análisis y estudio de mapas (cartografía), lo que a su vez proporciona una variedad de aplicaciones en planificación territorial, monitoreo ambiental y gestión de recursos (Vargas & Paredes, 2021).

2.2 Sensores remotos

Las imágenes satelitales son herramientas útiles para realizar, a pequeña escala, un mapeo preliminar de susceptibilidad a fenómenos naturales o para identificar grandes movimientos en masa. No obstante, en muchos estudios, las fotografías aéreas continúan siendo una fuente principal de información para el análisis del territorio (Mendoza & Pacheco, 2022).

2.3 Sistema global de localización (global positioning system GPS)

El GPS es un conjunto o constelación de satélites que, mediante métodos de triangulación, permite obtener las tres coordenadas espaciales de un punto específico sobre la superficie terrestre. Su uso es fundamental en georreferenciación, cartografía digital, monitoreo ambiental y planificación territorial (Vargas & Paredes, 2021).

2.4 Sistema de coordenadas geográficas

Las coordenadas geográficas indican la posición de un punto en la superficie terrestre tomando como referencias la latitud y la longitud. Ecuador divide la Tierra en dos hemisferios: norte y sur. Los círculos menores paralelos al ecuador se denominan paralelos; entre ellos destacan el Trópico de Cáncer, el Trópico de Capricornio, el Círculo Polar Ártico y el Círculo Polar Antártico. Los círculos máximos que pasan por los polos se llaman meridianos. De especial interés son el meridiano local, que pasa por el punto donde se encuentra el observador, y el meridiano de Greenwich, tomado como referencia para medir longitudes (Gómez & Herrera, 2022).

El sitio del movimiento en masa debe indicarse mediante coordenadas precisas, por ejemplo: corona, cabeza y pie. Las coordenadas deben expresarse en grados, minutos y segundos ($^{\circ}$, $'$, $''$) e indicar el tipo de proyección geográfica utilizada. En ciertos países donde se emplean coordenadas planas con orígenes arbitrarios, se permite el uso de coordenadas norte y este, especificando claramente el origen utilizado (Ramírez & Torres, 2020).

2.5 Sistema de información geográfica (SIG)

En la historia y el desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), varios autores e investigadores han hecho contribuciones fundamentales. El más destacado de ellos, y considerado el "padre del SIG", es Roger Tomlinson.

Los sistemas informáticos geográficos (SIG) están diseñados para la gestión, análisis y representación cartográfica de información espacial referenciada, siendo herramientas fundamentales en planificación territorial, monitoreo ambiental y estudios geográficos (Vargas & Paredes, 2021).

- **Gestión de información espacial:** Permite extraer, manipular y actualizar la información de bases de datos y reorganizar los elementos integrados en ella, facilitando la administración eficiente de datos geoespaciales (Mendoza & Pacheco, 2022).
- **Funciones analíticas:** Constituyen el elemento más característico de un SIG. El procesamiento de datos integrados, la simulación y la modelización proporcionan nueva información que facilita la toma de decisiones en planificación territorial y gestión ambiental (Mendoza & Pacheco, 2022).

2.6 Ingreso de datos

El ingreso de datos se refiere a todas las operaciones mediante las cuales los datos espaciales provenientes de mapas, sensores remotos y otras fuentes son convertidos a un formato digital. En un SIG se deben ingresar principalmente dos tipos de datos: referencias geográficas y

atributos. Las referencias geográficas corresponden a las coordenadas (latitud y longitud) que fijan la ubicación de la información, mientras que los datos de atributos asignan un código numérico a cada conjunto de coordenadas y variable, ya sea para representar valores continuos (como precipitación) o para indicar tipos de datos categóricos (como uso del suelo o tipo de vegetación) (Mendoza & Pacheco, 2022).

2.7 Producción de datos

La producción de datos se refiere a la presentación de información utilizando formatos comúnmente empleados, como mapas, gráficos, informes, tablas y cartas. Este proceso es fundamental para la interpretación y comunicación de resultados en estudios territoriales y ambientales (Vargas & Paredes, 2021).

2.8 La Cartografía

Se ha mantenido, desde el desarrollo inicial de las Ciencias de la Tierra, como una herramienta básica en la investigación y en la exploración geológica. La Cartografía es como el arte, ciencia y técnica de hacer mapas y el estudio de éstos como documentos científicos y obras de arte. Con el fin de crear un mapa es necesario poseer un cierto sentido artístico para balancear la información representada, situar adecuadamente los rótulos, utilizar los colores, dibujar las líneas. Para el cartógrafo-artista la presentación del mapa es lo esencial. (Hansen, F. 2012) La cartografía ha sido, desde el desarrollo inicial de las Ciencias de la Tierra, una herramienta básica en la investigación y exploración geológica. Su importancia radica en representar gráficamente la distribución espacial y las relaciones temporales de los cuerpos de roca

y estructuras geológicas, permitiendo abordar problemas en diversas áreas del desarrollo urbano y territorial (Gómez & Herrera, 2022).

Además, la cartografía combina arte, ciencia y técnica en la elaboración de mapas y en el estudio de éstos como documentos científicos y obras de arte. La creación de un mapa requiere un sentido artístico para equilibrar la información representada, ubicar correctamente los rótulos, utilizar colores adecuados y dibujar las líneas de manera clara, haciendo de la presentación visual un elemento esencial (López et al., 2022).

En el proceso cartográfico se distinguen tres fases bien definidas (Gómez & Herrera, 2022):

- **Concepción**, constituida por el estudio teórico de las leyes, principios y sistemas de representación; también se llama cartografía matemática.
- **Producción**, constituida por la selección de datos, escala y materialización de sistemas de proyección, incluye la cartografía automática numérica y la cartografía informatizada; está íntimamente relacionada con la geodesia que le proporciona la red de apoyo, fundamental para su precisión, y con la topografía y fotogrametría que le facilitan la obtención de datos sobre el terreno.
- **Utilización**, que no es otra cosa que la forma de facilitar la comunicación y uso de la información contenida en una carta o mapa y que conecta con todas aquellas actividades científicas o de otro tipo que en algún momento han de servirse de representaciones de la superficie terrestre.

2.9 Mapas

Los mapas son documentos que representan información gráfica relativa a toda o parte de una superficie real o conceptual, conteniendo información seleccionada, generalizada y simbolizada sobre la distribución espacial de un área, generalmente la superficie terrestre. La información se presenta a escalas relativamente reducidas y con referencia a un sistema de coordenadas universal. Los mapas constituyen los productos cartográficos por excelencia (Gómez & Herrera, 2022).

2.9.1 Mapeo participativo de recursos y de usos del suelo

- Conoce la perspectiva local sobre sus espacios de concentración de población, agrícola y forestal, sean estos comunitarios o individuales.
- Identifica espacios y técnicas de cultivo.
- Obtiene información general sobre tenencia de la tierra.
- Determina las percepciones que los habitantes tienen sobre el espacio en el que habitan.

2.9.2 Mapas temáticos

Se define como aquel que, sobre una base cartográfica simplificada, representa fenómenos geográficos, tantos cualitativos como cuantitativos. Un mapa temático es en buena medida el final del proceso investigador. De esta forma el mapa será la suma de las fuentes y de la propia aportación o interpretación personal del investigador (Domínguez, J. 2000).

2.10 Escala

Todo mapa tiene necesariamente una escala, definida en la etapa de diseño. La escala permite representar áreas extensas en un documento de dimensiones manejables, y se entiende como la relación lineal entre las dimensiones del mapa y las dimensiones reales en el terreno, o bien, como la relación entre una medida de distancia en el mapa y la correspondiente medida en el terreno (Gómez & Herrera, 2022).

2.11 Fracción representativa

Es una expresión numérica dada en forma de fracción como $1/50,000$, ó de relación como $1:50,000$, en la que el numerador representa una unidad de medida en el mapa y el denominador indica el correspondiente número de unidades de medida en el terreno. Las unidades empleadas pueden ser cualesquiera, pero uniformes, tanto para el numerador como para el denominador; es decir, si la escala es de $1:50,000$:

- cm en el mapa equivale a 50,000 cm en el terreno.
- mm en el mapa equivale a 50,000 mm en el terreno.
- 1 pulgada en el mapa equivale a 50,000 pulgadas en el terreno (Gómez & Herrera, 2022).

2.12 Proyección

Es la representación de la superficie terrestre sobre una superficie plana de acuerdo con ciertas reglas de perspectiva. El concepto así definido es puramente geométrico; sin embargo, la mayoría de las proyecciones son una modificación matemática del caneavá que se hubiera obtenido por la

sola aplicación de las reglas de perspectiva, lo que se ha hecho para satisfacer en cierta medida determinados requisitos.

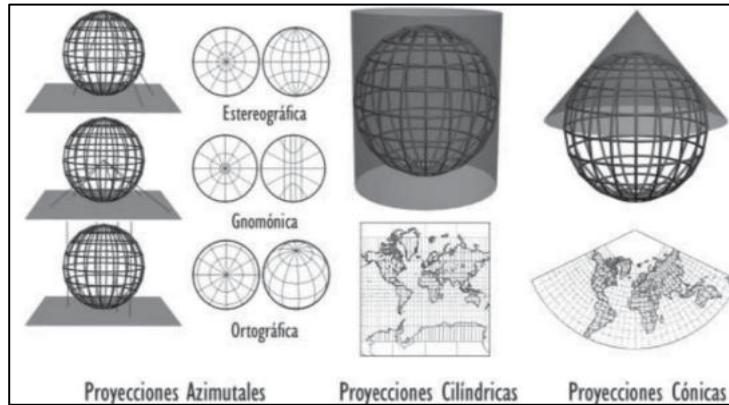


Figura 1. Tipos de proyecciones (Fernández, C. et al. 2012).

2.12.1 Tipos de proyecciones

- **Cilíndricas.** En este tipo de proyección que los círculos máximos pueden trazarse como líneas rectas, por lo que es de mucha ayuda a la navegación.
- **Cónicas.** Se pueden desarrollar proyecciones cónicas con ciertas propiedades, la más común de las cuales es el ortomorfismo.
- **Acimutantes.** Las proyecciones acimutales son aquellas en las que el plano de proyección es tangente a uno de los polos terrestres. Según la posición del centro de proyección, se distinguen las proyecciones polares: gnomónica, estereográfica y ortográfica (Gómez & Herrera, 2022).

2.13 Análisis del terreno

En estudios de susceptibilidad a movimientos en masa, resulta fundamental realizar un análisis detallado del terreno a escalas de 1:25,000 o mayores. Este análisis se basa en la interpretación de fotografías aéreas, complementada con trabajo de campo detallado. Los resultados se representan en mapas georreferenciados que muestran las unidades del terreno clasificadas según génesis, morfología, tipos de materiales y procesos geomorfológicos característicos, activos o latentes. En algunos casos se incorpora la pendiente de la ladera como clase de forma del terreno, aunque lo más habitual es producir un mapa de pendientes por separado (Ramírez & Torres, 2020).

2.13.1 Trabajo preliminar en el terreno

El trabajo de campo debe orientarse de manera que facilite la elaboración de mapas del terreno y el inventario de movimientos en masa, así como la planificación de trabajos de campo posteriores. La fotointerpretación resulta una herramienta útil para estos fines. El método recomendado combina la fotointerpretación con la verificación directa en el terreno, asegurando la precisión de los datos recolectados (Mendoza & Pacheco, 2022).

2.13.2 Análisis del terreno y cartografía preliminar

Es fundamental establecer el marco geomorfológico de cada lugar, identificando las características y el origen de las geoformas, los tipos de materiales esperados y los procesos geomorfológicos presentes o potenciales. La escala del análisis depende de la escala del proyecto,

pero los mapas del terreno no deben elaborarse a escalas menores de 1:25,000. La cartografía se basa principalmente en mapas existentes y fotografías aéreas, los cuales deben ser verificados y actualizados mediante trabajo preliminar en terreno (Ramírez & Torres, 2020).

2.14 Teledetección

La teledetección, equivalente al término inglés *remote sensing*, se refiere a cualquier método de adquisición de información a distancia sobre objetos, zonas o fenómenos, sin necesidad de contacto físico. Este concepto abarca no solo la obtención de imágenes, sino también su procesamiento y análisis en el contexto de aplicaciones específicas, como monitoreo ambiental, planificación territorial y gestión de recursos naturales (Mendoza & Pacheco, 2022).

2.14.1 Teledetección como fuente de información

La teledetección, también denominada teleobservación espacial o percepción remota, es una técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre a partir de sensores instalados en plataformas espaciales. Tanto las fotografías aéreas tradicionales como las modernas imágenes satelitales permiten monitorear el ambiente, la distribución de los recursos naturales, la variación espaciotemporal del uso del suelo, así como la evolución de fenómenos como inundaciones, sequías e incendios, reduciendo la necesidad de trabajo de campo y proporcionando acceso a datos que muchas veces serían difíciles de obtener de otra manera (Mendoza & Pacheco, 2022).

2.15 Modelo digital de las elevaciones

Un modelo digital de elevación (MDE) es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno, siendo una herramienta fundamental para análisis geomorfológicos, planificación territorial y estudios de riesgos naturales (Ramírez & Torres, 2020).

2.15.1 Modelo digital del terreno (mdt)

Un modelo digital del terreno (MDT) es un conjunto estructurado de datos que define la distribución espacial de la altitud de la superficie terrestre. También se le denomina modelo digital de elevaciones (MDE). La unidad básica del MDT es un punto con valor de altitud z y coordenadas x, y . Su finalidad es representar el relieve mediante modelos vectoriales o raster. La utilización de MDT en cartografía temática ha permitido ofrecer al usuario final una mejor visualización y comprensión del relieve, optimizando la calidad de los productos cartográficos y los procesos de producción del Instituto Geográfico Militar (Ramírez & Torres, 2020).

2.16 Zonificación

La zonificación es un proceso participativo que se realiza entre los miembros de la comunidad y el personal técnico de instituciones de conservación y desarrollo, con el fin de definir zonas de manejo y conservación según características ambientales y sociales. Tanto mujeres como hombres, de acuerdo con sus intereses y la relación que mantienen con los recursos naturales, determinan áreas destinadas a

pastoreo, agricultura, recolección de leña, vertientes, quebradas, bosques, sitios de interés turístico y el centro poblado. La zonificación busca ordenar el uso de los recursos de manera sostenible, promoviendo el compromiso de toda la comunidad y fomentando alternativas de manejo a las prácticas actuales (Paredes & Vargas, 2021).

2.17 Ordenamiento territorial

El ordenamiento territorial es un proceso que involucra directamente a los grupos sociales, dado que es en el territorio donde se desarrollan sus actividades cotidianas. Este proceso busca construir un orden deseado basado en la participación de los grupos sociales, considerando sus problemáticas, características culturales y sociales, así como su identidad como etnia o grupo comunitario (Paredes & Vargas, 2021).

2.18 Plan de Ordenamiento Territorial

El principal instrumento del ordenamiento territorial (OT) es el **Plan de Ordenamiento Territorial**, un documento que presenta tanto el diagnóstico de la situación actual del territorio como las recomendaciones para el uso óptimo de los espacios y la normativa legal correspondiente. Dado que el análisis territorial es una acción fundamentalmente geográfica, se prioriza la cartografía como medio de presentación de la información y se fomenta la integración de información cartográfica como método de trabajo (Paredes & Vargas, 2021).

2.18.1 Uso de SIG en el ordenamiento territorial (OT)

El uso e SIG en el OT tiene la siguiente finalidad:

- Recopilar, seleccionar, organizar y presentar la información básica del área de estudio, relevante para lograr el modelo territorial actual y para la Evaluación Multicriterio (EMC).
- Aplicar y desarrollar modelos instrumentales para la generación, análisis y/o transformación de información.
- Plantear la situación territorial actual y los modelos propuestos para el territorio en estudio en un sistema organizado e interactivo, con posibilidades de recuperación de la información en nuevas aplicaciones y capas temáticas.

La implementación del SIG en el OT es un proceso continuo, que se actualiza y retroalimenta permanentemente, generando capas temáticas de interés y facilitando la presentación de mapas e información que se integran en planes y esquemas territoriales. Las herramientas empleadas incluyen la creación de bases de datos, digitalización y georreferenciación, procesamiento de imágenes satelitales, operaciones matemáticas y análisis estadístico espacial (Paredes & Vargas, 2021).

2.18.2 Clasificación de pendientes

La clasificación de pendientes del presente estudio se basa en las recomendaciones del Soil Survey Staff (1951) del estado de Kansas de los EE. UU, que establece seis clases que dependen de la asignación de actividades a desarrollar y del impacto de estas sobre el territorio. Dentro de estas clases de uso agropecuario se intenta dar más información sobre el grado de pendiente y su concepto de pendiente simple (en una dirección) o compleja (en varias direcciones). A continuación, se

presenta en la Tabla 1, una caracterización de éstas con sus respectivas recomendaciones de manejo.

Tabla 1. Clasificación de pendientes según Lugo.

Clase	Pendientes medias %	Relieve
A	0 – 3	Plano
B	3 – 12	Ligeramente Inclinado
C	12 – 30	Acolinado
D	30 – 45	Montañoso
E	Mayor de 45	Escarpado

Fuente: Soil Suervey Staff 1951.

CAPÍTULO III

3 PROCESOS EROSIVOS DEL SUELO Y CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.1 El suelo

El suelo es un componente fundamental del ambiente natural, finito, constituido por minerales, aire, agua, materia orgánica, macro y microorganismos que desempeñan procesos permanentes de tipo biótico y abiótico, cumpliendo funciones y prestando servicios ecosistémicos vitales para la sociedad y el planeta (MADS, 2020).

Además, el suelo se encuentra en la superficie de la tierra, ocupa un espacio y se caracteriza por uno o varios horizontes o capas que se distinguen del material inicial como resultado de adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de energía y materia, o por su habilidad de soportar plantas enraizadas en un ambiente natural (USDA, 2021).

Los suelos son indispensables para la estructura y el funcionamiento de los ciclos del agua, del aire y de los nutrientes, así como para la conservación de la biodiversidad, ya que participan en los ciclos biogeoquímicos mediante la distribución, transporte, almacenamiento y transformación de materiales y energía (Van Miegrot y Johnsson, 2021).

Asimismo, los suelos sostienen la vida, las actividades humanas y garantizan los derechos ambientales de las generaciones presentes y futuras. Aunque el suelo se considera renovable a largo plazo, su formación requiere cientos o miles de años, mientras que su pérdida

puede ocurrir en periodos muy cortos por factores como la erosión o la quema (FAO, 2021).

3.2 Erosión

La erosión del suelo se define como la pérdida físico-mecánica del suelo, afectando sus funciones y servicios ecosistémicos y reduciendo su capacidad productiva (Lal, 2020).

Aunque es un proceso natural, la erosión se clasifica como degradación cuando las actividades humanas la aceleran e intensifican. Según IDEAM y UDCA (2021), la degradación del suelo por erosión se define como: “la pérdida de la capa superficial de la corteza terrestre por acción del agua y/o del viento mediada por el hombre, con consecuencias ambientales, sociales, económicas y culturales”.

La desertificación surge del desequilibrio entre la demanda de servicios de los ecosistemas por parte del hombre y la capacidad de los ecosistemas para proporcionarlos. En tierras secas, esta presión afecta el suministro de alimentos, forraje, combustible, materiales de construcción y agua (PNUMA, 2020).

Las actividades humanas, principalmente agrícolas e industriales, impactan los suelos, provocando degradación y pérdida de funciones. Para prevenir la degradación y rehabilitar su potencial, es necesario contar con datos edáficos confiables y diseñar prácticas de manejo del suelo apropiadas (FAO, 2020).

3.3 Tipos de erosión

Existen diversos tipos de erosión, cada uno con características y agentes específicos que determinan su intensidad y forma, comprenderlos es fundamental para planificar la conservación y el manejo del del suelo.

3.3.1 Erosión hídrica

La erosión hídrica es causada por el agua (lluvia, ríos, riego) en suelos desnudos, especialmente en zonas de ladera, arrastrando partículas y formando cárcavas o zanjas, e incluso provocando movimientos en masa (IDEAM-UDCA, 2021).

a) *La lluvia, causa primaria de la erosión*

El transporte de partículas requiere energía. En la erosión areal, la energía de las gotas de lluvia destruye agregados del suelo, genera películas poco permeables y escurrimiento superficial (Altieri y Nicholls, 2020).

El agua es el principal agente erosivo, y la energía cinética de la lluvia depende del tamaño y velocidad de las gotas (FAO, 2021).

$$D_{50}=2,23 I^{*0,182}$$

Donde:

D_{50} =Diámetro medio de las gotas que representan al volumen total de la lluvia caída.

I = Intensidad de la lluvia (pulgadas por hora).

La fórmula demuestra que el diámetro medio se incrementa con la intensidad, estimándose que las velocidades finales de caída de las gotas de 1 y 6 mm de diámetro fueron respectivamente 4,0 y 9,3 m/s.

El tamaño de las gotas de lluvia no continúa aumentando con intensidades de precipitación superiores a 76,2 mm/h, la cual precisamente representa el límite determinado por Wischmeier y Smith (1978), para establecer el cálculo de la energía cinética por unidad de precipitación pluvial.

La distribución y fragmentación de gotas dependen de la intensidad de precipitación, con gotas mayores a 4 mm en lluvias de 50–100 mm/h y predominancia de gotas menores a 2,5 mm en lluvias >200 mm/h (FAO, 2021).

La dispersión de partículas aumenta en suelos subhorizontales y con acción del viento (Etter y Sarmiento, 2020).

En el análisis de la lluvia como causa primaria de la erosión de los suelos, deben ser considerados como principales los parámetros pluviométricos siguientes: altura, intensidad, duración y frecuencia de las precipitaciones. La altura de la lluvia, ni su intensidad o frecuencia, consideradas aisladamente pueden explicar el impacto de la lluvia sobre los procesos erosivos.

3.3.2 Erosión eólica

La erosión eólica es más crítica en regiones planas, secas y con vegetación escasa. La fuerza del viento sobre el suelo depende de su velocidad y altura sobre la superficie (Flórez, 2020; FAO, 2020).

La fuerza que ejerce el viento sobre la superficie del suelo depende de la velocidad con qué este sopla, la cual se ha podido comprobar que aumenta proporcionalmente con el logaritmo de la altura del viento sobre la superficie del suelo. Si el terreno es muy liso y está completamente desnudo, la velocidad del viento es nula en la capa comprendida entre 0,03 y 2,5 mm; sobre esta altura las corrientes de aire se ordenan laminarmente y más arriba forman turbulencias.

3.4 Factores que participan en el proceso de erosión

Una vez iniciado el fenómeno de erosión, este puede acelerarse, disminuir o verse frenado completamente en un período de tiempo más o menos largo en dependencia de la influencia conjunta de factores tales como: el régimen climático, constitución geológica, relieve, tipo de suelo, vegetación artificial, actividad socioeconómica y otros, de los cuales depende en gran medida la degradación que experimentan los suelos en la superficie de la tierra por el temible flagelo de la erosión.

3.4.1 El régimen climático

Este factor interviene con cierto número de sus elementos, el hielo convierte el suelo en coherente, pero facilita la arroyada si el suelo está helado durante la fusión de las nieves; la desecación del suelo, ligada a la evaporación, que depende del calor y de la duración de los intervalos

entre las lluvias (entre otros) actúa directamente, facilitando la deflación al disminuir la coherencia del suelo; pero la formación de cortezas de intemperismo endurecidas relacionados con el clima, disminuye la erosión.

3.4.2 El relieve

Resulta un factor determinante en la erosión de los suelos. Si el clima es el factor generador de los procesos erosivos, el relieve es por excelencia el factor que los diferencia. Se sabe que áreas vecinas bajo el mismo régimen climático puede experimentar procesos erosivos de magnitudes muy diferentes condicionados por las peculiaridades geológico-geomorfológicas que los caracterizan. El óptimo para los cultivos es una pendiente suficiente para que las aguas no se encharquen y para que se renueven los derrubios, pero lo suficientemente débil para que la arroyada no actúe con demasiada intensidad. De ello resulta, que, al momento de interpretar el relieve, en relación con las pérdidas de suelo producidas por erosión, deben ser considerados cuatro elementos fundamentales; inclinación o declive, longitud, forma y exposición de la pendiente. De las cuatro características de la pendiente, el declive es usualmente el más importante desde el punto de vista de la severidad de la erosión.

3.4.3 Los suelos

La lluvia que llega al suelo penetra en él, escurre o queda retenida en pequeñas depresiones de la superficie. El impacto de las gotas de lluvia destruye los agregados del suelo y sus partículas, migrando éstas junto con el agua que se infiltra por los espacios porosos, obstruyendo y

sellando la superficie del suelo, formándose una costra superficial. Esta costra a menudo consta de dos partes, una muy delgada (aproximadamente de 0,1 mm) en forma de estrato no poroso y una zona hasta de 5,0 mm de partículas finas lavadas. El suelo de la zona lavada es más denso que el suelo subyacente.

La capacidad de infiltración del suelo se encuentra en dependencia directa con la estructura. Por ello, un suelo con estructura hidro-estable es capaz de resistir incluso, las intensas precipitaciones de las regiones tropicales.

3.4.4 La vegetación

La vegetación es con toda evidencia un factor primordial de la conservación de los suelos. Toda planta, desde la más minúscula hierba hasta el árbol más corpulento, defiende el suelo de la acción perjudicial de las lluvias, aunque naturalmente en forma y proporciones diferentes. La escorrentía y las pérdidas por erosión disminuyen considerablemente cuando los suelos están provistos de una buena cobertura vegetal. Pero ésta aumenta rápidamente en los suelos con menos de 70% de cobertura vegetal.

En regiones semiáridas, donde la cubierta vegetal a menudo se halla por debajo del 20 a 30%, la escorrentía y la erosión están relacionadas en proporción directa con la cantidad de suelo desnudo. La magnitud de suelo erosionado no se relaciona tanto con la escorrentía como con las proporciones reales del suelo desnudo. Esto se debe a que el suelo arrastrado frecuentemente no arriba a los sectores inferiores de las

pendientes, ya que es interceptado por los sistemas radiculares de la vegetación o por las grietas que forman sus raíces.

3.5 Principales procesos erosivos actuantes

Del análisis de las causas y de los factores que provocan la erosión acelerada de los suelos, se deduce que la erosión no es una entidad, sino un fenómeno concreto, esencialmente discontinuo, cambiante en sus modalidades y efectos. De ahí la necesidad de precisar muy bien el vocabulario al hacer referencia a los hechos de la erosión, evitando los términos vagos demasiado generales, que comprenden en su abstracción, hechos distintos. Con tal fin, en esta sección se estimó convenientemente distinguir tres mecanismos y dos modalidades erosivas principales, a las que pueden quedar referidos la totalidad de los fenómenos de erosión que operan en los trópicos y subtrópicos húmedos y en particular en las ya extensas áreas de suelos erosionados del territorio ecuatoriano.

3.5.1 Mecanismos de erosión hídrica

Se manifiesta en la naturaleza creando formas distintas en los terrenos, modificando el perfil del suelo y cambiando igualmente el régimen de las aguas. El fenómeno de erosión del suelo por el agua, según la opinión de la mayor parte de los investigadores se exterioriza bajo dos formas fundamentales, cuyo mecanismo varía:

- En un caso el agua ataca el suelo en su parte superficial y los elementos terrosos arrastrados son separados unos de otros.

- En el otro, el agua ataca el suelo no sólo en la superficie, sino a lo largo de todo el perfil (erosión vertical o lixiviación). En este caso toda la masa del suelo es susceptible de ser arrastrada y no solamente las partículas aisladas.

En el curso de estas dos fases intervienen tres acciones:

- Acción de las precipitaciones atmosféricas.
- Acción del hielo y del deshielo.
- Acción de la escorrentía.

3.5.2 Mecanismo de la erosión eólica

La erosión eólica o erosión causada por el viento, es un fenómeno que ocurre generalmente en regiones planas y de poca lluvia, donde la vegetación natural crece escasamente y ofrece, por lo tanto, muy reducida protección al suelo y en donde, además, soplan brisas o vientos de velocidades considerable. Aunque no se le atribuye generalmente un carácter de gravedad, más que en las regiones áridas y semiáridas, la erosión eólica puede manifestarse también en las regiones húmedas y subhúmedas.

El mecanismo de erosión eólica que obra sobre una partícula en reposo sujeta a la acción del viento, depende estrechamente de tres tipos de presiones:

- Una presión positiva sobre la parte situada frente a la dirección del viento y debida a la presión dinámica del fluido;

- Una presión negativa sobre la parte opuesta a la dirección del viento y debida a las fuerzas de viscosidad; la suma de estas dos presiones constituye el arrastre total, dirigido paralelamente a la dirección media del viento;
- Una presión negativa que actúa sobre la parte superior de la partícula y es debida a la diferencia del viento entre la base (velocidad nula) y la parte superior de la partícula (velocidad creciente) va acompañada de una disminución de la presión estática, su resultante es una fuerza dirigida hacia arriba.

La erosión eólica comienza cuando esta fuerza es igual o superior al peso de las partículas del suelo. La fuerza y el arrastre son función de la velocidad del viento y se comprende que existan para un suelo determinado, una velocidad umbral del viento que inicie la erosión. Esta velocidad es función de la dimensión de las partículas de su densidad y de su cohesión. Se ha demostrado que esta velocidad de umbral o crítica es mínima para las partículas de un diámetro equivalente de alrededor de 0,1 mm y que crece más rápidamente para los diámetros inferiores que para los superiores a este valor. Las partículas de diámetro pequeño ($D_e = 0,1$ mm) en reposo difícilmente son arrastradas directamente por el viento, puesto que presentan entre ellas fuerzas de cohesión importantes y están protegidas por las partículas de dimensiones mayores. Estas, cuando su diámetro equivalente pasa de 0,5 mm, son frecuentemente demasiado pesadas para ser elevadas o necesitan velocidades de viento elevadas y, por lo tanto, más raras para ser arrastradas.

3.5.3 Mecanismo erosivo-gravitacional

Los mecanismos erosivos explicados hasta ahora se deben a la acción del agua o del viento sobre la parte exterior del suelo. Pero existen circunstancias en las cuales el suelo puede ser desplazado en un movimiento de conjunto en donde la gravedad siempre añade una componente hacia abajo a los movimientos producidos por otras fuerzas. Es por ello por lo que en general, cuando las partículas y fragmentos de suelo se mueven, lo hacen preferentemente cuesta abajo.

El término colectivo para designar todos los movimientos gravitacionales en el que el suelo puede ser desplazado en un movimiento de conjunto ha sido denominado indistintamente: El término denota que la gravedad es la única fuerza importante tal como el viento, agua corriente, hielo o lava en fusión. Si bien el agua corriente está excluida de este mecanismo por definición, el agua desempeña un importante papel en la remoción en masa reduciendo el coeficiente de fricción al actuar como un lubricante y aumentar el peso de la masa de la roca meteorizada al rellenar los espacios de los poros. Arellano, 2010

3.6 Erosión en el Ecuador

El Ecuador es un país sumamente vulnerable a los impactos que se están presentando por el cambio climático. Es así como, en los últimos años muchas han sido las variaciones climáticas que se han producido en nuestro país, se ha registrado incrementos de temperatura, cambios en el régimen hidrológico y meteorológico, cambios en la frecuencia e intensidad de eventos extremos que ocasionan impactos negativos en el frágil equilibrio de una economía nacional dependiente en gran parte de

los recursos agrícolas, según lo menciona el Ministerio de Agricultura y Ganadería - Instituto Espacial Ecuatoriano.

Esta situación se acentúa en la sierra ecuatoriana debido a múltiples factores adversos como el minifundio, el nivel de pendiente, la dependencia total o parcial de insumos externos, cambio de sistemas de producción de cultivos asociados y policultivos por monocultivos, reducción de la diversidad de especies cultivadas, deficientes prácticas de conservación de suelos, falta de políticas e incentivos para la conservación del ambiente.

3.6.1 Causas de la erosión en el Ecuador

El fenómeno a pesar de su reconocida importancia no ha tenido un desarrollo sistemático de investigación acorde con la imperiosa necesidad de su protección. Así, se sigue repitiendo que el país pierde más de 80 toneladas de suelos por hectáreas y por año, cuando este dato es resultado de un estudio realizado hace casi 20 años en un sitio cercano a Quito, y, por lo tanto, aunque el dato es alarmante, no se le puede generalizar. Asimismo, la tasa de expansión de la frontera agropecuaria se ha ubicado entre las más altas de Latinoamérica, en muchas veces ocupando suelos no aptos, conduciendo a la alteración secuencial de grandes extensiones de páramo y específicamente la función reguladora que sobre los recursos hídricos superficiales y subterráneos éstos realizan

Las causas de este deterioro y las consecuencias, ya detectadas en algunos casos en niveles críticos, afectan tanto a los recursos en sí, como a la población que los utiliza para su sustento de manera tal que ya se

presentan alteraciones en determinados ecosistemas, en donde el equilibrio ecológico alcanzado durante siglos y quizás milenios, se ha destruido o está en proceso de destrucción en ocasiones irreversiblemente.

3.7 Situación del recurso suelo en la provincia Bolívar

La agricultura es el renglón más importante de la realidad socioeconómica de la provincia Bolívar, de cuya explotación vive el 90% de la población. Una inspección de la Tabla 1 revela que, por su ubicación geográfica y características físicas, cuenta con una gran variedad de ecosistemas, que ofrecen, asimismo, variadas opciones de aprovechamiento.

No obstante, cada una de estas subregiones se clasifica como estructuras frágiles, cuya afectación proviene en unos casos, de su uso inadecuado en relación a sus propias aptitudes y, en otros, de la degradación que se realiza dentro o en el área de influencia de aquellas. Los cambios en el uso de la tierra como resultado de la desacertada política de expansión de la frontera agropecuaria, la sobreexplotación del suelo, así como la quema, la caza y la introducción de especies, han conducido a que grandes extensiones hayan alterado su función ambiental múltiple, especialmente como reguladoras de los recursos hídricos intensificando la dinámica de los procesos erosivos.

3.8 Textura del suelo

La textura del suelo influye directamente en la susceptibilidad a la desertificación por su comportamiento con respecto al agua. Como

ejemplo se puede citar que la tasa de infiltración determina la mayor o menor pérdida de agua en la parte más superficial del suelo; igualmente, las texturas más finas retienen más agua que las gruesas, pero la humedad se mantiene por lo general en los estratos superiores de donde se evapora con mayor facilidad, haciendo que las plantas que no desarrollan raíces profundas sean más susceptibles a la sequía.

De los estudios de suelos en escalas 1:50000 o a mayor detalle, se obtendrá la textura reclasificando el contenido de arena mayor o menor al 50%, bajo la consideración de que los suelos con más del 50 % de arena son los que más expuestos están al inicio del proceso de desertificación.

Tabla 2. Clasificación de la textura del suelo

TEXTURA DEL SUELO	CLASE
Arenoso (fina, media, gruesa)	Gruesa
Arenoso franco	Gruesa
Franco arenoso (fino a grueso)	Moderadamente Gruesa
Franco limoso	Moderadamente Gruesa
Franco	Media
Limoso	Media
Franco arcilloso (<35% de arcilla)	Media
Franco arcillo arenoso	Media

Franco arcillo limoso	Media
Franco arcilloso (>35%)	Fina
Arcilloso (40-60% de arcilla)	Fina
Arcillo arenoso	Fina
Arcillo limoso	Fina
Arcilloso (>60%)	Muy Fina

3.9 Susceptibilidad del suelo a la erosión

La susceptibilidad del suelo a la erosión indica la facilidad con la que este puede ser desgastado por agua, viento o acciones humanas, y depende de su textura, cobertura vegetal y manejo.

3.9.1 Susceptibilidad nula

Son zonas que se caracterizan por tener una precipitación media anual superiores a los 1500 mm, generalmente indica un lugar situado en la zona de vida de bosque húmedos del sistema de clasificación de Holdridge, por lo que son zonas no propensas para la desertificación.

3.9.2 Zonas de susceptibilidad baja

Son zonas que tienen precipitaciones medias anuales menores a los 1500 mm, y los valores de la evapotranspiración potencial (ETP) son inferiores a esta ($P/ETP > 1$), por lo que son zonas donde existe limitado potencial para la desertificación. El principal peligro de desertificación

sería el viento, que causaría problemas de erosión si la tierra fuera dejada sin vegetación.

3.9.3 Zonas de susceptibilidad media

Son zonas en que sus características físicas y climáticas tienen un alto potencial para la desertificación. El proceso de desertificación se inicia fácilmente en estas zonas, debido a la baja precipitación y el alto potencial de evaporación.

3.9.4 Zonas de susceptibilidad alta

Son zonas que presentan condiciones extremadamente propicias para que se inicie el proceso de desertificación, debido a la baja precipitación y a su alta evapotranspiración potencial.

CAPÍTULO IV

4 CARACTERÍSTICAS Y PROCESOS METODOLÓGICOS DE LA ZONA DE ESTUDIO

4.1 Localización de la investigación

Zona noroccidental de la provincia Bolívar, específicamente en los agro sistemas: El Carbón, Culebrillas y Casaiches San Antonio.

Tabla 3. Ubicación de las localidades donde se desarrolló la investigación.

Parámetro	Zonas Agroecológicas		
	El Carbón	Casaiches	Culebrillas
Altitud (msnm) Promedio ()	3240	3926	3820
Latitud (Sur)	01°25'58''	1°47'34''	1° 32'26''
Longitud (Oeste)	78° 16'30''	79° 01'59''	78° 59'43''
Temp. Media Anual (°C)	13	13	10
Precipitación media anual (mm)	1250	1270	1200
Humedad Relativa (%)	90	80	85-90
Velocidad promedio anual de viento (m/s)	7	11	9

Fuente: (INAMHI, 2020).

4.1.1 Zona de vida

Las localidades en donde se desarrolló la investigación corresponden a la zona de vida: sub páramo andino (bsb - PA), según lo señaló el botánico climatólogo Leslie Holdridge (1979).

4.2 Características de la zona de estudio

4.2.1 El Carbón

La localidad “El Carbón” se encuentra ubicado en el Cantón Guaranda a 2,5 km al Sur Oeste de la parroquia Guanujo y al Este de la carretera a la ciudad de Ambato, la altura es de aproximadamente 3240 msnm.

A través de una sección compleja de 1200 m de longitud, se establece la distribución espacial, estado y nexos genéticos entre los diferentes componentes del medio geográfico y los fenómenos de erosión, examinando regionalmente a nivel de micro relieve, la influencia de las formas erosivo denudativas y el uso agrícola de los suelos, en el desarrollo de los procesos erosivos y modificación de sus propiedades.

Especial importancia en el contexto de este geo sistema lo poseen los cursos de agua (incluyendo acequias) de diferentes órdenes, formas y magnitudes morfométricas, que se orientan transversalmente al declive general de las vertientes, pues interceptan y redistribuyen por esta vía los productos generados por erosión (suelos, sedimentos porosos continentales y rocas) al tiempo que establecen un notable control en el balance hídrico de los espacios inter fluviales (de diferentes formas y dimensiones) de efectiva influencia en la diferenciación geográfica y propiedades de los suelos presentes, clasificados como Andic Hapludoll

areno-arcilloso Halloysitic, Isotérmic, de acuerdo a la Soil Taxonomy propuesta para el Ecuador.

4.2.2 Casaiches San Antonio

La comunidad de Casaiches San Antonio se localiza en la parroquia Veintimilla, al Sur Este del cantón Guaranda a 17 km aproximadamente desde la ciudad de Guaranda, el centro poblado está ubicado a una altura de 3926 msnm.

La distribución zonal espacial de los procesos erosivos está condicionada por la diferenciación lito estructural, morfométrica y de uso que presentan los suelos en cada una de las superficies hipsométricas que conforman la subregión. En el primer nivel de la morfoestructura sobre la superficie de planeación más antigua y elevada (alto estructural; H: 3800 -3600 m), los suelos representados por los perfiles C4 y C5 fueron clasificados como UDIC-EUTRANDEPS limoso isomésico.

En efecto, la dinámica de los procesos está condicionada a la configuración espacial que muestran cada uno de los elementos y formas de micro relieve, los cuales reaccionan de una manera particular a la eficacia local de la meteorización, remoción en masa y erosión.

4.2.3 Culebrillas

Regionalmente se ubica en el tercio superior de la cuenca del río Chimbo ocupando una posición sub latitudinal respecto a las dos localidades anteriores (Carbón y Casaiches San Antonio).

El reconocimiento morfogénico de la localidad permitió distinguir dos superficies básicas: la erosivo-denudativa y la erosiva las que interceptadas por la Sección III-III' permite examinar a nivel de micro relieve la totalidad de los fenómenos que se desarrollan como consecuencia de la erosión.

A parte de las condiciones geomorfológicas, climáticas y de las propiedades hidrofísicas del suelo, un factor muy importante es la influencia de la cobertura vegetal sobre el régimen de humedad (UDIC) y en particular sobre los escurrimientos superficiales, donde los patrones de distribución obedecen por lo general a las formas de las pendientes (cóncavas, convexas y complejas) y a las condiciones de uso, variando mucho en cortas distancias.

4.2.4 Procesos metodológicos

Distribución espacial del territorio de las comunidades: Culebrillas, el Corazón y los Casaiches.

- Análisis de la Cartografía.
- Sistematización de datos georeferenciados a través del software.
- Generación de mapas temáticos del uso potencial del suelo.
- Se fundamentó en la aplicación de un conjunto de métodos sintetizados y representados integralmente en secciones complejas, orientadas geográficamente hacia las formas del relieve más representativo de cada unidad territorial. Un aspecto común en todas las investigaciones lo constituyó la selección de puntos en la parte superior, media e inferior de las vertientes, para examinar mediante análisis descriptivo-comparativo hasta los

horizontes de diagnóstico A; B = 0 – 50; 50 – 100 la dinámica, manifestación e intensidad de la erosión en cada agroecosistema.

Con esa finalidad, se describieron los perfiles y se tomaron muestras de suelos cada 50 cm hasta los 100 cm de profundidad. Como índices de referencias para evaluar la magnitud de la erosión, se eligieron los perfiles menos erosionados de cada transecto.

Además, para la determinación de los grados de erosión y sus correspondientes procesos erosivos, se adaptó la metodología propuesta por Monar., *et al* 2018 en la Tabla 4, que se presenta a continuación:

Tabla 4. Grados de erosión para las localidades investigadas.

Grado de Erosión	Porcentaje (%)	Proceso que ocurre	Características
No hay erosión	0	Solifluxión y hundimientos	No se aprecia pérdida de suelo por arrastre superficial
Erosión ligera	25	Erosión laminar y pluvial	La capa arable, cuando existe, se adelgaza uniformemente; no se aprecian huellas visibles de erosión. La erosión laminar se presenta en menos del 25% del área del lote.
Erosión moderada	25 - 75	Erosión laminar severa, solifluxión con pequeños hundimientos en	La capa arable ha perdido espesor; se aprecian surquillos. Se presenta entre el 25 y 75% del área del lote.

		semicírculo, terracitas	
Erosión severa	75	Erosión combinada (laminar, surcos, cárcavas). Coladas de barro. Deslizamientos y derrumbes.	Pérdida casi total del horizonte orgánico; se presentan surcos frecuentes y cárcavas aisladas. Ocurre en más del 75% del área del lote
Erosión muy severa	100	Erosión en cárcavas. Remociones masales.	Cárcavas en una red densa; paisaje sin vegetación, derrumbes, deslizamientos, coladas de barro, frecuentes y grandes.

4.3 Métodos de evaluación

4.3.1 Georreferenciación

Se realizó a los 21, 28, 35, 42 días, recorridos de campo en las comunidades: Culebrillas, el Corazón y los Casaiches mediante el sistema de posicionamiento global, a través de un GPS map – Garmin 60 CSx, generando puntos de control a través de observación directa.

4.3.2 Levantamiento de información física

Se registró a los 21, 28, 35, 42 días, una geodatabase (uso del suelo), datos que fueron recolectados a través de fichas técnicas de campo.

4.3.3 Teledetección (drone) foto aérea

Mediante recorridos se desarrolló como medio de teledetección (drone) con el fin de capturar fotografías aéreas de las zonas de estudio, para tener una mejor interpretación y comparación de las ortofotos.

4.3.4 Sistematización de datos georreferenciados

Se registró los datos de tipo espacial y los datos de tipo físico a través de programas descriptivos (Excel) y de sistemas de información geográfica (ArcGis), se realizó correcciones metodológicas necesarias que permitieran mayor eficiencia en el análisis de datos, generación de base de datos electrónicos para facilitar la realización del mapeo temático.

4.3.5 Distribución sectorial del territorio.

Se clasificó y agrupó a los 45 días, las diferentes áreas espaciales de las Comunidades tomando en cuenta cinco categorías:

a) Área de actividades agrícolas

Se identificó, mediante la observación directa y por teledetección (fotografía aérea), la superficie del territorio del uso del suelo en la actividad agrícola.



Figura 2 . Área de actividades agrícolas.

b) Área actividades pecuarias

Se identificó, mediante la observación directa y por teledetección (fotografía aérea), la superficie del territorio destinados al uso de suelo en la actividad pecuaria.



Figura 3. Área actividades pecuarias.

c) Área Páramo

Se identificó, mediante la observación directa y por teledetección (fotografía aérea), la superficie del territorio ubicando los recursos

naturales, determinando su estado de conservación y los usos que se dan a estos recursos.



Figura 4. Área Páramo.

d) Área destinada para actividades forestales

Se identificó, mediante la observación directa y por teledetección (fotografía aérea), la superficie del territorio, destinados al uso de suelo en las áreas destinadas a explotación de forestal (madera).



Figura 5. Área destinada para actividades forestales.

e) *Área destinada para viviendas*

Se identificó, mediante la observación directa y por teledetección (fotografía aérea), la superficie del territorio destinadas a vivienda



Figura 6. Área destinada para viviendas.

4.3.6 Forma del relieve

Se determinaron los grados de inclinación de la pendiente. Los suelos son de origen volcánico, con una alta capacidad de retención de agua debido a la materia orgánica acumulada y a una estructura porosa, lo que los hace funcionar como una "esponja". El terreno es accidentado, con zonas de pendientes, valles y llanuras, y en algunas áreas se presentan extensas áreas pantanosas. La Geomorfología establece que el terreno es irregular y montañoso, con superficies que pueden ser estructuralmente tabulares.

4.3.7 Evaluación morfológica

La evaluación morfológica permitió definir cada localidad a partir de una visión integral de los agro sistemas con la ayuda de la

fotointerpretación y de los recorridos de campo, verificando sus peculiaridades morfogénicas: relieve, constitución geológica, características edafoclimáticas y manifestaciones de la erosión. Durante esta etapa se relacionaron los datos de cada unidad ecológica con los sistemas de cultivos y con el uso y manejo de los suelos por los agricultores.

4.3.8 Evaluación morfométrica

Esta evaluación se fundamentó en el análisis cualitativo de las diferentes formas de erosión, evaluándose la altitud, ángulo de las pendientes, disección vertical, desmembramiento horizontal, erosión potencial fluvial entre otros parámetros. Sobre la base de estas mediciones confeccionadas o transectos a escala que fueron desde el punto de vista metodológico constituyen los medios de representación cartográfica fundamentales, para mostrar de manera integral la ocurrencia de ciertos procesos y formas erosivas.

4.3.9 Evaluación morfoedafológica

Consistió en acceder al medio biofísico tanto en su descripción como en su dinámica apoyado en el balance morfogénesis-pedogénesis, obteniéndose una visión íntegra, sistemática del agrosistema, permitiendo prever las reacciones del medio al mejoramiento, o a los diferentes cambios de uso y del mismo modo también definir con más precisión, los factores limitantes a la producción agrícola, pudiéndose elegir las localidades donde es importante prever estudios más detallados.

4.3.10 Evaluación descriptiva-comparativa

Se basó en la selección del perfil patrón. En calidad de patrón se tomaron algunos perfiles típicos por su desarrollo o profundidad, los cuales se encontraron en áreas de vegetación natural o cultivadas que hasta el momento no cuentan con una influencia intensa de la erosión. Como índices fundamentales durante la determinación del grado de erosión, sirvió como magnitud las partes no erosionadas (que se conserven) de los horizontes genéticos A+B los cuales se establecen en base a la comparación de los perfiles de suelos erosionados, con patrones del mismo tipo genético.

4.3.11 Humedad

Se determinó empleando el método de la mufla, en el cual se pesó 10 g de muestra de suelo de cada localidad; se introdujo en la mufla a una temperatura de 105 °C por 2 horas aproximadamente. Luego se retiró de la misma y se dejó en reposo en un evaporador de vidrio con sílice hasta que estuvo frío. Con una balanza analítica y por simple diferencia entre el peso obtenido al momento de la toma de cada muestra (10 g) y el peso de la misma muestra al final del proceso de secado mediante la utilización de la mufla por desecación.

4.3.12 pH

Se pesó 10 g de suelo y se transfirió a un vaso de 50 ml y añadió 10 ml de agua destilada. Con una agitación vigorosa por un minuto se dejó en reposo por una hora. Mediante la utilización de un pH metro portátil, se procedió a sumergir el electrodo en la solución y se esperó que se

estabilice y se dio lectura según la escala gradual de pH que determinó el nivel de acidez, neutralidad y alcalinidad.

4.3.13 Conductividad

Se pesó 10 g de suelo seco y fue tamizado con una malla N° 10, colocándose en un vaso de 100 ml. Se añadió 50 ml de agua destilada agitándose por 30 minutos. La suspensión pasó en reposo por 12 horas. Luego de este tiempo se agitó por 15 minutos y se midió la conductividad utilizando un conductímetro. La conductividad es la habilidad del suelo para transferir calor por conducción molecular.

4.3.14 Textura del suelo

Se realizaron calicatas de entre 50 y 100 cm de profundidad, pues estas brindan mayor información de las diferentes capas. En este punto el criterio del investigador mediante observación directa y la utilización del tacto fue muy importante; pues la textura del suelo es la manera de cómo están dispuestos sus componentes además del color que estos presentan. Esta variable se evaluó en el total de muestras tomadas a las dos profundidades utilizándose el denominado triángulo de texturas.

4.3.15 Materia orgánica

Se pesó 0,5 g de suelo seco y se introdujo en un matraz erlenmeyer de 250 ml, añadiéndose 25 ml de una solución de dicromato de potasio 0,4 N, se agitó por 5 minutos. Después se añadió 25 ml de ácido sulfúrico y se realizó la mezcla por el lapso de 1 minuto y se dejó reposar por 30 minutos.

Esta solución fue diluida con 200 ml de agua destilada, y se añadió 1 ml de solución de ferroína 0,025M. Esta mezcla se tituló con una solución de sulfato ferroso 0,4N hasta cuando el color de la solución cambió de color verde a rojo. Este procedimiento se realizó para establecer el porcentaje de materia orgánica que se encuentra en el suelo y que contribuye a mineralizar el mismo.

4.3.16 Micronutrientes

En esta fase se determinó el contenido de hierro, manganeso y cobre; para la determinación de cada uno de ellos se empleó el método Olsen, se pesó un 1 g de suelo y se transfirió a un matraz erlenmeyer de 50 ml, añadiéndose 20 ml de solución extractora de Olsen y agitándose a 200 rpm durante 30 minutos. Este extracto se pasó por un papel filtro hacia un vaso de precipitación, se repitió la operación hasta que el filtrado salió claro. Mediante colorimetría se realizó la determinación de los micronutrientes mencionados anteriormente. Los resultados obtenidos de estos componentes se expresan en partes por millón (ppm), que significa mg del micronutriente por Kg de suelo.

4.3.17 Macronutrientes

Se realizó los análisis de laboratorio de los principales macronutrientes como son: potasio, calcio y magnesio. Para su determinación se empleó el método Olsen. Los resultados obtenidos se expresan en ppm.

4.4 Manejo del experimento

4.4.1 Recolección de información secundaria

Se recolectó información secundaria relacionada con levantamientos topográficos, cartografía digital, ortofotos disponibles en el Instituto Geográfico Militar (IGM) y Prefectura de la provincia Bolívar.

4.4.2 Recorrido de campo y georreferenciación

Se realizó recorridos de campo en las comunidades en estudio, para la obtención de una geodatabase de tipo espacial (georeferenciados) y de tipo físico (uso del suelo), los mismos que fueron recolectados a través de un sistema de posicionamiento global: GPS map Garmin – 60 CSx, y fichas técnicas de campo.

4.4.3 Sistematización de la información de campo

Se registró la información secundaria que se encuentra en el datum o en coordenadas geográficas, la información de todas las fuentes será ingresada a una matriz.

4.4.4 Elaboración de mapas base a partir de ortofotos

En el I nivel se desarrolló la generación de información primaria como revisión bibliográfica con el análisis del relieve mostrado en las cartas topográficas del I.G.M. y la interpretación de fotografías aéreas, observando la configuración y espaciamiento de curvas de nivel, para el señalamiento de rasgos irregulares y/o abruptos, que indican un cambio en las condiciones del terreno y por lo tanto un cambio ya sea litológico o estructural.

La representación cartográfica no fue suficiente, se buscó una representación alternativa, utilizando algunas de las características de los mapas y combinándolas con imágenes de la realidad obtenidas por fotografías satelitales.

El II nivel, se realizó la ejecución del trabajo en el que se procedió a la interpretación de las fotografías aéreas, con el posterior escaneo y ortorectificación de la imagen para proceder a la digitalización y estructuración de las unidades geomorfológicas interpretadas.

En el III nivel, se desarrolló la verificación de campo identificadas, donde se procedió a realizar el ajuste de los mapas y elaboración de los mapas finales. Al punto de determinar una cobertura terrestre o un uso de la tierra “real” para los puntos de muestras, puede comenzar la comparación con el mapa clasificado. Los datos de validación registrados se digitalizan en un mapa con su tabla de atributos adjunta. Luego el mapa de validación de muestras se superpone sobre el mapa de uso de la tierra. Se produce una tabla en la cual una columna muestra la información de validación del uso de la tierra desde la investigación de campo.

4.4.5 Zonificación agroecológica

Se realizó la visita in situ a cada una de las tres zonas agroecológicas del noroccidente de la provincia Bolívar, con la finalidad de establecer los suelos más representativos de la unidad territorial.

4.4.6 Identificación de los actores o sistemas

Se procedió a realizar la identificación de los actores principales de la investigación en cada uno de los tres agrosistemas en estudio; en la visita in situ se seleccionó los suelos más representativos de estas localidades para realizar la toma de muestras y los respectivos análisis de laboratorio.

4.4.7 Toma de muestras

Mediante la utilización de diferentes instrumentos de laboratorio (vasos de precipitación, cajas petri, crisoles, matraces), se procedió a tomar 18 muestras en total, correspondientes a 6 muestras de cada uno de los agrosistemas distribuidas de la siguiente manera: 6 muestras correspondientes al sector Casaiches San Antonio, 6 muestras del sector el Carbón y las 6 muestras restantes correspondientes al sector de Culebrillas.

4.4.8 Preparación de la muestra

Se acondicionó cada una de las muestras por separado una vez que fueron recolectadas de las diferentes localidades, se rotuló estas muestras según la zona de la cual provenían con la finalidad de evitar confusiones y sobre todo que permita una adecuada identificación al momento de realizar los análisis de laboratorio y posterior tabulación de resultados.

4.4.9 Secado

Consistió en extender cada una de las muestras sobre una superficie plana que esté libre de polvo e impurezas y protegida de las inclemencias ambientales por un tiempo aproximado de 15 días

4.4.10 Molido y tamizado

Se utilizó un molino manual en el cual se procedió a moler cada una de las muestras hasta reducirlas a su mínima expresión para poder utilizarlas en los análisis de laboratorio.

4.4.11 Ingreso al proceso de análisis

Una vez identificadas cada una de las muestras se procedió a establecer las consideraciones especiales para cada análisis esto es cantidad, volumen y otros, así como los reactivos necesarios.

4.4.12 Análisis físico-químico

En esta fase se procedió a realizar cada uno de los análisis de laboratorio especificados anteriormente, considerando para cada uno de ellos los métodos señalados. Se consideró la realización de análisis por duplicado para garantizar la exactitud de la medición.

4.4.13 Determinación de fósforo

Se pesó una muestra de 2,85 g de suelos y se transfirió a un vaso de precipitación de 50 ml, añadiéndose 20 ml de solución extractora de fósforo y se agitando por 40 segundos. Se filtró la solución con papel filtro. Este filtrado se convirtió en extracto del suelo a evaluar. Se tomó

2 ml de extracto de suelo y se añadió 18 ml de agua destilada y se llevó a los tubos colorimétricos, se introdujo en el espectrofotómetro y se leyó los porcentajes de transmitancia usando una longitud de onda de 660 nm, estos valores representan la concentración de fósforo en ppm.

4.4.14 Determinación de calcio

Se pesó una muestra de 2,85 g de suelo y se transfirió a un vaso de precipitación de 50 ml, añadiéndose 20 ml de solución extractora de calcio y se agitando por 40 segundos. Se filtró esta solución con papel filtro, este filtrado se convirtió en extracto del suelo. Se tomó 2 ml de extracto de suelo y se diluyó con una solución de cloruro de sodio (NaCl) hasta un volumen de 20 ml. Al momento de utilizar esta solución en el espectrofotómetro de absorción atómica, se diluyó nuevamente, se tomó 2 ml de esta solución y se llevó hasta los 20 ml con solución de NaCl. Usando la llama de óxido nitroso acetileno y los estándares de calcio. Se leyó la transmitancia del extracto diluido, estos valores obtenidos representan la concentración de calcio en miliequivalentes (meq/100ml)

4.4.15 Determinación de manganeso

A partir de una solución de 1000 ppm de Manganeso (Mn) preparada comercialmente, se preparó concentraciones de 2 y 4 ppm diluyendo con agua destilada hasta 250 ml.

Usando los estándares obtenidos, se leyó directamente la transmitancia en un espectrofotómetro de absorción atómica; en este caso se utilizó la

llama aire-acetileno. Los valores obtenidos expresan la cantidad de Mn expresado en ppm.

4.4.16 Determinación de potasio

Se pesó 2,5 g de suelo agregándose 50 ml de solución comercial extractora de potasio, en reposo por 30 minutos y se filtró en papel filtro. A partir de esta solución se prepararon soluciones estándar diluyendo con agua destilada alícuotas de 1,3 y 5 ml hasta completar volúmenes de 250 ml. Usando una curva calibrada de potasio con los estándares preparados, se leyó directamente la transmitancia en un espectrofotómetro de absorción atómica con el empleo de llama aire-acetileno, los valores obtenidos representan el contenido de potasio en miliequivalentes (meq/100ml).

4.4.17 Determinación de cobre y hierro

Se pesó 2,5 g de suelo agregándose 50 ml de solución comercial extractora de cobre para un caso, y hierro en el otro caso, reposó por 30 minutos y se filtró en papel filtro. A partir de esta solución se prepararon soluciones estándar diluyendo con agua destilada alícuotas de 1, 3 y 5 ml hasta completar volúmenes de 250 ml. Usando los estándares preparados y la llama de aire-acetileno, se leyó directamente en el espectrofotómetro de absorción atómica cual es la concentración de cobre y hierro respectivamente, los valores obtenidos se expresan en ppm.

4.4.18 Análisis de la información

Para analizar los suelos extraídos de las tres comunidades, se realizaron análisis con estadística descriptiva para cada variable, utilizando métodos numéricos y gráficos que resumieron y presentaron la información contenida en ellos. Se empleó medidas de tendencia central y de dispersión o variabilidad. Todos los análisis se realizaron con el software estadístico Statgraphics y el paquete Excel para la representación de cuadros y barras de gráficos.

CAPÍTULO V

5 RESULTADOS

5.1 Uso general del territorio

5.1.1 *Uso del territorio comunidad Culebrillas*

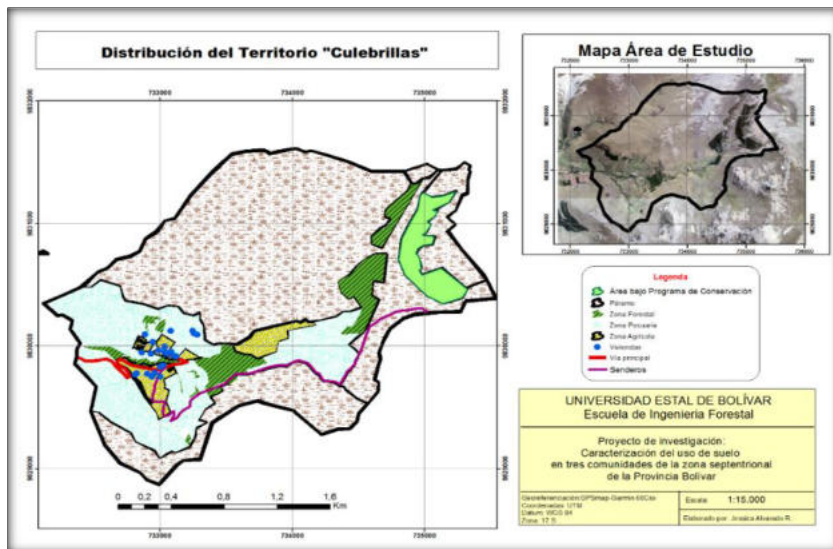


Figura 7. Mapa temático sobre el uso general del territorio comunidad Culebrillas.

La comunidad Culebrillas tiene una superficie de 528 ha, la cual se encuentra ubicada en la parroquia de Guanujo, en el cantón Guaranda, provincia Bolívar.

El mapeo sobre el uso del suelo en la comunidad Culebrillas, consiste en representar de manera práctica la distribución espacial de las áreas determinadas al uso del suelo, comparando con la imagen adquirida de la ortofoto digital.

Estableciendo las coordenadas UTM dentro de las cuales se ubica la comunidad, encontrándose en la parte alta una latitud 733208, longitud 9830203, altitud 3657 msnm, extendiéndose hasta la parte baja una latitud 732555, longitud 9829971, altitud 3563 msnm.

Se ha determinado cinco componentes en la distribución territorial, dentro del área de la comunidad Culebrillas, cuya superficie total es de 528 hectáreas, en las cuales se desarrollan diferentes actividades vinculadas al uso del suelo.

Los componentes del uso del suelo, se basa en la interpretación de fotos aéreas e imágenes satelitales, el uso de modelos digitales de elevación, y la investigación de campo tomándose en cuenta aspectos como: geodesia del terreno, senderos, ubicación geográfica y el uso potencial del suelo.

Para evaluar la zona de estudio se determinaron diferentes factores que han influenciado en el uso del suelo, las antropogénicas y los fenómenos naturales como el verano, tala indiscriminada de los bosques, expansión de la frontera agropecuaria y crecimiento poblacional arrojando la siguiente información:

Páramo, con un total de 368 hectáreas equivalente a 68%, la actividad forestal con un total de 40 hectáreas equivalente al 7%, la actividad pecuaria con un total de 104 hectáreas 19%, la actividad agrícola con un total de 21 hectáreas 4% y con un total de 13 hectáreas 2% correspondiente al área destinada a viviendas.

5.1.2 Uso del territorio comunidad El Corazón

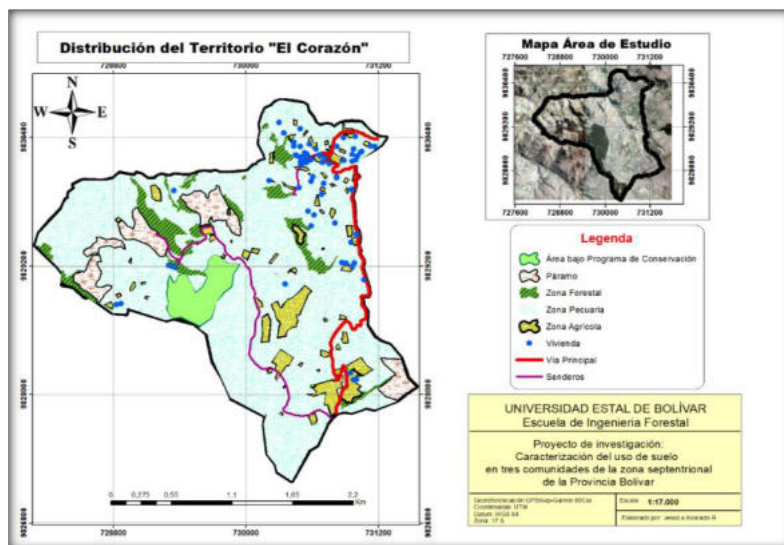


Figura 8. Mapa temático sobre el uso general del territorio comunidad El Corazón.

La comunidad El Corazón tiene una superficie de 575 ha, la cual se encuentra ubicada en la parroquia de Guanujo, en el cantón Guaranda, provincia Bolívar.

El mapeo sobre el uso del suelo en la comunidad El Corazón, consiente en representar de manera práctica la distribución espacial de las áreas determinadas en el estudio, comparando con la imagen adquirida de la ortofoto digital.

Estableciendo las coordenadas UTM dentro de las cuales se ubica la comunidad, encontrándose en la parte alta una latitud 730114, longitud 9828235, altitud 3674 msnm, extendiéndose hasta la parte baja una latitud 730148 longitud 9830149, altitud 3121 msnm.

Se ha determinado cinco componentes en la distribución territorial, dentro del área de la comunidad El Corazón, cuya superficie total es de 575 hectáreas, en las cuales se desarrollan diferentes actividades vinculadas al uso del suelo.

Los componentes del uso del suelo, se basa en la interpretación de fotos aéreas e imágenes satelitales, el uso de modelos digitales de elevación, y la investigación de campo tomándose en cuenta aspectos como: geodesia del terreno, senderos, ubicación geográfica y el uso potencial del suelo.

Para evaluar la zona de estudio se determinaron diferentes factores que han influenciado en el uso del suelo, las antropogénicas y los fenómenos naturales como el verano, tala indiscriminada de los bosques, expansión de la frontera agropecuaria y crecimiento poblacional arrojando la siguiente información:

Páramo, con un total de 36 hectáreas equivalente a 6%, la actividad Forestal con un total de 58 hectáreas equivalente al 10%, la actividad pecuaria con un total de 410 hectáreas 21%, la actividad agrícola con un total de 45 hectáreas 8% y con un total de 26 hectáreas 5% correspondiente al área destinada a viviendas.

5.1.3 Uso del territorio organización “Los Casaiches”

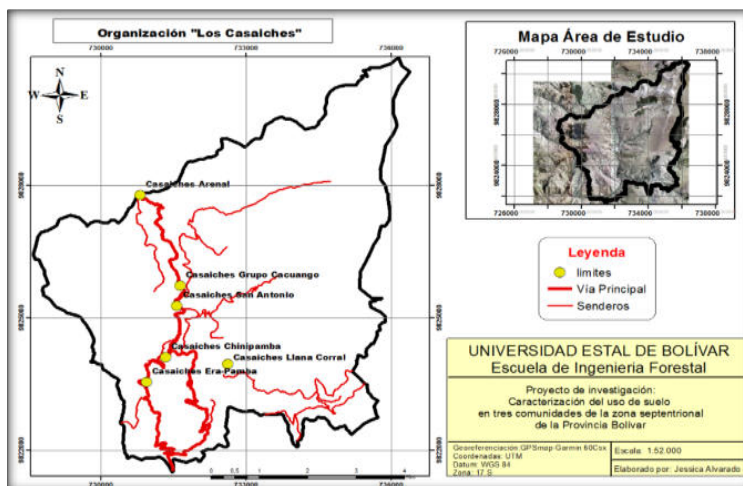


Figura 9. Mapa temático comunidades de la organización Los Casaiches.

La organización Los Casaiches tiene una superficie de 4003 ha, la cual se encuentra distribuida por seis comunidades con coordenadas UTM: Casaiches Arenal con una latitud 731172, longitud 9827943, altitud 3791 msnm, Casaiches Grupo Cacuango con una latitud 731223, longitud 9826575, altitud 3686 msnm, Casaiches San Antonio con una latitud 731575, longitud 9825273, altitud 3432 msnm, Casaiches Chinipamba con una latitud 731347, longitud 9824117, altitud 3377 msnm, Casaiches Llana Corral con una latitud 731668, longitud 9825684, altitud 3501 msnm y Casaiches Erapamba con una latitud 730950, longitud 9823550 altitud 3307 msnm, que se encuentran ubicada en la parroquia de Veintimilla, en el cantón Guaranda, provincia Bolívar.

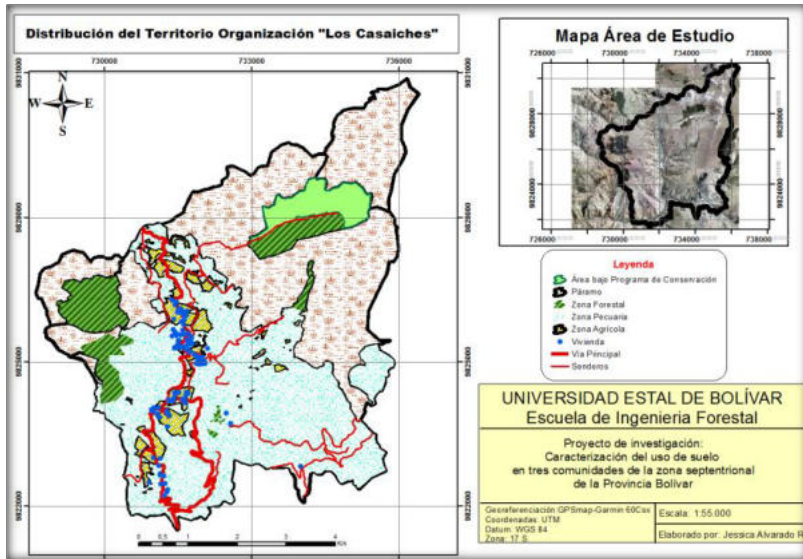


Figura 10. Mapa temático sobre el uso general del territorio en la organización “Los Casaiches”.

El mapeo sobre el uso del suelo en la organización Los Casaiches, consiste en representar de manera práctica la distribución espacial de las áreas determinadas en el estudio, comparando con la imagen adquirida de la ortofoto digital.

Estableciendo las coordenadas UTM dentro de las cuales se ubica la comunidad, encontrándose en la parte alta una latitud 731172, longitud 9827943, altitud 3791 msnm, extendiéndose hasta la parte baja una latitud 731160, longitud 9822555 altitud 3127 msnm

Se ha determinado cinco componentes en la distribución territorial, dentro del área de la comunidad El Corazón, cuya superficie total es de 575 hectáreas, en las cuales se desarrollan diferentes actividades vinculadas al uso del suelo.

Los componentes del uso del suelo, se basa en la interpretación de fotos aéreas e imágenes satelitales, el uso de modelos digitales de elevación, y la investigación de campo tomándose en cuenta aspectos como: geodesia del terreno, senderos, ubicación geográfica y el uso potencial del suelo.

Para evaluar la zona de estudio se determinaron diferentes factores que han influenciado en el uso del suelo, las antropogénicas y los fenómenos naturales como el verano, tala indiscriminada de los bosques, expansión de la frontera agropecuaria y crecimiento poblacional arrojando la siguiente información:

Páramo, con un total de 1656 hectáreas equivalente a 41%, la actividad forestal con un total de 364 hectáreas equivalente al 9%, la actividad pecuaria con un total de 1677 hectáreas 42%, la actividad agrícola con un total de 256 hectáreas 7% y con un total de 50 hectáreas 1% correspondiente al área destinada a viviendas.

5.1.4 Distribución sectorial del territorio

La información y resultados obtenidos en referencia a la distribución sectorial territorio en el uso del suelo se los presenta, a través de cinco componentes para la gestión de su territorio.

5.1.5 Distribución del territorio por área de actividad agrícola

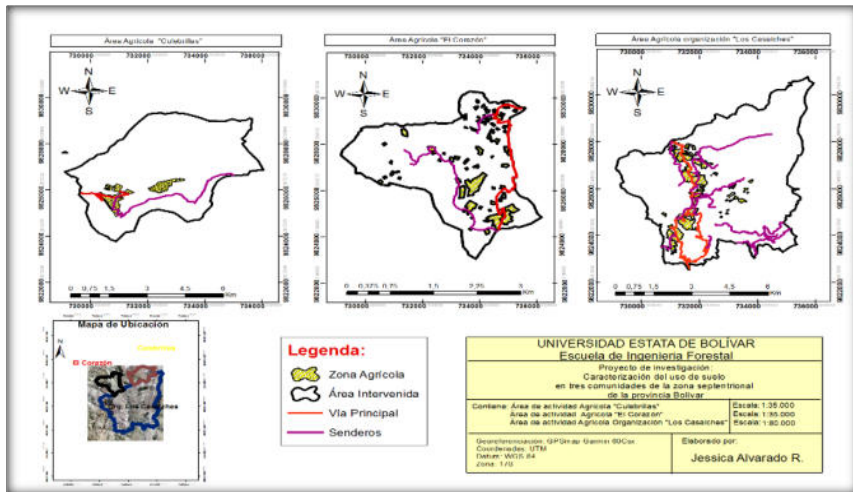


Figura 11. Mapa temático distribución del territorio por área de actividad agrícola.

La actividad agrícola definido como siembra, cosecha y comercialización de productos alimenticios tradicionales, tras los respectivo datos se pudo determinar que en las zonas de estudio hay una diferencia, observándose que en la comunidad Culebrillas presenta una menor actividad agrícola 4%, mientras que las otras dos zonas que son la comunidad El Corazón con 8 % y la organización Los Casaiches con el 7%, y a pesar de que existe diferencias con respecto a su superficie, muestran que tienen una analogía en el incremento de la actividad agrícola demostrándonos que estas dos zonas se mueven en torno a los sistemas convencionales de producción con respecto a su alimentación y economía. Determinando que los cultivos agrícolas están siendo abandonados por los escasos beneficios obtenidos.

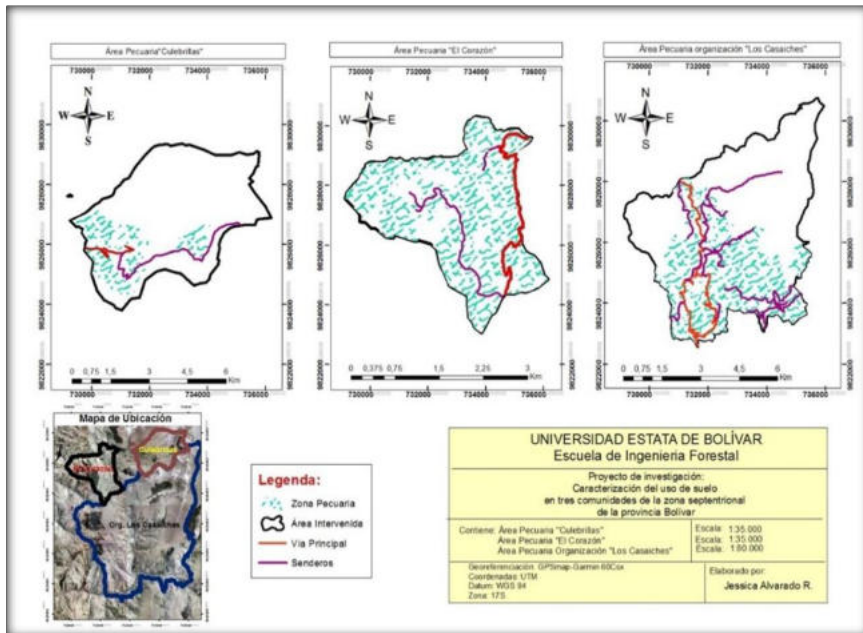


Figura 12. Mapa temático distribución del territorio por actividad Pecuaria.

La actividad pecuaria se mueve con respecto a los sistemas convencionales de producción bovina, caprina y porcina. Las zonas de estudio indican que hay una diferencia muy marcada con relación a la superficie, observándose que la comunidad Culebrillas presenta un menor área con el 20% actividad pecuaria, que en la organización “Los Casaiches” que a pesar que tiene mayor expansión obtuvo el 42% de su área total indicando que su área se está enfocándose en esta actividad como primer sustento económico, mientras que en EL Corazón lidera con el 71% de su área total, indicando que hay una acelerada expansión de la frontera agrícola especialmente pastos, ya que su principal fuente de ingreso es la actividad pecuaria mismo que está destinado a la ganadería extensiva orientado a la producción lechera, carne y en menor

proporción de lana surgiendo como principal amenaza de este delicado ecosistema, que a la vez asociada a una incorrecta aplicación de métodos productivos.

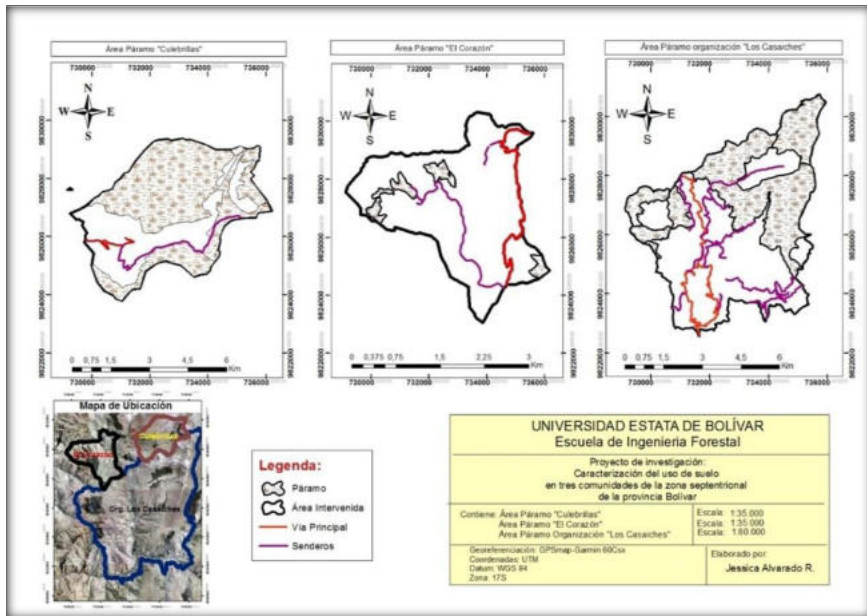


Figura 13. Mapa temático distribución del territorio por área Páramo.

Los páramos componen hábitats estratégicos de valor especialmente para la distribución hídrica de las comunidades. La comunidad El Corazón con el 6% de su área total indica que la reducción de páramo está siendo cambiado por otros tipos de uso como: agricultura, pastizales, o áreas viviendas, provocando la eliminación de la cobertura natural de la zona. La organización “Los Casachos” con el 41% y la comunidad Culebrillas con el 70% todavía mantienen como cobertura vegetal los páramos debido a que estos pertenecen a la Reserva Ecológica Chimborazo, pero sus grandes extensiones de pajonales de

páramo inducen a los comuneros pastorear el ganado lanar y los ovinos que pueden disponer como forraje las malezas.

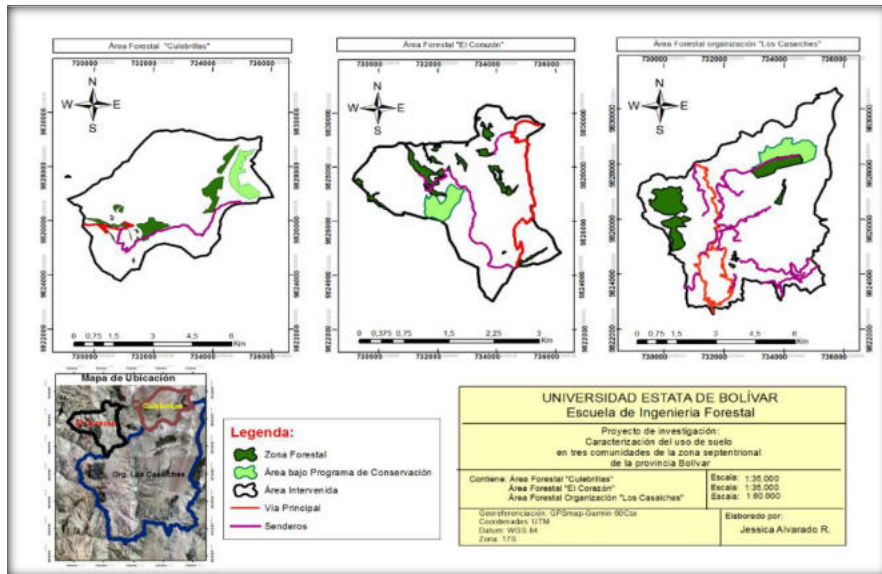


Figura 14. Mapa temático distribución del territorio por actividad Forestal.

La organización los Casaiches, indica que tiene el 7% de área forestal dedicada a leña como combustible en sus cocinas para la preparación de sus alimentos, ya que pocos predios cuentan con rodales de especies forestales exóticas y según ellos no tiene costo alguno, esta comunidad también cuenta 3% como Programa de conservación de las cuales 11 has están dentro de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo y el resto como Programa de conservación Socio Bosque, que mantienen a través del pago de incentivos por conservación. La comunidad El Corazón sostiene el 6% de área forestal dedicada al consumo en leña y 4% como Programa de conservación Socio Bosque ya que los incentivos económicos por la no explotación de estas áreas son muy pocos los comuneros de estas áreas están tomando alternativas drásticas como es

la eliminación del convenio y tala y venta de la madera, expandiendo así la frontera agrícola. La comunidad Culebrillas con el 4% de are forestal en rodales con el fin de obtener subproductos tales como postes para cercas, listones, tablas, leña y el 3% como programa de conservación Socio Bosque en esta comunidad también se está dando la eliminación de los convenios para proceder a la explotación de la madera y luego proceder a ampliación de actividades agropecuarias.

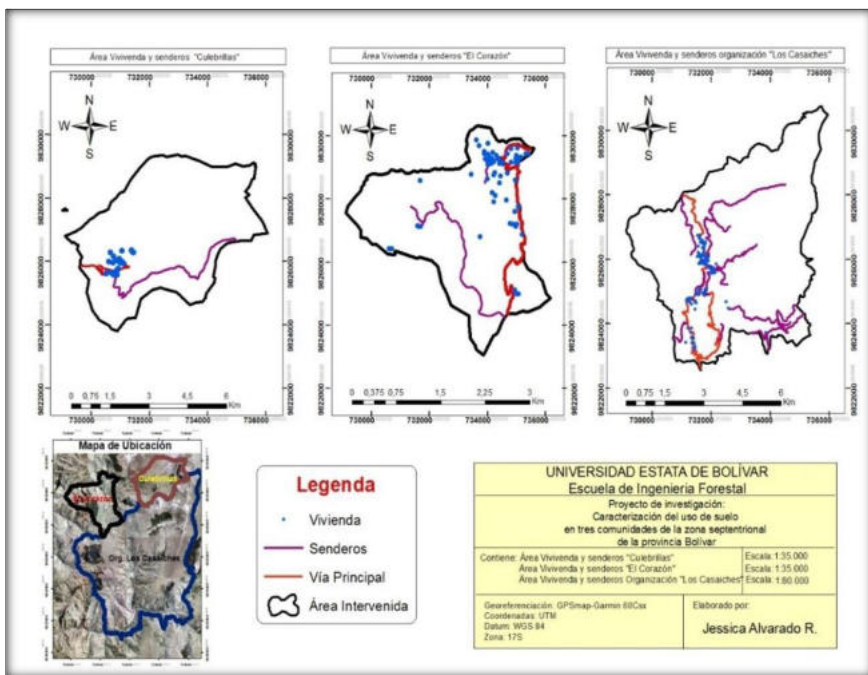


Figura 15. Mapa temático distribución del territorio por área destinada para Viviendas.

Las zonas en estudio determina que la comunidad El Corazón tiene el 4% de su superficie destinadas a viviendas y senderos determinando que está habiendo un acelerado crecimiento poblacional provocando mayor expansión a la frontera agrícola y más niveles de pobreza, La comunidad

Culebrillas con el 2% de su superficie se encuentra destinadas a viviendas y senderos que facilitan el ingreso hacia sus diferentes predios y la organización “Los Casaiches” a pesar de su gran extensión mantiene el 1% observando que el crecimiento poblacional es aún racional ya que cada vez los jóvenes tienen proyectos de estudios superiores evitando el analfabetismo, construcción y mejoramiento de la vía de movilidad y conectividad.

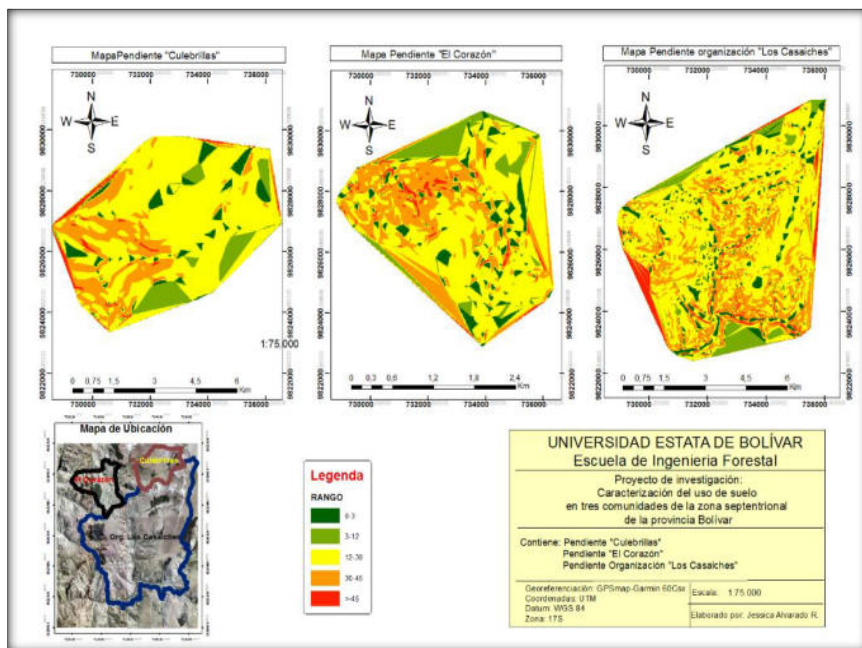


Figura 16. Mapa temático sobre la distribución del territorio Pendiente.

Se puede determinar del área total de la superficie que las áreas en estudio mantienen una similitud, ya que las unidades dominantes en La comunidad Culebrillas son la ondulada con 43%, acolinada con 30% e inclinada con 18%; en la comunidad El Corazón son la inclinada con 32% y la ondulada con 49%; y en la organización “Los Casaiches” son ondulado con 17%, inclinado 28% y acolinado 46%; áreas donde

presentan capas de cenizas volcánicas y donde más se presentan los procesos de degradación debido a la presencia de diferentes componentes litológicas.

5.2 Identificación de los principales procesos erosivos

El principal proceso erosivo identificado en las zonas de estudio fue la hídrica, pues su fuerza erosiva tiene una relación directamente proporcional a las pendientes de la zona que bordea el 15 %. La identificación de los principales grados de erosión permitió obtener una caracterización primaria, fueron desarrollados mediante la elaboración de escalas de evaluación mediante observación directa en la visita in situ. Los procesos erosivos fueron adaptados a partir de la metodología propuesta de los resultados que se presentan a continuación:

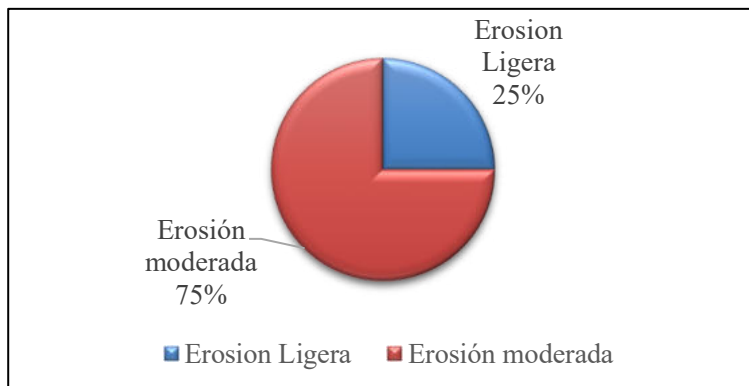


Figura 17. Grados de erosión en la localidad “El Carbón.”

Mediante las observaciones realizadas in situ se determinó que en la localidad de “El Carbón” se encuentran suelos de textura franco arenosa y suelos de textura arenoso a arcilloso – limoso, con poca coherencia, evidenciado una erosión ligera en el 25% de los suelos, debido a que la

capa arable, cuando existe, se adelgaza uniformemente; no se aprecian huellas visibles de erosión. La erosión laminar se presenta en aproximadamente el 25% del área del lote. La erosión moderada está presente en el 75% de los suelos, pues en algunas zonas la capa arable ha perdido su espesor; se aprecian surquillos.

Los grados de erosión identificados en la zona agroecológica de “Casaiches” fueron determinadas mediante las visitas in situ, en la cual se pudo evidenciar que esta zona presentó dos niveles o grados de erosión según el gráfico presentado a continuación:

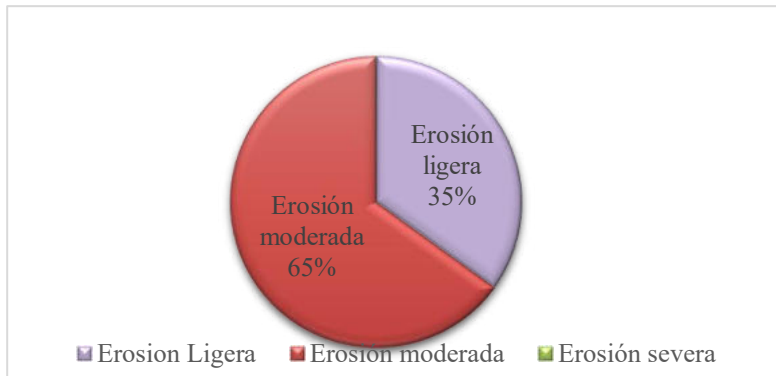


Figura 18. Grados de erosión en la localidad “Casaiches.”

En la localidad de “Casaiches” se encontraron suelos de textura franco arenosa y franco arcilloso con estructura granular fina. El 35% de estos suelos tiene una erosión ligera ya que la capa arable se adelgaza uniformemente; no se apreciaron huellas visibles de erosión. El 65% presentó erosión moderada pues la capa arable ha perdido su espesor y se aprecian la formación de surquillos. Se presentaron surcos frecuentes y cárcavas aisladas. En este suelo se identificaron dos grados de erosión pudiendo deberse a las características de este en cuanto a su topografía.

Del mismo modo mediante inspección visual realizada en la visita in situ se determinó los diferentes grados de erosión de los suelos de la zona de Culebrillas, características que se detallan a continuación:

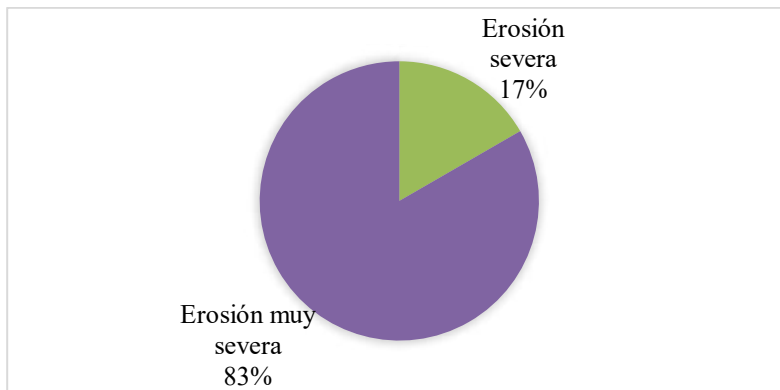


Figura 19. Grados de erosión en la localidad "Culebrillas".

En los suelos de este sector predomina la textura arenosa, conformado de arena muy fina y suelos de textura limo arcillosa, tienen una característica topográfica denudativa antigua con un declive del 20 al 22%, lo que facilita que el proceso erosivo hidrológico sea más pronunciado, por ello estos suelos tienen una erosión severa del 17% pues existe una pérdida casi total del horizonte orgánico, además se presentan surcos frecuentes y cárcavas asiladas. El 83% corresponde a una erosión muy severa caracterizada por cárcavas en una red densa, paisaje sin vegetación, derrumbes, deslizamientos, coladas de barro frecuentes y grandes.

5.3 Descripción morfogénica de los agro sistemas en estudio

La descripción morfogénica de los agroecosistemas agropecuarios se relaciona al análisis del origen, evolución y forma estructural que

adquieren estos sistemas productivos a partir de la interacción entre factores naturales y la acción antrópica.

5.3.1 Descripción morfogenética de la localidad “El Carbón”

- **Coordenadas:** S: 01°25'58''; O: 78° 16'30''
- **Clasificación:** Andino hapludol, areno – arcilloso, halloysitic, isotérmico. (USDA, 2012)
- **Situación:** Localidad “El Carbón”
- **Posición fisiográfica:** Se ubica sobre el tercio medio de la pendiente que representa el nivel de base local para los sedimentos porosos continentales que descienden secuencialmente de la Sierra. Elevación 3240 m aproximadamente.
- **Drenaje:** Bien drenado. Esguerrimiento areal.
- **Topografía:** Superficie planeación antigua 15% de declive.
- **Vegetación** (natural y de cultivos): Trigo, papa y pastos.
- **Constitución geológica:** Paquetes de cenizas volcánicas de color café claro algo compactadas muy similares a la cangahua. Composición andesítico- basáltica.

Tabla 5. Perfil representativo del agrosistema “El Carbón”.

Profundidad del Horizonte (cm)	Descripción del Horizonte
A₀ - 50	Textura franco – arenosa, muy fina. Negro (10 YR 3/1). Poca coherencia, estructura poco definida con tendencia granular. Numerosas raíces finas con dirección vertical que abarcan el 90% del espacio poroso. Pequeñas galerías de lombrices de tierra a partir de los 60 cm. Transición poco notable.
B₅₀ - 100	Arenoso - arcilloso. Muy negro (2,5 YR 2/0) con caras muy brillantes. Estructura granular fina. Ligeramente compacto, muchos poros muy finos. Número reducido de raíces finas. No se advierten evidencias de la proximidad de la roca. Este es un horizonte argílico.

5.3.2 Descripción morfogenética de la localidad “Casaiches”

- **Coordenadas:** S: 1°47'34''; O: 79° 01'59''
- **Clasificación:** Udic Eutrandept limoso – halloysitic, isotérmico. (USDA, 2012).
- **Situación:** Localidad “El Casaiches”.
- **Posición fisiográfica:** Se ubica sobre el tercio medio de la pendiente, sobre una superficie convexa, sujeta a un enérgico escurrimiento areal. Elevación 3280 m que desciende secuencialmente de la Sierra a otro nivel de 3240 m aproximadamente.

- **Drenaje:** Bien drenado. Escurrimiento áreal.
- **Vegetación:** (natural y de cultivos), trigo, alfalfa y pastos.
- **Constitución geológica:** Contacto litológico, posiblemente fallado, entre rocas sedimentarias metamorfozadas tales como filitas, lavas y andesitas.

Tabla 6. Perfil representativo de la zona agroecológica “Casaiches San Antonio”.

Profundidad del Horizonte (cm)	Descripción del Horizonte
A ₀ - 50	Textura areno - arcilloso muy fina (10 YR 2/2). Estructura granular friable, en forma poliédrica. Gran actividad biológica caracterizada por un entramado de raíces finas de pastos y cavidades continuas de lombrices que presentan una orientación casi vertical y formas vesiculares. Ligera adherencia entre los dedos (cementación débil).
B ₅₀ - 100	Textura areno - arcillosa con mayor proporción de arena muy fina. Negro (10 YR 2/10). Untuoso y algo arcilloso al tacto. Estructura granular fina, con algunas caras brillantes que se rompen con cierta facilidad. Moderadamente poroso, con macro poros muy finos en los pedrs. Actividad biológica reducida caracterizada por raíces fibrosas orientadas al azar. Moderadamente firme y ligeramente plástico, con presencia de nódulos y fragmentos de rocas meteorizadas y de formas subangulares.

5.3.3 Descripción morfogénica de la localidad “Culebrillas”

- **Coordenadas:** S: 1° 32'26''; O: 78° 59'43''

- **Clasificación:** Histic Hydrandept, pseudo - limoso, isotérmico. (USDA, 2012).
- **Situación:** Localidad “Culebrillas”.
- **Topografía:** Superficie erosivo – denudativa antigua, con declive de 20 – 22%.
- **Drenaje:** Bien drenado. Escurrimiento areal.
- **Vegetación** (natural y de cultivos): Pajonal de páramo y algunos cultivos de papa y cebada.
- **Constitución geológica:** Flujos piro clásticos (pómez blanca), arena volcánica, paquetes de lava posiblemente provenientes del volcán Chimborazo. La composición es de andesita a dacita.

Tabla 7. Perfil representativo de la zona agroecológica “Culebrillas”.

Profundidad del Horizonte (cm)	Descripción del Horizonte
A ₀ - 50	Textura limosa con arena muy fina, untuoso, esponjoso al tacto. Muy negro (10 YR 2/1). Estructura granular muy fina (pulverulenta). Muchas finas mudas de lombrices, abundantes raíces (más del 90%), con dirección vertical o casi vertical, corteza ligeramente coloreada de 5 cm de espesor, obturada en el centímetro superior, porosa y algo laminada el resto.

B₅₀ – 100	Textura areno – limosa. Castaño grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2). Estructura granular media. Ligeramente compacto, plástico y húmedo (moderadamente firme). Minúsculas raíces muy finas. No se observa cavidades de lombrices.
-----------------------------	---

5.4 Propiedades físico-químicas del suelo

5.4.1 Determinación de pH

El pH (potencial de hidrógeno) se realizó para establecer la acidez o alcalinidad del suelo y relaciona el nivel de los elementos nutritivos de la estructura del suelo para el crecimiento de los cultivos. Los suelos con alta acidez están vinculados a suelos lixiviados o altas precipitaciones y suelos alcalinos están asociados a regiones más secas. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla a continuación:

Tabla 8. Determinación del pH en las zonas agroecológicas, estrato 1.

Estrato	Profundidad (cm)	pH		
		Culebrillas Pedón 1	El Carbón Pedón 2	San Antonio Pedón 3
1	0-50	5,42	5,54	6,43
	0-50	5,64	5,72	6,45
	0-50	6,03	5,71	6,16
	Media	5,7	5,66	6,35

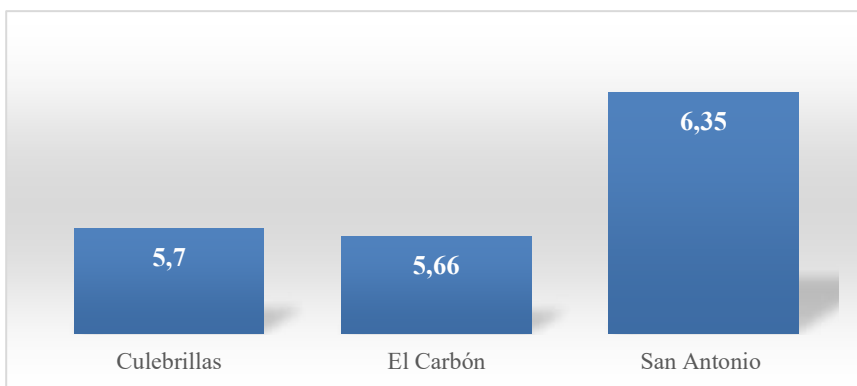


Figura 20. Determinación del pH de los suelos evaluados, estrato 1.

Tabla 9. Análisis de varianza para pH en el estrato 1 de los suelos evaluados.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Pedón	0,9002	2	0,4501	10,24	0,116 ns
Residuos	0,2638	6	0,0439		
Total	1,164	8			

Nota. ns= no significativo

La tabla ANOVA muestra que no hay la significancia estadística entre el pH de los 3 agrosistemas. Debido a que ningún valor-P es menor que 0,05; por tanto, se establece que en los suelos de las tres localidades no se tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el pH con un 95% de nivel de confianza, es decir a la profundidad de 0 a 50 cm los valores de pH se encuentran en una escala ácida, lo que se relaciona a suelos lixiviados debido a que en esa zona existe la presencia de altas precipitaciones.

Tabla 10. Determinación del pH en las zonas agroecológicas, estrato 2.

Estrato	Profundidad (cm)	pH		
		Culebrillas Pedón 1	El Carbón Pedón 2	San Antonio Pedón 3
2	50 - 100	5,85	5,73	6,07
	50 - 100	5,72	6,01	6,10
	50 - 100	6,17	6,26	6,31
	Media	5,91	6,00	6,16

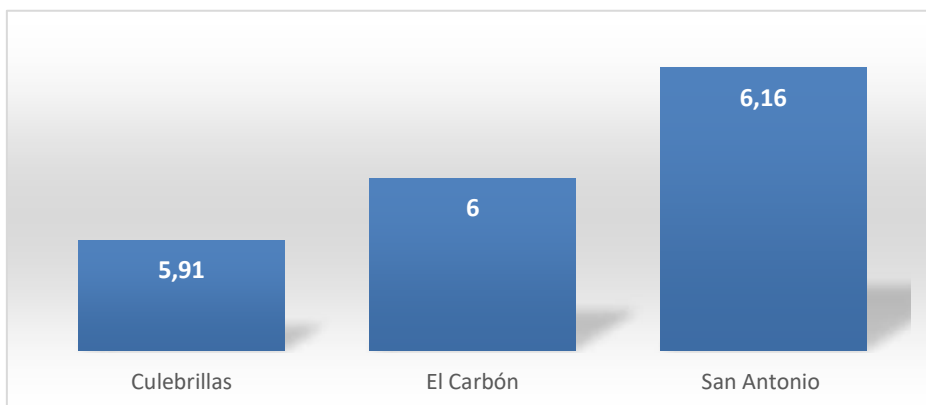


Figura 21. Determinación del pH de los suelos evaluados, estrato 2.

Tabla 11. Análisis de varianza para pH en el estrato 2 de los suelos evaluados.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Pedón	0,0939556	2	0,0469778	1,00	0,4221 ns
Residuos	0,282067	6	0,0470111		

Total	0,376022	8			
-------	----------	---	--	--	--

Nota. ns= no significativo

La tabla ANOVA muestra que no hay significancia estadística entre el pH y cada una de las localidades. Puesto que ningún valor-P es menor que ($0,4221 > 0,05$); por lo tanto, las 3 zonas agroecológicas no tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el pH con un 95% de nivel de confianza. Recalcando que a esta profundidad de 50 a 100 cm la escala de pH se considera ácida al igual que los suelos a la profundidad 0 a 50 cm; pudiendo considerarse como suelos lixiviados por acciones de la lluvia como principal proceso erosivo de esta zona.

El pH de los suelos representa una de las variables más importantes en la determinación de la calidad, está vinculado a los procesos químicos que tiene lugar en el mismo, principalmente con la disponibilidad de nutrientes para la planta, en base a estos resultados se establece que los suelos de las 3 zonas de estudio se clasifican en suelos ácidos debido a que su pH es inferior a 6,5. Por lo tanto los suelos de estas zonas se caracterizan por la carencia de calcio y magnesio, exceso de hierro y aluminio. También se destaca que los micronutrientes son mejor absorbidos en este tipo de suelos.

En este análisis predominan los suelos de la zona de Casaiches San Antonio con un pH promedio de 6,35 en la profundidad 0 – 50 cm y 6,16 en la profundidad 50 – 100 cm, lo que se asemeja a un suelo de tipo neutro, que en cierta forma le da mejores características que los suelos de la zona de El Carbón y Culebrillas.

5.4.2 Determinación de la Conductividad (uS/cm)

Se entiende como una propiedad de los suelos que relaciona la permeabilidad, porosidad y grado de saturación de estos. De ahí que se constituye un parámetro importante de evaluación de la erosión pues representa una gran importancia ya que tiende a describir la movilidad del agua subterránea. Los datos obtenidos se presentan en la tabla a continuación:

Tabla 12. Determinación de la conductividad (uS/cm) en las zonas agroecológicas, estrato 1.

Estrato	Profundidad (cm)	Conductividad (uS/cm)		
		Culebrillas Pedón 1	El Carbón Pedón 2	San Antonio Pedón 3
1	0 - 50	87,2	88,2	65,3
	0 - 50	123	120,7	255
	0 - 50	245	159	307
	Media	151,73	122,63	209,10

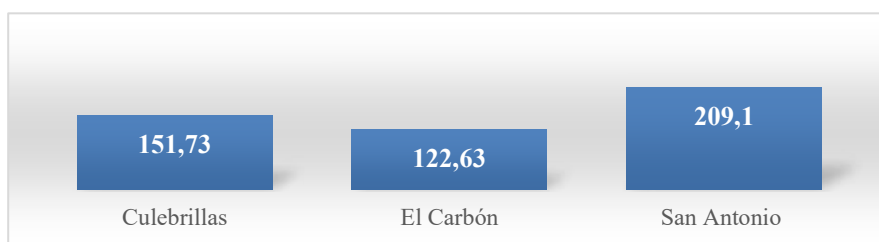


Figura 22. Determinación de la conductividad de los suelos evaluados, estrato 1.

Tabla 13. Análisis de varianza para la conductividad en el estrato 1 de los suelos evaluados.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Pedón	11614,2	2	5807,11	0,72	0,5256 ns
Residuos	48570,4	6	8095,07		
Total	60184,6	8			

Nota. ns= no significativo

La tabla ANOVA muestra que no hay significancia estadística de cada una de las localidades en relación a la conductividad. Considerando que ningún valor-P es menor que 0,05 ($0,5256 > 0,05$) por lo tanto se establece que los 3 agrosistemas no tienen efecto estadísticamente significativo sobre la conductividad con un 95% de nivel de confianza. Estos valores muestran que los suelos de las 3 localidades tienen una buena capacidad de conducir las sales minerales, al tener valores altos se relaciona con un contenido alto de sales solubles lo que dificulta que el sistema radicular de la planta pueda absorber con menos facilidad los nutrientes del suelo, plasmándose en una disminución del rendimiento.

Tabla 14. Determinación de la conductividad (uS/cm) en las zonas agroecológicas, estrato 2.

Estrato	Profundidad (cm)	Conductividad (uS/cm)		
		Culebrillas Pedón 1	El Carbón Pedón 2	San Antonio Pedón 3
2	50 - 100	92,4	101,1	75,5
	50 - 100	75,7	155,6	264
	50 - 100	101,1	89,2	219
	Media	89,73	115,30	186,17



Figura 23. Determinación de la conductividad de los suelos evaluados, estrato 2.

Tabla 15. Análisis de varianza para la conductividad en el estrato 2, de los suelos evaluados

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
PedóC	14975,1	2	7487,56	2,02	0,2132
Residuos	22223,4	6	3703,89		
Total	37198,5	8			

La tabla ANOVA muestra que no hay significancia estadística de cada una de las localidades y la conductividad. Puesto que ningún valor-P es menor que 0,05 ($0,2132 > 0,05$); por tanto, los 3 agrosistemas no tienen efecto estadísticamente significativo sobre la conductividad con un 95% de nivel de confianza. A esta profundidad se evidencia que los valores de la conductividad son más bajos comparados con la profundidad de 0 a 50 cm; lo que denota que la concentración de salinidad del suelo es moderada.

Los resultados presentados en la localidad de Casaiches San Antonio son más elevados, lo que representan una alta conductividad con 209,1 (uS/cm) a la profundidad de 0 a 50 cm y 186,17 (uS/cm) a la profundidad de 50 a 100 cm, superando a los suelos de la comunidad de Culebrillas y la localidad de El Carbón. Esto indica que los suelos del sector de San Antonio dejan pasar el agua con mayor facilidad a través de él por unidad de área transversal. De esta forma se establece que éste es un suelo con humedad baja tornándose en un suelo seco, lo que no pasa con los suelos del sector de Culebrillas y Corazón, en los que el agua no pasa con facilidad por área transversal.

5.4.3 Determinación de humedad

La medición y determinación de humedad en los suelos representan un proceso muy importante, pues mediante esta se puede establecer cuáles son las condiciones y las necesidades de agua de riego que requiere, de ser el caso. Medir la humedad puede evidenciar la relación que existe entre el contenido de agua del suelo y/o la pérdida de ésta por escorrentía superficial y por el drenaje que puede suscitarse a las capas más

profundas. Los valores obtenidos de la determinación de humedad se presentan en la tabla a continuación:

Tabla 16. Determinación de humedad (%) en las zonas agroecológicas, estrato 1.

Estrato	Profundidad (cm)	Humedad (%)		
		Culebrillas Pedón 1	El Carbón Pedón 2	San Antonio Pedón 3
1	0 - 50	45,73	47,21	22,08
	0 - 50	35,80	54,11	13,32
	0 - 50	39,88	26,18	14,75
	Media	40,47	42,50	16,72

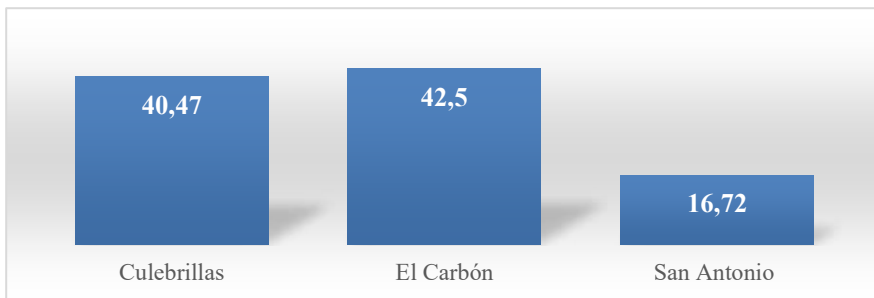


Figura 24. Determinación de humedad (%) de los suelos evaluados, estrato 1.

Tabla 17. Análisis de varianza para la humedad (%) en el estrato 1 de los suelos evaluados

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Pedón	1233,12	2	616,561	7,15	0,0258 *

Residuos	517,314	6	86,2189		
Total	1750,44	8			

*Nota. * Diferencia estadística significativa*

La tabla ANOVA muestra que existe diferencia estadística significativa entre la humedad y las diferentes localidades. Puesto que el valor-P es menor que 0,05 ($0,0258 < 0,05$); por lo tanto, los 3 agrosistemas tienen efecto estadísticamente significativo sobre la humedad con un 95% de nivel de confianza, en este caso la humedad del sector de las zonas de Culebrillas y EL Carbón tiene humedades relativamente altas, lo que denota una capacidad de campo alta, lo que evidencia que el drenaje en estos suelos es bajo, pudiendo deberse a la recepción de agua lluvia que predomina en la zona o por agua de riego que utilizan para los procesos de siembra.

Tabla 18. Determinación de humedad (%) en las zonas agroecológicas, estrato 2.

Estrato	Profundidad (cm)	Humedad (%)		
		Culebrillas Pedón 1	El Carbón Pedón 2	San Antonio Pedón 3
2	50 - 100	52,76	29,89	14,91
	50 - 100	40,71	26,82	17,76
	50 - 100	37,75	30,53	10,76
	Media	43,74	29,08	14,48

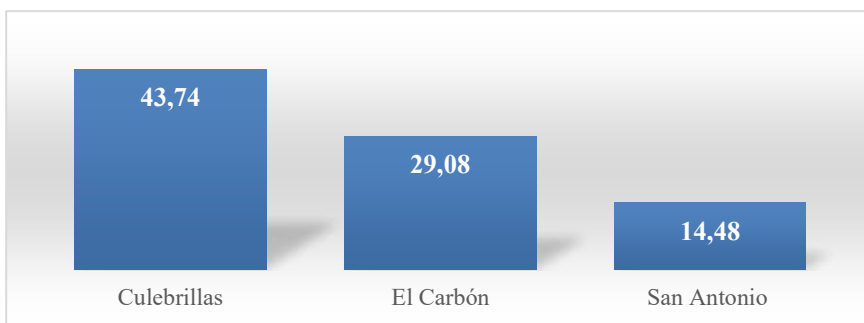


Figura 25. Determinación de humedad (%) de los suelos evaluados, estrato 2.

Tabla 19. Análisis de varianza para la humedad (%) en el estrato 2 de los suelos evaluados.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Pedón	1284,52	2	642,258	24,23	0,013 *
Residuos	159,069	6	26,5115		
Total	1443,58	8			

Nota. * Diferencia estadística significativa.

La tabla ANOVA muestra que existe diferencia estadística significativa entre la humedad y las 3 localidades a la profundidad de 50 a 100 cm. Puesto que el valor-P es menor que 0,05 ($0,013 < 0,05$); por lo tanto, las localidades un tienen efecto estadísticamente significativo sobre la humedad con un 95% de nivel de confianza, en este caso la humedad del sector Culebrillas continua con valores altos 43,74% lo que denota que en esta zona tiene una capacidad de campo alta.

La medición de humedad representa la cantidad de agua por unidad de volumen de tierra que hay en el terreno, el suelo que mayor humedad tiene es el de la zona de El Carbón con 42,5% a una profundidad de 0 a 50 cm y en la profundidad de 50 a 100 cm es el suelo de la zona de Culebrillas con el 43,74%. Estos valores tienen coherencia con las mediciones de conductividad, pues en ella los suelos del sector Casaiches San Antonio tenían la mayor conductividad, entendiendo que este suelo permite que el agua pase con facilidad y al suceder esto el suelo quedará con humedad baja como la evaluada que correspondía a 16,72 y 14,48 % a las profundidades evaluadas.

5.4.4 Determinación de textura

Las mediciones de textura del suelo son un indicativo del contenido de partículas de diferente tamaño. Está vinculado con la facilidad que presenta el suelo para trabajar, la cantidad del contenido de agua y aire que tienen el suelo y la velocidad con la que penetra en el mismo y lo atraviesa. Los resultados obtenidos de las mediciones realizadas se presentan en la Tabla 20, a continuación:

Tabla 20. Textura del suelo en las zonas evaluadas, estrato 1.

	Culebrillas			El Carbón			San Antonio		
Profundidad	Arena %	Arcilla %	Limo %	Arena %	Arcilla %	Limo %	Arena %	Arcilla %	Limo %
0 – 50	75,6	4,4	20	79,6	8,4	12	68	18	14
0 – 50	85,6	6,4	8	75,6	14,4	10	73,6	16,4	10

0 - 50	81,6	8,4	10	73,6	10,4	16	79,6	12,4	8
Media	80,93	6,40	12,67	76,27	11,07	12,67	73,73	15,60	10,67

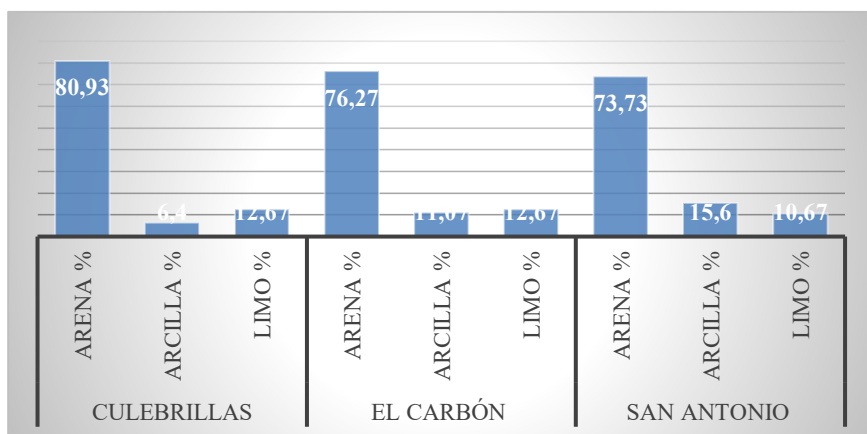


Figura 26. Textura del suelo en las zonas evaluadas, estrato 1.

Los datos obtenidos de los análisis de laboratorio muestran que el suelo de las zonas evaluadas está constituido por partículas de diferente tamaño, para esto se realizó una clasificación granulométrica, en la que básicamente se destaca la arena, arcilla y limo. En este caso los suelos de la zona de Culebrillas están constituidos en un 80,93% de arena a diferencia de los suelos de El Carbón y Casaiches San Antonio, lo cual es un indicativo de la calidad del suelo pues la arena es arrastrada con gran facilidad por el viento y el agua debido a su tamaño y a su nula tendencia a unirse entre sí a diferencia de las otras zonas.

Los porcentajes de arcilla de 6,40% tienden a formar agregados de estructura débil lo que facilita la erosión del suelo, así como el 12,67% de limo que tienen un bajo poder adherente permaneciendo partículas individuales que se erosionan muy fácilmente. Lo que no sucede con los

suelos de El Carbón y San Antonio pues sus porcentajes tienen mejores características que los de la zona de Culebrillas.

Además, se realizaron las mediciones de textura de los suelos evaluados en las tres zonas a una profundidad de 50 a 100 cm, los resultados obtenidos se presentan en la tabla a continuación:

Tabla 21. Textura del suelo en las zonas evaluadas, estrato 2.

Profundidad (cm)	Culebrillas			El Carbón			San Antonio		
	Arena %	Arcilla %	Limo %	Arena %	Arcilla %	Limo %	Arena %	Arcilla %	Limo %
50 - 100	77,6	8,4	14	81,6	14,4	4	75,6	16,4	8
50 - 100	78,0	8	14	83,6	6,4	10	79,6	14,4	6
50 - 100	78,0	10	12	75,6	16,4	8	74	16	10
Media	77,87	8,80	13,33	80,27	12,40	7,33	76,40	15,60	8,00

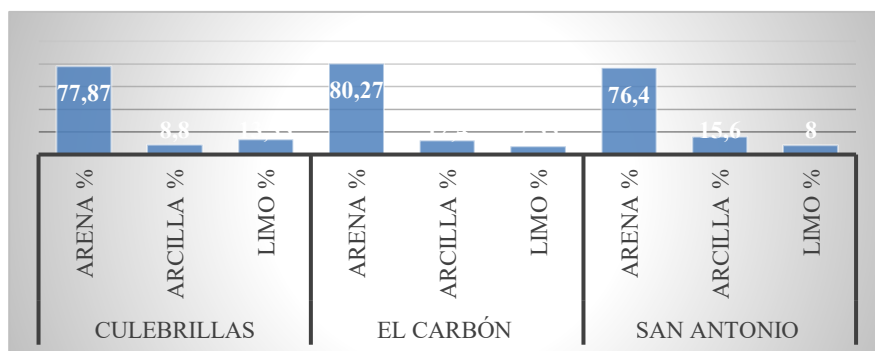


Figura 27. Textura del suelo en las zonas evaluadas, estrato 2.

Los resultados obtenidos muestran que a una profundidad de 50 a 100 cm los suelos están formados por partículas de diferente tamaño a diferencia de la profundidad de 0 a 50 cm, en la cual se puede encontrar que el suelo del sector El Carbón tiene una mayor composición de arena con un 80,27%, lo cual señala que a esta profundidad este suelo tiene tendencia a erosionarse por la facilidad de remoción de las partículas ya sea por agua o viento. El contenido de arcilla con un 15,60% de la zona de Casaiches San Antonio tiene la facilidad de formar agregados de características estables, pero pobre en limo con 8% lo cual representa una baja adherencia, lo que tiene el suelo de la zona de culebrillas con un 13,3%, pues contribuirá a formar agregados más estables.

5.4.5 Determinación de materia orgánica

La materia orgánica está constituida por residuos de plantas, cosechas y materiales animales, estos contribuyen a mineralizar el suelo debido al contenido de compuestos dentro de los que se destaca: los carbohidratos, ligninas y proteínas.

Determinar el contenido de materia orgánica en los suelos representa una actividad muy importante, pues mediante él podemos determinar la estructura de suelo, además que representa un factor muy importante en la mejora de la capacidad de retención de agua y nutrientes, así como también ayudan a prevenir la erosión. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla a continuación:

Tabla 22. Determinación de materia orgánica (%) en las zonas agroecológicas, estrato 1.

Estrato	Profundidad (cm)	Materia Orgánica (%)		
		Culebrillas Pedon 1	El Carbón Pedon 2	San Antonio Pedon 3
1	0 - 50	6,64	3,32	2,58
	0 - 50	10,20	6,64	3,39
	0 - 50	6,92	4,45	2,66
	Media	7,92	4,80	2,88

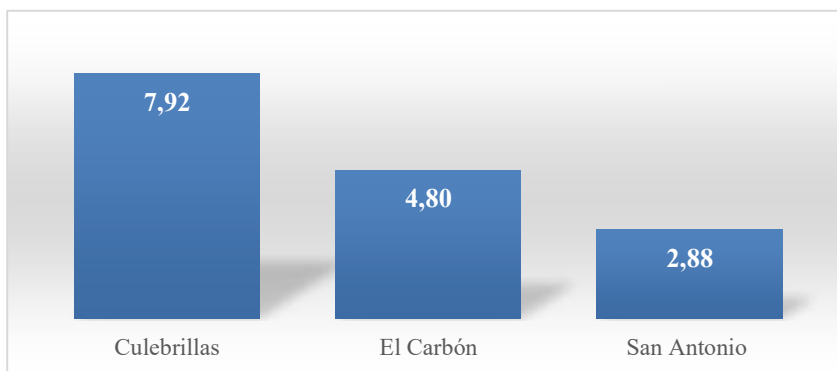


Figura 28. Determinación de materia orgánica (%) de los suelos evaluados, estrato 1.

Tabla 23. Análisis de varianza para la materia orgánica (%) en el estrato 1 de los suelos evaluados.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Pedón	38,8609	2	19,4304	8,37	0,0184 *
Residuos	13,9337	6	2,32229		
Total	52,7946	8			

*Nota. * Diferencia estadística significativa.*

La tabla ANOVA muestra que existe diferencia estadística significativa entre la materia orgánica y las 3 localidades a la profundidad de 0 a 50 cm. Puesto que el valor-P es menor que 0,05 ($0,0184 < 0,05$); por lo tanto, se establece que los 3 agrosistemas tienen efecto estadísticamente significativo sobre el contenido de materia orgánica con un 95% de nivel de confianza, es decir que los valores difieren notablemente en ellas. En este caso los suelos del sector de Culebrillas tienen el mayor porcentaje de materia orgánica con un valor de 7,92%, denotando que en esta zona la materia orgánica es nuevamente incorporada al suelo permitiendo que este se enriquezca, lo que no sucede en el sector de Casaiches San Antonio que tiene un porcentaje bajo 2,88%.

Tabla 24. Determinación de materia orgánica (%) en las zonas agroecológicas, estrato 2.

Estrato	Profundidad (cm)	Materia Orgánica (%)		
		Culebrillas Pedón 1	El Carbón Pedón 2	San Antonio Pedón 3
2	50 - 100	6,66	4,65	1,70
	50 - 100	8,99	11,48	2,07
	50 - 100	8,12	4,48	2,07
	Media	7,92	6,87	1,95

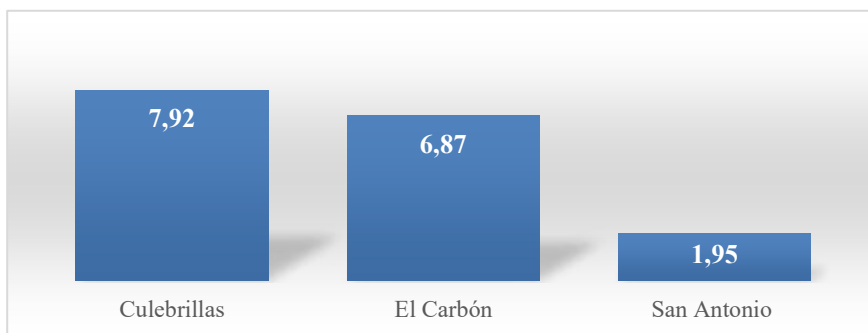


Figura 29. Determinación de materia orgánica (%) de los suelos evaluados, estrato 2.

Tabla 25. Análisis de varianza para la materia orgánica en el estrato 2 de los suelos evaluados.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Pedón	61,0693	2	30,5346	5,27	0,0477 *

Residuos	34,7563	6	5,79272		
Total	95,8256	8			

*Nota. * Diferencia estadística significativa*

La tabla ANOVA muestra que existe diferencia estadística significativa entre la materia orgánica y las 3 localidades a la profundidad de 50 a 100 cm. Puesto que el valor-P es menor que 0,05 (0,0477); por lo tanto, las localidades tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la materia orgánica con un 95% de nivel de confianza, en este caso el contenido de materia orgánica del sector Casaiches San Antonio tiene el menor porcentaje con un valor de 1,95%, lo que señala que los suelos de este sector son los más pobres en materia orgánica.

Los suelos de la zona de Culebrillas representan el mayor porcentaje de materia orgánica con 7,92% a las dos profundidades, esto con relación a los suelos de las otras dos zonas, lo que según la USDA (2016), los suelos que tienen un porcentaje mayor a 6% están considerados como suelos con materia orgánica alta, mientras que los suelos con porcentajes de 3 a 6 se consideran como suelos medios en materia orgánica y suelos con porcentajes menores a 3 se consideran como bajos en materia orgánica, en este sentido el suelo de la zona de Culebrillas a una profundidad de 0 a 50 cm tiene el mayor contenido de materia orgánica.

Además, se puede evidenciar que este suelo es el más rico en nutrientes y el que menos proceso erosivo presenta, seguido del suelo de la zona de El Carbón y el suelo de Casaiches San Antonio, en cuanto a menor porcentaje de materia orgánica.

5.4.6 Determinación de macronutrientes (potasio, calcio y magnesio)

La medición de los macronutrientes en el suelo representa un procedimiento fundamental para establecer el potencial que tiene el mismo para nutrir las plantas que se desarrollan sobre él. Las carencias de estos pueden reflejarse en daños en las cosechas, malos desarrollos en los cultivos lo que genera que el suelo se empobrezca y sea mucho fácil que los procesos erosivos se den. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla a continuación:

a) Determinación de potasio

Tabla 26. Determinación de potasio (meq/100ml) en las zonas agroecológicas, estrato 1.

Estrato	Profundidad (cm)	Potasio (meq/100 ml)		
		Culebrillas Pedón 1	El Carbón Pedón 2	San Antonio Pedón 3
1	0 - 50	0,19	0,22	0,15
	0 - 50	0,43	0,49	0,12
	0 - 50	0,08	0,34	1,11
	Media	0,23	0,35	0,46

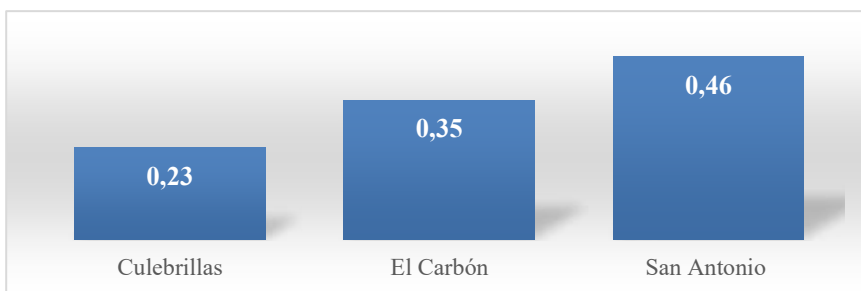


Figura 30. Determinación de potasio (meq/100ml) de los suelos evaluados, estrato 1.

Tabla 27. Análisis de varianza para el potasio en el estrato 1 de los suelos evaluados.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Pedón	0,0770889	2	0,0385444	0,31	0,7414 ns
Residuos	0,734867	6	0,122478		
Total	0,811956	8			

Nota. ns = no significativo

La tabla ANOVA muestra que no existe diferencia estadística significativa entre el contenido de potasio y los suelos de las 3 localidades a la profundidad de 0 a 50 cm. Puesto que el valor-P es mayor que 0,05 ($0,7414 > 0,05$); por lo tanto, las localidades no tienen efecto estadísticamente significativo sobre el contenido de potasio con un 95% de nivel de confianza, en este caso el potasio del sector Culebrillas tiene el menor contenido con un valor de 0,23 meq/100 ml,

lo que indica que los suelos de este sector son los más pobres en potasio lo que ocasiona un crecimiento vegetativo lento y que la calidad de los frutos sean bajos debido a que la deficiencia de este macroelemento ocasiona que los procesos metabólicos de la planta sean lentos.

Tabla 28. Determinación de potasio (meq/100ml) en las zonas agroecológicas, estrato 2

Estrato	Profundidad (cm)	Potasio (meq/100 ml)		
		Culebrillas Pedón 1	El Carbón Pedón 2	San Antonio Pedón 3
2	50 - 100	0,17	0,29	0,16
	50 - 100	0,25	0,34	0,13
	50 - 100	0,08	0,34	1,89
	Media	0,17	0,32	0,73

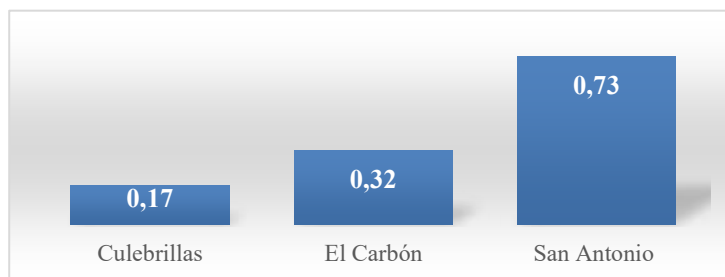


Figura 31. Determinación de potasio (meq/100ml) de los suelos evaluados, estrato 2.

Tabla 29. Análisis de varianza para el potasio en el estrato 2 de los suelos evaluados.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Pedón	0,500822	2	0,250411	0,73	0,5186 ns
Residuos	2,0466	6	0,3411		
Total	2,54742	8			

Nota. ns = no significativo

La tabla ANOVA muestra que no existe diferencia estadística significativa entre el potasio y las 3 localidades a la profundidad de 50 a 100 cm. Puesto que el valor-P es mayor que 0,05 ($0,5186 > 0,05$); por lo tanto, los suelos de las 3 localidades no tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el potasio con un 95% de nivel de confianza, en este caso el contenido de potasio del sector Culebrillas tiene el menor contenido con un valor de 0,17 meq/100 ml, lo que indica que los cultivos y la vegetación de este sector tendrán características de calidad inferiores a la de los otros suelos pues los procesos metabólicos en la planta será lento.

b) Determinación de calcio

Tabla 30. Determinación de calcio (meq/100ml) en las zonas agroecológicas, estrato 1.

Estrato	Profundidad (cm)	Calcio (meq/100 ml)		
		Culebrillas	El Carbón	San Antonio

		Pedón 1	Pedón 2	Pedón 3
1	0 - 50	9,50	13,10	12,30
	0 - 50	13,0	14,20	17,30
	0 - 50	18,4	20,00	16,70
	Media	13,63	15,77	15,43

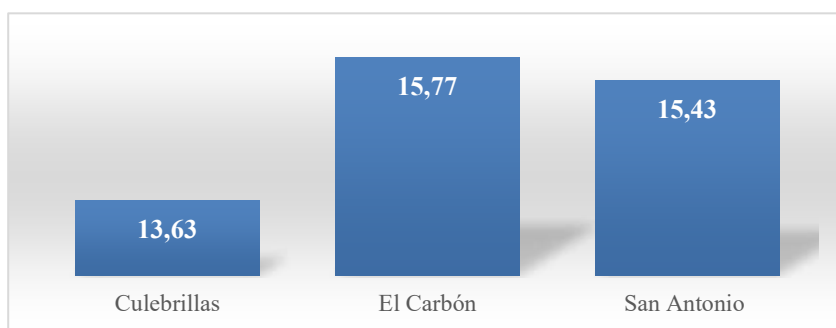


Figura 32. Determinación de calcio (meq/100ml) de los suelos evaluados, estrato 1.

Tabla 31. Análisis de varianza para el calcio en el estrato 1 de los suelos evaluados.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Pedón	7,90222	2	3,95111	0,29	0,7603 ns
Residuos	82,6	6	13,7667		
Total	90,5022	8			

Nota. ns = no significativo

La tabla ANOVA muestra que no existe diferencia estadística significativa entre el contenido de calcio y los suelos de las 3 localidades

a la profundidad de 0 a 50 cm. Puesto que el valor-P es mayor que 0,05 ($0,7603 > 0,05$); por lo tanto, las localidades no tienen efecto estadísticamente significativo sobre el contenido de calcio con un 95% de nivel de confianza, en este caso el contenido de calcio del sector EL Carbón tiene el mayor contenido con un valor de 15,77 meq/100 ml, lo que indica que los suelos de este sector podrían experimentar un efecto adverso pues una alta concentración de calcio puede provocar una reducción de la absorción de nutrientes por parte de la planta, es decir, no absorbería correctamente los micronutrientes, causando deficiencias de estos nutrientes.

Tabla 32. Determinación de calcio (meq/100ml) en las zonas agroecológicas, estrato 2.

Estrato	Profundidad (cm)	Calcio (meq/100 ml)		
		Culebrillas Pedón 1	El Carbón Pedón 2	San Antonio Pedón 3
2	50 - 100	8,8	12,3	12,10
	50 - 100	12,1	17,0	15,4
	50 - 100	13,1	19,5	16,0
	Media	11,3	16,3	14,5

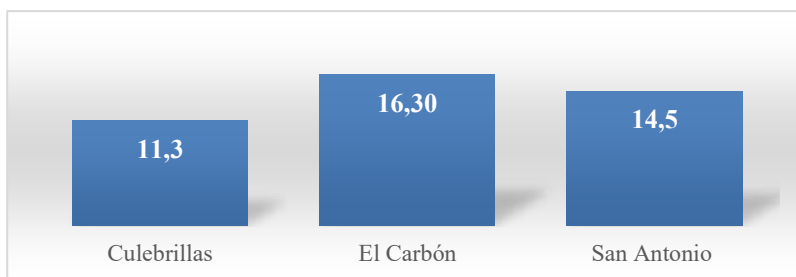


Figura 33. Determinación de calcio (meq/100ml) de los suelos evaluados, estrato 2.

Tabla 33. Análisis de varianza para el calcio en el estrato 2 de los suelos evaluados.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Pedón	37,4867	2	18,7433	2,46	0,1657 ns
Residuos	45,6733	6	7,61222		
Total	83,16	8			

Nota. ns = no significativo

La tabla ANOVA muestra que no existe diferencia estadística significativa entre el calcio y los suelos de las 3 localidades a la profundidad de 50 a 100 cm. Puesto que el valor-P es mayor que 0,05 ($0,1657 > 0,05$); por lo tanto, las localidades no tienen efecto estadísticamente significativo sobre el calcio con un 95% de nivel de confianza, en este caso el calcio del sector Culebrillas tiene el menor contenido con un valor de 11,3 meq/100 ml, lo que indica que los suelos de este sector a esta profundidad son los más pobres en el contenido de calcio lo que provocará deficiencias de nutrientes.

c) *Determinación de magnesio*

Tabla 34. Determinación de magnesio (meq/100ml) en las zonas agroecológicas, estrato 1.

Estrato	Profundidad (cm)	Magnesio (meq/100 ml)		
		Culebrillas Pedón 1	El Carbón Pedón 2	San Antonio Pedón 3
1	0 – 50	1,3	1,5	1,7
	0 – 50	3,4	1,6	1,5
	0 – 50	1,7	1,2	3,7
	Media	2,1	1,4	2,3

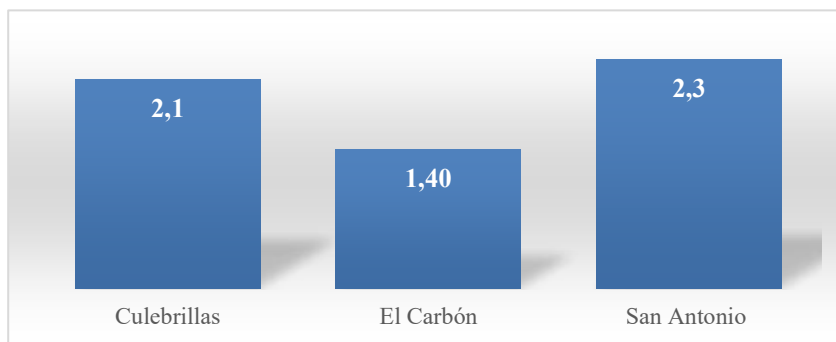


Figura 34. Determinación de magnesio (meq/100ml) de los suelos evaluados, estrato 1.

Tabla 35. Análisis de varianza para el magnesio en el estrato 1 de los suelos evaluados.

<i>Fuente de variación</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Pedón	1,26889	2	0,634444	0,69	0,5383 ns
Residuos	5,53333	6	0,922222		
Total	6,80222	8			

Nota. ns = no significativo

La tabla ANOVA muestra que no existe diferencia estadística significativa entre el contenido de magnesio y los suelos de las 3 localidades a la profundidad de 0 a 50 cm. Puesto que el valor-P es mayor que 0,05 ($0,5383 > 0,05$); por lo tanto, las localidades no tienen efecto estadísticamente significativo sobre el contenido de magnesio con un 95% de nivel de confianza, en este caso el magnesio de los suelos del sector El Carbón tiene el menor contenido con un valor de 1,4 meq/100 ml, lo que indica los cultivos de este sector presentarán problemas con el proceso de la fotosíntesis, pues el magnesio es un componente básico del clorofila.

Tabla 36. Determinación de magnesio (meq/100ml) en las zonas agroecológicas, estrato 2.

Estrato	Profundidad (cm)	Magnesio (meq/100 ml)		
		Culebrillas Pedón 1	El Carbón Pedón 2	San Antonio Pedón 3

2	50 - 100	1,3	1,4	2,1
	50 - 100	4,4	1,4	2,0
	50 - 100	1,7	1,8	3,3
	Media	2,5	1,5	2,5

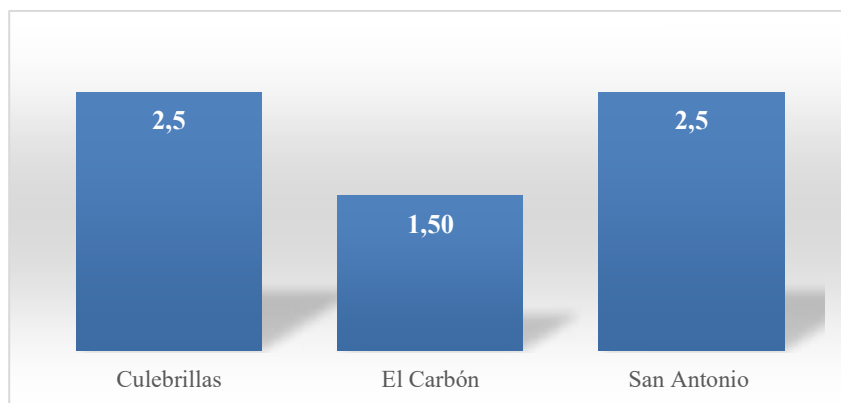


Figura 35. Determinación de magnesio (meq/100ml) de los suelos evaluados, estrato 2.

Tabla 37. Análisis de varianza para el magnesio en el estrato 2 de los suelos evaluados.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Pedón	1,74222	2	0,871111	0,76	0,5063 ns
Residuos	6,84	6	1,14		
Total	8,58222	8			

Nota. ns = no significativo

La tabla ANOVA muestra que no existe diferencia estadística significativa entre el contenido de magnesio y los suelos de las 3 localidades a la profundidad de 50 a 100 cm. Puesto que el valor-P es mayor que 0,05 (0,5063); por lo tanto, los pedones no tienen efecto estadísticamente significativo sobre el magnesio con un 95% de nivel de confianza, en este caso el calcio del sector El Carbón tiene el menor contenido con un valor de 1,5 meq/100 ml, lo que indica que los suelos de este sector a esta profundidad presentará problemas en los cultivos debido a la baja concentración de este macroelemento.

El contenido de potasio en mayor cantidad se encuentra en los suelos de Casaiches San Antonio con 0,46 y 0,73 meq/100 ml a las profundidades de 0-50 y 50-100 cm respectivamente, seguido de los suelos del Carbón y Culebrillas; con relación al contenido de calcio los suelos de El Carbón tienen la mayor cantidad con 15, 77 y 16,3 meq/100 ml, seguido de los suelos de Casaiches y Culebrillas. El contenido de magnesio predomina en los suelos de Casaiches con 2,3 y 2,5 meq/100ml a las profundidades de 0-50 y 50-100 cm respectivamente, seguido de los suelos de Culebrillas y El Carbón. En este sentido, se puede manifestar que el contenido de macronutrientes es adecuado para el desarrollo de los cultivos, destacando los suelos de San Antonio como los mejores para la actividad agronómica y además identificando que estos suelos son los que menos erosión hídrica y eólica han experimentado, según lo señala los contenidos de potasio, calcio y magnesio.

5.4.7 Determinación de micronutrientes (manganeso, hierro y cobre)

La determinación de micronutrientes representa una práctica muy importante para la determinación de la calidad del suelo, la disponibilidad de micronutrientes representa un factor muy importante debido a que los micronutrientes son un factor primordial para el adecuado crecimiento y desarrollo de las plantas que requiere rendimientos elevados, pues la deficiencia de micronutrientes se convierte en una limitante para las plantas.

a) Determinación de manganeso

Tabla 38. Determinación de manganeso (ppm) en las zonas agroecológicas, estrato 1.

Estrato	Profundidad (cm)	Manganeso (ppm)		
		Culebrillas Pedón 1	El Carbón Pedón 2	San Antonio Pedón 3
1	0 - 50	0,12	0,05	0,11
	0 - 50	0,13	0,05	0,10
	0 - 50	0,14	0,14	0,03
	Media	0,13	0,08	0,08

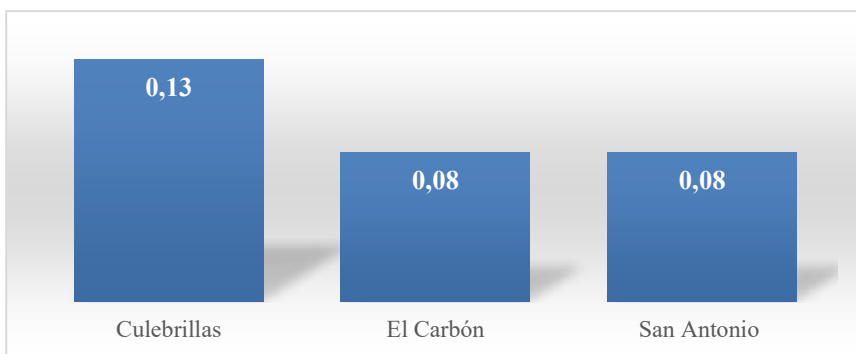


Figura 36. Determinación de manganeso (ppm) de los suelos evaluados, estrato 1.

Tabla 39. Análisis de varianza para el manganeso en el estrato 1 de los suelos evaluados.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Pedón	0,005	2	0,0025	1,60	0,2782 ns
Residuos	0,0094	6	0,00156667		
Total	0,0144	8			

Nota. ns = no significativo

La tabla ANOVA muestra que no existe diferencia estadística significativa entre el contenido de manganeso y los suelos de las 3 localidades a la profundidad de 0 a 50 cm. Puesto que el valor-P es mayor que 0,05 ($0,2782 > 0,05$); por lo tanto, las localidades no tienen efecto estadísticamente significativo sobre el manganeso con un 95% de nivel de confianza, en este caso el contenido de manganeso del sector El Carbón y Casaiches tienen la menor cantidad de este mineral con un valor de 0,08 ppm respectivamente, lo que indica que los suelos de este

sector son los más pobres en manganeso, por lo que estos suelos no tiene la fracción más disponible para ser absorbida por las raíces.

Tabla 40. Determinación de manganeso (ppm) en las zonas agroecológicas, estrato 2.

Estrato	Profundidad (cm)	Manganeso (ppm)		
		Culebrillas Pedón 1	El Carbón Pedón 2	San Antonio Pedón 3
2	50 - 100	0,22	0,01	0,03
	50 - 100	0,16	0,03	0,03
	50 - 100	0,16	0,03	0,03
	Media	0,18	0,02	0,03

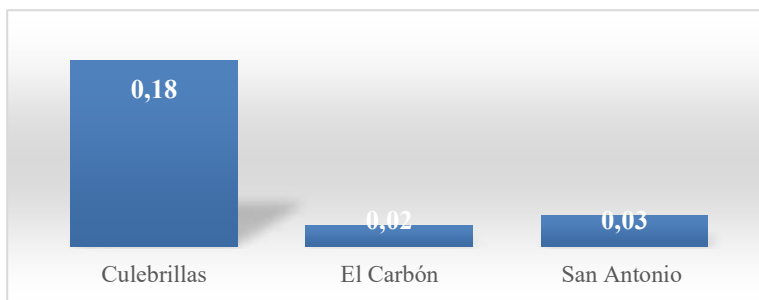


Figura 37. Determinación de manganeso (ppm) de los suelos evaluados, estrato 2.

Tabla 41. Análisis de varianza para el manganeso en el estrato 2 de los suelos evaluados.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Pedón	0,0470889	2	0,0235444	52,97	0,0002 **
Residuos	0,0026666	6	0,000444444		
Total	0,0497556	8			

*Nota. ** = Diferencia altamente significativa*

La tabla ANOVA muestra que existe diferencia estadística altamente significativa entre el contenido de manganeso y los suelos de las 3 localidades a la profundidad de 50 a 100 cm. Puesto que el valor-P es menor que 0,05 y menor que 0,02 (0,0002); por lo tanto, los pedones tienen un efecto estadístico altamente significativo sobre el manganeso con un 95% de nivel de confianza, en este caso el contenido de manganeso del sector Culebrillas tiene el mayor contenido con un valor de 0,19 ppm, lo que indica que los suelos de este sector a esta profundidad son los más ricos en manganeso y favorecerá la absorción de este mineral por las raíces de las plantas.

b) Determinación de hierro

Tabla 42. Determinación de hierro (ppm) en las zonas agroecológicas, estrato 1.

Estrato	Profundidad (cm)	Hierro (ppm)		
		Culebrillas	El Carbón	San Antonio

		Pedón 1	Pedón 2	Pedón 3
1	0 - 50	17,02	17,88	17,87
	0 - 50	16,71	17,60	17,43
	0 - 50	16,61	14,02	17,67
	Media	16,78	16,50	17,66

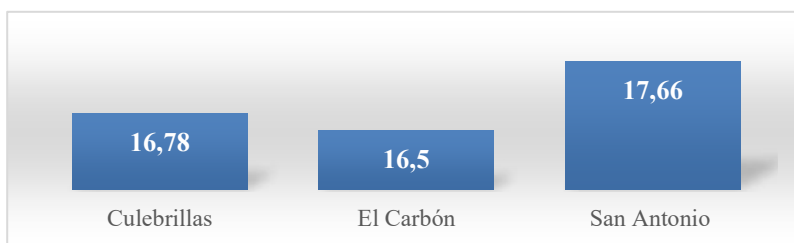


Figura 38. Determinación de hierro (ppm) de los suelos evaluados, estrato 1.

Tabla 43. Análisis de varianza para el hierro en el estrato 1 de los suelos evaluados.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Pedón	2,18482	2	1,09241	0,69	0,5359 ns
Residuos	9,45327	6	1,57554		
Total	11,6381	8			

Nota. ns = no significativo

La tabla ANOVA muestra que no existe diferencia estadística significativa entre el contenido de hierro y los suelos de las 3 localidades a la profundidad de 0 a 50 cm. Puesto que el valor-P es mayor que 0,05

(0,5359); por lo tanto, las localidades no tienen efecto estadísticamente significativo sobre el hierro con un 95% de nivel de confianza, en este caso el contenido de calcio del sector El Carbón tiene el menor contenido con un valor de 16,5 ppm, lo que indica que los suelos de este sector son los más pobres en hierro, evitando que se combine fácilmente con los fosfatos, carbonatos, el calcio y el magnesio.

Tabla 44. Determinación de hierro (ppm) en las zonas agroecológicas, estrato 2.

Estrato	Profundidad (cm)	Hierro (ppm)		
		Culebrillas Pedón 1	El Carbón Pedón 2	San Antonio Pedón 3
2	50 - 100	17,18	14,22	17,74
	50 - 100	17,41	17,54	18,41
	50 - 100	17,58	17,63	18,51
	Media	17,39	16,46	18,22

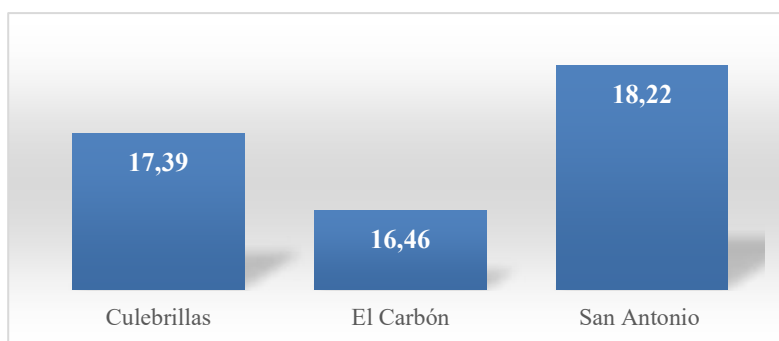


Figura 39. Determinación de hierro (ppm) de los suelos evaluados, estrato 2.

Tabla 45. Análisis de varianza para el hierro en el estrato 2 de los suelos evaluados.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Pedón	4,63349	2	2,31674	1,74	0,2534 ns
Residuos	7,98407	6	1,33068		
Total	12,6176	8			

Nota. ns = no significativo

La tabla ANOVA muestra que no existe diferencia estadística significativa entre el hierro y los suelos de las 3 localidades a la profundidad de 50 a 100 cm. Puesto que el valor-P es mayor que 0,05 ($0,25347 > 0,05$); por lo tanto, las localidades no tienen efecto estadísticamente significativo sobre el hierro con un 95% de nivel de confianza, en este caso el hierro del sector El Carbón tiene el menor contenido con un valor de 16,46 ppm, lo que indica que los suelos de este sector a esta profundidad son los más pobres en el contenido de hierro.

c) Determinación de cobre

Tabla 46. Determinación de cobre (ppm) en las zonas agroecológicas, estrato 1.

Estrato	Profundidad (cm)	Cobre (ppm)		
		Culebrillas Pedón 1	El Carbón Pedón 2	San Antonio Pedón 3

1	0 - 50	0,83	2,24	0,75
	0 - 50	0,75	1,48	1,58
	0 - 50	0,74	1,17	1,59
	Media	0,77	1,63	1,31

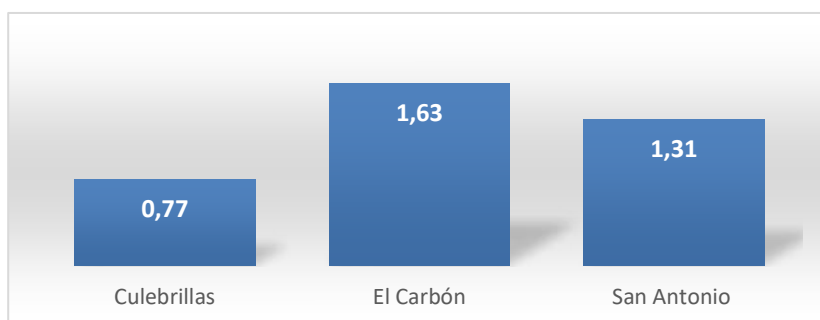


Figura 40. Determinación de cobre (ppm) de los suelos evaluados, estrato 1.

Tabla 47. Análisis de varianza para el cobre en el estrato 1 de los suelos evaluados.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Pedón	1,12287	2	0,561433	3,13	0,1172 ns
Residuos	1,07593	6	0,179322		
Total	2,1988	8			

Nota. ns = no significativo

La tabla ANOVA muestra que no existe diferencia estadística significativa entre el contenido de cobre y los suelos de las 3 localidades a la profundidad de 0 a 50 cm. Puesto que el valor-P es mayor que 0,05

(0,1172>0,05); por lo tanto, las localidades no tienen efecto estadísticamente significativo sobre el contenido de cobre con un 95% de nivel de confianza, en este caso el cobre de los suelos del sector Culebrillas tiene el menor contenido con un valor de 0,77 ppm, lo que indica que los suelos de este sector son los más pobres en cobre.

Tabla 48. Determinación de cobre (ppm) en las zonas agroecológicas, estrato 2.

Estrato	Profundidad (cm)	Cobre (ppm)		
		Culebrillas Pedón 1	El Carbón Pedón 2	San Antonio Pedón 3
2	50 - 100	1,19	1,17	1,57
	50 - 100	1,16	2,02	0,63
	50 - 100	1,17	2,02	0,61
	Media	1,17	1,74	0,94

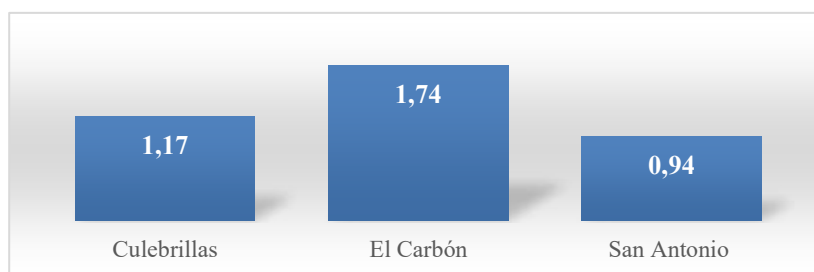


Figura 41. Determinación de cobre (ppm) de los suelos evaluados, estrato 2.

Tabla 49. Análisis de varianza para el cobre en el estrato 2 de los suelos evaluados.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P

Pedón	1,01336	2	0,506678	2,80	0,1381 ns
Residuos	1,084	6	0,180667		
Total	2,09736	8			

Nota. ns = no significativo

La tabla ANOVA muestra que no existe diferencia estadística significativa entre el contenido de cobre y los suelos de las 3 localidades a la profundidad de 50 a 100 cm. Puesto que el valor-P es mayor que 0,05 (0,1381); por lo tanto, las localidades no tienen efecto estadísticamente significativo sobre el cobre con un 95% de nivel de confianza, en este caso el cobre del sector Casaiches San Antonio tiene el menor contenido con un valor de 0,94 ppm, lo que indica que los suelos de este sector a esta profundidad son los más pobres en contenido de cobre.

El contenido de manganeso en mayor cantidad se encuentra en los suelos de Culebrillas con 0,13 y 0,18 ppm a las profundidades de 0-50 y 50-100 cm respectivamente, seguido de los suelos de Casaiches y El Carbón. El contenido de hierro de los suelos de Casaiches tienen la mayor cantidad con 17, 66 y 18,32 ppm a las profundidades de 0-50 y 50-100 cm respectivamente, seguido de los suelos de Culebrillas y Casaiches. El contenido de cobre es mayor en los suelos de El Carbón con 1,63 y 1,74 ppm a las profundidades de 0-50 y 50-100 cm respectivamente, seguido de los suelos de Culebrillas y Casaiches. Esto denota que a mayor profundidad de suelos mejor contenido de micronutrientes.

Los valores obtenidos no difieren mucho, por lo que se determina que no ha existido cultivos intensivos o que la materia mineral ha sido devuelta al suelo mediante los residuos de cosecha, también se puede denotar que no ha existido remoción continua de estos micronutrientes, pues se encuentran en cantidades aceptables; por lo tanto, los procesos erosivos en estas localidades han sido mínimos a la profundidad de 50 a 100 cm.

5.4.8 Determinación de amonio (NH_4)

La determinación de la diferentes formas de nitrógeno puede ser determinado por las concentraciones de amonio (NH_4), pues las formas en que el nitrógeno (N) es asimilado por las plantas es como NH_4 mediante procesos de flujo, en este sentido las cantidades de nitrógeno que se encuentran presentes en los suelos se debe principalmente a las diferentes condiciones que tenga el mismo, como el caso del clima, vegetación, actividad antimicrobiana, topografía del suelo, la actividad del hombre, entre otros.

La flora y microflora específica del suelo contribuye en la transformación del nitrógeno de las moléculas orgánicas en amonio, por lo tanto, el amonio puede contribuir a la determinación de la riqueza o pobreza del suelo en materia orgánica y microbiológica, los resultados obtenidos se presentan en la tabla a continuación:

Tabla 50. Determinación de amonio (ppm) en las zonas agroecológicas, estrato 1.

Estrato	Profundidad (cm)	Amonio (ppm)		
		Culebrillas Pedón 1	El Carbón Pedón 2	San Antonio Pedón 3
1	0 - 50	76	67	63
	0 - 50	63	57	84
	0 - 50	50	167	129
	Media	63	97	92

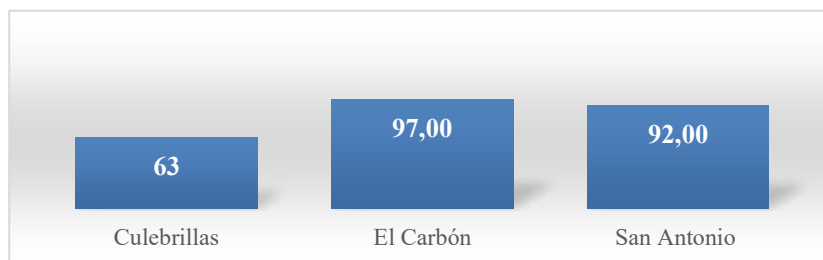


Figura 42. Determinación de amonio (ppm) de los suelos evaluados, estrato 1.

Tabla 51. Análisis de varianza para el contenido de amonio en el estrato 1 de los suelos evaluados.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Pedón	2022,0	2	1011,0	0,61	0,5759 ns
Residuos	10012,0	6	1668,67		
Total	12034,0	8			

Nota. ns= no significativo

La tabla ANOVA muestra que no existe diferencia estadística entre el contenido de amonio y los suelos de las 3 localidades a la profundidad de 0 a 50 cm. Puesto que el valor-P es mayor que 0,05 ($0,5759 > 0,05$); por tanto, las localidades no tienen ningún efecto estadísticamente significativo sobre el contenido de amonio con un 95,0% de nivel de confianza.

Tabla 52. Determinación de amonio (ppm) en las zonas agroecológicas, estrato 2.

Estrato	Profundidad (cm)	Amonio (ppm)		
		Culebrillas Pedón 1	El Carbón Pedón 2	San Antonio Pedón 3
2	50 - 100	75,00	67,00	76,00
	50 - 100	83,00	65,00	81,00
	50 - 100	82,00	229,00	188,00
	Media	80,00	120,33	115,00

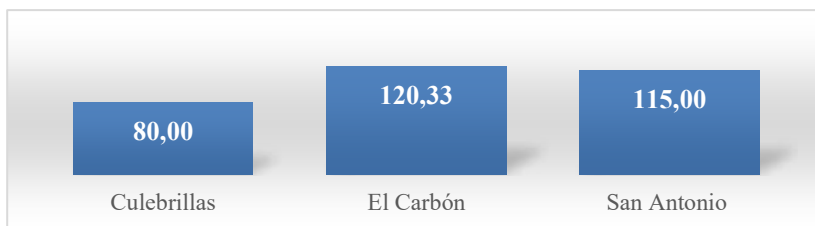


Figura 43. Determinación de amonio (ppm) de los suelos evaluados, estrato 2.

Tabla 53. Análisis de varianza para el contenido de amonio (ppm) en el estrato 2 de los suelos evaluados.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Pedón	2880,22	2	1440,11	0,34	0,7276 ns
Residuos	25758,7	6	4293,11		
Total	28638,9	8			

Nota. ns= no significativo

La tabla ANOVA muestra que no existe diferencia estadística entre el contenido de amonio y los suelos de las 3 localidades a la profundidad de 50 a 100 cm. Puesto que el valor-P es mayor que 0,05 (0,7276); por tanto, los pedones no tienen ningún efecto estadísticamente significativo sobre el contenido de amonio con un 95,0% de nivel de confianza.

Se debe mencionar que las tres mayores fuentes de nitrógeno en los suelos para agricultura es la urea, el amonio y el nitrato, de ahí se desprende un proceso conocido como nitrificación que es la oxidación biológica de amonio (NH₄) a nitrato (NO₃) gracias a la acción de las bacterias nitrificantes. Este proceso ocurre cuando las condiciones del suelo son las apropiadas, en este caso el suelo de la zona de Culebrillas tiene un bajo contenido de amonio a las dos profundidades y los suelos del sector El Carbón tienen el mayor contenido de amonio, seguido de los suelos del sector de Casaiches San Antonio. Esto demuestra que en el sector de Culebrillas existe una buena presencia de bacterias nitrificantes que permiten esta conversión, seguido del suelo de San

Antonio y por último de los suelos del sector de El Carbón, además presenta una gran ventaja pues los nitratos promueven sinérgicamente la adsorción de cationes como K, Ca y Mg.

5.4.9 Determinación de fósforo

El fósforo es un macroelemento que se encuentra formando parte de los suelos y en parte de los diferentes minerales como el caso de la fosforita, apatito, entre otros. También se encuentra formando parte de los compuestos asociados a la materia orgánica y también como parte de los microorganismos, los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio realizados en las diferentes zonas evaluadas se presentan en la tabla en la continuación:

Tabla 54. Determinación de fósforo (ppm) en las zonas agroecológicas, estrato 1.

Estrato	Profundidad (cm)	Fósforo (ppm)		
		Culebrillas Pedón 1	El Carbón Pedón 2	San Antonio Pedón 3
1	0 - 50	15,00	12,00	16,00
	0 - 50	11,00	15,00	19,00
	0 - 50	8,10	25,00	55,00
	Media	11,37	17,33	30

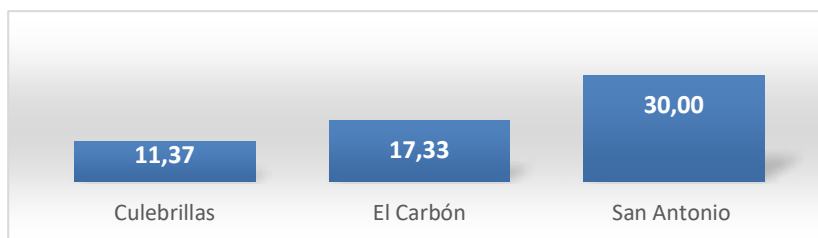


Figura 44. Determinación de fósforo (ppm) de los suelos evaluados, estrato 1.

Tabla 55. Análisis de varianza para el contenido de fósforo en el estrato 1 de los suelos evaluados.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Pedón	543,247	2	271,623	1,54	0,2886 ns
Residuos	1058,67	6	176,446		
Total	1601,92	8			

Nota. ns= no significativo

La tabla ANOVA muestra que no existe diferencia estadística entre el contenido de fósforo y los suelos de las 3 localidades a la profundidad de 0 a 50 cm. Puesto que el valor-P es mayor que 0,05 (0,2886); por tanto, las localidades no tienen ningún efecto estadísticamente significativo sobre el contenido de amonio con un 95% de nivel de confianza.

Tabla 56. Determinación de fósforo (ppm) en las zonas agroecológicas, estrato 2.

Estrato	Profundidad (cm)	Fósforo (ppm)		
		Culebrillas	El Carbón	San Antonio

		Pedón 1	Pedón 2	Pedón 3
2	50 - 100	11,00	10,00	15,00
	50 - 100	11,00	12,00	18,00
	50 - 100	10,00	32,00	47,00
	Media	10,67	18,00	26,67



Figura 45. Determinación de fósforo de los suelos evaluados, estrato 2.

Tabla 57. Análisis de varianza para el contenido de fósforo (ppm) en el estrato 2 de los suelos evaluados.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Pedón	384,889	2	192,444	1,25	0,3509 ns
Residuos	921,333	6	153,556		
Total	1306,22	8			

Nota. ns= no significativo

La tabla ANOVA muestra que no existe diferencia estadística entre el contenido de fósforo y los suelos de las 3 localidades a la profundidad

de 50 a 100 cm. Puesto que el valor-P es mayor que 0,05 (0,3509); por tanto, las localidades no tienen ningún efecto estadísticamente significativo sobre el contenido de fósforo con un 95% de nivel de confianza.

El requerimiento de fósforo en los suelos es un factor que está vinculado directamente a la actividad agronómica del mismo, éste juega un papel importante en la nutrición de los cultivos, y se vincula directamente con la capacidad del suelo de suministrar a los diferentes cultivos las cantidades que ellos lo requieren y así mismo es un indicador de las características físico químicas del suelo de reponer el fósforo que las plantas van tomando del mismo.

La fertilidad que presenta el suelo en relación al fósforo asimilable es más alta en los suelos del sector de Casaiches San Antonio en las dos profundidades, seguido de los suelos del sector de El Carbón y los suelos del sector de Culebrillas. Lo indicado pone en evidencia que los suelos del sector de San Antonio tienen un contenido de fósforo normal a alto, lo que indica que son suelos con buena fertilidad, lo que contrarresta con los suelos del Culebrillas que representan suelos pobres en fósforo con requerimientos de abonado para cubrir las necesidades del mismo.

Por todo lo expuesto se concluye que existe la influencia de la erosión en la modificación de las propiedades físico químicas de los suelos de las tres zonas agroecológicas evaluadas, según lo reportado en los análisis anteriormente desarrollados.

BIBLIOGRAFÍAS

- Aguilar, M., & Gómez, D. (2025). Manejo sostenible del suelo y su contribución a la mitigación del cambio climático. *Revista Ecuatoriana de Ciencias Ambientales*, 14(1), 22–35.
- Barrera, V. H., et al. (2021). Conservation agriculture can help the South American Andes. *Virginia Tech*. <https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/106548/agj2.20879.pdf>
- Castro, P., Molina, F., & Rivera, L. (2020). Cartografía digital de suelos basada en teledetección y SIG. *Revista de Geografía Aplicada*, 18(2), 45–58.
- Cruz, J., & Vera, S. (2023). Aplicación de sistemas de información geográfica en la gestión territorial sostenible. *Revista Latinoamericana de Estudios Ambientales*, 9(1), 51–67.
- Díaz, L., & Cabrera, P. (2023). Metodologías integradas para el análisis del uso y manejo del suelo agrícola. *Revista de Ciencias del Territorio*, 11(3), 19–33.
- FAO. (2023). Suelos y fertilidad: guía técnica para la agricultura sostenible. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-management/en/>

- FAO. (2025). FAO study reveals alarming agricultural land degradation in the Arab region. <https://reliefweb.int/report/world/fao-study-reveals-alarming-agricultural-land-degradation-arab-region>
- García, L., López, C., & Paredes, M. (2023). Transformaciones del uso del suelo y su impacto ambiental en zonas rurales del Ecuador. *Revista Científica Andina*, 7(2), 60–74.
- Gómez, R., & Herrera, L. (2022). Geografía y sistemas de coordenadas: fundamentos y aplicaciones en cartografía moderna. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- González, M., & Herrera, L. (2022). Gestión del uso del suelo y planificación territorial en ciudades latinoamericanas. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- González, M., & Pérez, A. (2021). Metodologías de caracterización territorial en investigaciones sociales y ambientales. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- González, R., & Morales, L. (2021). Propiedades físicas y químicas del suelo en los Andes ecuatorianos: implicaciones para la agricultura sostenible. Quito: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2021). Clasificación de áreas urbanas y rurales en Ecuador. Quito: INEC. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec>

- López, A., & Méndez, J. (2021). Cambios de uso del suelo y dinámica territorial en América Latina. *Revista Geográfica del Ecuador*, 5(1), 33–48.
- López, R., Fernández, J., & Molina, L. (2022). Caracterización cualitativa y cuantitativa en estudios de territorio: fundamentos y aplicaciones. Quito: Ediciones Académicas.
- MAATE. (2023). Guía técnica para el manejo sostenible de suelos en el Ecuador. Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica.
- Martínez, R., & Flores, N. (2021). Los sistemas de información geográfica como herramienta para la planificación ambiental. *Revista Ecuatoriana de Tecnología y Medio Ambiente*, 15(2), 27–42.
- Mendoza, R., & Pacheco, H. (2022). Aplicaciones de teledetección y sensores remotos en la gestión territorial y ambiental en Ecuador. Quito: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).
- Pacheco, H., & Martínez, L. (2022). Influencia de las propiedades físicas del suelo en el crecimiento vegetal en ecosistemas andinos. Quito: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).
- Pacheco, H., & Zambrano, L. (2022). Cobertura y uso del suelo en Ecuador: análisis de biomas y áreas agrícolas. Quito: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).

- Pacheco, H. A. (2019). Soil erosion risk zoning in the Ecuadorian coastal region using geo-technological tools. *Revista Facultad de Ingeniería*, 27(2), 293–304. https://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-61902019000400293&script=sci_arttext
- Pérez, H., Viteri, P., & Andrade, G. (2022). Cambio de uso del suelo y su influencia en los ecosistemas andinos. *Revista de Ciencias Naturales*, 16(3), 49–63.
- Ramírez, P., & Torres, H. (2020). Herramientas para el análisis y caracterización del territorio en proyectos de desarrollo local. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.
- Ramírez, T., Aguilera, E., & Cedeño, M. (2024). Tecnologías geoespaciales para la planificación del uso del suelo en el Ecuador. *Revista del Instituto Nacional de Estudios Territoriales*, 12(1), 70–85.
- Ramos, D., & Torres, V. (2022). Aplicación de la teledetección en el monitoreo de cambios de cobertura y uso del suelo. *Revista de Ciencias Espaciales*, 8(1), 40–55.
- Salazar, M., & Jiménez, L. (2022). Propiedades fisicoquímicas del suelo y su relación con la productividad agrícola. *Revista Agroecológica del Ecuador*, 10(4), 25–39.
- Vargas, L., & Paredes, J. (2021). Georreferenciación y cartografía digital: aplicaciones en planificación y gestión del territorio. Quito: Universidad Central del Ecuador.



Uso del suelo y sus propiedades físico-químicas en zonas agroecológicas andinas de la provincia Bolívar, se publicó en el mes de diciembre de 2025.

ISBN: 978-9907-0-0544-8

**Grupo Editorial BLR
Ecuador
Cel: +593 98 320 4362
[https://grupobl.com/
publicaciones@grupobl.com](https://grupobl.com/publicaciones@grupobl.com)**

BIOGRAFÍA DE LOS AUTORES

Nelson Arturo Monar Gavilanez:

ingeniero Agrónomo, Máster en Gerencia Educativa y Diplomado Superior en Gestión y Planificación Educativa. Docente titular. Obras relevantes: Libro Valoración Económica de los bienes y servicios ambientales. Participación en investigaciones realizadas en la Universidad Estatal de Bolívar, publicaciones de artículos científicos y publicación de un libro.

Sonia del Carmen Fierro Borja:

Magister en Producción Agrícola Sustentable, Especialista en Economía Agrícola, Docente titular de la Universidad Estatal de Bolívar. Autora y coautora de proyectos de investigación. Participación en proyectos de investigación y vinculación. Directora de Trabajos de Investigación (tesis de pregrado) y como Miembro de Tesis de postgrado. Publicaciones de proyectos investigativos.

Araceli Beatriz Lucio Quintana:

Docente de Grado y Posgrado en universidades ecuatorianas, Investigadora en áreas sociales y técnicas. Autora y coautora de textos y artículos científicos. Docente de la Facultad Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente de la Universidad Estatal de Bolívar.

USO DEL SUELO Y SUS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS EN ZONAS AGROECOLÓGICAS ANDINAS DE LA PROVINCIA BOLÍVAR

Estimado lector, el libro destaca la importancia crítica de estudiar los cambios en el uso del suelo para garantizar una planificación territorial sostenible frente a desafíos como la urbanización y la deforestación. El autor resalta el papel transformador de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la teledetección, herramientas que permiten un monitoreo preciso y una gestión eficiente de los recursos naturales.

Al integrar el análisis de las propiedades físico-químicas del suelo con tecnologías digitales y metodologías de campo, es posible desarrollar estrategias de conservación y manejo que aseguren la seguridad alimentaria, protejan la biodiversidad y mitiguen los impactos del cambio climático.

Agradecemos a todos los lectores que se acercan a esta obra con ánimo de aprender, aplicar y transformar.



Grupo Editorial BLR
Ecuador
Cel: +593 98 320 4362
<https://grupobl.com/>
publicaciones@grupobl.com

ISBN: 978-9907-0-0544-8

