



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

“EFECTO DE TRES TIPOS DE MULCH ORGÁNICO EN LA CALIDAD DEL SUELO EN PARCELAS DE CULTIVOS ASOCIADOS EN ALOBURO Y YAHUARCOCHA, IMBABURA”

Trabajo de titulación presentado como requisito previo a la obtención del título de
Ingenieros en Recursos Naturales Renovables

Autores: Guido Arturo Mejía Cerón

Edison David Monteros Pillajo

Directora: Ing. Gladys Yaguana

IBARRA – ECUADOR

2018



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**“EFECTO DE TRES TIPOS DE MULCH ORGÁNICO EN LA CALIDAD DEL
SUELO EN PARCELAS DE CULTIVOS ASOCIADOS EN ALOBURO Y
YAHUARCOCHA, IMBABURA”**

Trabajo de titulación revisado por el Comité Asesor, previa a la obtención del título de:

INGENIEROS EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

APROBADO:

Ing. Gladys Yaguana MSc.

DIRECTORA

Ing. Mónica León MSc.

ASESORA

Ing. Lucía Vásquez MSc.

ASESORA

Biol. Renato Oquendo MSc.

ASESOR

IBARRA – ECUADOR

MARZO, 2018



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad. Por medio del presente documento dejamos sentada nuestra voluntad de participar en este proyecto, para lo cual ponemos a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD	100385939-2	
APELLIDOS Y NOMBRES	Mejía Cerón Guido Arturo	
DIRECCIÓN:	Ibarra – Imbabura	
EMAIL:	guimejia76@hotmail.com	
TELÉFONO FIJO:	TELÉFONO MÓVIL:	0959026878

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD	1004482087	
APELLIDOS Y NOMBRES	Monteros Pillajo Edison David	
DIRECCIÓN:	Cayambe - Pichincha	
EMAIL:	david_monteros14@hotmail.com	
TELÉFONO FIJO:	TELÉFONO MÓVIL:	0981661034

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	EFECTO DE TRES TIPOS DE MULCH ORGÁNICO EN LA CALIDAD DEL SUELO EN PARCELAS DE CULTIVOS ASOCIADOS EN ALOBURO Y YAHUARCOCHA, IMBABURA
AUTORES:	Mejía Cerón Guido Arturo Monteros Pillajo Edison David
FECHA:	15 de Enero de 2018
PROGRAMA:	PREGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Recursos Naturales Renovables
DIRECTORA:	Ing. Gladys Yaguana MSc.

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Nosotros, GUIDO ARTURO MEJÍA CERÓN, con cédula de identidad Nro. 1003859392 y EDISON DAVID MONTEROS PILLAJO, con cédula de identidad Nro. 1004482087, en calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hacemos la entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizamos a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior, Artículo 144.

3. CONSTANCIA

Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, al octavo día del mes de marzo del 2018

LOS AUTORES



Mejía Cerón Guido Arturo

C.I. 100385939- 2



Monteros Pillajo Edison David

C.I. 100448208- 7

ACEPTACIÓN



Ing. Betty Mireya Chávez Martínez

Biblioteca Universitaria UTN



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Nosotros, **GUIDO ARTURO MEJÍA CERÓN**, con cédula de identidad Nro. **100385939- 2** y **EDISON DAVID MONTEROS PILLAJO**, con cédula de identidad Nro. **100448208- 7**; manifestamos la voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, Artículos 4,5 y 6, en calidad de autores de la obra de trabajo de grado denominada **“EFECTO DE TRES TIPOS DE MULCH ORGÁNICO EN LA CALIDAD DEL SUELO EN PARCELAS DE CULTIVOS ASOCIADOS EN ALOBURO Y YAHUARCOCHA, IMBABURA”**, que ha sido desarrollada para optar por el título de Ingenieros en Recursos Naturales Renovables en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Mejía Cerón Guido Arturo
C.I. 100385939- 2

Monteros Pillajo Edison David
C.I. 100448208- 7

Ibarra, al octavo día del mes de marzo del 2018

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA- UTN

Fecha: Ibarra al octavo día del mes de marzo del 2018

GUIDO ARTURO MEJÍA CERÓN

EDISON DAVID MONTEROS PILLAJO

EFFECTO DE TRES TIPOS DE MULCH ORGÁNICO EN LA CALIDAD DEL SUELO EN PARCELAS DE CULTIVOS ASOCIADOS EN ALOBURO Y YAHUARCOCHA, IMBABURA

TRABAJO DE GRADO

Ingenieros en Recursos Naturales Renovables, Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, Ibarra, 15 de enero de 2018.

DIRECTORA: Ing. Gladys Yaguana

La presente investigación evaluó el efecto de tres tipos de mulch orgánico en la calidad del suelo en parcelas de cultivos asociados en Aloburo y Yahuarcocha, Imbabura con el fin de mejorar la eficiencia de uso del recurso. La efectividad de las estrategias se evidenció a través de análisis de calidad del suelo. Los resultados obtenidos, permitieron establecer el mejoramiento del suelo en cuanto a parámetros físicos, químicos y biológicos.

Ibarra, al octavo día del mes de marzo del 2018

AUTORES



Mejía Cerón Guido Arturo



Monteros Pillajo Edison David

DIRECTORA



Ing. Gladys Yaguana MSc.

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por los señores; **GUIDO ARTURO MEJÍA CERÓN** y **EDISON DAVID MONTEROS PILLAJO**, bajo mi supervisión en calidad de director.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Gladys Yaguana', is written over a horizontal line.

Ing. Gladys Yaguana MSc.
DIRECTORA

DECLARACIÓN

Manifestamos que la presente obra es original y se ha desarrollado sin violar derechos de autor de terceros; por lo tanto, es original y somos los titulares de los derechos patrimoniales; por lo que asumimos la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldremos en defensa de la Universidad Técnica del Norte en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, al octavo día del mes de marzo del 2018



Mejía Cerón Guido Arturo
C.I. 100385939- 2



Monteros Pillajo Edison David
C.I. 100448208- 7

AGRADECIMIENTO

A la honorable Universidad Técnica del Norte, a la carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables y a sus docentes por habernos formado académica, ética y profesionalmente.

A nuestra estimada directora MSc. Gladys Yaguana, nuestro respeto, gratitud y admiración por habernos brindado el apoyo necesario a lo largo de nuestra investigación, de igual manera a nuestros asesores MSc. Mónica León, MSc. Lucía Vásquez y MSc. Renato Oquendo por guiarnos de la mejor forma hasta la culminación de la investigación.

Agradecimientos especiales al Ing. Manuel Aguilar, MSc. María Vizcaíno, MSc. Oscar Rosales por su aporte y conocimiento en el desarrollo de esta investigación, y a nuestra querida compañera Mayra Soria por su valiosa labor en el trabajo de campo.

A nuestros familiares y amigos que nos brindaron su apoyo ante las adversidades.

Guido Mejía

David Monteros

DEDICATORIA

A Dios por brindarme la fortaleza de seguir adelante, guiarme en cada hábito de mi vida y permitirme junto a mi compañero cumplir la meta académica propuesta.

A mi hija Chavelita quien ha sido el pilar fundamental de mi vida, quien ha sido mi mayor motivación para salir adelante y sonreír

A mi madre Lucía, que me ha inspirado con su fortaleza para seguir adelante y me ha brindado su apoyo y amor incondicional.

A mis hermanos Carolina y Kevin quienes me han demostrado su apoyo y cariño en este caminar por la vida, y a mi padre por sus consejos.

A mis abuelitos Luis y Teresa que me han sabido compartir su sabiduría y se han convertido en un ejemplo de vida que admiro.

A mi gran amigo David con el cual hemos compartido gratos momentos de amistad, y quien me enseñó a no darse por vencido.

Guido Mejía Cerón

DEDICATORIA

A mi madre Patricia, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional, el cual me ha ayudado a salir adelante en los momentos más difíciles.

A mi padre Edison, a pesar de nuestra distancia física, siento que estás conmigo siempre y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, sé que este momento hubiera sido tan especial para ti como lo es para mí.

Mis hermanas, Silvana y Jennyfer, por estar conmigo y apoyarme siempre, las quiero mucho.

A mi enamorada Wendy, quien ha sido mi compañera y amiga, gracias por su amor incondicional.

Agradezco también a mi gran amigo y colega Guido, el cual me enseñó a ser optimista y mostrar una sonrisa a pesar de las adversidades.

David Monteros

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Contenido	Páginas
RESUMEN.....	xxi
ABSTRACT.....	xxii
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. Justificación.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. Hipótesis.....	3
CAPÍTULO II	4
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	4
2.1. Antecedentes.....	4
2.2. Suelo.....	5
2.2.1. Evaluación de suelos.....	5
2.2.2. Uso actual y uso potencial del suelo.....	6
2.3. Calidad del suelo.....	6
2.3.1. Propiedades físicas.....	6
2.3.2. Propiedades químicas.....	10
2.3.3. Propiedades biológicas.....	19
2.4. Clima.....	22
2.5. Mulch orgánico y sus beneficios.....	22
2.6. Cultivos asociados.....	23
2.7. Riego por goteo.....	23
2.8. Riqueza específica.....	24
2.9. Índices de similaridad.....	24
2.10. Importancia de la conservación de suelos.....	24
2.11. Principios para desarrollar estrategias para el manejo de suelos.....	25
2.11.1. Aumentar la cobertura de los suelos.....	25
2.11.2. Aumentar la materia orgánica del suelo.....	26
2.11.3. Mejorar las condiciones de enraizamiento.....	26

2.11.4. Mejorar la fertilidad química y la productividad	27
2.11.5. Proteger las parcelas.....	27
2.11.6. Reducir la contaminación del suelo y del ambiente.....	27
2.12. Marco legal.....	28
CAPÍTULO III	30
MARCO METODOLÓGICO	30
3.1. Descripción del área de estudio.....	30
3.2. Materiales y equipos	30
3.3. Metodología	32
3.3.1. Fase 1. Características ecológicas en cuanto a clima y suelo	32
3.3.2. Fase 1.1. Adecuación del terreno e implementación del mulch en las parcelas de estudio.	35
3.3.3. Fase 2. Cambios en las propiedades físicas y químicas posteriores a la aplicación del mulch	38
3.3.4. Fase 3. Estrategias de manejo y conservación de suelos	40
3.4 Consideraciones bioéticas	41
CAPÍTULO IV	42
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
4.1. Características ecológicas: suelo y clima, de cada sitio experimental.	42
4.1.1. Temperatura	42
4.1.2. Precipitación.....	42
4.1.3 Uso actual y cobertura vegetal 2013	43
4.1.4. Uso potencial del suelo	44
4.1.5. Zonas de vida	44
4.1.6. Perfil del suelo.....	45
4.1.7. Textura	47
4.1.8. Pendiente	48
4.1.9. Propiedades Químicas	48
4.1.10: Biológicas.....	52
4.2. Análisis de los cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo con la aplicación de los tres tipos de mulch.....	52
4.2.1. Propiedades físicas en Aloburo	52
4.2.2. Propiedades químicas en Aloburo.....	53
4.2.3. Propiedades físicas en Yahuarcocha	63

4.2.4. Propiedades químicas en Yahuarcocha	64
4.2.5. Análisis estadístico.....	73
4.3. Riqueza específica en hongos y bacterias	74
4.4. Estrategias de manejo y conservación de suelos.....	80
4.4.1. Estrategias de educación ambiental comunitaria (PEAC)	80
4.4.2. El uso de mulch orgánico.....	81
4.4.3. Inducción hacia el cambio al sistema de riego por goteo.....	83
4.4.4. Zonas ecológicamente similares para la implementación de los programas.....	84
CAPÍTULO V.....	86
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	86
5.1. Conclusiones	86
5.2. Recomendaciones.....	88
REFERENCIAS.....	89
ANEXOS.....	101
INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Horizontes del suelo	7
Figura 2. Carta de colores de Munsell	8
Figura 3. Mapa de ubicación de los sitios de experimentación.....	31
Figura 4. Perfil del suelo	33
Figura 5. Cartas de colores de Munsell.....	33
Figura 6. Medición de pendiente con el clinómetro.....	34
Figura 7. Diseño de muestreo por patrón en zigzag.....	34
Figura 8. Medición de muestra.....	34
Figura 9. Adecuación del terreno	35
Figura 10. Adecuación del terreno	35
Figura 11. Rayado de caminos	36
Figura 12. Instalación del riego.....	36
Figura 13. Sistema de siembra	37
Figura 14. Diseño experimental	37
Figura 15. Colocación de coberturas.....	38
Figura 16. Diseño de muestreo por técnica en zigzag.....	38
Figura 17. Muestreo de suelo	39
Figura 18. Identificación de muestras	39
Figura 19. Perfil de Aloburo	45
Figura 20. Perfil del suelo en Yahuarcocha	47
Figura 21. Concentración de pH antes y después de la aplicación de mulch (A).....	54
Figura 22. Concentración de CE antes y después de la aplicación de mulch (A).....	54
Figura 23. Concentración de nitrógeno antes y después de la aplicación de mulch (A).....	55
Figura 24. Concentración de fósforo antes y después de la aplicación de mulch (A)	56
Figura 25. Concentración de potasio antes y después de la aplicación de mulch (A)	57
Figura 26. Concentración de calcio antes y después de la aplicación de mulch (A)	57
Figura 27. Concentración de magnesio antes y después de la aplicación de mulch (A).....	58
Figura 28. Concentración de Azufre antes y después de la aplicación de mulch (A).....	59
Figura 29. Concentración de hierro antes y después de la aplicación de mulch (A)	59
Figura 30. Concentración de manganeso antes y después de la aplicación de mulch (A).....	60
Figura 31. Concentración de cobre antes y después de la aplicación de mulch (A).....	61
Figura 32. Concentración de zinc antes y después de la aplicación de mulch (A)	62

Figura 33. Concentración de MO antes y después de la aplicación de mulch (A)	63
Figura 34. Concentración de pH antes y después de la aplicación de mulch (Y).....	64
Figura 35. Concentración de CE antes y después de la aplicación de mulch (Y).....	65
Figura 36. Concentración de nitrógeno antes y después de la aplicación de mulch (Y).....	66
Figura 37. Concentración de fósforo antes y después de la aplicación de mulch (Y)	66
Figura 38. Concentración de potasio antes y después de la aplicación de mulch (Y)	67
Figura 39. Concentración de calcio antes y después de la aplicación de mulch (Y)	68
Figura 40. Concentración de magnesio antes y después de la aplicación de mulch (Y).....	68
Figura 41. Concentración de Azufre antes y después de la aplicación de mulch (Y).....	69
Figura 42. Concentración de hierro antes y después de la aplicación de mulch (Y)	70
Figura 43. Concentración de manganeso antes y después de la aplicación de mulch (Y).....	71
Figura 44. Concentración de cobre antes y después de la aplicación de mulch (Y).....	71
Figura 45. Concentración de zinc antes y después de la aplicación de mulch (Y)	72
Figura 46. Concentración de MO antes y después de la aplicación de mulch (Y)	73
Figura 47. Dendrograma de similitud en Aloburo	73
Figura 48. Dendrograma de similitud en Yahuarcocha	74
Figura 49. Zonas ecológicamente similares en la Zona 1	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rangos de profundidad.....	9
Tabla 2. Pendiente	9
Tabla 3. Rangos de pH en el suelo	10
Tabla 4. Rangos del Nitrógeno en el suelo.....	12
Tabla 5. Rangos del Fósforo en el suelo	13
Tabla 6. Rangos del Potasio en el suelo	14
Tabla 7. Rangos del Calcio en el suelo	15
Tabla 8. Rangos del Magnesio en el suelo	15
Tabla 9. Rangos del Azufre en el suelo.....	16
Tabla 10. Rangos del Hierro en el suelo	17
Tabla 11. Rangos del Manganeseo en el suelo	18
Tabla 12. Rangos del Cobre en el suelo	19
Tabla 13. Rangos del Zinc en el suelo.....	19
Tabla 14. Rangos de MO en el suelo de la Sierra	21
Tabla 15. Coordenadas de los sitios de experimentación.....	30
Tabla 16. Materiales y equipos.....	30
Tabla 17. Propiedades a evaluar.....	39
Tabla 18. Temperatura Sitios	42
Tabla 19. Precipitación sitios	43
Tabla 20. Uso actual de los sitios	43
Tabla 21. Uso potencial de los sitios	44
Tabla 22. Zonas de vida	44
Tabla 23. Profundidad efectiva en Aloburo	46
Tabla 24. Profundidad efectiva en Yahuarcocha.....	47
Tabla 25. Resultados de análisis de textura en Yahuarcocha y Aloburo	47
Tabla 26. Análisis de suelos en Aloburo y Yahuarcocha, antes de la aplicación de mulch....	48
Tabla 27. Profundidad (A) después de la aplicación del mulch.....	52
Tabla 28. Porcentajes de textura después de la aplicación del mulch en Aloburo.....	53
Tabla 29. Profundidad (Y) después de la aplicación del mulch.....	63
Tabla 30. Porcentajes de textura después de la aplicación del mulch en Yahuarcocha	64
Tabla 31. Resultados de análisis Bacterias en Aloburo.....	75
Tabla 32. Índice de similitud de Sorensen por tratamiento (Bacterias en Aloburo)	76
Tabla 33. Resultados de análisis Hongos en Aloburo	77

Tabla 34. Resultados de análisis Bacterias en Yahuarcocha.....	78
Tabla 35. Índice de similitud de Sorensen por tratamiento (Bacterias en Yahuarcocha)	79
Tabla 36. Resultados de análisis Hongos en Yahuarcocha	80
Tabla 37. Índice de similitud de Sorensen por tratamiento (Hongos en Yahuarcocha).....	80
Tabla 38. Actividades para el PEAC.....	81
Tabla 39. Actividades para el uso de mulch.....	83
Tabla 40. Actividades para el sistema de riego	84

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Mapa de isotermas medias anuales	102
Anexo 2. Mapa de isoyetas medias anuales	103
Anexo 3. Mapa uso actual del suelo 2013	104
Anexo 4. Mapa uso potencial del suelo	105
Anexo 5. Mapa de zonas de vida	106
Anexo 6. Perfil del suelo	107

RESUMEN

Las localidades de Aloburo y Yahuarcocha de la provincia de Imbabura, se caracterizan por su precipitación menor de 650 mm/año y alta radiación solar. Existe pérdida de cobertura vegetal y suelos degradados, con escasa materia orgánica. En la posibilidad de integrar estas áreas a la producción se planteó el aprovechamiento eficiente de mulch orgánico en parcelas de cultivos asociados de maíz (*Zea mays L.*) con arveja (*Pisum sativa L.*). El objetivo general fue evaluar el efecto mulch orgánico de arveja (*Pisum sativa L.*), cebada (*Hordeum vulgare L.*) y fréjol (*Phaseolus vulgaris L.*) en la calidad del suelo cultivado, mediante: caracterización de las propiedades ecológicas de cada sitio experimental, cambio en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo con cada cobertura frente a un testigo sin mulch; y, riqueza específica de hongos y bacterias edáficas. Se aplicó el Diseño Experimental Bloques completos al Azar, con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones; espesor de la capa de mulch de 5 cm. Antes de la aplicación del mulch el suelo registró bajas concentraciones de materia orgánica y nutrientes N, P, S, Fe y Mn, y una profundidad efectiva muy superficial en los dos sitios. La aplicación del mulch influyó en las concentraciones de N, P, K, Ca, S, Fe, Mn y Cu, en la profundidad efectiva e incremento de las poblaciones de hongos y bacterias del suelo; por el análisis estadístico de similitud se comprobó la hipótesis alternativa ya que las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo variaron para los tratamientos. Se concluyó que la aplicación de mulch genera un efecto benéfico en parcelas de cultivos asociados, favorece la concentración y absorción de nutrientes, y estimula la actividad biológica del suelo.

Palabras clave: Mulch, suelo, cultivos asociados.

ABSTRACT

The communities of Aloburo and Yahuarcocha located in the province of Imbabura present problems of low rainfall loss of vegetation cover, high solar radiation and degraded soils; Therefore, the efficient use of three types of organic mulch was proposed as an alternative in plots of associated crops of corn (*Zea mays L*) with peas (*Pisum sativa L*). The overall objective of the study was to evaluate the effect of organic mulches pea, barley and beans in soil quality cultivated by: characterization of the ecological properties of soil and climate in each experimental site, change in physical properties, chemical and biological soil with each cover against a control treatment; and, determination of the specific richness in the populations of fungi and bacteria. The DBCA Experimental Design was applied, with four treatments and four repetitions; with a thickness of the mulch layer of three cm. Due to its characteristics, the soil before the application of the mulch had low concentrations of N, P, S, Fe and Mn as well as a low amount of organic matter and a very shallow effective depth at both sites. The application of mulch influenced the concentrations of some nutrients (N, P, K, Ca, S, Fe, Mn and Cu) effective depth and the emergence of populations of fungi and soil bacteria; the statistical analysis of similarity allowed to reject the null hypothesis and to accept the alternative hypothesis which it mentions, the physical, chemical and biological properties vary in at least one of the treatments. In general, it is concluded that the application of mulch has a beneficial effect in plots of associated crops as it maintains in adequate amounts the nutrients, controls the pH and stimulates the biological activity.

Key words: Mulch, soil, associated crops.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La degradación del suelo es un proceso en el que existe una modificación en la calidad del mismo, lo cual provoca la reducción de su capacidad para cumplir correctamente con sus funciones; afectando así el suministro de bienes y servicios a las comunidades beneficiarias (FAO, 2016). En Latinoamérica los problemas de degradación se han potenciado por las diferentes actividades humanas como la deforestación, incendios forestales, sobrepastoreo y actualmente la intensificación agrícola a través de la mecanización en cultivos, abandono de estructuras de conservación y mal uso de aguas superficiales y subterráneas. Se estima que en Latinoamérica más de 300 millones de hectáreas se han visto afectadas por la degradación, 100 millones de ellas por deforestación y 80 millones por sobrepastoreo (Sentís, 2007).

En Ecuador, los problemas de degradación del suelo se logran percibir de manera intensa en la región interandina, principalmente en las provincias de Loja, Pichincha, Imbabura y Carchi, donde la actividad que más predomina es el sector agropecuario (Cisneros, Fontaine y Narváez, 2008). Según los datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2016), la superficie agrícola ocupa un 42,82% del territorio nacional, este alto porcentaje demuestra un gran impacto sobre la dinámica natural del suelo. La magnitud de este impacto se ve inducido principalmente por las variaciones climáticas, la pérdida de cobertura vegetal y la incidencia antrópica ejercida sobre el suelo.

En la comunidad de Aloburo, parroquia La Dolorosa de Priorato (Imbabura), la principal causa de degradación de suelos es la escasa cantidad de agua que han venido suministrando sus caudales (La Carbonería 1, Carbonería 2 y Carbonería 3), en donde se han reducido de 7,2 a 2,45 l/s en el 2014, causando deterioro en los cultivos, ausencia de humedad en las capas del subsuelo y pérdida de la cobertura vegetal (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal De San Miguel De Ibarra, 2015).

Yahuarcocha es una comunidad que se ha ido expandiendo agrícolamente a lo largo de la microcuenca. La baja precipitación de la zona y la degradación del suelo ha impulsado a los agricultores a inclinarse por el uso de fertilizantes químicos para aumentar la producción en las

cosechas alterando la estructura del suelo, generando contaminación, agotamiento de la materia orgánica, pérdida de la fertilidad y calidad del suelo. La riqueza del suelo ha disminuido por las condiciones ambientales no adecuadas generadas por la degradación del suelo, siendo un problema que hoy en día el agricultor debe afrontar y adaptarse a tecnologías alternativas (Viana, 2007).

1.2. Justificación

Este estudio evaluó la similitud de tres tipos de mulch orgánico en la calidad del suelo en parcelas de cultivos asociados en las localidades de Aloburo y Yahuarcocha, con el fin de determinar qué tratamiento resultó más eficaz en la calidad del suelo al final de la investigación, además de, socializar con la población esta técnica agroecológica, que ayudaría reduciendo costos y mejorando la calidad estructural del suelo para futuras prácticas en cultivos asociados.

La investigación se llevó a cabo con la finalidad de mejorar las condiciones de vida de las familias en las comunidades de Aloburo y Yahuarcocha promoviendo una alternativa agroecológica para el manejo y conservación del suelo, enmarcándose así en el cumplimiento de los objetivos 3 (*Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones*) y 6 (*Desarrollar las capacidades productivas y del entorno para lograr una soberanía alimentaria y el Buen Vivir rural*) del Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 Toda una Vida (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo SENPLADES, 2017).

A través de la incorporación de tres tipos de mulch orgánico en parcelas de cultivos asociados en Aloburo y Yahuarcocha, se evaluaron los cambios en las variables físicas, químicas y biológicas mejorando las condiciones del suelo para el desarrollo de cultivos. Esta investigación favorece a la soberanía alimentaria de las comunidades y promueve el uso de esta alternativa agroecológica siendo parte de la transformación agro- productiva en el sector agrícola, además, formó parte del proyecto “Eficiencia de mulch orgánico en el mejoramiento de suelos y conservación de la humedad en parcelas de cultivos asociados en Aloburo y Yahuarcocha, Imbabura – Ecuador”, correspondiente al Grupo de Investigación de Manejo y Recuperación de Suelos y Aguas; y fue financiado por la Universidad Técnica del Norte.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de tres tipos de mulch orgánico en la calidad del suelo en parcelas de cultivos asociados en Aloburo y Yahuarcocha, Imbabura; con el fin de mejorar la eficiencia de uso del recurso.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar las características ecológicas: suelo y clima, de cada uno de los sitios donde se encuentran los ensayos experimentales.
- Analizar los cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo con la aplicación de los tres tipos de mulch en las parcelas de cultivos asociados en Aloburo y Yahuarcocha.
- Estudiar la riqueza específica en poblaciones de hongos y bacterias del suelo en cada tratamiento.
- Diseñar estrategias de manejo y conservación de suelos utilizando mulch orgánico para áreas ecológicamente similares en la Zona 1 del Ecuador.

1.4. Hipótesis

Ho: Las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo son similares para todos los tratamientos.

Ha: Las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo varían por lo menos en uno de los tratamientos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1. Antecedentes

El conjunto de características químicas, físicas y biológicas son determinantes para el desarrollo de la vegetación y representan la fertilidad y calidad del suelo; las actividades agrícolas y de producción pecuaria dependen inevitablemente de la calidad en la que se encuentre este recurso. La explotación del suelo mediante el uso de insumos agroquímicos, herbicidas e insecticidas, ha ocasionado problemas como la erosión, desgaste físico y agravamiento de la actividad microbiana, por lo que ha ido reduciendo su fertilidad al crear dependencia de estos insumos químicos y deteriorando la soberanía alimentaria (Suquilanda, 2008).

La aplicación de mulch orgánico es una práctica agrícola empleada para la protección y mejora de la fertilidad del suelo, se le atribuyen ventajas como la de mantener la actividad de los microorganismos en el suelo, suministrar nutrientes a la planta, proteger al suelo de la desecación, mantener la humedad y estabilizar la temperatura. Los efectos del mulch benefician a las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, en lo físico la humedad aumenta en zonas áridas y semiáridas, las adiciones de la cobertura vegetal en las propiedades químicas permiten un aumento de humus y de la capacidad de intercambio catiónico; en cuanto a la variable biológica el acolchado aumenta las poblaciones de microorganismos (Cánovas, 2015).

Estudios realizados por Contreras y Moreno (2000), sobre el efecto de coberturas vegetales muertas en cultivos asociados de *Lactuca sativa L.* - *Allium ampeloprasum L.*, señalan que la cobertura vegetal muerta incide en el aumento de materia orgánica presente en el suelo, generando incremento en la supervivencia de plantas, disponibilidad de agua y disminución en el ingreso de rayos solares a la capa superficial del suelo, con el fin de evitar la evapotranspiración y aumentar la retención de humedad.

Valencia, Baute y García (2008) analizaron el efecto de las coberturas arbóreas y vegetales muertas sobre la producción de café en el norte de Colombia, donde los resultados obtenidos en el cultivo provisto de sombrero-mulch no afectó en los requerimientos nutricionales de la planta, y contribuyó en el incremento y acumulación de materia orgánica, de igual manera, se obtuvo un aumento de N, P, K, Ca y Mg en el suelo, lo que produjo un mejoramiento en la producción del cultivo de café.

Dentro de la investigación realizada por Flores y Méndez (2011) respecto al manejo sustentable del suelo mediante el uso de tres abonos orgánicos elaborados con materias primas vegetales, concluye que, al incorporar abonos orgánicos al suelo contribuye al crecimiento poblacional de hongos, bacterias y nemátodos favorables para el suelo y la planta; en el aspecto micológico el género *Fusarium sp.* disminuyó su cantidad de 7 colonias a tan solo 3 colonias después de la aplicación de abonos verdes, a su vez, en la parte bacteriológica no se obtuvo presencia de colonias de ningún género antes de la siembra, sin embargo, después de la aplicación de abonos orgánicos se presenció al género *Pseudomonas*.

2.2. Suelo

FAO (2015), define el suelo como un recurso limitado, lo que conlleva que a lo largo de la vida humana tiende a degradarse o perder su composición. Es el elemento principal para la producción de alimentos, combustibles y servicios ecosistémicos necesarios en el ambiente. También se lo considera como la capa superficial o el manto que cubre las rocas consolidadas, se forma a base de rocas madres, plantas espontáneas, microorganismos, cambios de temperatura, así como la cantidad de precipitación y fuerza del viento. Es un cuerpo complejo por su gran capacidad de variar en su textura y composición orgánica (Durán, 2009).

2.2.1. Evaluación de suelos

El suelo varía en su composición de acuerdo al uso al cual este expuesto, un suelo puede estar apto para la productividad agrícola en base a los datos disponibles que ejerce el resultado de la evaluación (FAO, 2000). La evaluación de suelos abarca requerimientos específicos de aspectos biofísicos tomando en consideración clima, suelo, cultivos o aspectos agronómicos esenciales para el uso agro-ecológico del suelo, teniendo en cuenta índoles sociales y económicas (Rosa, 2008). La FAO (2016) expresa que, la mayor parte de evaluación de suelo está encaminada para sistemas de cultivo y actividades agropecuarias, aunque se mantiene el mismo principio de práctica para otras medidas.

2.2.2. Uso actual y uso potencial del suelo

Denota las actividades que se están desempeñando en el suelo en tiempo presente o vienen siendo resultado de relaciones históricas que ha desempeñado el ser humano en la tierra. Las investigaciones que se realizan del uso actual y potencial de tierras son necesarias para determinar el uso irracional al que está sometido el suelo en actividades agropecuarias, ganaderas y forestales, así como puede determinar las consecuencias de efectos erosivos, sequías, pérdida de fertilidad, deforestación y reutilización constante de tierras de buena calidad. El uso potencial de tierras es el aprovechamiento que se le podría dar al suelo de acuerdo con sus características naturales sin afectar su uso sostenido; para determinar su capacidad sostenible es necesario adquirir datos de su relieve, coberturas vegetales, pendientes, precipitación y déficit hídrico (Vargas, 1992).

2.3. Calidad del suelo

La calidad productiva del suelo está definida en base al estado de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, resaltando la materia orgánica como principal indicador de calidad, aunque dependiendo del manejo de suelos la materia orgánica tiende a verse afectada y disminuida en porcentaje esto según el tiempo de agricultura, los monocultivos, la labranza, actividades agropecuarias y diferentes tipos de fertilización (García, 2004). Un suelo con altos porcentajes de concentración de contaminantes se considerará de mala calidad poniendo en riesgo la salud humana y no siendo rentable para la agricultura (Porta, López-Acevedo y Roquero, 2003). La buena calidad productiva del suelo favorece el desarrollo de cultivos sanos, cosechas de calidad, alto rendimiento productivo y gran calidad nutricional en los productos alimenticios (Zuquilanda, 2008).

2.3.1. Propiedades físicas

Están definidas por la relación e interacción entre las diferentes fases del suelo donde se destacan la textura, estructura, porosidad, color, temperatura, densidad, permeabilidad, profundidad y condiciones térmicas (Marconi, 2011). De acuerdo a Porta et al. (2003) las propiedades físicas del suelo tienden a ser igual o más relevantes que las químicas en el comportamiento y función del suelo, por ello si llega a degradarse será más difícil su rehabilitación.

▲ Perfil del suelo

Kolmans y Vásquez, (1999), definen al perfil del suelo como la sucesión continua de horizontes que se pueden diferenciar al realizar un corte perpendicular en el suelo. Los diferentes tipos de horizontes se pueden clasificar dependiendo de su color, tamaño de sus partículas y el contenido de materia orgánica existente en el sustrato, además, es más fácil la identificación de horizontes cuando el suelo se encuentra en formación, normalmente se los nombra con letras mayúsculas diferentes (Figura 1). Cuando los horizontes son superficiales tienden a erosionarse, por ello es necesario darle un adecuado manejo al recurso, así pueden desarrollar de mejor manera su estructura física, química y biológica. La mayoría de suelos presentan diferentes combinaciones de horizontes:

- Horizonte A: Lámina superficial, de color oscuro, rico en materia orgánica y microorganismos, alta presencia de raíces y vida microbiana.
- Horizonte B: Lámina intermedia, baja presencia de materia orgánica, color más claro (rojizo o marrón), más compactada que el horizonte A, poca actividad biológica y baja presencia de raíces.
- Horizonte C: Baja presencia de raíces, roca no consolidada.

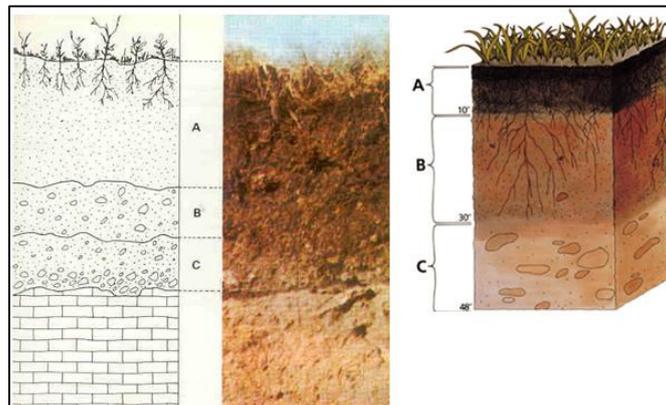


Figura 1. Horizontes del suelo
Fuente: Kolmans y Vásquez, (1999)

▲ Estructura

Se define como la asociación o congregación de las partículas en el suelo dando una forma específica o en su caso no definida, se forma principalmente por la interacción entre factores biológicos, físicos, químicos y mineralógicos. Es un factor condicionante para procesos físicos

y biogeoquímicos en actividades agropecuarias y ambientales tales como restauración y rehabilitación de ecosistemas (Consentino, 2011).

▲ **Color**

Es una propiedad muy importante en el diagnóstico del perfil suelo, se lo determina a simple vista y es necesario para identificar cada capa y horizonte del suelo. El color determina diferentes características del suelo como acumulación de compuestos químicos, material orgánico presente, origen geológico, grado de oxidación y reducción (Moreno, Ríos y Romaniuk, 2011). Según Plaster (2005), el color es un indicador de calidad y puede representar las condiciones en las que se encuentra el suelo, entre los principales colorantes del suelo se encuentran el óxido de hierro y la materia orgánica.

El color puede ser determinado mediante comparación con las cartas de color como las de Munsell (Figura 2). Las cartas poseen un nombre para cada color y tres características principales. La primera, 5YR, establece el tinte o matiz en cuanto a los colores amarillo, rojo, azul o verde. La segunda, 5/ establece la pureza o el brillo, y muestra la claridad del color. La tercera característica, expresa la intensidad y saturación, lo que nos indica el poderío del color o su desvío al gris con una igual claridad (Flores y Alcalá, 2010).



Figura 2. Carta de colores de Munsell

▲ **Textura**

La textura denota el tamaño o finura de partículas en arena, limo y arcilla contemplando el 100% de suelo. De esta propiedad depende la extensión en la que las plantas pueden desarrollarse (Foth, 1990). De acuerdo a Plaster (2005), la textura es la propiedad física más esencial e influyente para determinar la fisonomía del suelo, el tamaño de las partículas de

arena, limo y arcilla definen los rasgos que presenta y la clase textural a la que pertenece el suelo.

▲ **Profundidad efectiva**

Es la profundidad que las raíces pueden ingresar al suelo fácilmente para obtener agua y nutrientes necesarios para su desarrollo (Tabla 1), sin impedimentos físicos y químicos. (Cock, Álvarez y Estrada, 2002). Según Narro (1994), la profundidad es una variable que sufre pequeños cambios en condiciones naturales, es muy fundamental en el manejo de suelos y obtención de mejores rendimientos en actividades agropecuarias. Por otro lado, algunos procesos de erosión o degradación pueden ser perjudiciales en casos de mal uso del terreno como el depósito de materiales dañinos al suelo.

Tabla 1. Rangos de profundidad

CLASE	PROFUNDIDAD DEL SUELO (cm)
Muy superficial	<25
Superficial	25 -50
Moderadamente profunda	50 – 100
Profunda	100 – 150
Muy profunda	>150

Modificado de: Jaramillo (2002)

▲ **Pendiente del terreno**

MAE (2013), define a la pendiente como la inclinación o el grado de desnivel que está sujeto el terreno. La pendiente se mide calculando la tangente en la superficie o utilizando instrumentos de medición como el clinómetro, en donde se determina valor en grados, aunque se expresa principalmente en porcentajes para analizar el tipo de relieve y pendiente. A mayor inclinación mayor será el valor de la pendiente (Tabla 2).

Tabla 2. Pendiente

Porcentaje de pendiente	Descripción
0-2	Cercana al nivel
2-6	Algo inclinada
6-12	Inclinada
12-18	Fuertemente inclinada
18-30	Muy fuertemente inclinada
30- 60	Inundada
Más de 60	Muy inundada

Modificado de: Priego, Bocco, Mendoza y Garrido (2008).

2.3.2. Propiedades químicas

Abarcan características que no son visibles, pero determinan si un suelo es apto para actividades agrícolas, entre sus principales propiedades están pH, salinidad, alcalinidad, capacidad de cambio catiónico, macro y micro nutrientes (Rosa, 2008)

▲ **Potencial hidrógeno (pH)**

Representa la presencia de iones de hidrógeno en la solución del suelo, además, trata el tipo de reacción en la que se encuentra, pudiendo ser neutra, alcalina o ácida (Tabla 3). Cada una de estas condiciones definen ciertos parámetros o factores como: la movilidad de nutrientes, capacidad de intercambio catiónico, la estructura y meteorización (Navarro y Navarro, 2017). El pH es un factor elemental en el dinamismo y ciclo vital de microorganismos, así como en la intervención en sus procesos. También está involucrado en el grado de asimilabilidad de macronutrientes y micronutrientes.

Tabla 3. Rangos de pH en el suelo

	Ácido	Ligeramente Ácido	Prácticamente neutro	Ligeramente alcalino	Alcalino
Ph	5,5	5,6 – 6,4	6,5 – 7,5	7,6 – 8,0	8,1

Fuente: Agrocalidad (2017)

Disponibilidad de nutrientes en cuanto al valor de pH:

- Las sales amónicas y nítricas se pueden presentar en todos los rangos de pH, haciéndolos más solubles.
- Compuestos de azufre y potasio al igual que el nitrógeno se encuentran en alta solubilidad en todos los intervalos de pH, sin embargo, en escenarios ácidos el azufre tiende a disminuir por lixiviación.
- Un pH inferior a 5 determina alta disponibilidad de nutrientes como el manganeso, zinc, hierro y cobre, en el intervalo alcalino, estos tienden a insolubilizarse transformándolos a hidróxidos y presentando poca o escasa utilización.
- En pH inferior a 6,5 la solubilidad del fósforo decrece, debido a que el Fe y Al están más solubilizados cuanto más bajo es el pH. El fósforo se vuelve utilizable a un pH de 6,5 – 7.
- El calcio llega a su precipitación en un pH superior a 7,5.

- Un pH elevado resulta favorable para la asimilación de nutrientes como el magnesio y el calcio, de otra forma un pH ácido induce a su lixiviación y disminuye su disponibilidad.
- Los organismos como las bacterias actúan mejor en sus procesos en intervalos de pH altos e intermedios, mientras que en pH inferior a 5,5 su actividad se reduce. Los hongos son facultativos con respecto al pH.

▲ **Conductividad eléctrica (CE)**

La conductividad eléctrica determina la cantidad de sales presentes en un material o sustrato, un suelo con una elevada cantidad de sales puede impedir o inhibir el desarrollo de plantas. Es recomendable que la CE del suelo o de cualquier sustrato sea menor a 1dS/m, con el fin de facilitar la fertilización y prevenga futuros problemas de fitotoxicidad en las siembras o cultivos (Garrido, 1993). Existen diferentes razones o condiciones por las cuales la conductividad eléctrica aumenta o disminuye:

Aumento de CE

- Presencia de fertilizantes insolubles
- Incorporación de una cantidad de fertilizantes superiores a las absorbidas o lixiviadas
- Alta capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Disminución de CE

- Corregir mediante lixiviación controlada
- Mantener el sustrato o suelo en condiciones húmedas
- Sombrear o incrementar la humedad relativa

Nutrientes

▲ **Nitrógeno**

Es el elemento fundamental para el crecimiento y desarrollo de la planta, se denomina la unidad principal de la molécula que favorece la vida. La principal fuente de nitrógeno para el suelo es la atmósfera (79, 08% en volumen) (Ciarlo y Palma, 2011). Navarro y Navarro (2003) afirman que este macronutriente es el principal componente para el desarrollo vegetal, un deficiente suministro en el suelo provoca la disminución en la producción de cultivos (Tabla 4).

Ganancia de Nitrógeno en el suelo:

- Aporte de nitrógeno inorgánico y sales arrastradas por las lluvias.
- Descomposición y mineralización de materia orgánica con la participación activa de microorganismos que viven en el suelo.
- Aportes de fertilizantes, abonos orgánicos y plantas verdes.
- Fijación de nitrógeno atmosférico por *Rhizobium* u otras bacterias simbióticas.

Pérdida de Nitrógeno en el suelo:

- Recolección de cosechas.
- Desnitrificación o reducción biológica.
- Volatilización de NH₃
- Erosión
- Exceso de agua
- Suelos labrados

Tabla 4. Rangos del Nitrógeno en el suelo

Categoría	Rango N (%)
Bajo	0 - 0,15
Medio	0,16 - 0,3
Alto	>0,31

Fuente: Agrocalidad (2017)

▲ Fósforo

Este elemento al igual que el nitrógeno estimula el crecimiento de la planta, pero en menor grado, es uno de los factores que interviene en la reproducción de la planta y asegura la división celular, así como forma parte de las sustancias químicas que almacena energía y la transfiere (Tabla 5). Una cantidad adecuada de fósforo en el suelo asegura los requerimientos alimenticios de la microfauna (Plaster, 2005). De acuerdo con la FAO (2000), el fósforo contribuye en la formación de las raíces, resistencia al agua y a la maduración de semillas; las fuentes en las que se puede encontrar dicho nutriente son mediante súper fosfatos, huesos de animales pequeños y excremento.

Ganancias de fósforo en el suelo:

- pH
- Materia orgánica a través de la descomposición y mineralización
- Suelos húmedos
- Microorganismos
- Cantidades balanceadas entre NPK

Pérdida de fósforo en el suelo:

- Erosión por escorrentía que arrastra partículas
- pH bajo
- Suelos secos o fríos
- Cantidades altas de zinc
- Remoción por cosechas

Tabla 5. Rangos del Fósforo en el suelo

Categoría	Rango P (mg/kg)
Bajo	0 - 10,0
Medio	0,11 - 20,0
Alto	>0,21

Fuente: Agrocalidad (2017)

▲ **Potasio**

El potasio es un elemento primordial para el desarrollo y crecimiento de cultivos además de estar implicado en el intercambio necesario de gas para el proceso de la fotosíntesis y la transpiración de la planta (Tabla 6), además es un macronutriente esencial para combatir enfermedades y hacer más resistente en épocas invernales a la planta (Espinosa, 1993). De acuerdo con Sanzano (2017), el potasio es un macronutriente que juega un papel fundamental en la nutrición de plantas, es absorbido en grandes cantidades por ser el elemento con mayor disponibilidad.

Ganancia de Potasio al suelo:

- Material original a causa de la meteorización
- Mediante fertilización
- Por acción biológica
- pH cercano al neutro

Pérdida de Potasio en el suelo:

- Lixiviación en suelos arenosos
- La sobre-fertilización de nitrógeno
- Por erosión

Tabla 6. Rangos del Potasio en el suelo

Categoría	Rango K (cmol/kg)
Bajo	<0,2
Medio	0,2 - 0,38
Alto	>0,4

Fuente: Agrocalidad (2017)

▲ Calcio

Se presenta como el tercer elemento más usado por la planta fundamentalmente para construir las paredes celulares, se encuentra inmerso en el control del pH del suelo y en la agregación del mismo, el calcio juega un papel muy importante en la estructura del suelo (Tabla 7), siendo el principal catión que interviene en el complejo absorbente en suelos ácidos (Guevara, 2017). De acuerdo con Navarro y Navarro (2003), las rocas y minerales poseen grandes cantidades de calcio, pero éstas se pueden perder fácilmente en climas húmedos, también detallan las siguientes pérdidas y ganancias de calcio en el suelo:

Ganancia de Calcio en el suelo:

- Depende de la capacidad de intercambio catiónico
- Materia orgánica
- Aportación de fertilizantes
- Rocas y minerales

Pérdida de Calcio en el suelo:

- Absorción de cultivos
- Lavado o lixiviación en zonas con alta pluviometría
- Erosión
- Suelos ácidos y arenosos
- Suelo seco o exceso de potasio inhibe la captura de calcio

Tabla 7. Rangos del Calcio en el suelo

Categoría	Rango Ca (cmol/kg)
Bajo	<1,0
Medio	1,0 – 3,0
Alto	>3,0

Fuente: Agrocalidad (2017)

▲ **Magnesio**

El magnesio es un elemento que se encuentra inmerso en la molécula de clorofila, por lo que actúa de la mano en el proceso de la fotosíntesis. En suelos arenosos o con baja capacidad de intercambio catiónico es muy probable que exista deficiencia de magnesio (Tabla 8). Las formas más comunes de encontrar magnesio en el suelo son; magnesio en solución, magnesio intercambiable y el magnesio contenido en minerales primarios y secundarios (Guevara, 2017). Según Plaster (2005), el magnesio beneficia la captura de fósforo como macronutriente principal, actúa en la síntesis de proteínas, grasas y carbohidratos; las deficiencias que produce en las plantas es la baja resistencia a enfermedades, sequías y temperaturas altas.

Ganancia de magnesio al suelo:

- Interláminas de arcilla
- Meteorización de minerales primarios y secundarios
- Degradación de materia orgánica a base de residuos vegetales y animales

Pérdida de Magnesio en el suelo:

- Lixiviación
- Altos contenidos de potasio
- Absorción por organismos del suelo
- Extracción por cultivos
- Erosión

Tabla 8. Rangos del Magnesio en el suelo

Categoría	Rango Mg (cmol/kg)
Bajo	<0,33
Medio	0,34 – 0,66
Alto	>0,66

Fuente: Agrocalidad (2017)

▲ **Azufre**

De acuerdo con Sanzano (2017), el azufre es un macronutriente esencial para la elaboración de proteínas en la clorofila y el desarrollo de la planta. La meteorización de rocas plutónicas son la principal fuente de origen de azufre, ya que este proceso emite cantidades de sulfatos. El promedio de azufre en el suelo oscila entre 0,02 a 0,2% y se encuentra en el suelo de dos formas; azufre orgánico e inorgánico (Tabla 9).

Ganancia de Azufre en el suelo:

- Residuos vegetales o animales
- Meteorización de minerales de sulfato
- Materia orgánica
- Lluvias ácidas

Pérdida del Azufre en el suelo:

- Humedad y temperatura
- Lixiviación
- Baja cantidad de materia orgánica

Tabla 9. Rangos del Azufre en el suelo

Categoría	Rango S (mg/kg)
Bajo	<12,0
Medio	12,0 – 24,0
Alto	>24,0

Fuente: Agrocalidad (2017)

▲ **Hierro**

Es un oligoelemento que forma parte de varias enzimas formadoras de sustancias químicas, principalmente en la clorofila. Los minerales de hierro son meteorizados y desprenden cantidades de hierro en formas iónicas insolubles como el hidróxido férrico, $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Los suelos que presenten exceso de nutrientes tales como el zinc, cobre, manganeso y fosfatos o sean suelos alcalinos o calcáreos requieren necesariamente de hierro (Arizmendi, Rivera, Cruz, Castro y De la Garza, 2011). De acuerdo a Navarro y Navarro (2003), el hierro suele variar entre 1 y 5 % en suelos templados y menores a 1% en suelos ácidos o texturas gruesas (Tabla 10). El movimiento del hierro en el suelo y su inasimilabilidad dependen del contenido de arcilla y materia orgánica que se presente en el medio.

Ganancia de Hierro en el suelo:

- Materia orgánica por medio de sus características reductoras y acidificantes
- Regulación del pH
- Excremento de animales

Pérdida de hierro en el suelo:

- pH
- Humedad
- Enmienda orgánica
- Temperaturas extremas
- Interacción de Fe y demás minerales
- Suelos con poca aireación

Tabla 10. Rangos del Hierro en el suelo

Categoría	Rango Fe (mg/kg)
Bajo	0 – 20,0
Medio	21,0 – 40,0
Alto	>41,0

Fuente: Agrocalidad (2017)

▲ **Manganeso**

De acuerdo a Gómez y Sotés (2014), se considera al manganeso un oligoelemento importante en la creación de la clorofila junto al hierro, su formación se basa en la liberación de un catión en el proceso de meteorización de minerales y rocas (Tabla 11). Entre sus principales funciones se encuentran, la ayuda que proporciona para fijar otros nutrientes a la planta, así como una rápida germinación en la semilla. La liberación de manganeso en altas proporciones puede llegar a ser tóxico, estos casos suceden cuando el pH se encuentra por debajo de 5,0.

Ganancia de Manganeso en el suelo:

- Altos contenidos de materia orgánica
- pH elevado
- Incorporación de manganeso directamente a la planta
- Actividad microbiana

Pérdida del manganeso en el suelo:

- Deficiencia en suelos alcalinos y neutros
- Pérdida por lixiviación con pH bajo y buen drenaje

- Suelos sobre-encalados o calcáreos
- Interacción de Fe/Mn y Co/Mn
- Poblaciones microbianas

Tabla 11. Rangos del Manganeso en el suelo

Categoría	Rango Mn (mg/kg)
Bajo	0 – 5,0
Medio	6,0 – 15,0
Alto	>16,0

Fuente: Agrocalidad (2017)

▲ **Cobre**

Se halla constituido principalmente en estructuras cristalinas pertenecientes a minerales primarios y secundarios que no hayan sufrido el proceso de edafización, en menor porcentaje proviene de la materia orgánica en donde interviene en los procesos químicos (Navarro y Navarro, 2003). El cobre se ve inmerso en algunas enzimas en la composición de la clorofila, así como es vital para controlar la humedad y ser resistente ante enfermedades (Tabla 12); además, se encuentra en grandes cantidades en estado orgánico lo cual implica no estar disponible para la planta, la baja concentración de dicho nutriente es más probable que se encuentre en arenas lixiviadas y estiércol (Plaster, 2005).

Ganancia de Cobre en el suelo:

- Materia orgánica
- Estructuras cristalinas de minerales primarios y secundarios
- pH
- Existencia de zinc, fósforo, nitrógeno, hierro, aluminio y molibdeno

Pérdida del Cobre en el suelo:

- pH
- Pérdida por lixiviación
- Fósforo en altas cantidades
- Nitrógeno en altas cantidades
- Aumento de oligoelementos

Tabla 12. Rangos del Cobre en el suelo

Categoría	Rango Cu (mg/kg)
Bajo	0 – 1,0
Medio	1,1 – 4,0
Alto	>4,1

Fuente: Agrocalidad (2017)

▲ Zinc

El zinc se encuentra disponible en suelos ácidos y menos disponibles en suelos alcalinos. La meteorización del catión zinc sucede fuera de los minerales del suelo formando quelatos o compuestos de zinc ligeramente solubles (Tabla 13). Suelos que han perdido su capa superior a causa de erosión, nivelado o terraplenado pueden ser pobres en zinc (Roca, Pazos y Bech, 2007). Sanzano (2017), manifiesta que el zinc actúa en las plantas como activador de las enzimas y su deficiencia produce cambio en las estructuras de las hojas.

Ganancia de zinc en el suelo:

- Disponible en suelos ácidos
- Materia orgánica
- Mayor meteorización, mayor disponibilidad

Pérdida de zinc en el suelo:

- Menos disponible en suelos alcalinos
- Capa superior del suelo nivelado o terraplenado
- Tienden a aparecer en bajos niveles en suelos toscos
- Baja cantidad de materia orgánica
- Suelos fríos o exceso de fosfatos.

Tabla 13. Rangos del Zinc en el suelo

Categoría	Rango Zn (mg/kg)
Bajo	0 – 3,0
Medio	3,1 – 6,0
Alto	>6,1

Fuente: Agrocalidad (2017)

2.3.3. Propiedades biológicas

Trata de la materia viva u orgánica compuesta de raíces, microorganismos y meso fauna los cuales desempeñan un papel muy importante en el suelo, siendo la primera fuente de creación

de nutrientes para plantas, retención de agua, protección y mejoramiento de la estructura de suelos (Rosa, 2008). Entre los principales microorganismos existentes en las variables biológicas tenemos a nemátodos, bacterias y hongos.

▲ **Materia orgánica**

Corbella y Fernández (2017), definen a la materia orgánica como la parte del suelo compuesta por restos vegetales y animales en estado de descomposición, los cuales aportan energía y alimento a los organismos presentes en el suelo, igualmente contribuye a la formación de coloides orgánicos en el sustrato (Tabla 14). En el caso de los cultivos la materia orgánica se va formando de los residuos de cosechas, hojas caídas, raíces y remanentes de hierbas, además se puede definir en:

- Materia orgánica en sentido general: comprende raíces de las plantas, material derivado de organismos muertos y sus productos de transformación, y la presencia de micro y macro - organismos.
- Materia orgánica en sentido restringido: se refiere a todo material que se encuentra en estado de descomposición, es decir raíces y organismos vivos.

La presencia de materia orgánica en el suelo se ve afectada por cinco factores: vegetación, clima, textura del suelo, drenaje y laboreo. La vegetación en el caso de las praderas genera gran cantidad de materia orgánica por la producción de raíces y los retoños enriqueciendo el suelo, los bosques generan materia orgánica en la superficie del suelo creando una capa delgada la cual es mezclada por gusanos y otros animales conformando un horizonte A poco profundo pero rico en humus (Jaramillo, 2002).

Los suelos en climas áridos poseen escasa cantidad de materia orgánica a causa de la baja presencia de vegetación, estos suelos de clima árido pueden ganar materia orgánica por medio de irrigación en un cultivo. La presencia de lluvia en los suelos aumenta la cantidad de vegetación que estimula el desarrollo de materia orgánica a diferencia de suelos en zonas más secas. La materia orgánica tiende a generarse más rápido que a descomponerse, es por eso que los suelos fríos con temperaturas entre 5 °C tienden a acumular materia orgánica (Plaster, 2005).

La materia orgánica logra almacenar nutrientes a partir de las partículas denominadas coloides de arcilla y humus, las cuales actúan a manera de imán atrayéndolos. El humus es el mayor suministro de boro y molibdeno, aproximadamente un 60 % de fósforo y 80 % de azufre del

suelo. La presencia de materia orgánica permite la formación de agregados y contribuye a la unión de organismos presentes en el suelo, mejorando la facilidad de laboreo, estabilidad estructural, permeabilidad, infiltración y disminuyendo la erosión (Amez, Florián, Otiniano y Sevillano, 2006).

Tabla 14. Rangos de MO en el suelo de la Sierra

Categoría	Rango MO (mg/kg)
Bajo	<1,0
Medio	1,0 – 2,0
Alto	>2,0

Fuente: Agrocalidad (2017)

▲ **Bacterias y su importancia**

Son organismos unicelulares ligeramente alargados formando cadenas al unirse con muchas bacterias más, suelen tener dominancia en suelos no ácidos. Obtienen energía autotróficamente o de reacciones químicas de sustancias en el suelo, son saprofitas y participan en la descomposición de materia orgánica (Mau, Sánchez y Vega, 2011). Las plantas no pueden absorber nitrógeno atmosférico sin embargo las bacterias son encargadas de usarlo y transformarlo en amoníaco, de esta manera el nitrógeno se vuelve útil para el suelo y por ende para las plantas. Las bacterias llegan a asociarse con las plantas en las raíces de modo que éstas forman un nódulo que recoge minerales y nutrientes (Córdova, Córdova, Ferrera, Obrador y Rivera, 2009).

▲ **Hongos y su importancia**

Son organismos provistos de micelios que desprenden esporas y dan lugar a la formación de un nuevo hongo, se alimentan de restos de material del suelo mediante las hifas, y se caracterizan por ser completamente heterótrofos y aeróbicos. En el campo microbiológico los hongos constituyen la mayor cantidad de masa microbiana debido a su tamaño, son abundantes en suelos ácidos (Plaster, 2005). Las hifas de los hongos se trenzan en el suelo para la formación de agregados, manteniendo firme la estructura del suelo durante su irrigación, lluvias y cultivo. Las micorrizas son hongos de formación simbiótica con las raíces de las plantas, recibiendo así la planta beneficios como: aumento en la capacidad de absorción de fósforo, zinc, cobre entre otros (Samaniego y Chew, 2007).

2.4. Clima

La Organización Meteorológica Mundial (1990), expresa que el clima es la “Síntesis de las condiciones meteorológicas correspondientes a un área dada, caracterizada por las estadísticas basadas en un período largo de las variables referentes al estado de la atmósfera en dicha área”. El clima se refiere a la valoración promedio de temperaturas y lluvias en un período de tiempo comprendido entre decenas de años, aclarando así la diferencia de tiempo el cual se define por un fenómeno meteorológico que puede durar varias horas o varios días (Rodríguez, Capa y Lozano, 2004).

▲ Temperatura

En la opinión de Llorente (2002), la temperatura es un factor que influye en la velocidad de las reacciones químicas del suelo, en zonas más frías se tiene un desarrollo de suelo lento, mientras que, en suelos que presenten una temperatura mayor a 16° C tendrán un desarrollo más rápido; esto se debe a que la meteorización química del suelo ocurre con mejor efectividad en zonas calientes. También es determinante en la reacción de la materia orgánica, ya que, a altas temperaturas la materia orgánica puede pasar rápidamente a putrefacción o pérdida acelerada de MO; por otro lado, una estable o moderada temperatura tiende a incorporar materia orgánica al suelo.

▲ Precipitación

Es la cantidad de agua acumulada o recolectada en un lapso de tiempo (año, mes, día) proveniente de lluvias, nieve y lloviznas, éste es el fruto de la condensación del vapor de agua atmosférico que se almacena en la capa superficial de la tierra. La cantidad de lluvia puede llegar a determinar la cantidad de vegetación, en suelos con mayor índice de precipitación existe mayor vegetación, lo que involucra mayor cantidad de materia orgánica en suelos húmedos. Las lluvias cooperan en la lixiviación de algunos materiales como arcillas, cal entre otros elementos llevándolos a horizontes más subterráneos. También se establece que las lluvias retrasan la evolución del suelo principalmente por lixiviación (INAMHI, 2017).

2.5. Mulch orgánico y sus beneficios

El mulch se considera cualquier tipo de material vegetal muerto que se produce naturalmente en la parte superficial del suelo, considerándolo como un mantillo a base de residuos de plantas y otros nutrientes para la mejora en prácticas agrícolas. Puede modificar las características del

suelo disminuyendo la erosión, aumentando la captación de agua y nutrientes y reduce porcentualmente la evaporación del suelo (Jaramillo, 2002).

Tiende a favorecer el incremento de porosidad, intercambio catiónico, aumento de la mesofauna para la formación de poros y el incremento de contenido de fósforo mediante la presencia de hongos que crecen gracias a la riqueza de materia orgánica muerta (Fernández, 2002). Contreras y Moreno (2005) y Baute, García y Valencia (2008), coinciden en que existen tanto beneficios como prejuicios en la utilización de cobertura vegetal muerta (mulch), entre los principales beneficios se encuentran:

- Aumenta la capacidad de retención de humedad en el suelo
- Reducir la evaporación del suelo
- Disminuye la incidencia de rayos solares
- Aumenta el contenido de materia orgánica, así como de nutrientes (N, P, K, Ca y Mg)
- Reduce la escorrentía y erosión
- Aumenta la permeabilidad de la superficie del suelo
- Control de maleza y aumento de mesofauna
- Aumento de actividad biológica

2.6. Cultivos asociados

Radica en el cultivo de dos o más especies de plantas en el mismo sitio y tiempo, optimizando la explotación o aprovechamiento del uso del suelo en la parcela. Este sistema es utilizado por pequeños productores cuya producción se basa en el autoconsumo permitiendo la disminución de pérdida del suelo al emplear especies con diferentes características (Gispert, 2002). La asociación de cultivos permite generar un beneficio mutuo de protección, así como pueden repeler o atraer plagas dependiendo de las características de cada especie (Paliwal, 2001). Desde el punto de vista de Goites (2008), el maíz requiere una profundidad entre 12 a 15 cm con el fin de proveerse adecuados niveles de humedad para su germinación; por otro lado, la arveja necesita un mínimo de 5cm de profundidad para proliferar en el suelo.

2.7. Riego por goteo

El riego por goteo es un sistema de irrigación que evita las pérdidas por infiltración y reduce el escurrimiento superficial, logrando así la aplicación del agua en cantidades requeridas por el cultivo humedeciendo el suelo únicamente en donde se halla la planta (Plaster, 2005). Este

sistema es empleado en terrenos con pendientes pronunciadas, zonas que presentan bajos caudales y suelos muy delgados, dado que; tiene alta eficiencia en el uso del agua, es un método de fácil manejo, no es afectado por el viento y no produce erosión al suelo (Mendoza, 2013).

2.8. Riqueza específica

La riqueza específica es el método más sencillo para determinar la diversidad biológica de un sitio, emplea solamente el número total de especies presentes en una comunidad, dejando de lado el valor de importancia de las mismas (Moreno, 2001). Desde el punto de vista de Aguirre (2013), la riqueza específica expresa diferentes aspectos de la diversidad tales como; salud del ecosistema, conservación, alteraciones e interacciones biológicas.

2.9. Índices de similaridad

Análisis Cluster

El análisis Cluster o más bien conocido como análisis de conglomerados, es una técnica estadística que detecta grupos o subgrupos homogéneos en base a variables, elementos o valores observados dentro de un conjunto aparentemente heterogéneo. Esta técnica se basa en el análisis de las distancias que existe entre los grupos, permitiendo identificar el grado de similitud en los aproximados, y el grado de diferencia en el caso de los distanciados (Berlaga, Rubio, Torrado y Vila, 2014).

Índice de Sorensen

De los índices con coeficientes de datos cualitativos éste ha sido el más aplicado para el análisis de diversidad beta. Este índice permite comparar dos comunidades mediante la presencia/ausencia de especies en cada una de ellas. Los índices beta no tienen un valor máximo, aunque varían de 0 a 1 que puede ser expresado en porcentaje, entre más alto sea el valor del índice beta menor será el número de especies compartidas entre las comunidades investigadas (Sonco, 2013).

2.10. Importancia de la conservación de suelos

La riqueza de los suelos ha permitido el potencial desarrollo de antiguas civilizaciones como los egipcios. Los suelos eran inundados por el Río Nilo alojaban los sedimentos y se enriquecían de nutrientes y ello permitía el avance productivo de los egipcios y mantener su civilización. El

suelo es una pequeña capa de soporte de vida que interactúa con la atmósfera y la corteza terrestre para proporcionar a plantas y animales los recursos que necesitan para su subsistencia (Plaster, 2005). El fin de la conservación de suelos es crear condiciones edafológicas favorables que permitan el adecuado crecimiento de cultivos, germinación de semillas, crecimiento de raíces, desarrollo de plantas y granos, es por esto que la FAO (2000) expresa las siguientes condiciones edafológicas:

- Condiciones físicas propicias para la germinación de semillas, es decir que el espacio del suelo y la semilla permita la movilidad de la humedad sin carecer de oxígeno y temperaturas desfavorables que limiten la germinación
- Estructura superficial con encostramiento fuerte limita la emergencia de las plántulas
- Para el crecimiento favorable de la planta joven y de sus raíces, la estructura, porosidad, y consistencia del suelo deben estar en condiciones estables
- Si el suelo presenta capas compactadas por labranzas o procesos naturales de compactación, debilitarán la capacidad de penetración de las raíces, la absorción de humedad y nutrientes
- La presencia de una alta actividad biológica entre diversidad de fauna y microorganismos, es de importancia para mantener la productividad de suelos e influenciar en la porosidad del suelo y la incorporación de humus.

2.11. Principios para desarrollar estrategias para el manejo de suelos (FAO, 2000)

La FAO ha planteado nueve principios fundamentales que deben ser considerados para la creación de estrategias sobre el manejo de suelos:

2.11.1. Aumentar la cobertura de los suelos

Es una estrategia que permite la sostenibilidad en los suelos, caracterizado por múltiples ventajas:

- Reducción de la erosión hídrica y eólica. - la cobertura sobre el suelo permite la reducción del impacto y separación de los agregados en el suelo a causa de las gotas de lluvia, la cobertura disminuye la velocidad del viento sobre la superficie del suelo.
- Aumenta la infiltración de la lluvia. - proporciona una mayor tasa de infiltración debido a que evita la formación de costras.
- Reduce la pérdida de la humedad por evaporación y aumenta la humedad disponible.

- Disminuye la temperatura. – beneficia los procesos de germinación de semillas, actividad biológica, procesos microbiológicos, en temperaturas superiores a 40 grados centígrados inhiben la germinación.
- Mejoran las condiciones de germinación. – las coberturas mejoran las condiciones de humedad en el suelo.
- Aumenta el contenido de materia orgánica de la capa superficial.
- Mejora la estabilidad estructural de los agregados superficiales. – incrementa la resistencia de los agregados hacia la erosión y encostramiento.
- Estimula la actividad biológica del suelo. – a causa de la influencia de las coberturas la actividad de microorganismos se estimula por las condiciones de humedad y temperatura.
- Aumento de la porosidad. - aumenta debido a la presencia de la macrofauna, influenciando en el drenaje de gran parte de la lluvia
- Favorece el control biológico de las plagas y estimula su proliferación.
- Reduce el enmalezamiento. - la presencia de rastrojos dificulta la emergencia de las malezas.

2.11.2. Aumentar la materia orgánica del suelo

Los beneficios son:

- Estabilidad de los agregados superficiales
- Capacidad de retención de humedad del suelo
- Incrementa la capacidad del suelo para retener nutrientes
- Estimula la actividad biológica

2.11.3. Mejorar las condiciones de enraizamiento

Beneficios:

- Mejora la absorción de nutrimentos y agua.
- Cultivos menos propensos a sequías.

Mecanismos:

- Labranza profunda para aflojar los horizontes compactados, aumentando así la porosidad facilitando la penetración de las raíces.
- Instalación de canales en suelos con deficiente drenaje.

- Mejorar las deficiencias de fósforo y demás elementos químicos que generan un desequilibrio nutricional.

2.11.4. Mejorar la fertilidad química y la productividad

Beneficios:

- Incrementa la producción del rendimiento
- Aumento de la biomasa del cultivo

Mecanismos:

- Diagnóstico del estado nutricional del suelo y de la planta
- Uso de abonos orgánicos
- Rotación de cultivos, este mecanismo tiende a rejuvenecer los suelos
- No permitir la quema de rastrojos
- Sustituir fertilizantes nitrogenados por la siembra de cultivos fijadores de nitrógeno como leguminosas
- Implementar cultivos con raíces profundas para que logre subir los nutrientes de horizontes profundos hacia horizontes superficiales

2.11.5. Proteger las parcelas

Resguardar las parcelas de inundaciones, deslizamientos de tierra erosión hídrica y eólica.

Mecanismos:

- Instalar canales de captación para desviar la escorrentía que entra a la parcela evitando así las inundaciones
- Incrementar la cobertura del suelo mejorando la infiltración con el fin de proteger la parcela de la erosión hídrica
- Implementar cortinas rompe vientos, impidiendo que la velocidad el viento produzca erosión hídrica
- Para proteger parcelas de los deslizamientos se debe introducir cobertura arbórea que permitan la estabilización del suelo.

2.11.6. Reducir la contaminación del suelo y del ambiente

Principios de reducción:

- Manejo integrado de plagas y malezas mediante pesticidas biológicos
- Capacitar a agricultores sobre el uso de compuestos químicos

- Aplicar fertilizantes según la necesidad del suelo
- Promover la aplicación de prácticas de conservación de suelos
- Analizar la calidad de aguas subterráneas y superficiales para la práctica de manejos de suelos.

2.12. Marco legal

La investigación presenta los diferentes instrumentos legales vinculados a la Evaluación de tres tipos de mulch orgánico en la calidad productiva del suelo en parcelas de cultivos asociados en Aloburo y Yahuarcocha, provincia de Imbabura, aportando distintas orientaciones legales, con el fin de incrementar la eficiencia del uso del recurso suelo.

Constitución de la República del Ecuador 2008

La constitución de la República del Ecuador año 2008 en el capítulo segundo, sección quinta referente al suelo menciona en los artículos:

Art. 409. Menciona que el suelo debe regirse por un uso sustentable que evite la degradación, erosión y desertificación del mismo, el estado debe considerar como prioridad nacional y apoyar proyectos que mejoren el suelo como el uso de especies nativas en forestación y reforestación.

Mientras que el Art. 410. Menciona que los agricultores y comunidades rurales recibirán apoyo del Estado para la conservación y restauración del suelo y el desarrollo de prácticas agrícolas que protejan y promuevan la soberanía alimentaria.

Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo

Artículo 3. Fines:

Art.3.8. menciona que la ley orgánica deberá identificar los valores potenciales del suelo para lograr el desarrollo sustentable y uso eficiente de los recursos naturales, garantizando así la soberanía alimentaria y el derecho a un ambiente sano, mediante un proceso de planificación que valore e identifique las potencialidades del suelo.

Art. 16. Suelo. El medio físico en donde se lleva a cabo actividades de la población, decisiones y estrategias territoriales para poder lograr un desarrollo integral sostenible mediante las dimensiones económica, social, cultural y ambiental.

Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021

Eje 1: Derechos para Todos Durante Toda la Vida

Objetivo 3: Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones

Política

3.4. Promover buenas prácticas que aporten a la reducción de la contaminación, la conservación, la mitigación y la adaptación a los efectos del cambio climático, e impulsar las mismas en el ámbito global.

Eje 2: Economía al Servicio de la Sociedad

Objetivo 6: Desarrollar las capacidades productivas y del entorno para lograr la soberanía alimentaria y el Buen Vivir rural.

Política

6.5. Promover el comercio justo de productos, con énfasis en la economía familiar campesina y en la economía popular y solidaria, reduciendo la intermediación a nivel urbano y rural, e incentivando el cuidado del medioambiente y la recuperación de los suelos.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Descripción del área de estudio

Los sitios de ensayo se encuentran ubicados en la provincia de Imbabura, cantón Ibarra, parroquia La Dolorosa del Priorato (Tabla 16). Aloburo y Yahuarcocha están localizados al norte del cantón Ibarra a 2,5 Km, Aloburo limita con las comunidades de Priorato y Rancho Chico; mientras que, Yahuarcocha está considerada entre las principales zonas turísticas de la provincia de Imbabura, limita al norte con la Dolorosa del Priorato, al sur línea paralela a la cota de 2400m, al este con El Tablón y al oeste el mirador (Tapia, 2010).

Tabla 15. Coordenadas de los sitios de experimentación.

	Aloburo	Yahuarcocha
Coordenada X	0823960	0822909
Coordenada Y	10043074	10039828
Altura (msnm)	2452	2210

Se utilizó información cartográfica, en donde se identificaron claramente los sitios de estudio Aloburo y Yahuarcocha (Figura 3), ubicados mediante las coordenadas UTM con el navegador GPS, proyección Universal Transversal de Mercator, Datum WGS 84 zona 17S.

3.2. Materiales y equipos

Tabla 16. Materiales y equipos

Campo	Equipo	Insumos	Software
Guantes para vivero	Barreno helicoidal	Semillas (maíz, arveja)	ArcGIS 10.2
Fundas herméticas	Clinómetro	Insumos agrícolas	Cartas topográficas
Flexómetro	Estufa	Mulch orgánico de arveja,	1:50000 (IGM, INEC,
Pingos	GPS	cebada y fréjol	MAGAP)
Cintas plásticas	Cámara fotográfica		
Alambre de púas	Computadora		
Estacas	Barreno cilíndrico		
Piolas	Tanques, reservorio		
Azadón, machete, barra, pala:	Sistema de riego		
Letreros	por goteo		

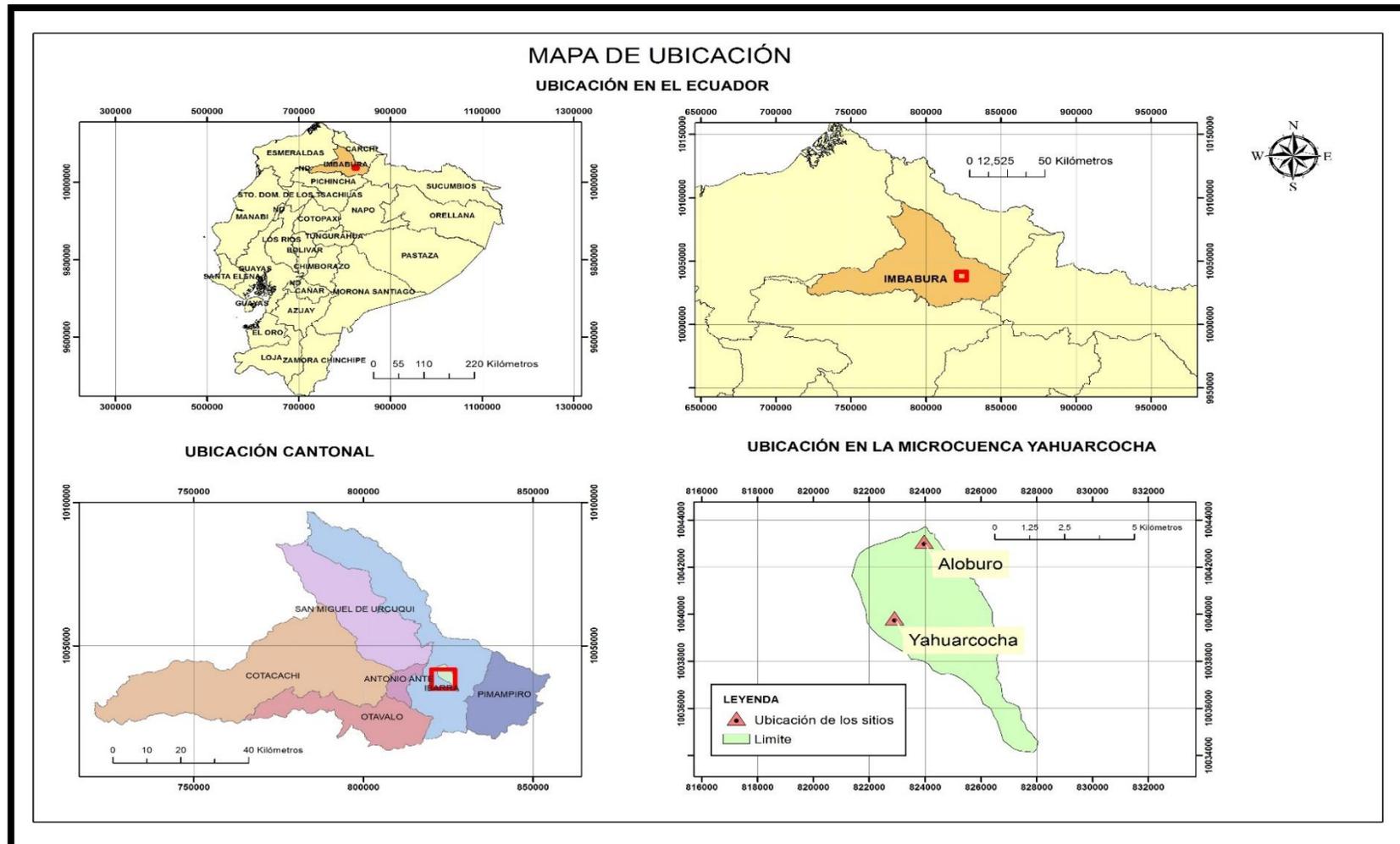


Figura 3. Mapa de ubicación de los sitios de experimentación

Elaboración: Los autores

3.3. Metodología

3.3.1. Fase 1. Características ecológicas en cuanto a clima y suelo

Mediante información cartográfica a escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar (IGM) y del Sistema Nacional de Información (SNI), se determinó los datos de precipitación, temperatura, uso actual y cobertura vegetal, uso potencial del suelo y zonas de vida; con el fin de determinar las características ecológicas presentes en los sitios de estudios.

Clima

- a. Precipitación. - Desde las capas obtenidas de isoyetas del SNI, se generaron tres rangos de clasificación en cuanto a la precipitación media anual en la microcuenca a la que pertenecen los sitios de estudio.
- b. Temperatura. - mediante la cartografía digital de isotermas del SNI se obtuvieron seis rangos de clasificación en la microcuenca de Yahuarcocha, de acuerdo a esto se identificó la temperatura a los sitios de estudio.

Suelo

▲ Cartografía

Con los puntos georreferenciados de los sitios de estudio mediante el GPS se procedió a realizar cartografía digital de:

- a. Uso actual del suelo 2013.- se realizó el mapa de uso actual del suelo 2013 en el cual se identificó seis categorías; bosque, cuerpo de agua, cultivos, pastizales, vegetación arbustiva y zona urbana de acuerdo a la cartografía digital del SNI.
- b. Uso potencial. - a través de la cartografía digital se generó el mapa de uso potencial del suelo, obteniendo seis rangos de aptitud y el área en hectáreas que ocupa cada uso.

▲ Perfil del suelo

Se realizó una calicata de 1x1m y profundidad a la que pudo penetrar la barra en los dos sitios (Figura 4), se caracterizó los distintos horizontes presentes en el suelo en cuanto a color, textura y estructura de cada capa. Cada uno de estos parámetros fue descrito en la tabla de descripción de perfiles de suelo (Anexo 1)



Figura 4. Perfil del suelo

Se utilizó las cartas de colores de Munsell para diferenciar el color de cada horizonte del suelo en seco y húmedo (Figura 5). Las cartas poseen un nombre para cada color y tres características principales las cuales fueron descritas están escritas en el marco teórico. (Flores y Alcalá, 2010).

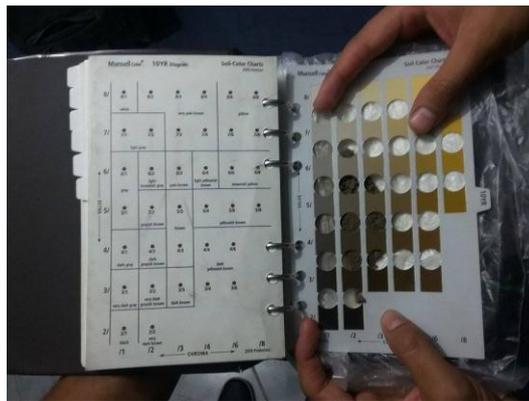


Figura 5. Cartas de colores de Munsell

Para la textura se obtuvo muestras de 1kg por cada horizonte o capa del suelo que, posteriormente fueron enviadas al laboratorio de Agrocalidad, en donde se realizó la prueba de textura por el método de Bouyoucos, y así se obtuvo el porcentaje de arena, limo y arcilla de cada horizonte. Mediante observación directa en campo se determinó la estructura del suelo y se clasificó de acuerdo a Plaster (2005).

Para determinar la pendiente se realizó mediciones en campo utilizando el clinómetro con el fin de obtener el dato de inclinación en cada sitio (Figura 6), este instrumento estima valores en grados, siendo necesario transformarlo en porcentaje para poder clasificarlo de acuerdo a la tabla de pendientes.



Figura 6. Medición de pendiente con el clinómetro

▲ **Profundidad**

Se realizó la toma de 36 submuestras en cada sitio según el patrón de zig zag en parcelas y caminos utilizando el barreno helicoidal (Figura 8). El valor de la profundidad en cada submuestra se midió en centímetros, obteniendo 36 valores, posteriormente se obtuvo el promedio general en cada sitio (Figura 7).



Figura 7. Diseño de muestreo por patrón en zigzag



Figura 8. Medición de muestra

3.3.2. Fase 1.1. Adecuación del terreno e implementación del mulch en las parcelas de estudio.

▲ Adecuación y limpieza de los sitios

Cada sitio de investigación tuvo una superficie de 550 m², constando de 16 parcelas de 7 x 3 metros cuadrados distantes una de la otra por caminos de un metro de ancho. La superficie de cada sitio fue limpiada de escombros, matorrales, piedras y malas hierbas; el trabajo se lo llevó a cabo con los docentes, jornaleros, investigadores y pasantes (Figura 9).



Figura 9. Adecuación del terreno

▲ Instalación del sistema de riego por goteo

Para la instalación del tanque, tuberías y cinta de goteo se tomó diferentes aspectos según Palomino (2010):

- a) Nivelación del terreno: se realizó la limpieza de vegetación, piedras y cualquier otro material que dificulte la instalación del sistema de riego por goteo (Figura 10).



Figura 10. Nivelación del terreno

- b) Rayado de caminos y linderos para las mangueras: se dibujó líneas en cada surco y facilitó el trabajo posterior para la ubicación de la manguera para abastecer al cultivo de riego. La distancia entre goteros fue de 0,20m a lo largo de la manguera (Figura 11).



Figura 11. Rayado de caminos

- c) Instalación de las mangueras y pruebas de goteo: se desplego las mangueras de la fuente al tanque y del tanque hacia el cultivo. La prueba de goteo determinó la cantidad de agua que necesita el cultivo según las condiciones climáticas expuestas en el objetivo uno (Figura 12).



Figura 12. Instalación del riego

La preparación del terreno se ejecutó con el fin de obtener una mejor condición de siembra y un óptimo ambiente para el desarrollo de las semillas según el trabajo de Parsons D. (1987). Después de la preparación del suelo se procedió a la siembra, para ello se tomó en cuenta los siguientes aspectos:

- Época: se consideró una época lluviosa, según el INIAP (2007) es recomendable sembrar de septiembre a enero en la región Sierra o dependiendo la zona.

- Semilla: se seleccionó semilla de mejor aspecto en tamaño, forma y color, con el fin de pretender la garantía de emergencia de las semillas.
- Sistema de siembra: se escogió el sistema de siembra intercalada o asociadas 3 semillas de maíz más dos de arveja por sitio, distanciados por aproximadamente 0,20m y a 0,65m entre hileras (Figura 13).



Figura 13. Sistema de siembra

- Profundidad de siembra: la profundidad varió entre 0,02m a 0,06m en el caso de la arveja, y para el maíz de 0,04m a 0,08m.

▲ Colocación de coberturas

Las coberturas fueron colocadas sobre el suelo en una capa de 0,05m de espesor por parcela de acuerdo al diseño experimental planteado (Figura 14), las coberturas orgánicas muertas fueron: residuos de cosecha de fréjol, arveja y cebada, transportados de Pimampiro, Huaca y El Ángel respectivamente, la parcela testigo estuvo sin cobertura (Figura 15).

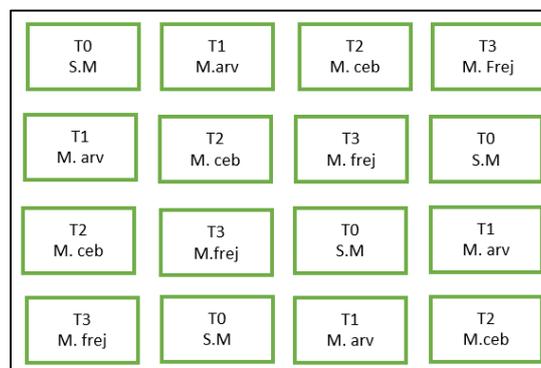


Figura 14. Diseño experimental



Figura 15. Colocación de coberturas

3.3.3. Fase 2. Cambios en las propiedades físicas y químicas posteriores a la aplicación del mulch

Según el instructivo de muestreo para análisis nematológico del laboratorio de nematología de Agrocalidad (2016) se colectaron dos submuestras para cada tratamiento; la primera para el análisis físico-químico y la segunda para análisis biológico, es decir 8 submuestras por sitio tomadas con la técnica del zig-zag a una profundidad de 0 a 20 cm (Figura 16). Para la toma de submuestras se limpió la superficie del suelo con el fin de minimizar errores en los resultados del análisis en el laboratorio.

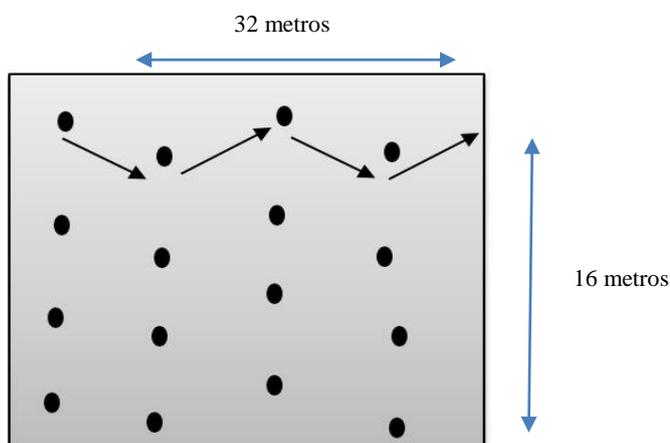


Figura 16. Diseño de muestreo por técnica en zigzag.

Las submuestras se obtuvieron con el barreno helicoidal para posteriormente ser homogenizadas y conseguir una muestra representativa del suelo de 1kg, que a su vez fueron colocadas en fundas plásticas (Figura 17), inmediatamente se enviaron al laboratorio para su respectivo análisis.



Figura 17. Muestreo de suelo

Las muestras se colocaron en bolsas de plástico con su respectiva etiqueta con los siguientes datos: número de muestra, número de sitio, ubicación georreferenciada, fecha de muestreo, nombre del colector y tipo de análisis solicitado (Figura 18), para las siguientes propiedades (Tabla 17):

Tabla 17. Propiedades a evaluar

Macronutrientes	Micronutrientes	Físico- químicos
Azufre	Cobre	Materia orgánica
Calcio	Hierro	Conductividad eléctrica
Fósforo	Manganeso	pH
Magnesio	Zinc	Textura
Potasio		
Nitrógeno		

Elaborado por: Los autores



Figura 18. Identificación de muestras

Se compararon los cambios en las variables físicas y químicas con los valores obtenidos antes y después de la aplicación del mulch orgánico de acuerdo a los rangos de interpretación de Agrocalidad, con esto se pudo evidenciar si el aumento o disminución de una nutriente causa beneficio o perjuicio a la calidad del suelo. En el aspecto micológico se muestreo de acuerdo a las instrucciones de Agrocalidad (2016), con el fin de comparar los resultados antes y después de la colocación del mulch, además, se determinó la presencia de nuevos géneros de hongos y bacterias que influirían en la composición del suelo.

Entre los valores comparados de textura, pH, bacterias, hongos, conductividad eléctrica, profundidad, disponibilidad de macro y micronutrientes y materia orgánica, se determinó en cuál tratamiento el mulch tuvo mayor efecto en la calidad del suelo. Para las propiedades físicas y químicas se generó un dendrograma a través de la herramienta estadística Clúster con el fin de determinar la similaridad entre tratamientos y así responder a las hipótesis planteadas.

En cuanto a la actividad biológica (hongos y bacterias) se empleó el índice de riqueza específica (Moreno, 2001), el cual se basó en el conteo del número de especies por tratamiento en cada uno de los sitios estudiados. Con los valores resultantes se determinó el índice de similitud de Sorensen, el cual se interpretó a través de los siguientes rangos de valoración; el valor 0 indica que ambos sitios no comparten especies, el valor 1 indica que mantienen la misma composición. Para los valores intermedios se considera como: 0-0,25 (baja similitud en especies compartidas), 0,26-0,5 (moderada); 0,51-0,75 (alta similitud) y 0,76-1 (similitud total) Moreno, (2001) y Rojas (2014). Este índice se calculó mediante la fórmula:

$$I_s = \frac{2c}{a + b}$$

Dónde:

a= números de especies presentes en sitio A

b= número de especies presentes en sitio B

c= número de especies presentes en ambos sitios A y B.

3.3.4. Fase 3. Estrategias de manejo y conservación de suelos

De acuerdo con los resultados obtenidos en la segunda fase se diseñó estrategias de manejo y conservación de suelos con el fin de brindar una alternativa agroecológica para áreas ecológicamente similares en la Zona 1 de Planificación del Ecuador. Para determinar estas zonas se empleó información cartográfica desarrollada en el primer objetivo respecto a isoyetas,

isotermas y aptitud de los suelos, con esto se realizó un mapa en el que se pueden identificar sitios similares en cuanto a variables climáticas y edáficas.

Las propuestas estarán enfocadas directamente a agricultores con el propósito de apoyar el manejo sostenible del suelo con la utilización del mulch, acorde a los resultados obtenidos en la investigación, las estrategias contendrán un lenguaje de fácil comprensión y será una herramienta didáctica en actividades agrícolas.

Es necesario implementar este sistema para la optimización y aprovechamiento del agua, ya que los sectores se enfrentan a la pérdida de agua sea por erosión y arrastre del suelo en lugares de pendientes inundadas tal es el caso de Aloburo que posee una pendiente de 34,00%; mientras que en Yahuarcocha el inadecuado manejo del agua influye en la infiltración del agua y potencia la saturación innecesaria del terreno y el derroche de agua que se desvía de las acequias.

La instalación del sistema de riego requiere de un estanque de agua del cual se abastecerá el cultivo, se debe tener en cuenta la ubicación previa de las mangueras y la longitud de las mismas para una correcta instalación del sistema, debe contar con un filtro para evitar el paso de materiales hacia los goteros y evitar que estos se tapen. El tiempo de riego dependerá de la evapotranspiración y de la magnitud del cultivo, definiendo así los días que se deban regar y el tiempo de riego a efectuarse, en el caso de la investigación para el sitio de Aloburo se regaba diariamente durante diez minutos. Es importante lavar el filtro después de cada riego para evitar que las cintas de goteo sufran algún cambio en la presión del agua.

3.4 Consideraciones bioéticas

Se tomó en cuenta el principio de precaución el cual se refiere adoptar medidas de prevención o precaución en contra del deterioro del ambiente este, principio se basa principalmente en mejorar la seguridad y calidad del desarrollo económico. En esta investigación se precautela el recurso suelo buscando mejorar su productividad.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Características ecológicas: suelo y clima, de cada sitio experimental.

Los sitios estudiados se encuentran distantes por 2km presentado similares condiciones físicas, gran parte del suelo se encuentra utilizado principalmente por cultivos o prácticas agrícolas y ganaderas. Existen espacios desprovistos de vegetación propensos a erosionarse por el frecuente monocultivo y malas prácticas de uso del suelo.

4.1.1. Temperatura

Las temperaturas medias anuales registradas en la microcuenca de Yahuarcocha van desde los 8°C hasta los 15°C (Tabla 18). Identificados los puntos de ensayo y combinados con la cartografía de temperaturas medias anuales, se realizó el mapa de temperaturas medias anuales (Anexo 1) en donde, se determinó que, la temperatura en el sitio 1 (Aloburo) varía entre 13°C y 14°C, mientras que el sitio 2 (Yahuarcocha) la temperatura oscila entre 14°C y 15°C.

Tabla 18. Temperatura sitios

Sitio	Temperatura (°C)
Aloburo	13- 14
Yahuarcocha	14- 15

Elaborado por: Los autores

4.1.2. Precipitación

Acorde a la cartografía de precipitación de la microcuenca de Yahuarcocha (Anexo 2) se pudo identificar que, ambos sitios se encuentran en el mismo rango de precipitación media anual que va desde 500 a 750 mm (Tabla 19). La precipitación de esta zona es un factor influyente en la periodicidad de riego en los cultivos.

Tabla 19. Precipitación sitios

Sitio	Precipitación (mm)
Aloburo	500-750
Yahuarcocha	500-750

Elaborado por: Los autores

Los principales afluentes hídricos que presenta el área de experimentación a sus alrededores son el canal de conducción que llega a la laguna Yahuarcocha del río Tahuando, la Quebrada de Manzano huayco y la Quebrada de Lutunqui; por Aloburo, la quebrada de Alcantarilla, quebrada el Tejar y la vertiente Zapallo Pogllo (Ternues, 2014).

4.1.3 Uso actual y cobertura vegetal 2013

A partir de la cartografía digital del uso actual y cobertura vegetal del suelo 2013 se determinó que, el sitio 1 (Aloburo) se encuentra en la categoría de vegetación arbustiva la cual ocupa un espacio de 8,16 hectáreas en la microcuenca (Anexo 3), estos suelos presentan un déficit hídrico importante, por lo que la retención de humedad en sus capas no es muy adecuada para cultivos.

Por otro lado, el sitio 2 (Yahuarcocha) se ubica en la zona de cultivos, ocupando la mayor superficie dentro de la microcuenca con un valor de 12, 28 hectáreas (Tabla 20). En base al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2009), este tipo de suelos son empleados en prácticas agrícolas por poseer características adecuadas para el desarrollo de plantas cultivadas. La demografía poblacional ha hecho que las zonas de cultivo se extiendan a lo largo de la microcuenca de Yahuarcocha.

Tabla 20. Uso actual de los sitios

Sitio	Uso actual y cobertura vegetal 2013
Aloburo	Vegetación arbustiva
Yahuarcocha	Cultivos

Elaborado por: Los autores

4.1.4. *Uso potencial del suelo*

De acuerdo a la cartografía de uso potencial de suelo y la disposición de los sitios de estudio se pudo identificar que, el sitio uno se encuentra en la categoría de Bosque (Anexo 4), debido a que las condiciones ambientales en esa zona reúnen todas las características necesarias para transformarse o adaptarse a dicha categoría. Estas áreas son idóneas para actividades de forestación, reforestación y mantenimiento de la cobertura vegetal (Gonzales, 2012).

El sitio dos (Yahuarcocha) de acuerdo a la cartografía realizada de uso potencial de suelo se encuentra en la categoría de cultivos, esto se debe a las características ambientales que presenta esta área en cuanto a condiciones físicas, químicas y biológicas (Tabla 21). Este tipo de suelos es apto para actividades agrícolas con limitaciones ligeras, así como el acceso al riego por estar ubicado cerca de un humedal.

Tabla 21. Uso potencial de los sitios

Sitio	Uso potencial del suelo
Aloburo	Bosque
Yahuarcocha	Cultivos

Elaborado por: Los autores

4.1.5. *Zonas de vida*

De acuerdo a la cartografía realizada de zonas de vida (Anexo 5) se pudo identificar que, tanto Aloburo y Yahuarcocha se encuentran ubicados en la Zona 4 (Tabla 22) Bosque Seco-Montano Bajo (bs-MB), esta zona se encuentra a una altura entre 2000 y 3000 m con respecto a los pisos altitudinales, con una temperatura media de 14°C y una precipitación media anual que varía entre 500 y 1000mm (MAE, 2012).

Tabla 22. Zonas de vida

Sitio	Zonas de vida
Aloburo	bs-MB
Yahuarcocha	bs-MB

Elaborado por: Los autores

4.1.6. Perfil del suelo

Descripción del perfil del suelo Aloburo

Como se puede evidenciar en la Figura 19, el perfil del suelo presentó un horizonte Ap intervenido con un espesor de 18 cm por efecto de prácticas agrícolas y presenta una clase textural franco arenoso. Tiene una estructura cúbica subangular con pequeños poros relativamente abundantes, raíces escasas y finas. El color en seco es grisáceo oscuro bajo 10YR. 4/2 Munsell y en húmedo es marrón muy oscuro 10YR. 2/2 Munsell.

El horizonte A₁₋₂ tuvo un espesor de 28 cm, estructura cúbica angular y una clase textural arena franca. Es una capa endurecida definida como cangahua no trabajable y escasa presencia de raíces. El color en seco es marrón grisáceo muy oscuro 10YR. 3/2 Munsell y en húmedo es negro 10YR. 2/1 Munsell.

El horizonte BC tiene un espesor de 30 cm sin estructura definida, es una capa dura que no presenta raíces. El color en seco es marrón 10YR. 4/3 Munsell y en húmedo es marrón muy oscuro 10YR. 2/2 Munsell. Presenta una clase textural franco arenoso. Finalmente, el horizonte C tiene un espesor mayor a 76 cm con una estructura cúbica angular y una clase textural franco arenoso. Es una capa endurecida por ausencia de humedad, su color en seco es marrón 10YR. 4/3 Munsell y en húmedo es marrón muy oscuro 10YR. 2/2 Munsell.



Figura 19. Perfil de Aloburo

La profundidad efectiva determinada en Aloburo es equivalente a 19, 11cm (Tabla 23), de acuerdo a Jaramillo (2002) se encuentra en un rango de interpretación muy superficial, lo que dificulta el enraizamiento de plantas así como la captación de nutrientes y agua por medio de raíces. Sin embargo, este valor se encuentra acorde con los requerimientos de profundidad para el enraizamiento de maíz y arveja (Goites, 2008).

Tabla 23. Profundidad efectiva en Aloburo

P= Punto de muestreo	P1	P2	P3	P4	P5
	13	21	21	22	23
	P6	P7	P8	P9	P10
	20	18,4	16,5	19	21,5
P11	P12	P13	P14	P15	
21	20,5	20,3	22	23	
P16	P17	P18	P19	P20	
17	13,5	19,5	21,1	17,7	

Descripción del perfil del suelo Yahuarcocha

Según la figura 24 se encontraron tres horizontes, el horizonte Ap es una capa intervenida por actividades agrícolas, presenta 12 cm de espesor, una estructura granular apta para prácticas agrícolas porque incrementa la porosidad del suelo y muestra abundancia de raíces, además presenta una clase textural franco. El color en seco es grisáceo oscuro bajo 10 YR. 4/2 Munsell y en húmedo es negro 10YR. 2/1 Munsell.

El horizonte A₁₋₂ posee un espesor de 12 cm con una estructura no definida y con una clase textural franca, carece de raíces. El color en seco es marrón oscuro 10YR. 3/3 Munsell y en húmedo es marrón muy oscuro 10YR. 2/2 Munsell. Por último, el horizonte BC tiene un espesor mayor a 50 cm con una estructura en bloque angular y una textura de tipo franco. El color en seco es negro 10YR. 2/1 Munsell y en húmedo corresponde a marrón muy oscuro 10YR. 2/2 Munsell.



Figura 20. Perfil del suelo en Yahuarcocha

La profundidad determinada en Yahuarcocha tiene un promedio de 17,85 cm (Tabla 24), al igual que en Aloburo se encuentra en un rango <25cm lo que determinó una profundidad muy superficial. A pesar de eso aún posee los requerimientos de profundidad para el cultivo de maíz-arveja (Goites, 2008).

Tabla 24. Profundidad efectiva en Yahuarcocha

C1	C2	C3	C4	C5
20,5	18,8	19,6	16,4	18,4
C6	C7	C8	C9	C10
18,6	19,1	17,5	16,4	15,8
C11	C12	C13	C14	C15
16,6	14,9	19,1	15,7	16
C16	C17	C18	C19	C20
17,3	18,2	22	18,3	17,7

4.1.7. Textura

La clase textural del suelo en Aloburo y Yahuarcocha es Franco (Tabla 25) debido a que tiene sus parámetros en porcentajes equilibrados es decir ninguno es dominante, según Andrades y Martínez (1993) esta clase textural se debe a su buena aireación, capacidad media de retención de agua y nutrientes, buena penetración de raíces y por poseer poca resistencia en el laboreo.

Tabla 25. Resultados de análisis de textura en Yahuarcocha y Aloburo

Identificación de campo de la muestra	Parámetros Analizados	Resultados
Aloburo	Arena (%)	42
	Limo (%)	34
	Arcilla (%)	24
	Clase Textural	Franco
Yahuarcocha	Arena (%)	30
	Limo (%)	48
	Arcilla (%)	22
	Clase Textural	Franco

Fuente: Agrocalidad, foliares y aguas laboratorio de suelos,

4.1.8. Pendiente

Aloburo presenta una pendiente de 21 grados (34,00%), de acuerdo a Plaster (2005), es una pendiente inundada equivalente a un tipo de relieve montuoso- diseccionado/ escarpado. Según Priego *et. al.* (2008), este tipo de pendiente es susceptible a erosión por escorrentía debido al alto grado de inclinación.

Yahuarcocha tiene una pendiente de 0 grados (0%), según Plaster (2005), es una pendiente cerca al nivel equivalente a un tipo de relieve plano o casi plano. De acuerdo a Priego *et. al.* (2008), los suelos con este tipo de pendiente tienden a acumular sedimentos y saturarse de agua en casos de no presentar un buen drenaje.

4.1.9. Propiedades Químicas

Con los resultados de los análisis de laboratorio en Aloburo los nutrientes nitrógeno, azufre, hierro y manganeso se encuentran en bajas concentraciones, mientras que el fósforo está presente en concentraciones medias, en cuanto el potasio, calcio, magnesio, zinc y cobre se hallan en altos porcentajes. Yahuarcocha presenta bajas concentraciones de nitrógeno, azufre y potasio, en cuanto al fósforo, manganeso, calcio, magnesio, zinc, cobre, hierro se encuentran en altas concentraciones en el suelo (Tabla 26).

Tabla 26. Análisis de suelos en Aloburo y Yahuarcocha, antes de la aplicación de mulch.

Nutriente	Ensayo		Unidad
	Aloburo	Yahuarcocha	
N	0,16	0,14	%
P	11,43	42,76	mg/kg
S	6,62	6,89	mg/kg
K	1,32	0,81	cmol/kg
Ca	14,18	16,95	cmol/kg
Mg	5,54	4,95	cmol/kg
Zn	10,38	15,49	mg/kg
Cu	4,44	4,8	mg/kg
Fe	8,94	46,67	mg/kg
Mn	0,46	2,65	mg/kg
MO	2,46	2,75	%
pH	7,82	7,6	-
CE	0,42	0,35	dS/m

Fuente: Laboratorios Norte LABONORT. Análisis químicos, suelos y agua

▲ **Potencial hidrógeno (pH)**

Los valores de pH para los sitios fueron 7,82 en Aloburo y 7,6 en Yahuarcocha (Tabla 26), es decir son suelos ligeramente alcalinos. A juicio de Piedrahíta (2009), estos valores se deben a las grandes cantidades de fósforo, potasio, calcio y magnesio existentes en el suelo, al mismo tiempo, este pH se encuentra en un rango óptimo para actividades agrícolas y captación de nutrientes.

▲ **Conductividad Eléctrica**

De acuerdo a los resultados de la Tabla 26 los valores establecidos en los dos sitios se encuentran en un rango de no Salino (<1 dS/m recomendable), permitiendo que las sales presentes en el suelo aporten al desarrollo nutricional de la planta y al manejo en la fertilidad del suelo (Garrido, 1993).

▲ **Nitrógeno**

Los datos obtenidos de nitrógeno son 0,16% para el sitio 1 y 0,14% para el sitio 2 (Tabla 26), en el caso de Aloburo se encuentra en rango medio de concentración debido a que se perdió nitrógeno por la reducción biológica y desnitrificación; así como por la fácil volatilización del NH₃ (Plaster, 2005). En Yahuarcocha la concentración de nitrógeno se encuentra en bajo porcentaje por consecuencia de constantes cosechas e intenso laboreo (Ciarlo y Palma, 2011).

▲ **Fósforo**

Los valores obtenidos de los análisis de laboratorio en los dos sitios para Aloburo y Yahuarcocha son de 11,43 y 42,76 mg/kg respectivamente (Tabla 26). Para Yahuarcocha el fósforo se encuentra en alta concentración debido a que se encuentra en un pH de 7 a 9 en donde la disponibilidad del fósforo aumenta (Molina ,2010). En Aloburo la concentración de fósforo tiende a ser deficiente debido a la baja cantidad de materia orgánica y condiciones muy secas, en base a lo expresado por Plaster (2005) el fósforo se pierde debido a la escorrentía y erosión eólica.

▲ **Potasio**

Los sitios de investigación presentan 1,32 meq/100ml en Aloburo y 0,81 meq/100ml en Yahuarcocha (Tabla 26), estos valores se encuentran en alto grado de concentración. En la opinión de INTAGRI (2017), se debe a que el pH del suelo en ambos sitios está cercano a la neutralidad, así como también por ser suelos secos y con régimen hústicos.

▲ **Calcio**

Los valores de calcio se ubican en un rango alto de concentración según Labonort (2016), para Aloburo 14,18 mg/kg y Yahuarcocha 16,95 mg/kg (Tabla 26). Según León, Mejía y Viteri (2004) la alta presencia de calcio se debe a que los sitios presentan un pH neutro para Yahuarcocha y ligeramente alcalino en Aloburo, siendo estos suelos aptos para la asimilación de calcio.

▲ **Magnesio**

Los resultados obtenidos de magnesio en Aloburo y Yahuarcocha son 5,54 y 4,95 (meq/100ml) respectivamente, dando un alto rango de concentración con respecto a los rangos establecidos por Labonort (Tabla 26). La meteorización de minerales tales como el olivino, piroxeno, anfibiol y mica aportan grandes cantidades de magnesio al suelo (Plater, 2005). De acuerdo a Bayon y Ditschar (2012), suelos con pH mayor a 6 presentan altas cantidades de magnesio.

▲ **Azufre**

Las concentraciones de azufre en Aloburo y Yahuarcocha según los rangos establecidos por Labonort (2016) se encuentran en bajas concentraciones con 6,62 mg/kg y 6,89 mg/kg respectivamente (Tabla 26), de acuerdo a Sanzano (2017) esto se debe a la escasa precipitación

y altas temperaturas. En el caso de Aloburo al poseer una pendiente de 37,02 % este elemento es fácilmente lixiviado y según Agrolab (2005) también se debe a la carencia de riego.

▲ **Hierro**

En Aloburo se obtuvo 8,94 mg/kg perteneciente a una baja concentración de hierro (Tabla 26), de acuerdo a Navarro y Navarro (2003) si el pH es mayor a 5 baja la cantidad de hierro asimilable en el suelo, de igual manera suelos con poca aireación presentan decadencia de hierro. En Yahuarcocha se obtuvo 46,67 mg/kg de hierro equivalente a altas concentraciones (Tabla 8), esto se debe al aporte de excrementos de animales según Plaster (2005). Bajas concentraciones de manganeso permiten gran asimilación de hierro al suelo y a la planta en su estado de desarrollo (Hernández, 2002).

▲ **Manganeso**

El sitio 1 con 0,46 y el sitio 2 con 2,65 se encuentran en un rango de concentración sumamente bajo (Tabla 26), según Agrolab (2005), los suelos con pH mayores a 7 y con bajo contenido de agua presentan deficiencia de manganeso. En el caso de Aloburo la baja concentración de manganeso se debe a pérdidas por lixiviación, así como la presencia de carbonatos y elevados contenidos de fósforo (Muñoz, 2016).

▲ **Cobre**

Según los resultados de los análisis de laboratorio se registró 4,44mg/kg para Aloburo y 4,80mg/kg para Yahuarcocha (Tabla 26), se encuentran en rango alto de concentración de acuerdo a Labonort (2016), Bech et al. (2007) manifiesta que la escases de cobre no es muy común en suelos, salvo por suelos de carácter arenoso y deficientes en materia orgánica, también se debe a que los suelos con un pH cercano al neutro tienden a acumular cobre y volverlo más asimilable.

▲ **Zinc**

Las concentraciones de zinc en los sitios 1 y 2 se encuentran en rangos altos de concentración con valores de 10,38 y 15,49 mg/kg (Tabla 26), esto se debe a causa de las bajas concentraciones de fósforo (Sanzano, 2017), de acuerdo a Agrolab (2005) cantidades altas de zinc presentes en el suelo se debe a que este ostenta una clase textural franco y los valores de arenas, limo y arcilla se encuentran en cantidades equilibradas.

▲ **Materia orgánica**

Los valores obtenidos de materia orgánica en los sitios de Aloburo y Yahuarcocha son de 2,46 y 2,75 respectivamente (Tabla 26), ambos sitios se encuentran en un rango bajo de concentración. Bello, Blas, Julca y Meneses (2006), manifiestan que la presencia de materia orgánica se debe a la moderada cantidad de vegetación y la baja humedad del suelo.

4.1.10: Biológicas

▲ **Bacterias**

No se evidencio ningún género de bacteria en los dos sitios de investigación según los resultados de los análisis de Agrocalidad, esto se debe a las bajas concentraciones de nitrógeno en el suelo y la deficiencia de materia orgánica en el sustrato (Bello et al., 2006).

▲ **Hongos**

Tanto en Aloburo y Yahuarcocha se encontró la presencia del género *Fusarium sp.* Figueroa et al. (2010) afirma que la presencia de este hongo en un cultivo de maíz causa pudrición en órganos vegetativos y marchitez en la plántula hasta su fase adulta. El género *Fusarium sp.* surge en el suelo a consecuencia de un problema de drenaje ocasionando la disminución del rendimiento de los cultivos (Duarte, Echeverría y Martínez, 2016).

4.2. Análisis de los cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo con la aplicación de los tres tipos de mulch

4.2.1. Propiedades físicas en Aloburo

▲ **Profundidad efectiva**

De los valores obtenidos en la tabla 27 en cuanto a la profundidad, se puede destacar que el T2 resulto ser el mejor tratamiento con 21,71 cm, mientras el T0 es el de menor valor con 18,34cm. A pesar de que los datos obtenidos después de la aplicación del mulch aumentaron con relación a los datos iniciales, aún se mantiene en un rango de interpretación muy superficial. Esto se debe a la falta de humedad presente en el suelo y mínima roturación en el mismo (Jaramillo, 2002).

Tabla 27. Profundidad (A) después de la aplicación del mulch

Profundidad Aloburo (cm)			
T0 17,6	T1 18,85	T2 20,85	T3 20,35
T1 18,65	T2 22,90	T3 20,80	T0 18,43
T2 22,10	T3 20	T0 19,90	T1 19,75
T3 20,75	T0 17,45	T1 28,5	T2 21

Elaborado por: Los Autores

▲ Textura

De acuerdo a la Tabla 28 en el sitio 1 no se evidenció un cambio drástico en los porcentajes de arena, limo y arcilla, manteniéndose en la misma clase textural (franco) de suelo pese a las incorporaciones de mulch.

Tabla 28. Porcentajes de textura después de la aplicación del mulch en Aloburo

Sitio	Parámetros analizados	Resultados (Antes)	Resultados Después			
			T0	T1	T2	T3
Aloburo	Arena (%)	42	46	44	44	42
	Limo (%)	34	44	46	38	40
	Arcilla (%)	24	10	10	18	18
	Clase Textural	Franco	Franco	Franco	Franco	Franco

Elaborado por: Los Autores

4.2.2. Propiedades químicas en Aloburo

▲ Potencial hidrógeno

El potencial hidrógeno en los cuatro tratamientos se mantuvo en un rango de pH ligeramente alcalino (Figura 21), conforme a Plaster (2005) se debe a que las bases intercambiables (Mg, Ca, Na y K) en el suelo se mantuvieron en similares proporciones. Pérez (1981) y Porta et al. (2003) coinciden en que un pH ligeramente alcalino permite una lenta asimilación de fósforo en la planta y disminuye su disponibilidad en el suelo, igualmente estimula la deficiencia de cobalto, cobre, hierro, zinc y manganeso. Un elevado pH beneficia la asimilación Ca y Mg en la planta (Navarro y Navarro, 2003).

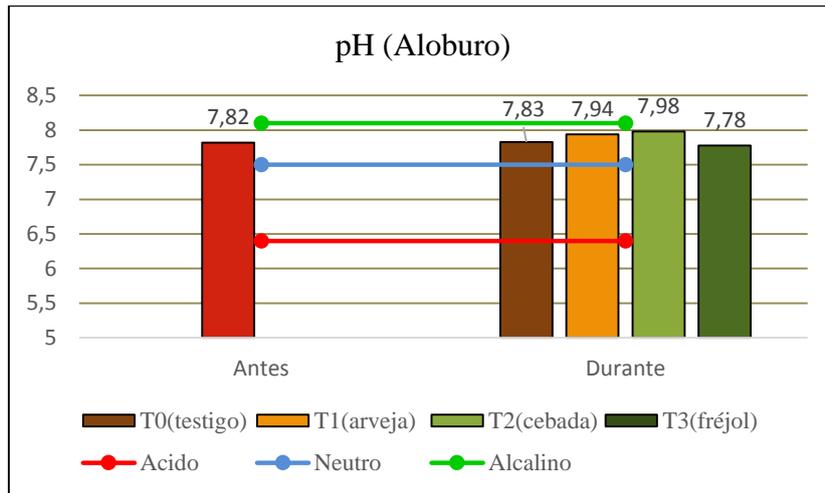


Figura 21. Concentración de pH antes y después de la aplicación de mulch (A)

▲ Conductividad eléctrica

Los valores obtenidos de la conductividad eléctrica para el sitio 1 (Figura 22) se redujeron después de la aplicación del mulch, sin embargo, aún se mantienen en un nivel recomendable de concentración (<1dS/m). De acuerdo a Garrido (1993) la reducción de esta variable se debe a la humedad relativa presente en el suelo, así como al sombreado que produce el mulch; además, cualquier sustrato menor a 1 dS/m facilita la fertilización y previene futuros problemas de fitotoxicidad. Esto ratifica la investigación de Zhang et al. (2008) en un cultivo de acelga (*Beta vulgaris*), en donde señala que, utilizando grava, hojas de pino y paja de arroz como mulch disminuyen los valores de salinidad en el suelo.

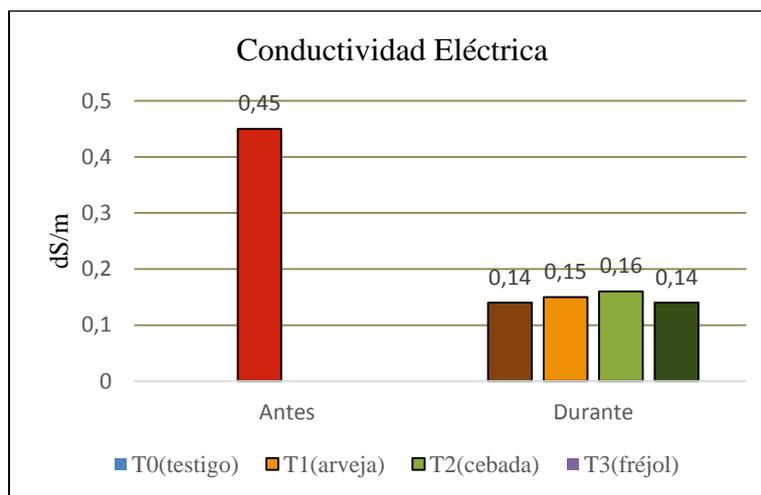


Figura 22. Concentración de CE antes y después de la aplicación de mulch (A)

▲ Nitrógeno

Después de la aplicación del mulch se registró que, los cuatro tratamientos disminuyeron su grado de concentración pasando de medio a bajo (Figura 23). De acuerdo a Navarro y Navarro (2003), los suelos cultivados no suelen ser ricos en nitrógeno debido a la carencia o mínima cantidad de materia orgánica. La cosecha del cultivo también disminuye el contenido de MO y N en el suelo (Perdomo, 2006). Esta baja disponibilidad afecta a la productividad del cultivo y limita la formación de proteínas y amino ácidos, así como inhibe la absorción de otros nutrientes según la Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes (IFA, 2002).

Estos valores no concuerdan con la investigación de Sanclemente (2009), en donde el efecto de la cobertura vegetal muerta de *Mucuna pruriens* aumentó la cantidad de nitrógeno en el suelo, mejorando el rendimiento del cultivo. Los estudios de Frutos, Pérez y Risco (2016) y Cabrera y Quemada (1995) reafirman que las coberturas vegetales muertas de gramíneas y leguminosas aportan al contenido de nitrógeno.

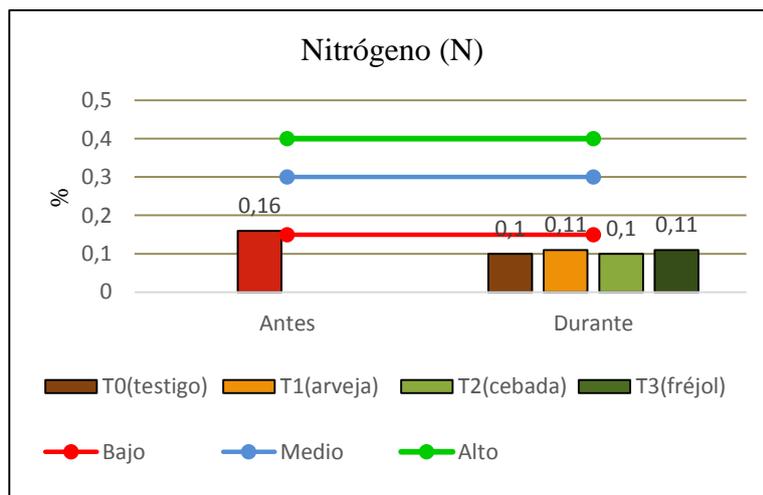


Figura 23. Concentración de nitrógeno antes y después de la aplicación de mulch (A)

▲ Fósforo

El macronutriente fósforo aumentó en grados de concentración para los cuatro tratamientos después de la aplicación de mulch ubicándose en un rango alto (Figura 24), los tratamientos T1, T2 y T3 tienen una mínima diferencia con respecto al tratamiento T0, debido a que la microfauna prolifera en suelos con cobertura vegetal con el fin de proveerse de fósforo (Plaster, 2005). El fósforo desempeña un papel fundamental en los procesos de la planta tales como la fotosíntesis, transferencia de energía, crecimiento de las raíces y división celular (Meza, 2014).

Meza (2014) menciona que, la materia orgánica en el suelo recicla cantidades significativas de nutrientes y estimula la actividad biológica, así como también mantener el suelo protegido mediante coberturas vivas o muertas ayuda a controlar la humedad y temperatura, resultando así un aumento de la concentración de fósforo en el suelo. Baute et al. (2008) confirma que el incremento de los macronutrientes N, P, K y Ca se debe a la incorporación de mulch orgánico.

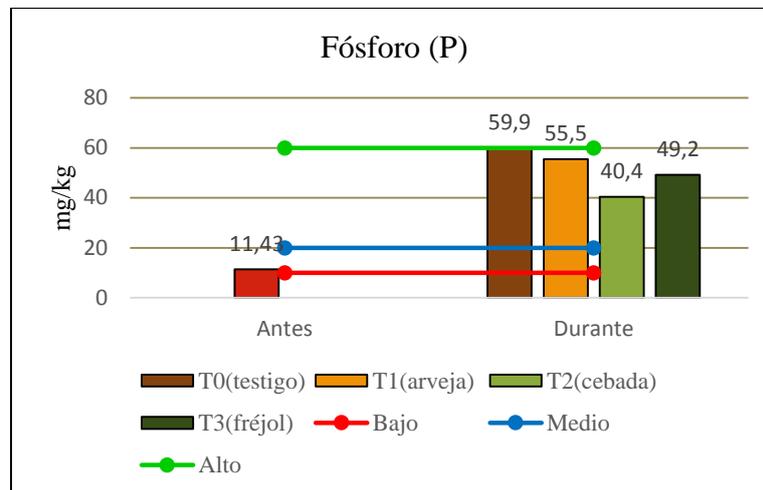


Figura 24. Concentración de fósforo antes y después de la aplicación de mulch (A)

▲ Potasio

Los resultados obtenidos de potasio se mantuvieron en un rango alto de concentración, al final de la investigación los tratamientos T1, T2 y T3 se redujeron en cierto porcentaje con respecto al tratamiento T0 (Figura 25), León et al. (2004) coinciden con Gutiérrez, Roldán y Venialgo (2004) en que, el potasio facilitaría el rápido flujo de los productos de la fotosíntesis dentro de la planta, además mejoraría la tolerancia de la planta a temperaturas altas o muy bajas.

Como dicen García y Quinke (2012) la disminución de potasio se debe a la asimilación de este nutriente por parte del cultivo y a la aparición de microorganismos que se alimentan de dicho elemento. León et al. (2004) manifiesta que el decrecimiento de este nutriente también es causado por temporadas de déficit hídrico, de igual manera Vidal (2003) concuerda en que, la deficiencia del contenido de agua y el deterioro de la estructura del suelo disminuyen la concentración de potasio.

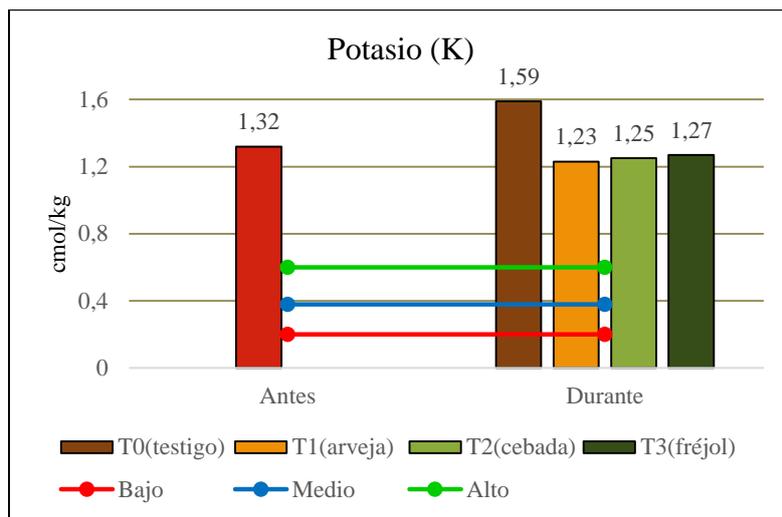


Figura 25. Concentración de potasio antes y después de la aplicación de mulch (A)

▲ Calcio

Las concentraciones de calcio en los cuatro tratamientos se redujeron en mínimas proporciones, aunque se siguen manteniendo en un rango alto de concentración (Figura 26). Este elemento mantiene un balance químico en el suelo y reduce su salinidad, además es un constituyente de paredes y membranas celulares (Piedrahíta, 2012).

Según Navarro y Navarro (2003) la concentración de calcio se redujo a causa de que la planta asimila el nutriente para su desarrollo y nutrición, de igual manera fue lixiviado en mínimas cantidades debido de la pendiente que presenta el terreno. Al encontrarse aún en un alto rango de concentración estos valores reafirman los resultados obtenidos en la investigación de Baute et al. (2008), en donde los macronutrientes N, P, K, Ca y Mg aumentaron mediante la aplicación de tres tipos de mulch.

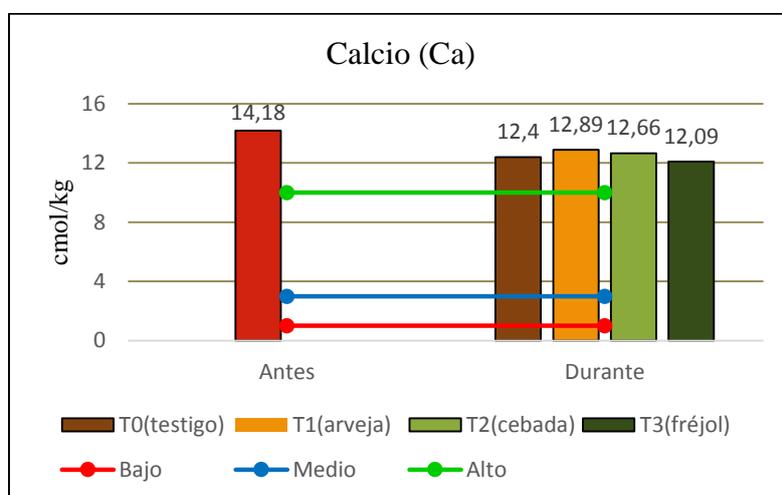


Figura 26. Concentración de calcio antes y después de la aplicación de mulch (A)

▲ Magnesio

Los resultados obtenidos de magnesio se redujeron en pequeñas proporciones después de haber sido colocado el mulch (Figura 27), a pesar de eso aún se encuentran en un rango alto de concentración. El magnesio actúa en la síntesis de proteínas, fijación de dióxido de carbono, formación de clorofila es decir procesos fisiológicos y bioquímicos en la planta (Cakmak y Yazici, 2010).

De acuerdo a Navarro y Navarro (2003), este nutriente decreció en mínimas cantidades por lixiviación, además fue asimilado por organismos presentes en el suelo o incluso absorbido y fijado por coloides. Los valores obtenidos después del periodo de cultivo indican que los tratamientos T1 y T2 dejan una mayor cantidad de magnesio en el suelo, a pesar de los requerimientos nutricionales del cultivo asociado *Zea mays L. - Pisum sativum L.* (Plaster, 2005). Los valores de este nutriente no concuerdan con los resultados de la investigación de Cadena y Enríquez (2013), en donde el magnesio incremento en un 90% su contenido en el suelo mediante abonos orgánicos.

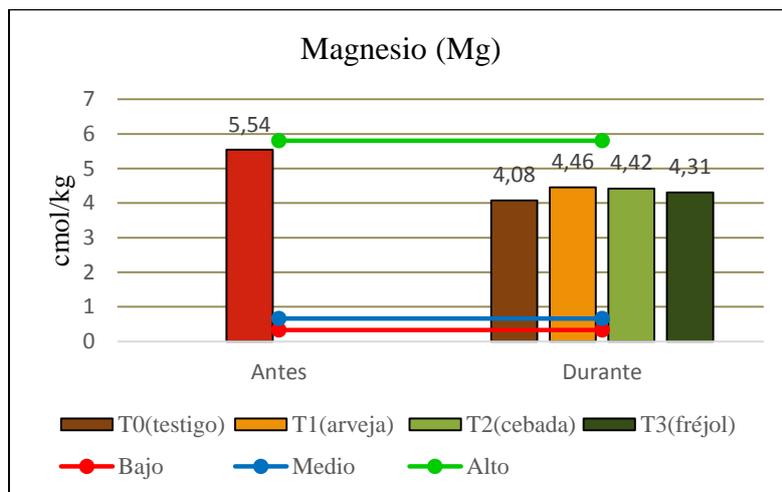


Figura 27. Concentración de magnesio antes y después de la aplicación de mulch (A)

▲ Azufre

Los valores de concentración del azufre en todos tratamientos posterior a la aplicación de los diferentes tipos de mulch se encuentran en un rango bajo (Figura 28). De acuerdo a la FAO (2002) y Muñoz (2016) las plantas adsorben este nutriente en cantidades considerables, el cual colabora en la formación de clorofila y elaboración de vitaminas y proteínas; en especies como la cebolla y el ajo forma compuestos volátiles responsables del característico olor que poseen.

Navarro y Navarro (2003) mencionan que la pérdida de este nutriente se debe principalmente a lixiviación, capacidad de retención de azufre en el suelo.

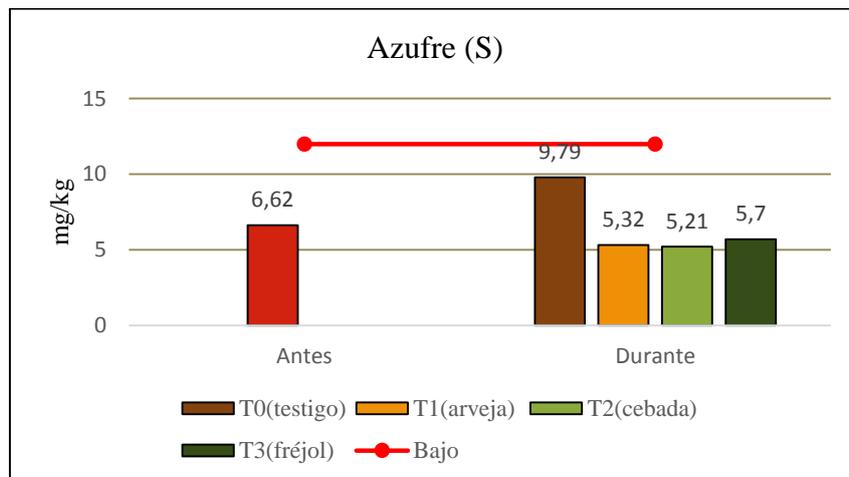


Figura 28. Concentración de azufre antes y después de la aplicación de mulch (A)

▲ Hierro

Los datos registrados de todos los tratamientos subieron a un rango medio de concentración durante el cultivo, el tratamiento T3 fue el mejor con 23,9 mg/kg (Figura 29). Sierra (2017) y Navarro y Navarro (2003) coinciden en que, la regulación del pH actúa en el aumento de este mineral, así como la materia orgánica mediante la formación de complejos orgánicos denominados quelatos mejoran la disponibilidad de este nutriente, corroborando los estudios de Salas (2008), en donde, menciona que el mulching eleva el nivel de la materia orgánica y a su vez esta aporta nutrientes al cultivo. El incremento de hierro actúa como catalizador de enzimas en reacciones bioquímicas y es importante en la síntesis de clorofila (Sierra, 2017).

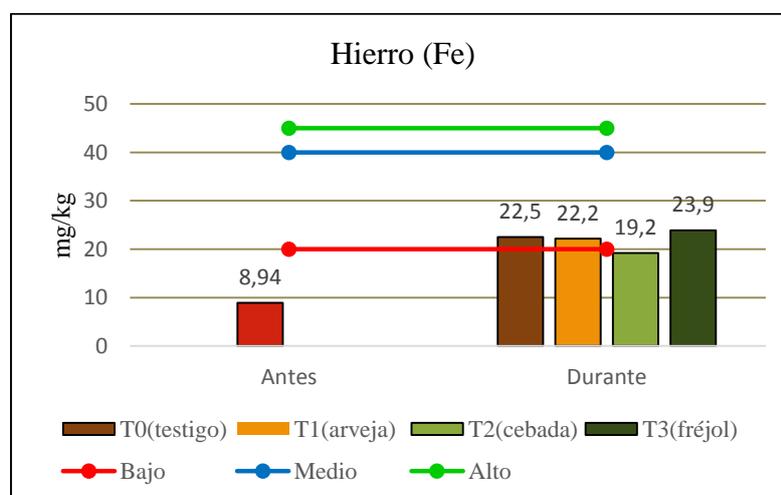


Figura 29. Concentración de hierro antes y después de la aplicación de mulch (A)

▲ Manganese

Las concentraciones de manganeso en los cuatro tratamientos elevaron sus contenidos y alcanzaron un rango medio de concentración al final del ensayo (Figura 30), el tratamiento T3 es el mejor con un valor de 10,10 mg/kg, debido al aporte de nutrientes que proporciona la cobertura vegetal, así como la influencia de la actividad microbiana (Navarro y Navarro, 2003). Warman (1998) citado por Bello et al. (2006) reafirma que los suelos fertilizados con compost tienen un mayor contenido de manganeso. La alta disponibilidad de manganeso en el suelo permite una mayor asimilación a las plantas, este micronutriente cumple varios roles en el metabolismo de la planta como biosíntesis de fenoles que mejoran la resistencia a enfermedades en las plantas, su carencia inhibe la fotosíntesis (Sierra, 2017)

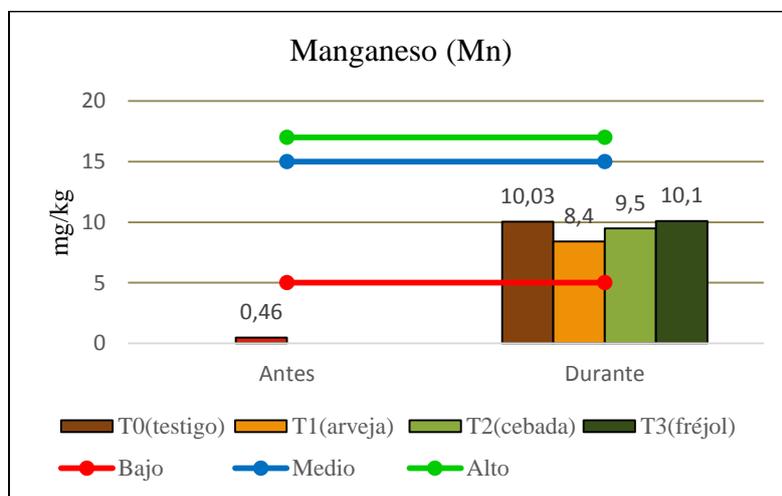


Figura 30. Concentración de manganeso antes y después de la aplicación de mulch (A)

▲ Cobre

Los valores de cobre para todos los tratamientos aumentaron y se mantienen en un rango alto de concentración (Figura 31). El aumento de este micronutriente actúa en la formación de la clorofila, participa en el metabolismo de las proteínas y es una importante coenzima que influye en la activación de enzimas vegetales (León et al., 2004). Según Navarro y Navarro (2003) la razón del incremento se debe a la incorporación de moderada cantidad de materia orgánica. Salas (2008) corrobora estos datos en su investigación manifestando que el mulching ayudaría a elevar el nivel de materia orgánica en los cultivos. Además, Warman (1998) manifiesta que los suelos fertilizados con cobertura vegetal o compost aumentan el contenido de cobre en el suelo.

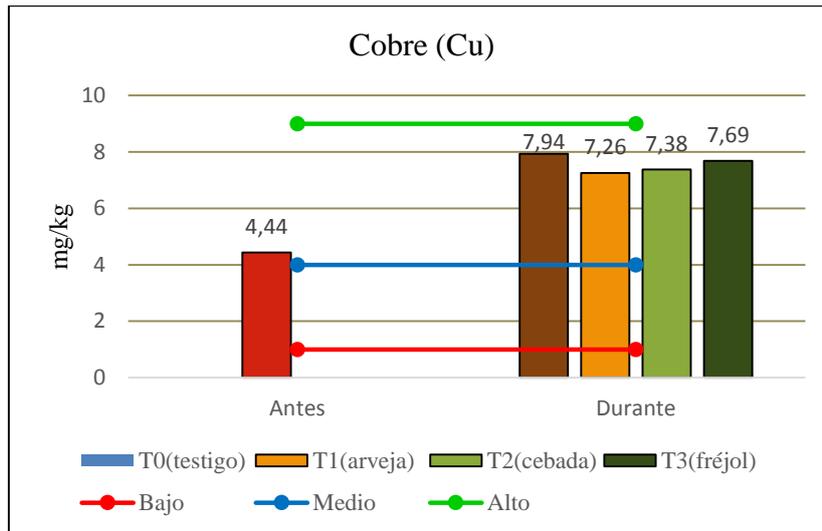


Figura 31. Concentración de cobre antes y después de la aplicación de mulch (A)

▲ Zinc

Los resultados de este nutriente se redujeron drásticamente para todos los tratamientos con valores menores a 1,60 mg/kg (Figura 32). Según Navarro y Navarro (2003), el zinc se encuentra en la capa superficial del suelo por lo que es fácilmente lixiviado por la lluvia o sistema de irrigación, también se debe al exceso de fosfato presente en el suelo. Según Plaster (2005) las plantas adsorben considerables cantidades de zinc para su crecimiento. Mientras que en la investigación de Warman (2008), contradice los resultados obtenidos, mencionando que la cobertura vegetal aporta un mayor contenido de zinc al suelo.

Los estudios de Castro et al. (2003), menciona que valores de pH superiores a 7 y altos contenidos de calcio generan condiciones que causa baja disponibilidad de este nutriente. La presencia de zinc contribuiría en la formación de clorofila, activación de enzimas responsables de la síntesis de proteínas y formaría parte del tejido foliar el cual ayuda a la planta a soportar temperaturas bajas (Sanzano 2017).

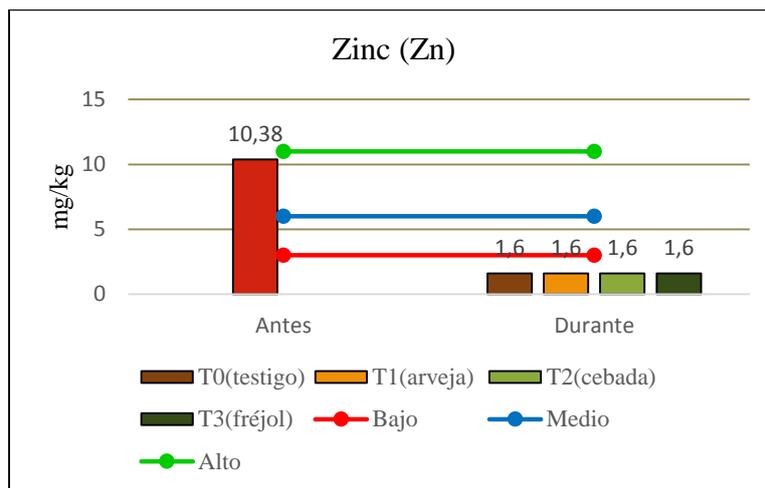


Figura 32. Concentración de zinc antes y después de la aplicación de mulch (A)

▲ Materia orgánica

Los porcentajes de materia orgánica en los cuatro tratamientos se redujeron, a pesar de eso se encuentran en un rango alto de concentración a diferencia del tratamiento T2 que se encuentra en un rango medio (Figura 33), de acuerdo a Plaster (2005) la cobertura vegetal aporó materia orgánica al suelo, pero en sus procesos de mineralización y descomposición la planta asimiló los compuestos resultantes. En los estudios de Salas (2008) y Monge, Quintanilla y Yanes (2013) confirman que la aplicación de abonos orgánicos eleva el nivel de materia orgánica y mejoran la disponibilidad de los nutrientes. Pinamonti (1998) citado por Bello (2006) también encontró un incremento de contenido de materia orgánica usando compost como mulch en viñedos.

El alto rango de concentración de materia orgánica actúa en la formación de agregados del suelo dando estabilidad estructural, favoreciendo la penetración de agua y su retención, a su vez, disminuye la erosión y favorece el intercambio gaseoso. También se ve involucrado en la conservación de nutrientes para la vida vegetal y sirve de alimento a una multitud de microorganismos (Bello, 2006).

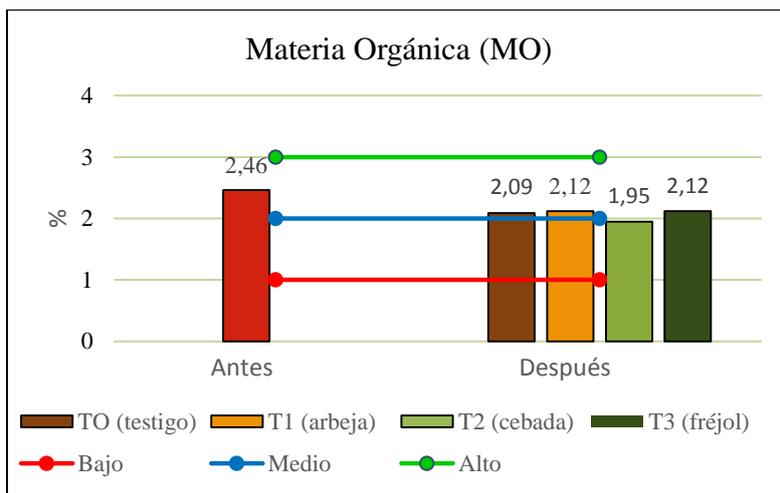


Figura 33. Concentración de MO antes y después de la aplicación de mulch (A)

4.2.3. Propiedades físicas en Yahuarcocha

▲ Profundidad efectiva

De la Tabla 29 se obtuvo que el T3 fue considerado el mejor tratamiento con 28,4cm de profundidad después de la aplicación del mulch, y el T0 con 21,06cm fue el de menor rango. De acuerdo a Jaramillo (2002), el valor del T3 pertenece a un suelo con una capa superficial, apto para un mejor enraizamiento y adecuado para laboreos agrícolas. La diferencia entre la profundidad inicial y final se debe a los aportes nutricionales y biológicos del mulch, así como el alto grado de humedad presente en el suelo después de dicha aplicación.

Tabla 29. Profundidad (Y) después de la aplicación del mulch

Profundidad Yahuarcocha (cm)			
T0	T1	T2	T3
20,70	24,70	23,90	29,10
T1	T2	T3	T0
25	24,80	28,30	21,35
T2	T3	T0	T1
24,90	27,90	20,40	24,80
T3	T0	T1	T2
28,30	21,80	24,70	25

T0	21,06
T1	24,8
T2	24,65
T3	28,4

Elaborado por: Los Autores

▲ Textura

De acuerdo a la Tabla 30, en el sitio dos los tratamientos T0, T2 y T3 cambiaron su clase textural a Franco Limoso, de acuerdo a la FAO (1999) estos suelos son más pegajosos, forman figuras y son fáciles de amoldar, además de ser más fértiles y factibles para trabajar.

Tabla 30. Porcentajes de textura después de la aplicación del mulch en Yahuarcocha

Sitio	Parámetros analizados	Resultados (Antes)	Resultados Después			
			T0	T1	T2	T3
Yahuarcocha	Arena (%)	30	32	30	30	32
	Limo (%)	48	54	50	52	54
	Arcilla (%)	22	14	20	18	14
	Clase Textural	Franco	Franco L.	Franco	Franco L.	Franco L.

Elaborado por: Los Autores

4.2.4. Propiedades químicas en Yahuarcocha

▲ Potencial hidrógeno

Los valores de pH se redujeron de estado ligeramente alcalino a estado neutro en todos los tratamientos (Figura 34), las sustancias en el agua de riego o lluvia tienden a ser ácidas debido al exceso de iones de hidrógeno, los cuales reaccionan en el suelo disminuyendo su alcalinidad (Alvarado, Calbaceta y Molina, 2010). La disminución de pH en el suelo limita la disponibilidad de fosfato, sulfato, molibdato y dificulta la nitrificación y descomposición de la materia orgánica en el suelo (Osorio, 2012).

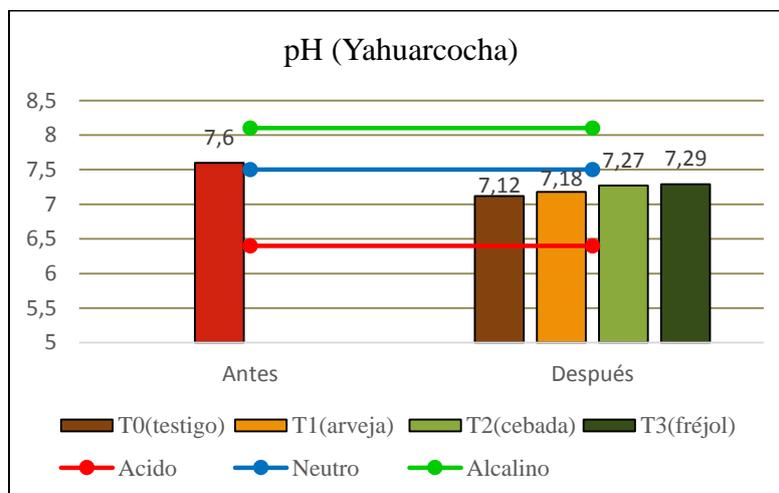


Figura 34. Concentración de pH antes y después de la aplicación de mulch (Y)

▲ Conductividad eléctrica

Para el sitio dos los valores también se redujeron en un mínimo porcentaje (Figura 35), manteniéndose en un nivel recomendable ($< 1\text{dS/m}$) para el desarrollo de plantas. Al igual que en el sitio 1 esto se debe a la humedad presente en el suelo y la sombra que proporciona la cobertura vegetal muerta de arveja, cebada y fréjol (Garrido, 1993). Esto corrobora los estudios realizados por Zhang et al. (2008) en donde los valores de salinidad en el suelo disminuyeron luego de la aplicación de mulch de grava, hojas de pino y paja de arroz.

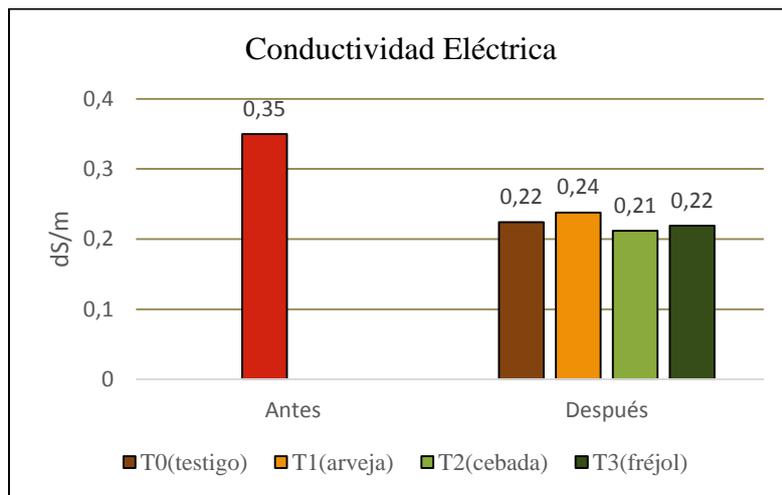


Figura 35. Concentración de CE antes y después de la aplicación de mulch (Y)

▲ Nitrógeno

Las cantidades de nitrógeno en el suelo aumentaron en todos los tratamientos de rango bajo a medio (Figura 36), la presencia de estos niveles de nitrógeno viene a ser un factor determinante en la productividad de los cultivos (Aristizábal y Cerón, 2012). Además, es un constituyente esencial para la formación de proteínas y aminoácidos, una adecuada cantidad de nitrógeno de la planta ayuda en la absorción de otros nutrientes (IFA, 2002).

Cánovas (2015) señala que los residuos o coberturas vegetales añadidos al suelo ayudan a la liberación de nitrógeno mineralizable en el suelo, aumentado así el contenido de este macronutriente en el suelo. En las investigaciones de Frutos et al., (2016) y Cabrera y Quemada (1995) concuerdan en que, los mulches de gramíneas y leguminosas como avena (*Horedeum vulgare*) y de alverja (*Pisum sativum*) contribuyen al aumento del contenido de nitrógeno en el suelo.

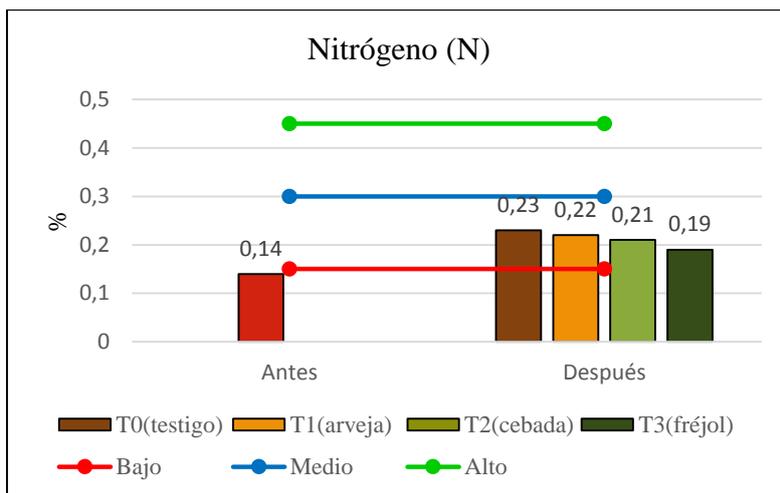


Figura 36. Concentración de nitrógeno antes y después de la aplicación de mulch (Y)

▲ Fósforo

Las concentraciones de fósforo se elevaron en cantidades considerables en todos los tratamientos manteniéndose en un rango alto (Figura 37). Este incremento contribuye en los procesos de fotosíntesis, división celular, desarrollo de raíces, calidad de la fruta y granos (Meza, 2014). El aumento es causado por la presencia de microorganismos y humedad en el suelo, así como la mineralización y descomposición de la materia orgánica (Plaster, 2005). De acuerdo a la FAO (2000) el tratamiento T1 aumento en mayor porcentaje debido a la presencia de huesos de animales pequeños y excremento. Los valores obtenidos en la investigación de Salas (2008) en cuanto al efecto de diferentes tipos de acolchado afirman que la utilización del mulching en los suelos eleva el nivel de los macronutrientes y la materia orgánica.

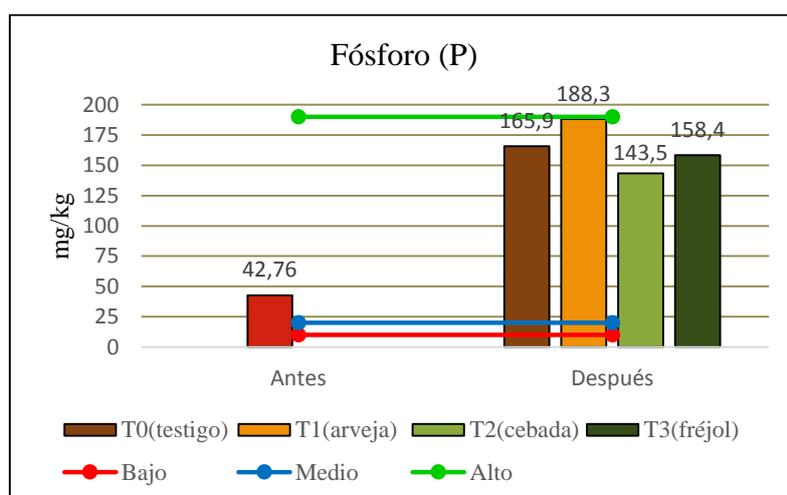


Figura 37. Concentración de fósforo antes y después de la aplicación de mulch (Y)

▲ Potasio

Los valores de los tratamientos T2 y T3 demostraron mayor concentración de potasio (Figura 38) con 1,22 cmol/kg para ambos tratamientos. El incremento de este nutriente influye en el proceso de fotosíntesis, mejora la tolerancia de la planta a temperaturas altas y bajas, además es un elemento que interviene en la calidad de la producción de cultivos (León et al., 2004). Sanzano (2017) manifiesta que el aumento de potasio se debe a la mineralización de la materia orgánica, remanentes en cultivos anteriores y, a que el pH se redujo a un estado neutro. Estos resultados reafirman la investigación de Baute (2008) en donde los contenidos de materia orgánica y potasio aumentaron mediante la aplicación del mulch.

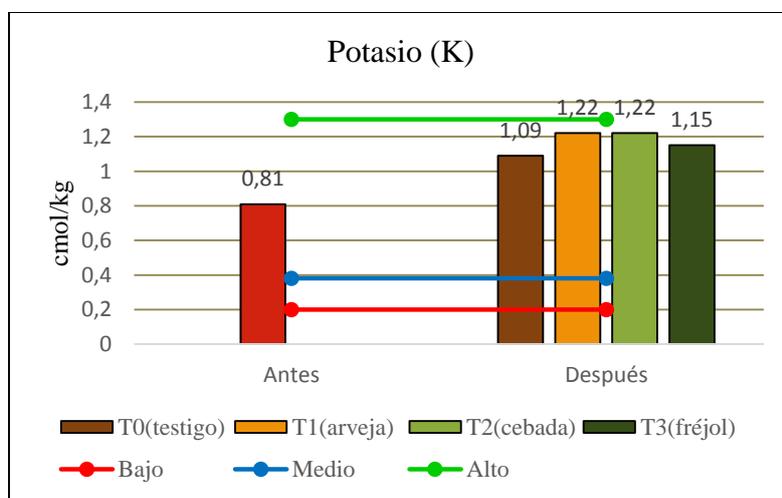


Figura 38. Concentración de potasio antes y después de la aplicación de mulch (Y)

▲ Calcio

Las cantidades de calcio aumentaron en todos los tratamientos y se mantienen en un rango alto de concentración (Figura 39), de acuerdo a Plaster (2005) el incremento de este nutriente se debe al aporte de la mineralización de materia orgánica. Barrios, Bastardo, Borges, Márquez y Sandoval (2012) mencionan que, el contenido de calcio es mayor cuando este se encuentra en suelos neutros y alcalinos dentro del intervalo de pH 7,0- 8,5; Flores y Mendez (2011) corroboran estos resultados en su investigación en donde la variación de pH y los abonos orgánicos aportaron altos contenidos de calcio.

El aumento de este elemento ayuda a la agregación del suelo en la formación de proteínas e hidratos de carbono, regulación del pH, activación de sistemas enzimáticos que regulan el crecimiento de la planta y es importante en el crecimiento de la raíz (León, 2004).

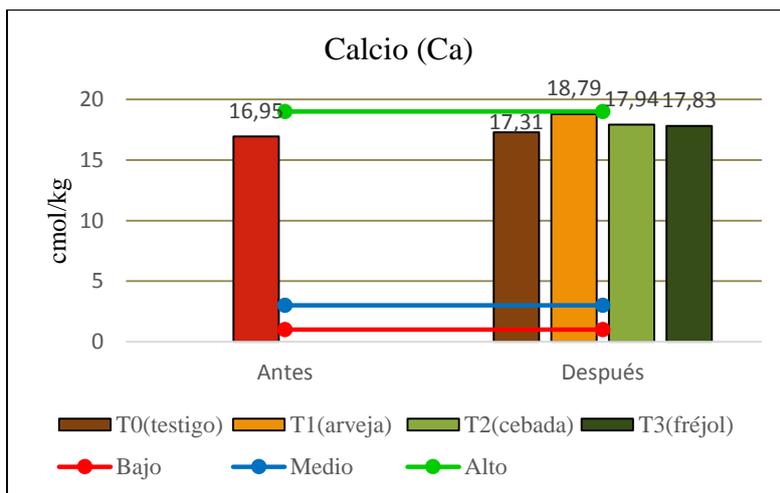


Figura 39. Concentración de calcio antes y después de la aplicación de mulch (Y)

▲ Magnesio

En el sitio 2 los valores también se redujeron en sus porcentajes iniciales para los cuatro tratamientos (Figura 40), aunque se mantienen en un rango alto de acuerdo a los rangos establecidos por Agrocalidad (2017). El magnesio en la planta cumple funciones bioquímicas y fisiológicas como formación de clorofila, síntesis de proteínas, fijación de dióxido de carbono, fotooxidación de los tejidos de las hojas (Cakmak y Yazici, 2010). Esta reducción se debe a los requerimientos nutricionales de *Zea mays L.* y *Pisum sativum L.*, así como la aparición de organismos que absorben dicho nutriente (Navarro y Navarro, 2003). La causa de la disminución de este nutriente concuerda con lo mencionado por Fachín (2013) en su investigación en la cual comparó el efecto de cobertura vegetal viva y mulch sobre el rendimiento de maíz, en donde, manifiesta que el cultivo de maíz aprovecha el magnesio del suelo para su desarrollo fisiológico.

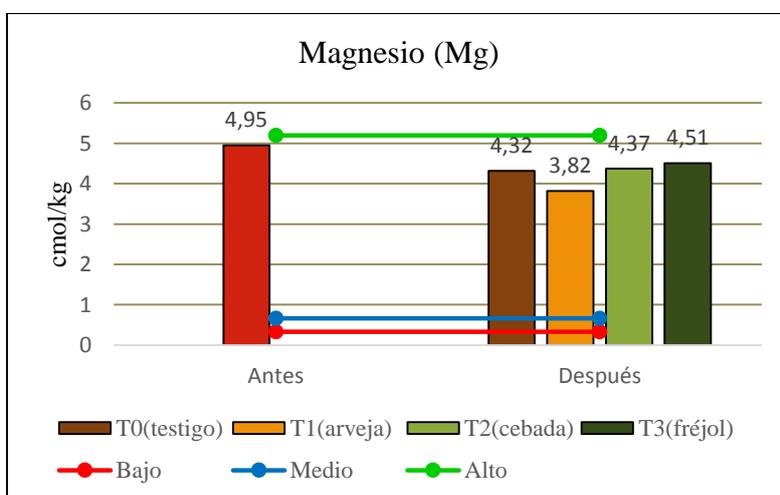


Figura 40. Concentración de magnesio antes y después de la aplicación de mulch (Y)

▲ Azufre

Los rangos de concentración del azufre en el sitio 2 subieron considerablemente a un rango medio para los tratamientos T1 y T3 (Figura 41), mientras que el tratamiento T0 y T4 aumentaron su porcentaje, pero aún se encuentran en un rango bajo de concentración. El cambio en los valores de este nutriente se debe a la mineralización de la materia orgánica, aplicación de cobertura vegetal y el aumento de humedad en el suelo (Sanzano, 2017). La investigación de Salas (2008) se menciona que la utilización de mulch ayuda a elevar los contenidos de macronutrientes y materia orgánica. Según León et al. (2004) el incremento de este nutriente puede aportar en el desarrollo de cultivos, formación de proteínas, aminoácidos y resistencia.

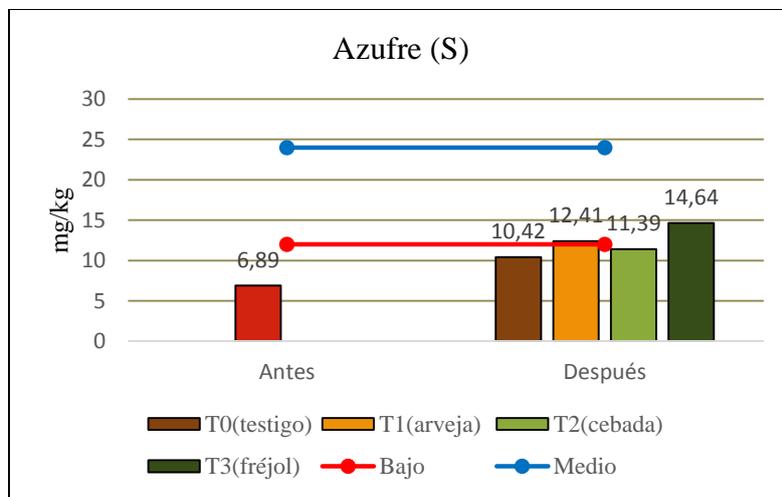


Figura 41. Concentración de azufre antes y después de la aplicación de mulch (Y)

▲ Hierro

El tratamiento T3 presentó al igual que los demás tratamientos un rango alto de concentración (Figura 42), con la diferencia que este tratamiento tiene una concentración superior de hierro, a causa del aporte de materia orgánica, excremento de animales y la actividad microbiológica que forma quelatos de hierro asimilables a la planta (Plaster, 2005). Al igual que en Aloburo el aumento de hierro se debe a lo mencionado por Sierra (2017) y Navarro y Navarro (2003) afirmando así que, la regulación del pH y la presencia de materia orgánica contribuyen a la formación de quelatos de hierro los cuales fueron observados directamente en el sustrato. Salas (2008) en su investigación expresa que, la colocación de mulch eleva los contenidos de materia orgánica y los contenidos de macronutrientes.

El incremento de hierro aumenta la capacidad amortiguadora del suelo y mejora su estructura, actúa en la síntesis de clorofila y es conductor de electrones en la fotosíntesis y en la respiración (Acevedo, Cruz, Cruz, y Ortíz, 2004).

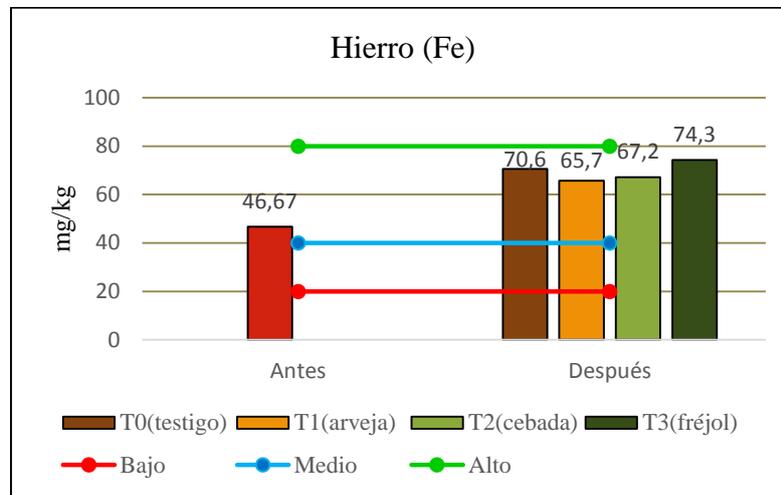


Figura 42. Concentración de hierro antes y después de la aplicación de mulch (Y)

- **Manganeso**

Los datos de los cuatro tratamientos se elevaron a un rango alto de concentración (Figura 43), el tratamiento T2 ha sido el más efectivo por poseer un valor de 31,4 mg/kg de manganeso. El alto contenido de manganeso en el suelo permite que las plantas lo asimilen, el cual desempeña la biosíntesis de fenoles que optimizan la resistencia a enfermedades (Sierra, 2017).

De acuerdo a Navarro y Navarro (2003) se debe al aporte de materia orgánica, la disminución del pH y la actividad microbiana que interviene en el incremento de las concentraciones de manganeso. De igual manera que en el sitio uno (Aloburo), Warman (1998) citado por Bello et al. (2006) expresan que, los suelos abonados con compost aumentan las concentraciones de manganeso en el suelo. Además, Salas (2008) en su investigación avala que el acolchado de especies vegetales regula el nivel de pH para que la mayoría de nutrientes del suelo se encuentren fácilmente disponibles para los cultivos.

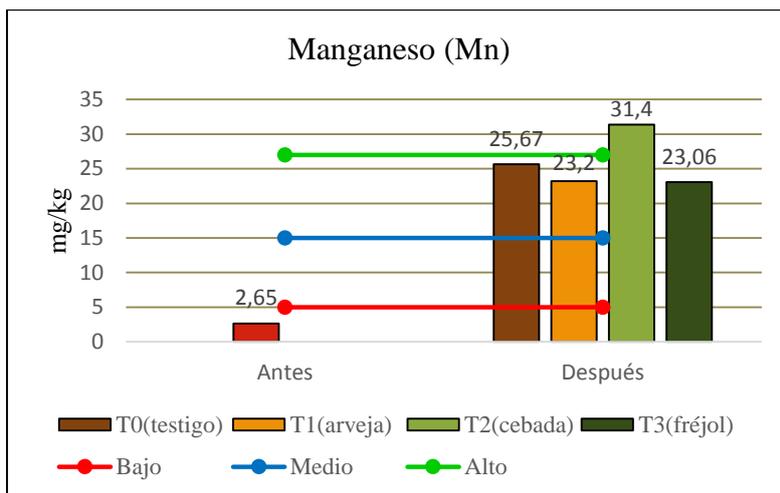


Figura 43. Concentración de manganeso antes y después de la aplicación de mulch (Y)

- **Cobre**

Los valores obtenidos de cobre se mantienen en un rango alto de concentración (Figura 44), el tratamiento T3 presenta mayor porcentaje de cobre presente en el suelo con un valor de 7,68mg/kg. Este aumento se debe a la mineralización de la materia orgánica y disminución de pH (Navarro y Navarro, 2003). De igual manera Salas (2008) constata que el mulching provee materia orgánica y regula el pH de acuerdo a su investigación. Según los estudios de Warman (1998) la fertilización de suelos mediante cobertura vegetal o compost, incrementan las concentraciones de cobre. El alto contenido de este nutriente puede actuar en la formación de la clorofila, participar en el metabolismo de las proteínas e influir en la activación de enzimas vegetales (León et al., 2004).

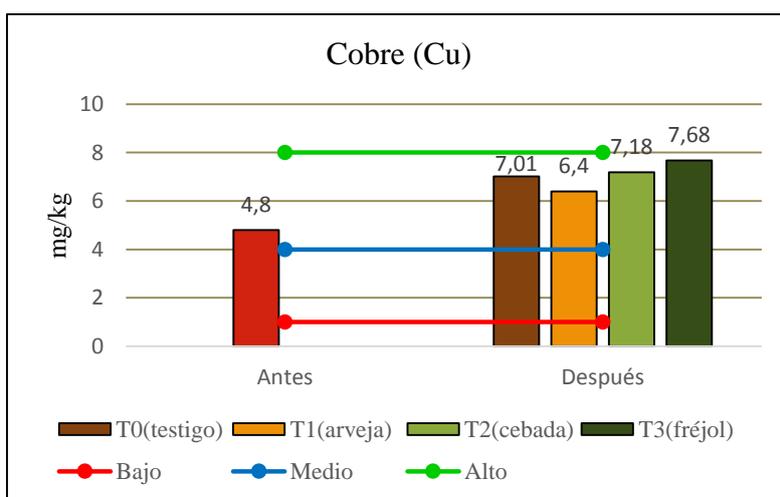


Figura 44. Concentración de cobre antes y después de la aplicación de mulch (Y)

▲ Zinc

Los valores de zinc al igual que en el Aloburo bajaron considerablemente, a pesar de eso se mantienen en un rango alto y medio de concentración (Figura 45), es menos disponible en suelos con tendencia alcalina y alta cantidad de fosfatos en el suelo, los requerimientos nutricionales del cultivo provocaron que este nutriente disminuyera en altas cantidades (Navarro y Navarro, 2003). Castro et al. (2003) en su investigación manifiesta que los valores de pH por encima de 7 y concentraciones altas de calcio causan la disminución de este nutriente en el suelo. El zinc controla la producción de importantes reguladores de crecimiento y desarrollo y estimula diversas actividades enzimáticas en la planta, su deficiencia produce cambio en la estructura de las hojas (Sanzano, 2017).

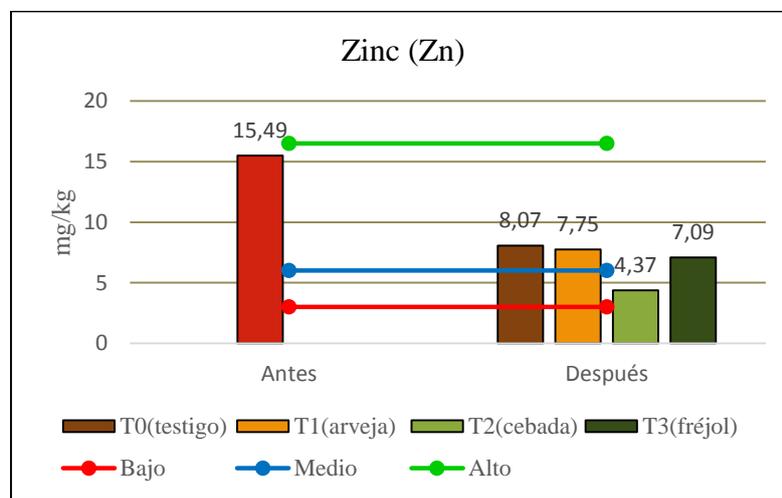


Figura 45. Concentración de zinc antes y después de la aplicación de mulch (Y)

▲ Materia orgánica

De acuerdo a la figura 46 todos los tratamientos están en un rango alto de concentración debido a la incorporación de abonos orgánicos, el aumento de materia orgánica se debe a la descomposición los residuos animales y cobertura vegetal muerta por parte de microorganismos presentes en el suelo, con el fin de liberar nutrientes y aumentar la materia orgánica (FAO, 2006). Pinamonti (1998) citado por Bello (2006) corrobora estos resultados debido a que en su investigación el aporte de mulch en viñedos aumento el contenido de materia orgánica; así como, en los estudios de Salas (2008) y Monge et al. (2013). Un suelo con alto rango de concentración mejora la formación de agregados del suelo, beneficia la retención de agua, disminuye la erosión y facilita el intercambio gaseoso (Bello, 2006).

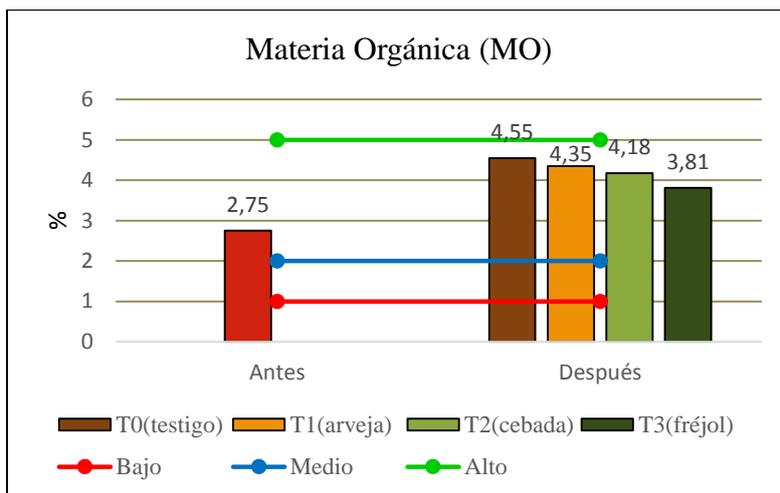


Figura 46. Concentración de MO antes y después de la aplicación de mulch (Y)

4.2.5. Análisis estadístico

Para responder las hipótesis planteadas, se realizó el análisis estadístico de Clúster con el fin de identificar la similaridad entre tratamientos por sitio para las propiedades físicas y químicas.

Aloburo

Del dendrograma elaborado con los valores finales de las propiedades físicas y químicas se demostró que, el tratamiento T2 (cebada) es similar al tratamiento T3 (fréjol), mientras que el tratamiento T1 se aleja de los valores de estos tratamientos (Figura 47); por otro lado, el tratamiento T0 (testigo) es completamente diferente a los demás tratamientos, por lo que se acepta la hipótesis alternativa en donde las propiedades físicas y químicas del suelo varían en al menos uno de los tratamientos.

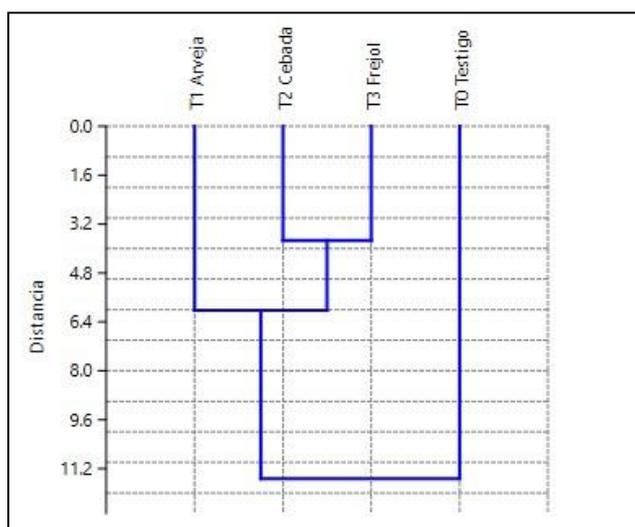


Figura 47. Dendrograma de similitud en Aloburo

Yahuarcocha

El dendrograma realizado (Figura 48) señala que los tratamientos T3 (fréjol) y T0 (testigo) son similares, mientras que el tratamiento T2 se encuentra en un grupo diferente a estos, y el tratamiento T1 (arveja) es el que mayor diferencia presenta en cuanto al resto de los tratamientos. De esta manera se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa la cual indica, que al menos uno de los tratamientos varía en cuanto a las propiedades físicas y químicas del suelo.

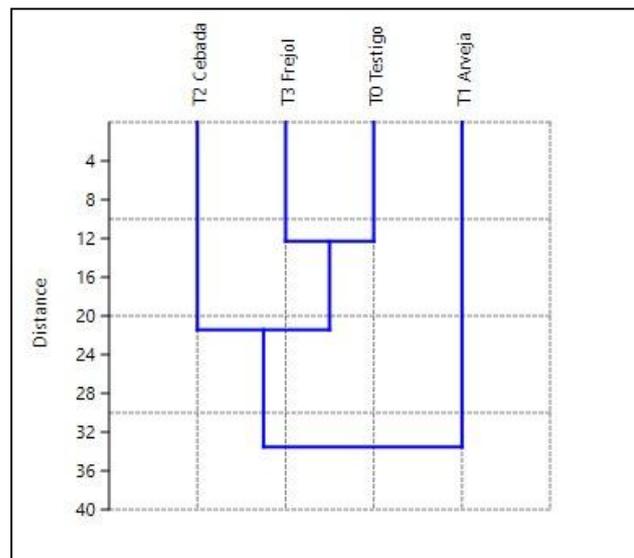


Figura 48. Dendrograma de similitud en Yahuarcocha

4.3. Riqueza específica en hongos y bacterias

Se determinó la riqueza específica respecto a hongos y bacterias para cada tratamiento en los ensayos de Aloburo y Yahuarcocha.

▲ Bacterias en Aloburo

La riqueza específica en los tratamientos T0 y T1 es nula, T2 presenta 2 géneros al igual que el tratamiento T3.

De acuerdo a los resultados de la tabla 31 de los análisis bacteriológicos se encontraron tres géneros de bacterias; *Bacillus sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Enterobacter sp.* El primer género fue hallado en los tratamientos T2 y T3, según Konman (como se citó en Cuervo, 2010) indica que este género presente en el suelo y plantas es esencial en el ciclo del carbono y nitrógeno, además

aumenta la disponibilidad del fósforo y promueve el crecimiento vegetal al ser una bacteria fosfato solubilizadora.

En el tratamiento T2 se presencié la bacteria *Pseudomonas sp.*, de acuerdo a Cano (2011) este género de bacterias es un agente biológico que puede ejercer beneficios al suelo y a la planta tales como, solubilidad de fósforo, estimulación en la germinación de semillas, resistencia a agentes patógenos, competencia por nutrientes y metabolizar grandes concentraciones de atrazina disminuyendo su toxicidad y sus propiedades herbicidas. La *Enterobacter sp* se identificó en el tratamiento T3, este agente tiene la característica de producir enzimas que pueden incrementar el fósforo soluble en el suelo (Bonilla, 2005).

Un pH neutro y ligeramente alcalino genera las condiciones óptimas para la aparición y desarrollo de este tipo de bacterias, así como también la materia orgánica absorbe y retiene a estos microorganismos, según indican Fassbender (1982) y Goyal y Gerba (1979) citados por Bello (2006). Esto lo corrobora Loja y Méndez (2015) en su estudio de enmiendas orgánicas sobre el suelo, en donde sostiene que el aumento de la actividad biológica (hongos y bacterias) se debe a la aplicación de abonos orgánicos y convencionales.

Tabla 31. Resultados de análisis Bacterias en Aloburo

Bacterias (Aloburo)				
Género	T0	T1	T2	T3
<i>Bacillus sp.</i>			X	X
<i>Pseudomonas sp.</i>			X	
<i>Enterobacter sp.</i>				X

Fuente: Agrocalidad (2017)

Índice de similitud de Sorensen

Los resultados del índice de Sorensen (Tabla 32), indican que los tratamientos T2 y T3 presentan moderada similitud con un valor de 0,5, mientras que los otros tratamientos no presentan ningún tipo de similitud debido a la ausencia de bacterias. Tomando en cuenta estos datos se acepta la hipótesis alternativa la cual indica que al menos uno de los tratamientos varía en las propiedades biológicas del suelo, y se rechaza así la hipótesis nula.

Tabla 32. Índice de similitud de Sorensen por tratamiento (Bacterias en Aloburo)

INTERACCIÓN	T0 (Testigo)	T1 (arveja)	T2 (cebada)	T3 (fréjol)
T0 (Testigo)	-	-	-	-
T1 (arveja)	-	-	-	-
T2 (cebada)	-	-	-	0,5
T3 (fréjol)	-	-	0,5	-

▲ Hongos en Aloburo

La riqueza específica en los tratamientos T0, T1, T3 es de 2 géneros cada uno, mientras que el T2 posee una riqueza específica de 3 géneros.

Los análisis micológicos en los tratamientos de Aloburo indicaron la presencia de los siguientes géneros *Fusarium sp* (fitopatógeno), *Penicillium sp.*, *Aspergillus sp.*, *Trichoderma sp.*, *Mucor sp.* y *Geotrichum sp.* (Tabla 33). El género *Fusarium sp.* de carácter patógeno se halló en los tratamientos T0 y T2, este hongo produjo la pudrición de la planta de maíz en los órganos vegetativos y marchitez en la planta adulta (Figuroa et al., 2010).

En los resultados de análisis de suelo en Aloburo se registraron la presencia del género *Penicillium sp.* en los tratamientos T1, T2, T3; de acuerdo a Sánchez, Marrugo y Urango (2014), este género es capaz de bioabsorber metales pesados tales como el plomo y el cadmio, por lo que favorece al suelo eliminando metales pesados. Los hongos del género *Aspergillus sp.* registrados en el tratamiento T1 actúan sobre la materia vegetal o en descomposición multiplicándose rápidamente en un extenso rango de temperatura y humedad, varias especies de este género tiene efectos fitopatógenos como la antracnosis del algodónero y el carbón (Salgado, 2010).

El género *Trichoderma sp.* presente en el tratamiento T2, según Harman (como se citó en Canon, 2011) se caracteriza por ser un controlador biológico de enfermedades ocasionadas a plantas especialmente en la raíz, además estimula la absorción y asimilación de nutrientes, resistencia sistémica en la planta, enraizamiento más profundo y optimizador en la formación de pelos radiculares. El género *Mucor sp.* registrado en el tratamiento T3 se caracteriza por causar pudrición en los frutos luego de la cosecha, se presenta cuando el fruto se encuentra en condiciones de alta humedad y se puede propagar a otros frutos si es que estos presentan alguna herida (Arguedas, 1997).

En el tratamiento T0 al no presentar mulch se obtuvo la presencia del género *Geotrichum sp.* (Tabla 4.8.), de acuerdo a Agrios (como se citó en Álvaro, 2005) son hongos que causan enfermedades en los cítricos, zanahorias, tomates y otras plantas frutales generando un sabor agrío en sus frutos.

Flores y Mendez (2011) manifiestan que, al adicionar abonos orgánicos al cultivo incrementa las poblaciones de hongos benéficos y patógenos a la biota del suelo. Esto lo reafirma Monge et al. (2013) en su investigación, en donde menciona que el aporte de enmiendas orgánicas al suelo incrementa la actividad biológica. Por otro lado, en el estudio de Loja y Méndez (2015) se concluye que las enmiendas orgánicas y las convencionales mostraron un aumento significativo de población de hongos y bacterias con respecto al tratamiento inicial.

Tabla 33. Resultados de análisis Hongos en Aloburo

Hongos (Aloburo)		T0	T1	T2	T3
Fitopatógenos	Género				
	<i>Fusarium sp.</i>	X		X	
No Fitopatógenos	<i>Penicillium sp.</i>		X	X	X
	<i>Aspergillus sp.</i>		X		
	<i>Trichoderma sp.</i>			X	
	<i>Mucor sp.</i>				X
	<i>Geotrichum sp.</i>	X			

Fuente: Agrocalidad (2017)

Índice de similitud de Sorensen

De acuerdo al índice de similitud de Sorensen se pudo determinar que, el tratamiento T1 y T3 presentaron una moderada similitud con 0,5 (Tabla 34). Mientras que las relaciones de los demás tratamientos también se mantuvieron en moderada similitud, pero con un valor inferior de 0,4; de esta manera se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Tabla 34. Índice de similitud de Sorensen por tratamiento (Hongos en Aloburo)

INTERACCIÓN	T0 (Testigo)	T1 (arveja)	T2 (cebada)	T3 (fréjol)
T0 (Testigo)	-	0	0,4	0
T1 (arveja)	0	-	0,4	0,5
T2 (cebada)	0,4	0,4	-	0,4
T3 (fréjol)	0	0,5	0,4	-

▲ Bacterias en Yahuarcocha

Los tratamientos T0, T2 y T3 presentan una riqueza específica de uno por cada género; por otro lado, la riqueza específica del tratamiento T1 es igual a 2 géneros.

Los análisis bacteriológicos en Yahuarcocha encontraron cinco géneros de bacterias en el suelo los cuales son: *Acinetobacter sp.*, *Bacillus sp.*, *Shawanella sp.*, y *Paenibacillus sp.* (Tabla 34). De acuerdo a Benavides, Quintero y Ostos (2006), *Acinetobacter sp.* es un género capaz de transformar los nitratos a nitrógeno atmosférico libre mediante el proceso lento y débil de desnitrificación, este género se encontró en el tratamiento T0.

En el tratamiento T1 se encontró el género *Bacillus sp.* al igual que en el suelo de Aloburo, es una bacteria fosfato solubilizadora que promueve la disponibilidad del fósforo y el desarrollo vegetal; además en este tratamiento se halló el género *Shawanella sp.* el cual tiene como característica principal la gran capacidad de reducir el óxido de hierro y el magnesio, así como producir ácidos grasos poliinsaturados de acuerdo a Ron et al. (Como se citó en Pucci, Acuña, Tonin, Tiedemann y Pucci O., 2010). El género *Paenibacillus sp.* se presentó en el tratamiento T3, es importante en la salud de las plantas debido a que facilitan la asimilación de nitrógeno y producen fitohormonas que suministran nutrientes (Sosa, 2009).

Fassbender (1982) y Goyal y Gerba (1979) citados por Bello et al. (2006) coinciden, en que el surgimiento de este tipo de bacterias se debe a las condiciones de pH neutro y ligeramente alcalino, además de que la materia orgánica retiene a estos microorganismos y estimula su desarrollo. Loja y Méndez (2015) confirman en su estudio respecto a enmiendas orgánicas, en que, la aplicación de abonos orgánicos y convencionales incrementan la actividad biológica (hongos y bacterias) del suelo.

Tabla 34. Resultados de análisis Bacterias en Yahuarcocha

Bacterias (Yahuarcocha)				
Género	T0	T1	T2	T3
<i>Acinetobacter sp.</i>	X			
<i>Bacillus sp.</i>		X		
<i>Shawanella sp.</i>		X		
<i>Microbacterium sp.</i>			X	
<i>Paenibacillus sp.</i>				X

Fuente: Agrocalidad (2017)

Índice de similitud de Sorensen

En este caso los valores de similitud son 0 para todas las interacciones, esto indica que los tratamientos no comparten géneros similares de bacterias.

Tabla 35. Índice de similitud de Sorensen por tratamiento (Bacterias en Yahuarcocha)

Interacción	T0 (Testigo)	T1 (arveja)	T2 (cebada)	T3 (cebada)
T0 (Testigo)	-	0	0	0
T1 (arveja)	0	-	0	0
T2 (cebada)	0	0	-	0
T3 (fréjol)	0	0	0	-

▲ Hongos en Yahuarcocha

Los tratamientos T0, T1 y T2 presentan una riqueza específica de 2 géneros; mientras que el tratamiento T3 posee 3 géneros.

Según la Tabla 36 se obtuvieron 5 géneros de hongos *Fusarium sp.*, *Rhizoctonia sp.*, *Penicillium sp.*, *Trichoderma sp.* y *Mucor sp.* El género *Fusarium sp.* se registró en los tratamientos T2 y T3, causando pudrición en los órganos vegetativos y marchitez en la planta adulta (Figueroa et al., 2010). De acuerdo Silva, Torres y Escobar (2007) el género *Rhizoctonia sp.* es causante de la pudrición de raíz en plantas jóvenes y en su fase adulta causa lesiones en los peciolo de la hoja y venas centrales, este hongo se presentó en el tratamiento T1.

El género *Penicillium sp.* presente en los tratamientos T0 y T3 es capaz de bioabsorber cadmio y plomo según lo manifiestan Sánchez, Marrugo y Urango (2014). *Trichoderma sp.* es un género que apareció en los tratamientos T0, T1 y T3, el cuál es un controlador biológico de enfermedades, aumenta la formación de pelos radiculares, etc. como ya se manifestó en el tratamiento T2 de Aloburo (Canon, 2011). Los hongos del género *Mucor sp.* se hallaron en el tratamiento T3, este tipo de hongos proliferan en la postcosecha de los frutos en medio de altos rangos de humedad tal como se manifestó en el tratamiento T3 de Aloburo (Arguedas, 1997).

Loja y Méndez (2015) coinciden con Monge et al. (2013) en que, las enmiendas orgánicas en cultivos aumentan la actividad biológica (hongos y bacterias) en el suelo. Flores y Méndez (2011) también mencionan que, al incorporar abonos orgánicos a un cultivo, incrementa la presencia de hongos patógenos y benéficos en el sustrato.

Tabla 36. Resultados de análisis Hongos en Yahuarcocha

Hongos (Yahuarcocha)					
	Género	T0	T1	T2	T3
Fitopatógenos	<i>Fusarium sp.</i>			X	X
	<i>Rhizoctonia sp.</i>		X		
No Fitopatógenos	<i>Penicillium sp.</i>	X		X	
	<i>Trichoderma sp.</i>	X	X		X
	<i>Mucor sp.</i>				X

Fuente: Agrocalidad (2017)

Índice de similitud de Sorensen

Los resultados obtenidos del índice de similitud de Sorensen demuestran que, la relación entre T0-T1 y T0-T2 representan un rango de moderada similaridad con un valor de 0,5 (Tabla 36). Mientras que los demás grupos se mantienen en una moderada similitud, pero con un valor de 0,4. Por otro lado la interacción T1-T2 no comparten géneros similares. Aceptando así la hipótesis alternativa y rechazando la hipótesis nula.

Tabla 37. Índice de similitud de Sorensen por tratamiento (Hongos en Yahuarcocha)

Interacción	T0 (Testigo)	T1 (arveja)	T2 (cebada)	T3 (fréjol)
T0 (Testigo)	-	0,5	0,5	0,4
T1 (arveja)	0,5	-	0	0,4
T2 (cebada)	0,5	0	-	0,4
T3 (fréjol)	0,4	0,4	0,4	-

4.4. Estrategias de manejo y conservación de suelos

Las tres estrategias planteadas en la investigación se elaboraron con base en los problemas detectados en el sector agrícola de cada sitio. Las estrategias son las siguientes:

4.4.1. Estrategias de educación ambiental comunitaria (PEAC)

Justificación

La educación ambiental en las comunidades de Aloburo y Yahuarcocha juega un rol muy importante en la conservación de los recursos naturales, tales como el suelo y agua. Este programa tiene como fin aportar una técnica agroecológica en base a la situación actual del suelo sin dejar de lado el conocimiento ancestral de los pobladores; además de fomentar el manejo sustentable del suelo.

Desarrollo

En el programa las actividades están enfocadas directamente al recurso suelo como prioridad y como complemento el recurso agua. La transferencia de comunicación se realizará de una forma clara y sencilla de fácil comprensión para los agricultores. En la tabla 38 se detalla los objetivos planteados, grupo al que va dirigido la propuesta y las actividades previstas.

Tabla 38. Actividades para el PEAC

Actividad 1		
Difusión de la estrategia en las comunidades		
Objetivo	Grupo Objetivo	Actividades previstas
Socializar el PEAC	<ul style="list-style-type: none">- Miembros de la junta de riego- Centros educativos cercanos	Definir lugar y fecha para la divulgación del PEAC
Actividad 2		
Capacitación e implementación del PEAC		
Objetivo	Grupo	Actividades previstas
Dar a conocer los problemas del sector agrícola	<ul style="list-style-type: none">- Miembros de la junta de riego	Charlas enfocadas a: <ul style="list-style-type: none">- Problemática- Uso del recurso suelo- Manejo sustentable del suelo
Actividad 3		
Aprovechamiento sustentable del suelo		
Objetivo	Grupo	Actividades previstas
Concientizar a los miembros de las juntas de riego acerca de los recursos naturales y su importancia en el sector agrícola	<ul style="list-style-type: none">- Miembros de las comunidades (niños, jóvenes y adultos)	Charlas enfocadas a: <ul style="list-style-type: none">- Importancia de la conservación del suelo- Causas y efectos de la erosión del suelo- Aplicación de técnicas agroecológicas sustentables- Uso eficiente del agua

Fuente: Los autores

4.4.2. El uso de mulch orgánico

Justificación

La creación de estrategias de manejo y conservación de suelos tienen como finalidad promover el uso de mulch orgánico en el sector agrícola en áreas ecológicamente similares en la Zona 1 de acuerdo con la caracterización ecológica realizada en el primer objetivo. Para ello se tendrá

en cuenta el mejoramiento de la calidad nutricional, fertilidad, retención de humedad y sustentabilidad en suelos degradados y la realización posible de cultivos asociados.

Para el diseño de las estrategias de manejo y conservación de suelos se tuvo como base las estrategias para el manejo de suelos según la FAO 2000, organismo que pone de manifiesto la importancia de aumentar la cobertura de los suelos. La aplicación de mulch orgánico induce al uso de abonos orgánicos en cultivos administrando mayor cantidad de nutrientes, gran capacidad de retención hídrica, proliferación de microorganismos, aumento de materia orgánica, control de malezas, reducción de erosión hídrica y eólica.

Objetivos

- Mejorar la calidad del suelo, de acuerdo con los resultados obtenidos de la investigación en las comunidades de Aloburo y Yahuarcocha con el fin de promover el uso de mulch orgánico en la Zona 1.
- Difundir la información generada en la investigación de técnicas de conservación (Mulch orgánico o cobertura vegetal muerta) a la Comunidad Universitaria, Ilustre Municipalidad de Ibarra y al sector agrícola de Aloburo y Yahuarcocha, con el propósito de dar a conocer la metodología empleada, los beneficios logrados en el suelo y la sostenibilidad del recurso.

Importancia

La aplicación de cobertura vegetal muerta o rastrojos de cosechas es una fuente de abono orgánico necesaria para la conservación de la calidad del suelo, así como la mejora en su productividad y rendimiento. Disminuye el uso de fertilizantes y abonos químicos perjudiciales para el suelo y al ambiente en general, además, con esta técnica se pretende minimizar gastos económicos utilizando materiales al alcance del agricultor.

Metodología para el mulch orgánico (rastrajo de cosechas).

Para el empleo de esta técnica de conservación se requiere disponer 1,5kg de rastrojo por metro cuadrado. Se coloca el mulch luego del aporque del cultivo, el mulch es ubicado en el surco alrededor de la planta en una capa de 5 cm de espesor. Es preferible que el mulch se encuentre seco y no en descomposición así se evita posibles infecciones fitopatógenas. Las actividades se detallan en la Tabla 39.

El mulch de arveja permite aumentar las concentraciones de fósforo, potasio y calcio; mientras que, el mulch de cebada mejora el contenido de nutrientes potasio y manganeso; y por su parte el mulch de fréjol influye en el incremento de la concentración de MO, N, P, K, Ca, Cu y Fe.

Tabla 39. Actividades para el uso de mulch

Actividad 1		
Difusión de la estrategia en las comunidades		
Objetivo	Grupo Objetivo	Actividades previstas
- Informar acerca del uso de mulch orgánico	- Miembros de las juntas de riego	- Definir lugar y fecha - Charlas introductorias al Programa de aplicación del mulch - Diálogos referentes a mulch orgánico y sus ventajas
- Explicar la metodología adecuada para la implementación de mulch orgánico en los cultivos	- Miembros de las juntas de riego	Talleres referentes a: - Rastrojos adecuados según el tipo de cultivo - Colocación apropiada del acolchado (Demostración práctica)
Actividad 2		
Beneficios del uso de coberturas muertas		
Objetivo	Grupo Objetivo	Actividades previstas
- Instruir acerca de los beneficios que conlleva el uso eficiente del mulch orgánico	- Miembros de las comunidades	Charlas enfocadas a: - Necesidad de la conservación de suelos - Técnicas agroecológicas - Influencia del mulch en las características físicas-químicas y biológicas del suelo.

Fuente: Los autores

4.4.3. Inducción hacia el cambio al sistema de riego por goteo

Justificación

Según Plaster (2005), la instalación de un sistema de riego por goteo en zonas que presentan pendientes con un alto grado de inclinación evita pérdidas por infiltración reduciendo el escurrimiento superficial, además de utilizar eficientemente el recurso hídrico. Mediante este programa y con base en la metodología utilizada se pretenderá incentivar a los miembros de las juntas de riego de las dos comunidades la aplicación de un sistema de provisión de agua para sus cultivos.

Desarrollo

La estrategia se efectuará mediante conferencias, talleres y mingas, centrándonos en la aplicación del sistema de riego por goteo en base a la disponibilidad del agua en cada sitio. En la tabla 40 se detalla los objetivos planteados, grupo al que va dirigido la propuesta y las actividades previstas.

Tabla 40. Actividades para el sistema de riego

Actividad 1		
Difusión de la estrategia en las comunidades		
Objetivo	Grupo Objetivo	Actividades previstas
- Capacitar sobre el sistema de riego por goteo	- Miembros de las juntas de aguas	- Definir lugar y fecha - Charlas introductorias al Programa de sistema de riego por goteo
Actividad 2		
Capacitación e implementación de la estrategia de sistema de riego por goteo		
Objetivo	Grupo	Actividades previstas
- Capacitar a los agricultores sobre el manejo del sistema de riego por goteo	- Miembros de las juntas de aguas	Talleres referentes a: - Ubicación e instalación del equipo - Uso y mantenimiento del sistema - Costos
Actividad 4		
Aprovechamiento sustentable del agua		
Objetivo	Grupo	Actividades previstas
- Instruir acerca de los beneficios que conlleva el uso eficiente del agua	- Miembros de la junta de agua	Charlas enfocadas a: - Necesidad del riego en un cultivo - Importancia y disponibilidad de los caudales - Cantidades óptimas de uso - Conservación del agua - Comparar ventajas de riego por goteo vs riego por gravedad

Fuente: Los autores

4.4.4. Zonas ecológicamente similares para la implementación de los programas

Las estrategias expuestas en esta investigación pueden socializarse e implementarse en las zonas ecológicamente similares identificadas para la zona 1 de Planificación, debido a que presentan condiciones similares de temperatura y precipitación a las de los sitios donde se realizaron los ensayos.

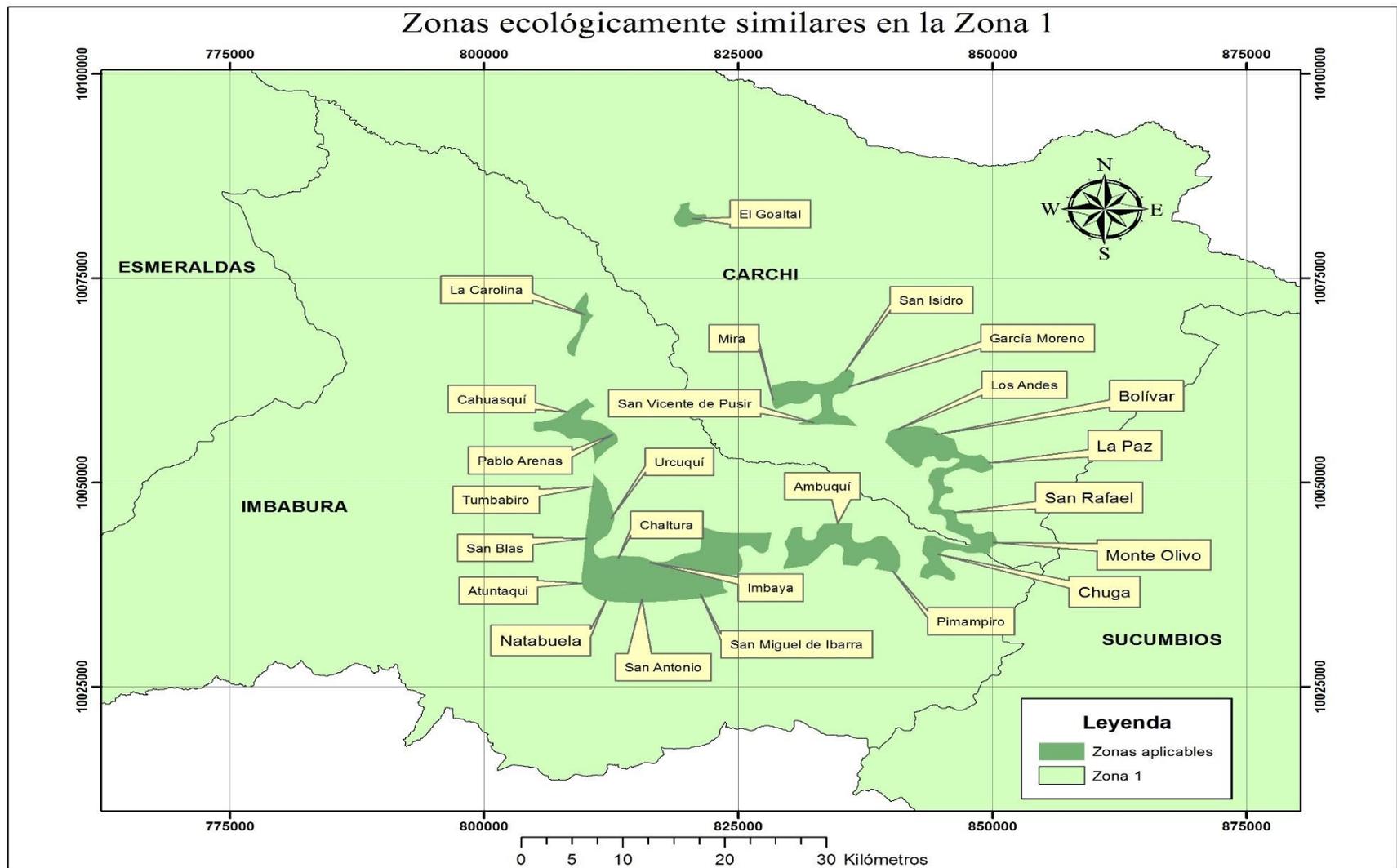


Figura 49. Zonas ecológicamente similares en la Zona 1

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El suelo del sitio Aloburo donde se realizó el estudio presenta valores de precipitación, temperatura, altitud y topografía apropiadas para ubicarse en un ecosistema de bosque seco montano bajo. Mientras que las condiciones ambientales del suelo en el sitio Yahuarcocha son aptas para actividades de agricultura limpia por estar ubicadas cerca del humedal y la influencia demográfica.
- Las condiciones físicas del suelo en Aloburo y Yahuarcocha antes de la implementación del ensayo, presentaron clase textural franca lo que implica buena penetración de raíces y capacidad media de retención de agua y nutrientes; características que se ven limitadas por la profundidad efectiva de categoría muy superficial 19,11 cm (Aloburo) y 17,85 cm (Yahuarcocha), estos valores denotan dificultad para el enraizamiento así como para la captación de nutrientes y agua por las plantas.
- Las propiedades químicas del suelo, precedentes a la aplicación del mulch en Aloburo indicaron niveles de degradación por deficiencia en los nutrientes S, Fe y Mn, y concentraciones aceptables de N y P; mientras que los niveles iniciales de K, Ca, Mg, Zn, y Cu se encontraron en rangos muy altos, guardando correlación con el clima y el rango de pH ligeramente alcalino.
- En el ensayo de Yahuarcocha la degradación química fue menor; los contenidos de P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe estuvieron en rangos altos de concentración lo que coincide con el rango de pH ligeramente alcalino; mientras que, el N, S y Mn estuvieron en contenidos bajos.
- Antes de la aplicación del mulch la baja cantidad de materia orgánica limitó la presencia micológica con la presencia de un solo género de hongos para ambos sitios; y respecto a bacterias no se evidenció su presencia en ninguno de los dos sitios.
- La influencia del mulch en la profundidad efectiva de Aloburo se mantuvo en la categoría muy superficial, mientras que en Yahuarcocha el mulch de fréjol tuvo un

mayor efecto en la descompactación del suelo que pasó cualitativamente de muy superficial a superficial.

- A los cinco meses de instalado el ensayo con mulch en el sitio uno la concentración de Fe y Mn tuvo un aumento de contenido, mientras que P, K, Ca, Mg, S y Cu se mantuvieron en el mismo rango de concentración y los elementos N y Zn disminuyeron en cantidades significativas pasando un rango bajo de concentración; en Yahuarcocha el efecto del mulch en los nutrientes determinó; para el N, S y Mn aumento en el rango de concentración, mientras que P, K, Ca, Mg, Fe, Cu y Zn se mantuvo en un mismo rango alto de concentración.
- En Yahuarcocha la incidencia del mulch sobre la materia orgánica del suelo fue positiva ya que aumentó sus cantidades, lo que produjo un aumento de nutrientes y actividad microbiana; en tanto que en Aloburo el mulch no influenció significativamente en ninguno de los tratamientos.
- En Aloburo, el pH no tuvo una diferencia significativa ya que se mantuvo en la categoría ligeramente alcalino; en tanto que, en Yahuarcocha fue benéfico para el suelo ya que el pH descendió de alcalino a neutro, creando un ambiente más propicio para la actividad microbiana.
- La incorporación de mulch al suelo influyó en la presencia microbiológica (hongos y bacterias) en los dos sitios; en Aloburo los tratamientos que tuvieron mayor presencia microbiana fueron T2 (cebada) y T3 (fréjol), mientras que, en el sitio dos fueron T1 (arveja) y T3 (fréjol), lo cual tiene correlación con el aumento de materia orgánica.
- De acuerdo con el presente estudio la incorporación de mulch orgánico constituye una práctica agroecológica para el mejoramiento de suelos en sitios secos, como Aloburo y Yahuarcocha, por lo que esta investigación puede usarse como referencia para el mejoramiento del suelo en sitios similares en la Zona 1 del Ecuador.

5.2. Recomendaciones

- Realizar un inventario de la flora característica de cada sitio para poder aprovechar los residuos vegetales que generan, ampliando el campo de estudio en cuanto a técnicas agroecológicas.
- Esperar un período de tiempo más largo (un año) para que el mulch se incorpore más al suelo completamente y evaluar nuevos cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.
- Efectuar el análisis químico de las especies vegetales que se vayan a utilizar en el acolchado en posteriores investigaciones, con el fin de determinar el contenido de macro- nutrientes que estos aportan al suelo.
- Ampliar la socialización de la experiencia investigativa a espacios que tengan similares características físicas y climáticas, además de buscar espacios para la capacitación.
- Aplicar cobertura vegetal muerta (mulch orgánico) en otros cultivos, con el fin de comprobar los efectos que producen los abonos orgánicos en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.
- Evaluar la actividad de hongos y bacterias en distintos acolchados para futuras investigaciones con el fin de recabar información y emplearla en suelos degradados.

REFERENCIAS

- Acevedo, O., Cruz, E., Cruz, M. y Ortíz, E. (2004). El papel de óxidos de hierro en suelos. *Terra Latinoamericana*, 22(4), 485- 497.
- Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro. (2016). *Instructivo de muestreo para análisis nematológico*. Ecuador: Autor
- AGROLAP. (2005). Guía de referencia para la interpretación de Análisis de suelos agrolab. México: Autor.
- Aguirre, Z. (2013). *Guía de métodos para medir la biodiversidad*. Recuperado de <https://zhofreaguirre.files.wordpress.com/2012/03/guia-para-medidic3b3n-de-la-biodiversidad-octubre-7-2011.pdf>
- Alvarado Almonacid, P. (2005). Identificación de cepas patógenas de Fusarium Link causantes de nueva patología en el cultivo de calas de colores bajo condiciones productivas de invernadero en Chile (Tesis inédita de Ingeniería). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Alvarado, A., Calbacera, G. y Molina, E. (2010). Acidez y encalado de suelos. En Llobet, J., Martín, A., Murillo, A. y Serra, A. (Ed.). *Tecnología de suelos: Estudio de casos*. (pp. 69- 99). Lérida: Ediciones de la Universitat de Lleida.
- Amez, S., Florián, L., Otiniano, A. y Sevillano, R. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. *IDESIA*, 24(1), 49-61. Recuperado de <http://www.scielo.cl/pdf/idesia/v24n1/art09.pdf>
- Arguedas, M. (1997). *Plagas de semillas forestales en América Central y El Caribe*. CATIE. Recuperado de: <https://books.google.com>
- Aristizábal, F. y Cerón, L. (2012). Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. *Colombiana de Biotecnología*, 14(1), 285- 295. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/biote/v14n1/v14n1a26.pdf>
- Arizmendi, N., Rivera, P., Cruz, F., Castro, B. y De la Garza, F. (2011). Lixiviación de hierro quelatado en suelos calcáreos. *Terra Latinoamericana*, 29 (3), 231-237. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/573/57321283001.pdf>
- Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes. (2002). *Los fertilizantes y su uso*. París: Autor.
- Banco Mundial (2008). Informe sobre el desarrollo mundial 2008. Agricultura para el desarrollo. Washington, D.C: Autor.

- Barrios, M., Bastardo, Y., Borges, J., Márquez, O. y Sandoval, E. (2012). Características físico-químicas del suelo y su asociación con macroelementos en áreas destinadas a pastoreo en el estado Yaracuy. *Bioagro*, 24(2). Recuperado de <http://www.redalyc.org/html/857/85723473006/>
- Baute, J., García, J. y Valencia F. (2008). Efecto de la cobertura arbórea y vegetal muerta sobre la producción de café, en la zona cafetera norte de Colombia. *Cenicafé*, 59(1). Recueperadode<http://www.cenicafe.org/es/publications/arc059%2801%29029-038.pdf>
- Bayon, C. y Ditschar, B. (2012). *El magnesio, un macroelemento a redescubrir para su aplicación en cereales*. Recuperado de <http://www.arcgis.com/home/item.html?id=83cf1aee0f24c208c63d797df44bb34>
- Bech, J., Pazos, S. y Roca, M. (2007). Disponibilidad de cobre, hierro, manganeso, zinc en suelos del NO argentino. *Ciencia del Suelo*, 25 (1), 31-42. Recuperado de <http://www.scielo.org.ar/pdf/cds/v25n1/v25n1a05.pdf>
- Bello, S., Blas, R., Julca, A. y Meneses, L. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia (Arica)*, 24(1), 49-61. Recuperado de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292006000100009
- Benavides, J., Quintero, G., y Ostos, O. (2016). Aislamiento e identificación de diez cepas bacterianas desnitrificantes a partir de un suelo agrícola contaminado con abonos nitrogenados proveniente de una finca productora de cebolla en la Laguna de Tota, Boyacá, Colombia. Recuperado de http://www.unicolmayor.edu.co/invest_nova/NOVA/NOVA6_ARTORIG4.pdf
- Berlanga, V., Rubio, M., Torrado, M. y Vila, R. (2014). Cómo aplicar un cluster jerárquico en SPSS. *REIRE*, 7(1). Recuperado de <http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/65577/1/628893.pdf>
- Bonilla, M. (2005). *Estrategias adaptativas de plantas del páramo y del bosque altoandino en la cordillera oriental de Colombia* (Tesis inédita de Biología). Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
- Cabrera, M. y Quemada, M. (1995). Carbon and nitrogen mineralized from leaves and stems of four cover crop. *Soil Science of America Journal*, 59, 471- 477. Recuperado de <https://dl.sciencesocieties.org/publications/sssaj/abstracts/59/2/SS0590020471>

- Cakmak, I. y Yazici, A. (2010). *Magnesio: El elemento olvidado en la producción de cultivos*. Recuperado de [https://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/901DD92BAE8EF8F60525777D0074FDAA/\\$file/2.+Magnesio.+El+elemento+olvidado.pdf](https://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/901DD92BAE8EF8F60525777D0074FDAA/$file/2.+Magnesio.+El+elemento+olvidado.pdf)
- Calleja, E. (2014). El uso de cubiertas para el suelo y ahorro de agua en el paisajismo. En *Arquitectura del Paisaje*, (161), 1-10.
- Campos R. (2012). *Manual de suelos. Guías de laboratorio y campo. Apuntes de clase*. Bogotá, Colombia. Publicaciones La Salle.
- Cano, M. (2011). Interacción de microorganismos benéficos en plantas: micorrizas, trichoderma spp. y pseudomonas spp. una revisión. *Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales*, 14(2). Recuperado de <http://www.scielo.org>.
- Cánovas, A. (2015). *Tratado de agricultura ecológica: El acolchado*. Recuperado de http://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/tae_3.pdf
- Castro, B., Etchevers, J., Hídalgo, C., Martínez, A., Rivera, P. y Rodríguez, J. (2003). Dinámica de hierro y zinc aplicados en soluciones ácidas a suelos calcáreos. *Terra Latinoamericana*, 21(3), 341- 350.
- Centro de Estudios y Prevención de Desastres. (2005). *Manual de operación y mantenimiento de un sistema de riego por goteo*. Recuperado de: http://www.predes.org.pe/predes/cartilla_riegoteo.pdf
- Centro de Estudios y Prevención de Desastres. (2005). *Manual de operación y mantenimiento de un sistema de riego por goteo*. Recuperado de: http://www.predes.org.pe/predes/cartilla_riegoteo.pdf
- Cisneros, P., Fontaine, G., y Narváez, I., y (2008). *Geo Ecuador 2008: Informe sobre el estado del medio ambiente*. Recuperado de <http://www.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/41444.pdf>
- Cock, J., Álvarez, D., y Estrada, M., (2002). *Guía práctica para la caracterización del suelo y del terreno*. Cali, Colombia: AGROVOC.
- Consentino, D. (2011). *Estructura De: Conti y Guiffre (Eds) Edafología, Bases y Aplicaciones Ambientales argentinas (pgg 183-202)*. Buenos Aires, Argentina: Facultad Agronomía Universidad de Buenos Aires.
- Contreras, O. y Moreno, F. (2005). Cobertura muerta y arvenses en la asociación Lactuca sativa - Allium ampeloprasum. *Manejo integrado de plagas y agroecología*, 74, (65-68). Recuperado de <http://www.sidalc.net/repdoc/a2148e/a2148e.pdf>

- Corbella, R., & Fernández, J. (2017). *Materia orgánica del suelo*. Recuperado de <https://www.edafologia.org/>.
- Córdova, V., Córdova, Y., Ferrera, R., Obrador, J. y Rivera, M. (2009). Detección de bacterias benéficas en suelo con banano (*Musa AAA Simmonds*) cultivar “Gran enano” y su potencial para integrar un biofertilizante. *Universidad y Ciencia*, 25(3). Recuperado de <http://www.scielo.org.mx>
- Cuervo, J. P. (2010). *Aislamiento y caracterización de Bacillus spp. Como fijadores biológicos de nitrógeno y solubilizadores de fosfatos en dos muestras de biofertilizantes comerciales* (tesis inédita de microbiología). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.
- Duarte, Y., Echeverría, A. y Martínez, B. (2016). Identificación y caracterización de aislamientos de *Fusarium spp.* presentes en garbanzo (*Cicer arietinum L.*) en Cuba. *Revista de Protección Vegetal*, 3 (3). Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522016000300004
- Duran Ramírez, F. (2009). *Estudios de suelos manejo y conservación del suelo agrícola*. Colombia. Autor. Recuperado de http://www.nuprec.com/Nuprec_Sp_archivos/Literatura/Acidez%20del%20Suelo/Fuentes%20y%20efectos.pdf
- Espinosa, J. (1993). *Potasio En Suelos Tropicales*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/242690678_POTASIO_EN_SUELOS_TROPICALES
- Fachín, C. (2013). *Comparativo del efecto de la cobertura vegetal viva y del mulch sobre el rendimiento del cultivo de maíz (Zea mays L.) Var. M- 28T, en Yurimaguas*. (Tesis inédita de Ingeniería). Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Perú.
- Fernández, A. R. (2002). *Ecología para la agricultura*. Madrid, ES: Mundi-Prensa. Recuperado de <http://www.ebrary.com>
- Figueroa, M., Rodríguez, R., Guerrero, B., González, M., Pons, J., Jiménez, J. et al. (2010). *Caracterización de Especies de Fusarium Asociadas a la Pudrición de Raíz de Maíz en Guanajuato*. México: Revista Mexicana de Fitopatología.
- Flores, L., y Alcalá, J., (2010). *Manual de Procedimientos Analíticos*. México: Autor.
- Flores, M. y Méndez, M. (2011). *Propuesta para el manejo sustentable del suelo mediante el uso de tres abonos orgánicos elaborados con materias primas vegetales en la Playa de Ambuquí, Provincia de Imbabura*. (Tesis inédita de Ingeniería). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.

- Flores, M., y Méndez, M. (2011). *Propuesta para el manejo sustentable del suelo mediante el uso de tres abonos orgánicos elaborados con materias primas vegetales en la Playa de Ambuquí, Provincia de Imbabura* (Tesis inédita de ingeniería). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Foth, H. (1985). *Fundamentos de la ciencia del suelo*. México: Compañía editorial continental, S.A. de C. V.
- Frutos, V., Pérez, M. y Risco, D. (2016). Efecto de diferentes orgánicos sobre el cultivo de brócoli (*Brassica olerácea L. var. Itálica*) en Ecuador. *Idesia (Arica)*, 34(6), 61- 66. Recuperado de <http://www.scielo.cl/pdf/idesia/v34n6/aop3816.pdf>
- García, A. y Quinke, A. (2012). *El Potasio (K) en la producción de cultivos de invierno*. Recuperado de www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/649/1/112761020512124905.pdf
- Garrido, M. (1993). *Interpretación de análisis de suelos: Guía práctica para muestrear los suelos e interpretar sus análisis*. Recuperado de http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_05.pdf
- Gispert, C. (2002). *Enciclopedia práctica de la agricultura y la ganadería. España*: Océano Grupo Editorial S.A.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal De San Miguel De Ibarra, 2015. *Actualización Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Ibarra 2015-2023*. Ecuador: Autor.
- Goites, E. (2008). *Manual de cultivos para la Huerta Orgánica Familiar*. INCLUIR. Recuperado de <http://www.biblioteca.org.ar/libros/210764.pdf>
- Gómez, V. y Sotés, V. (2014). *El Manganeso y la Viticultura: una revisión*. Recuperado de <http://www.mapama.gob.es>
- Gonzales, A. (2012). *Mapa de uso potencial del suelo en el Valle del Cauca*. Recuperado de <http://www.kali-gmbh.com/es/pdf-articles/article-20120323-vida-rural-magnesio-macroelemento-aplicacion-cereales.pdf>
- González Salgado, A. (2010). Diagnóstico y control de especies de aspergillus productoras de ocratoxina (Tesis inédita de Doctorado). Universidad Complutense De Madrid, Madrid, España.
- González, F. (2015). *Elementos del clima. Geografía 2do de bachillerato*. Recuperado de <https://novecentobachillerato.files.wordpress.com/2015/09/42698486-2-2-diversidad-climatica-elementos-del-clima.pdf>

- González, G. (2012). Mulch (acolchado, mantillo). Recuperado de: www.permacultura.mx/reporte/mulch-acolchado-mantillo/
- Gracia, J. (2012). *Efectos de los compost sobre las propiedades del suelo: Evaluación comparativa de compost con separación en origen y sin separación en origen* (tesis de pregrado). Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, España. Extraído de: repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/3123/1/tfm213.pdf
- Guerra, J. (2009). *Evaluación de la degradación de los suelos naturales de la isla de Tenerife. Secuencias edáficas evolutivas y regresivas* (tesis doctoral). Universidad de La Laguna, San Cristóbal de La Laguna, Tenerife, España. Extraído de: <ftp://tesis.bbt.ull.es/ccppytec/cp327.pdf>
- Guevara, D. (2017). *Calcio y magnesio del suelo*. Recuperado de <https://www.edafologia.org/descargas/>
- Gutiérrez, N., Roldán, M. y Venialgo, C. (2004). *Potasio disponible, de reserva y energía de reemplazamiento en suelos y el nivel foliar en rye-grass*. Recuperado de <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/com2004/5-Agrarias/A-072.pdf>
- Hernández, R. (2002). Nutrición mineral de las plantas. Autor. Recuperado de <http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/nutricionmineral/>.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2016). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua*. Ecuador: Autor
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, (2009). *Guía para la interpretación geográfica uso del suelo y vegetación*. Recuperado de http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reconat/usuarios/doc/guia_interusosuelov.pdf
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología – INAMHI. (2017). *Boletín Agrometeorológico mensual*. Ecuador: Autor.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (2013). *Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción. Cultivos de cobertura en un Hapludol Thapto Árgico de La Pampa arenosa: análisis de cinco campañas*. Scianca C. Ediciones INTA La Pampa, Argentina.
- INTAGRI, (2017). *Fijación de potasio en*
- Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Autor. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf>

- Kolmans, E., y Vásquez, D. (1999). *Manual de Agricultura Ecológica: Una introducción a los principios básicos y su aplicación*. Ciudad de La Habana: Grupo de Agricultura Orgánica de ACTAF.
- León, J., Mejía, A., y Viteri, P. (2004). *Guía para la determinación de deficiencia nutricional en el suelo. Boletín técnico No. 118*. INIAP – Estación Experimental Santa Catalina, Quito – Ecuador.
- Llorente, M. (2002). *Formaciones superficiales: resumen del manual de edafología P. H. Douchafour, 1987*. Recuperado de <http://campus.usal.es/~delcien/doc/FS.PDF>
- Marconi, J. (2011). *El suelo*. Córdoba, AR: El Cid Editor | apuntes. Recuperado de <http://www.ebrary.com>
- Márquez, R., Córdoba, T., Castejón, L., y Higuera, A. (2013). Efecto de la aplicación de cobertura vegetal de *Cenchrus ciliaris* L. y fertilización fosfórica sobre el porcentaje de control de malezas, rendimiento y concentración de fosforo en semillas de frijol *Vigna unguiculata (L.) Walp*. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 20, (4). Recuperado de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182003000400004
- Mau, S., Sánchez, M. y Vega, K. (2011). Aislamiento de bacterias en el suelo y su potencial utilización en sistemas de tratamiento de aguas residuales. *Revista de Ciencias Ambientales*, 42(2), 45-52. Recuperado de <http://www.revistas.una.ac.cr/ambientales>
- Mendoza, A. (2013). *Riego por goteo*. Recuperado de <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/riego/Riego%20por%20goteo.pdf>
- Meza, D. y Munera, G. (2014). *El fosforo elemento indispensable para la vida vegetal*. Pereira. Autor.
- Ministerio de Ambiente. (2012). *Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental*. Quito: Autor
- Ministerio del Ambiente. (2013). *Modelo de unidades geomorfológicas para la representación cartográfica de ecosistemas del Ecuador continental*. Ecuador: Autor.
- Monge, C., Quintanilla, F. y Yanes, C. (2013). *Incidencia del bocashi, gallinaza y su combinación con fertilizantes químicos en la mejora de la fertilidad del suelo y en los rendimientos de maíz (Zea mays L.), San Juan Opico, La Libertad*. (Tesis inédita de ingeniería). Universidad de El Salvador, El Salvador.

- Moreno, C. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad. MT Manuales y Tesis Sociedad Entomológica aragonesa* (SEA). Zaragoza, España. Recuperado de: http://svsch.ceachile.cl/eBiblioteca/Documentos/Biodiversidad/2001_Biodiversidad_metodos.pdf
- Moreno, G., Ríos, P., y Romaniuk, R. (2011). *Aspectos morfológicos Destacados De: Conti y Guiffre (Eds) Edafología, Bases y Aplicaciones Ambientales argentinas (pgg 209-222)*. Buenos Aires, Argentina: Editorial Facultad Agronomía Universidad de Buenos Aires.
- Muñoz, W. (2016). *Texto básico para profesional en ingeniería forestal. En el área de fisiología vegetal*. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Recuperado de <http://www.unapiquitos.edu.pe/pregrado/facultades/forestales/descargas/publicaciones/FISIO-TEX.pdf>
- Narro, E. (1994). *Física de suelos con enfoque agrícola*. México: Trillas.
- Navarro, B. S., & Navarro, G. G. (2003). *Química agrícola: el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal (2a. ed.)*. Madrid, ES: Mundi-Prensa. Recuperado de <http://www.ebrary.com>
- Organización de las Naciones Unidad para la Alimentación y la Agricultura (2008). *Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos*. Recuperado de: <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/lw8s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidad para la Alimentación y la Agricultura. (2016). *Degradación de suelos*. Recuperado de: <http://www.fao.org/soils-portal/degradacion-del-suelo/es/>
- Organización de las Naciones Unidad para la Alimentación y la Agricultura. (2015). *El suelo es un recurso no renovable su conservación es esencial para la seguridad alimentaria y nuestro futuro sostenible*. Roma, Italia: El Autor
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (1999). *Educación ambiental para el trópico de Cochabamba*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/009/ah648s/AH648S00.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2002). Los fertilizantes y su uso. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-x4781s.pdf>.
- Organización Meteorológica Mundial. (1990). *Guía de Prácticas Climatológicas, OMN- No 100, 1990*. Recuperado de <http://www.clubdelamar.org/terminologia.htm>
- Padrón, E. (2013). *Diseños experimentales con aplicación a la agricultura y la ganadería*. México. Editorial Trillas.

- Paliwal, R.L. (2001). *El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción*. Autor. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf>
- Piedrahíta, O. (2009). *Acidez del suelo*. Recuperado de http://www.nuprec.com/Nuprec_Sp_archivos/Literatura/Acidez%20del%20Suelo/Fuentes%20y%20efectos.pdf
- Piedrahíta, O. (2012). *Calcio en las plantas*. Recuperado de http://www.nuprec.com/Nuprec_Sp_archivos/Literatura/Calcio/Calcio%20en%20Plantas.pdf
- Plaster, E. (2005). *La ciencia del suelo y su manejo*. Madrid, España: Thomson Editores Spain.
- Porta, C. J., López-Acevedo, R. M., & Roquero, D. L. C. (2003). *Edafología: para la agricultura y el medio ambiente (3a. ed.)*. Madrid, ES: Mundi-Prensa. Recuperado de <http://www.ebrary.com>
- Porta, J., López, M., & Roquero C. (1994). *Edafología: Para la Agricultura y Medio Ambiente*. Bilbao, España: Ediciones Mundi-Empresas.
- Prat, L. (1981). *Importancia de la reacción del suelo. Acidez: pH, necesidad de cal*. Salamanca. Centro de Edafología y Biología Aplicada.
- Priego, A., Bocco, G., Mendoza, M., & Garrido, A. (2008). *Propuesta para la generación semiautomatizada de unidades de paisajes: Fundamentos y métodos*. Recuperado de: http://www.emapas.inecc.gob.mx/download/paisaje_unidades_paisaje.pdf.
- Pucci, G., Acuña, A., Tonin, N., Tiedemann, M., & Pucci, O. (2010). *Diversidad de bacterias cultivables con capacidad de degradar hidrocarburos de la playa de Caleta Córdova, Argentina*. Recuperado de <http://www.scielo.org.pe/pdf/rpb/v17n2/a15v17n2.pdf>
- Puican Christian (2012). *Meteorología y Climatología Agrícola*. Recuperado de http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/curzoz/meteorologa_y_climatologia_agricola.pdf
- Rodríguez, J., Capa, A., y Lozano, A., (2004). El clima de nuestro planeta. Fundación Española para la Ciencia y Tecnología, *Meteorología y climatología, semana de la ciencia y la tecnología 2004* (pp. 60- 74). España, FECYT (Fundación Española para la Ciencia y Tecnología).
- Rojas Luis A. (2001). La Labranza mínima como práctica de producción sostenible en granos básicos. *Agronomía Mesoamericana*, 12 (2). 209- 212.
- Rojas, J., y Peña, S. (2012). *Densidad Aparente: Comparación de métodos de determinación en Ensayo de rotaciones en siembra directa*. Provincia de Chaco, Argentina: Autor.

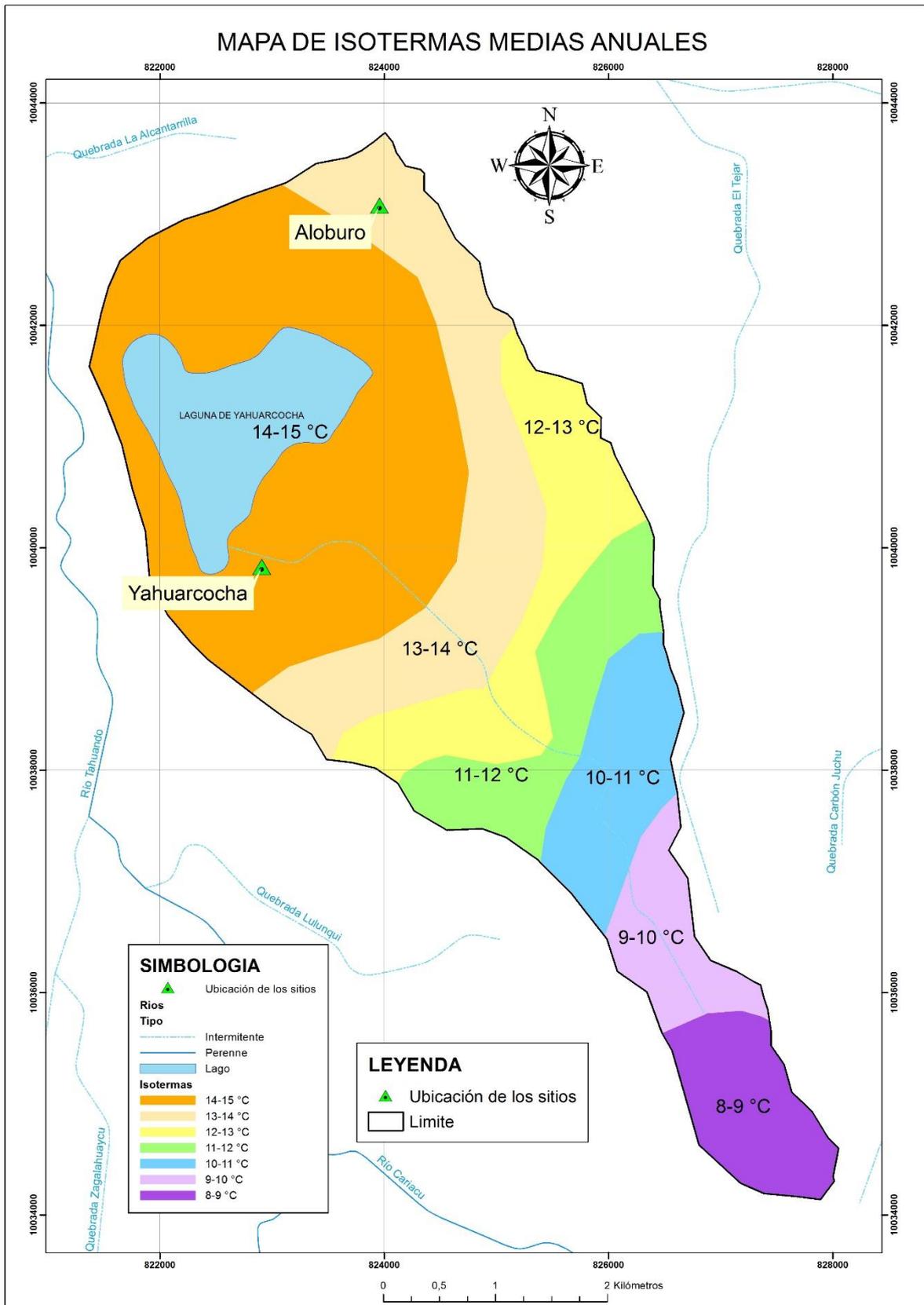
- Rosa, D. D. L. (2008). *Evaluación agro-ecológica de suelos: para un desarrollo rural sostenible*. Madrid, ES: Mundi-Prensa. Recuperado de <http://www.ebrary.com>
- Salas, L. (2008). *Efecto de diferentes especies vegetales en acolchado (mulching) sobre suelos arcillosos en la estación agroecología UTPL*. (Tesis inédita de ingeniería). Universidad Técnica Particular de Loja. Ecuador.
- Samaniego, J. y Chew, Y. (2007). Diversidad de géneros de hongos del suelo en tres campos con diferente condición agrícola en La Laguna, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 78(2). Recuperado de <http://www.scielo.org.mx>
- Sánchez, J., Marrugo, J., y Urango, I. (2014). Biosorción simultanea de plomo y cadmio en solución acuosa por biomasa de hongos penicillium sp. *Temas agrarios*, 19 (1). Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/306279002_biosorcion_simultanea_de_plomo_y_cadmio_en_solucion_acuosa_por_biomasa_de_hongos_penicillium_sp_simultaneous_biosorption_of_lead_and_cadmium_from_aqueous_solution_by_fungal_biomass_penicillium_sp
- Sanclémente, O. (2009). *Efecto del cultivo de cobertura: Mucuna pruriens, en algunas propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo Typic Haplustalfs, cultivado con maíz (Zea mays L.) en zona de ladera del municipio de Palmira*. (Tesis inédita de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Palmira.
- Sanzano, A. (2017). *El Potasio Del Suelo*. Recuperado de <https://www.edafologia.org/>.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (2017). Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 Toda una Vida. Objetivo 3 y 6. Recuperado de http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_0K.compressed1.pdf
- Sentís, I. (2007, junio). *Problemas de degradación de suelos en América Latina: Evaluación de causas y efectos*. X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, Congreso presentado en la Universidad de Guayaquil.
- Sierra, C. (2017). *El manganeo, el suelo y las plantas*. Recuperado de <http://www.elmercurio.com/campo/noticias/analisis/2016/03/09/el-manganeso-el-suelo-y-las-plantas.aspx>
- Sierra, C. (2017). *Una relación intensa: El hierro, el suelo y las plantas*. Recuperado de <http://www.elmercurio.com/Campo/Noticias/Analisis/2016/02/02/Una-relacion-intensa-El-hierro-el-suelo-y-las-plantas.aspx>

- Silva, J., Torres, P., y Escobar, J. (2007). Identificación de hongos fitopatógenos y presencia de salmonella sp en compost de plantas de tratamiento de aguas residuales. *Respuestas*, 12(1). Recuperado de <http://revistas.ufps.edu.co/ojs/index.php/respuestas/article/view/576>
- Sonco Suri, R. (2013). Estudio de la diversidad alfa (α) y beta (β) en tres localidades del bosque montano en la región de Madidi, La Paz-Bolivia. *Tesis de pregrado*. Recuperado de: http://www.mobot.org/PDFs/research/madidi/Sonco_2013_Thesis.pdf
- Sosa Sosa, M. (2009), *Prospección de enemigos naturales del barrenador del fruto (Neoleucinodes elegantalis (Guenée)) de la naranjilla (Solanum quitoense) y evaluación de la incidencia de las plagas en su cultivo* (tesis inédita de ingeniería). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Suquilanda, M. (2008, Octubre). *El deterioro de los suelos en el Ecuador y la producción agrícola*. XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, Congreso presentado en la Universidad Central, Quito.
- Tapia Fuertes, A. (2010). *Estudio de la factibilidad para la creación de un centro de recreación y esparcimiento con mimbres, en el sector de la laguna de Yahuarcocha, perteneciente a la parroquia La Dolorosa del Priorato, de la ciudad de Ibarra, Provincia de Imbabura*. (Tesis de Ingeniería). Universidad Técnica del Norte, Ibarra.
- Tapia, R., Villanelo, J., Pool, C., Araya, E., (2004). *Zanjas de infiltración*. Sociedad Estándares de Ingeniería para Aguas y Suelos Ltda. Talca, Chile.
- Ternés Jácome, E. (2014). *Vegetación acuática y estado trófico de las lagunas andinas de San Pablo y Yahuarcocha, provincia de Imbabura, Ecuador*. (Tesis de Ingeniería). Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Vargas, G. (1992). *Estudio del uso actual y capacidad de uso de la tierra en América Central*. Recuperado de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/anuario/article/viewFile/2273/2232>
- Viana, J. P. (2017) *Efecto De Seis Niveles De Sedimento Extraído De La Laguna De "Yahuarcocha" En El Rendimiento De Cultivo De Fresa (Fragaria Spp)*. (Tesis inédita de Ingeniería). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Vidal, J. (2003). *Dinámica del potasio en el suelo y su requerimiento por los cultivos*. (Tesis inédita de maestría). Colegio de Postgraduados. Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, Montecillo, México.
- Vizcaíno Haro, D. (2013). *Elaboración de un documental sobre la situación ambiental de los principales lagos y lagunas de la provincia de Imbabura*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Católica del Ecuador, Sede Ibarra.

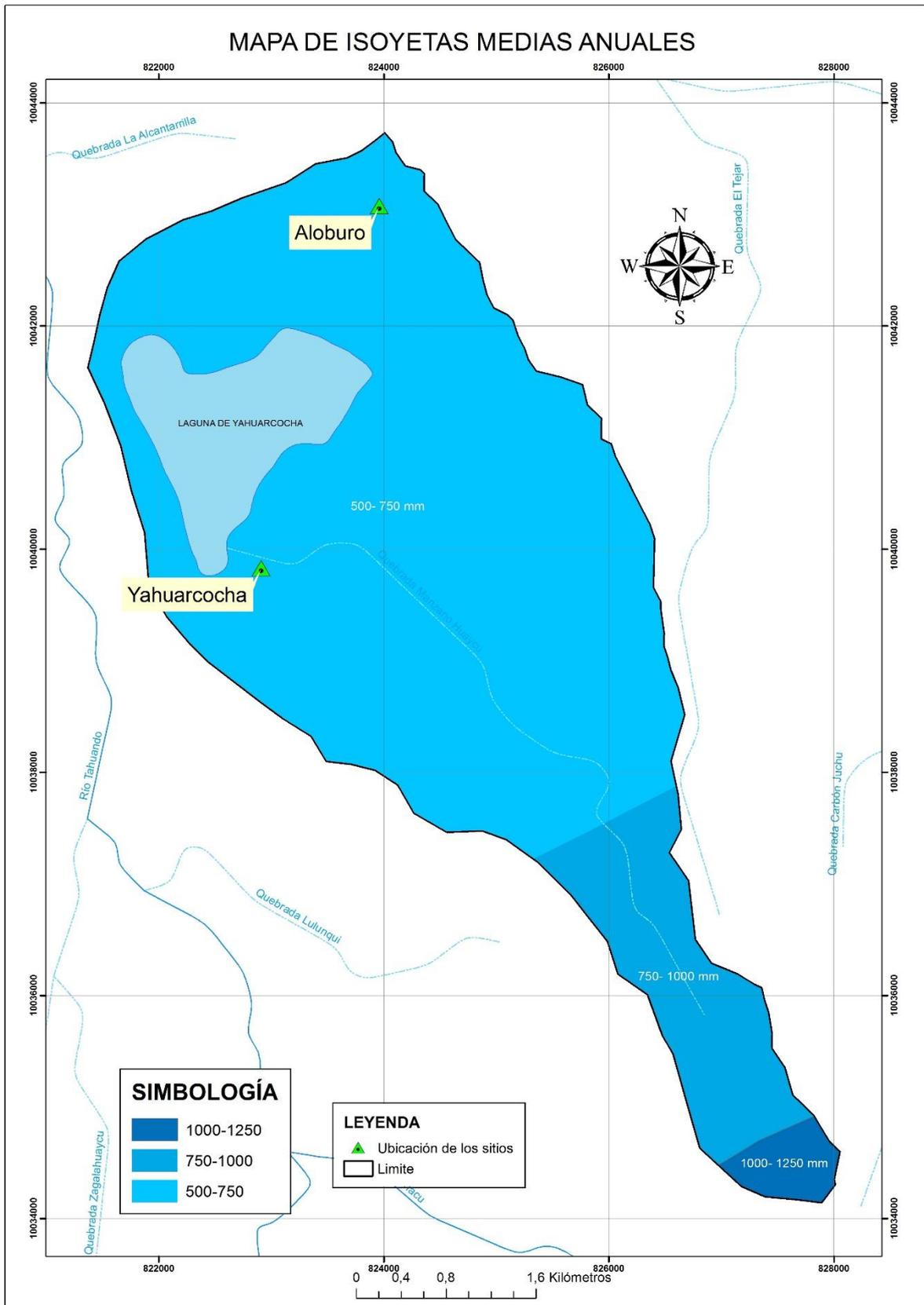
Zhang, Q.T., Inoue, M., Inosako, K., Irshad, M., Kondo, K., Qui, G.Y., . (2008). Ameliorative effect of mulching on water use efficiency of swiss chard salt accumulation under saline irrigation. *Journal of food, agriculture & environment*, 6(3-4), 480-485.

ANEXOS

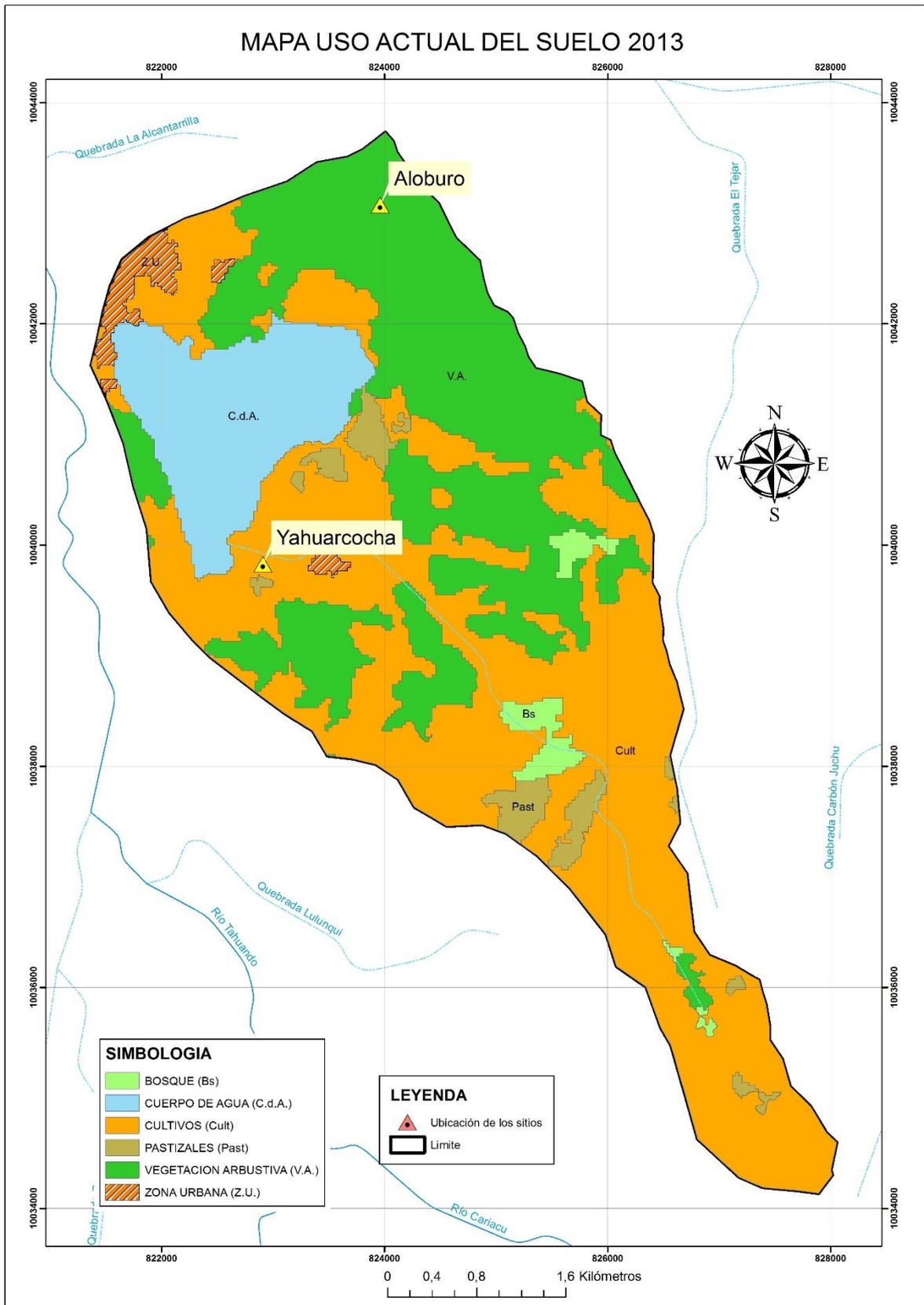
INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA



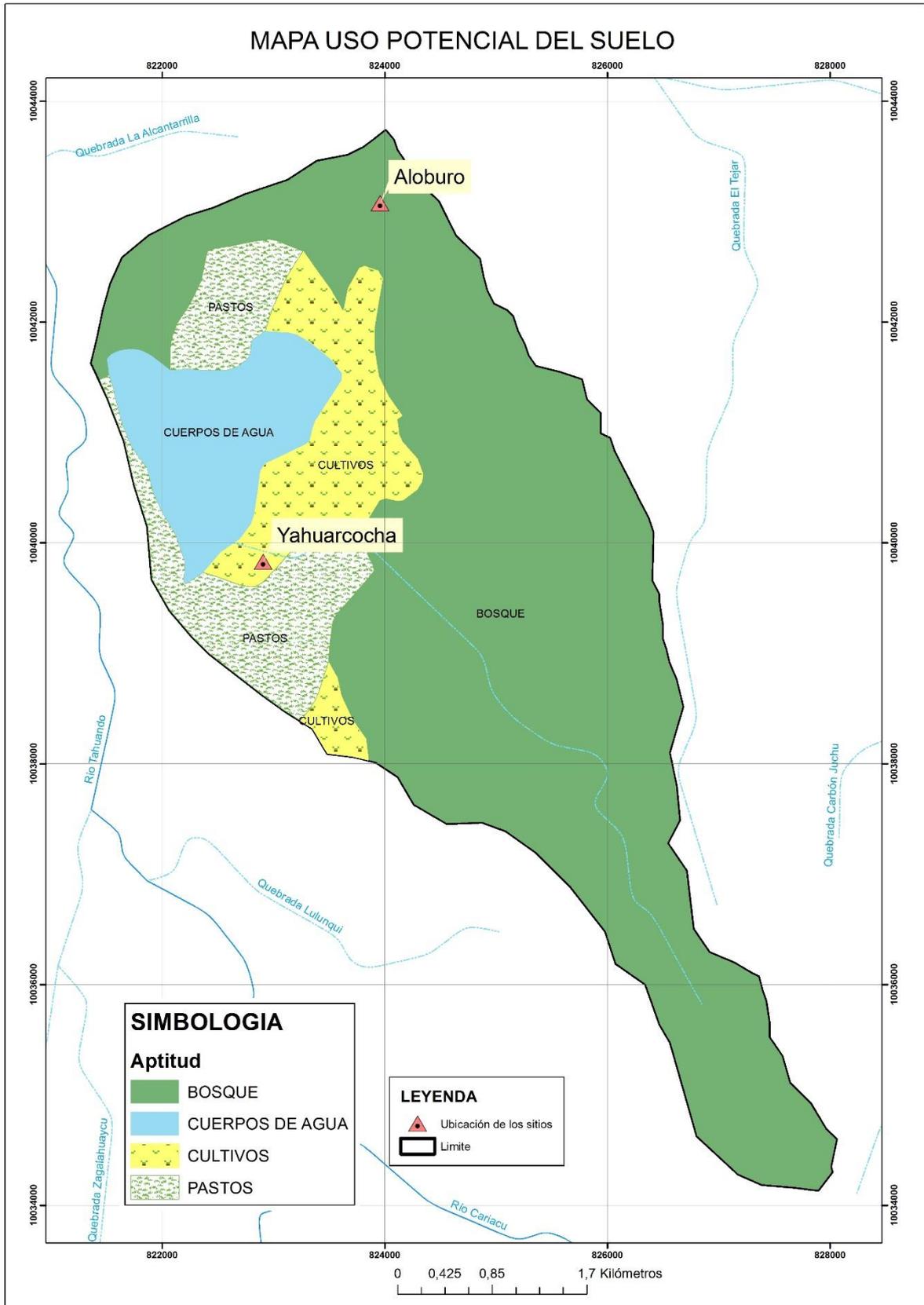
Anexo 1. Mapa de isothermas medias anuales



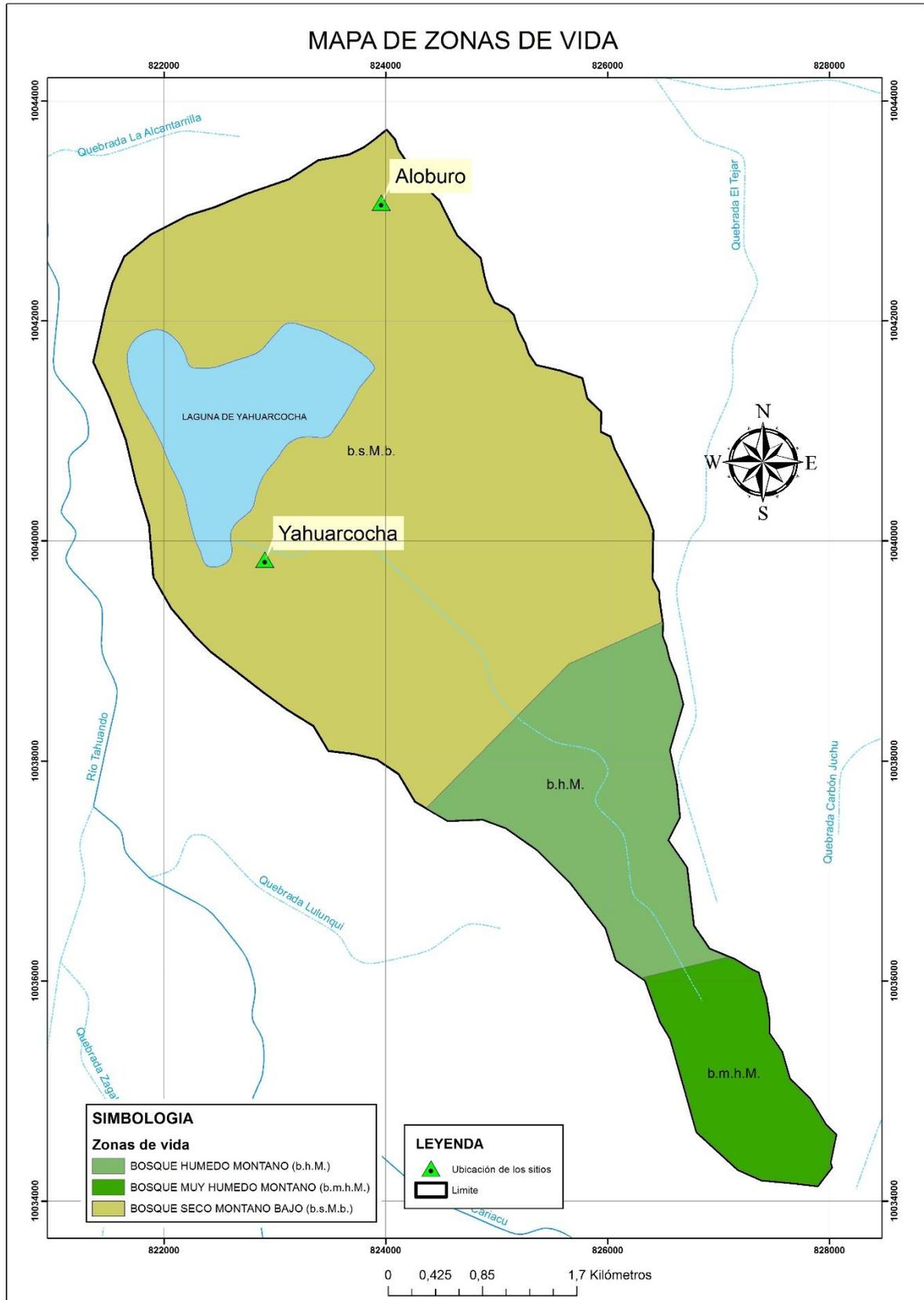
Anexo 2. Mapa de isoyetas medias anuales



Anexo 3. Mapa uso actual del suelo 2013



Anexo 4. Mapa uso potencial del suelo



Anexo 5. Mapa de zonas de vida

Sitio	Horizonte	Profundidad (cm)	Color (Munsell)		Textura (%)	Estructura	Pendiente (°)	Profundidad efectiva (cm)	Textura general (%)
			Seco	Húmedo					
Aloburo (sitio 1)	Ap	18	gob 10YR. 4/2	mmo 10YR. 2/2	Franco arenoso	Cúbica subangular	21 (34,00%) pendiente inundada	19,11	Franco
	A1-2	28	mgmo 10YR. 3/2	n 10YR. 2/1	Arena franca	Cúbica angular			
	BC	30	m 10YR. 4/3	mmo 10YR. 2/2	Franco arenoso	Estructura no definida			
	C	76	m 10YR. 4/3	mmo 10YR. 2/2	Franco arenoso	Cúbica angular			
Yahuarcocha (sitio 2)	Ap	12	gob 10 YR. 4/2	n 10YR. 2/1	Franco	Granular	0 (0,00%) relieve plano	18,75	Franca
	A1-2	28	mo 10YR. 3/3	mmo 10YR. 2/2	Franco	Estructura no definida			
	BC	50	n 10YR. 2/1	mmo 10YR. 2/2	Franco	Bloque angular			

Anexo 6. Perfil del suelo