



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD Y PRODUCTIVIDAD DE LOS
SUELOS CON PRÁCTICAS DE AGRICULTURA DE
CONSERVACIÓN EN LA MICROCUENCA DEL RÍO SICALPA.**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto de investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AGRÓNOMO

AUTOR: LUIS FERNANDO SÁNCHEZ SANAGUANO

DIRECTOR: ING. JOSÉ FRANKLIN ARCOS TORRES

Riobamba - Ecuador

2021

©2021, Luis Fernando Sánchez Sanaguano

Se autoriza la reproducción total o parcial con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo Luis Fernando Sánchez Sanaguano declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 16 marzo del 2021

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Luis Fernando Sánchez Sanaguano". The signature is fluid and cursive, with some loops and flourishes.

Luis Fernando Sánchez Sanaguano

060579203-5

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación; tipo: Proyecto de investigación, **EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD Y PRODUCTIVIDAD DE LOS SUELOS CON PRÁCTICAS DE AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN EN LA MICROCUENCA DEL RÍO SICALPA**, realizado por el señor: **LUIS FERNANDO SÁNCHEZ SANAGUANO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Norma Soledad Erazo Sandoval

NORMA
SOLEDAD
ERAZO
SANDOVAL

Firmado
digitalmente por:
NORMA SOLEDAD
ERAZO SANDOVAL
Fecha: 2021.08.17
17:00:02 -05'00'

2021-03-16

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. José Franklin Arcos Torres

 Firmado electrónicamente por:
JOSE FRANKLIN
ARCOS TORRES

2021-03-16

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Ing. Roque Orlando García Zanabria

 Firmado electrónicamente por:
ROQUE ORLANDO
GARCIA ZANABRIA

2021-03-16

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
ÍNDICE DE GRÁFICOS	VIII
ÍNDICE DE ANEXOS	IX
RESUMEN	X
SUMMARY	XI
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	5
1.1. Fertilidad de los suelos.....	5
1.1.1. Generalidades	5
1.1.2. Importancia fertilidad de los suelos.....	5
1.2. La fertilidad de los suelos en la región andina del Ecuador	6
1.2.1. <i>Que es la física y química del suelo</i>	6
1.3. Productividad de los suelos.....	7
1.3.1. Generalidades	7
1.3.2. Importancia de la productividad de los suelos	7
1.3.3. <i>La revolución verde y su impacto en los suelos</i>	8
1.4. Agricultura de conservación	8
1.4.1. Generalidades	8
1.4.2. Importancia de la Agricultura de conservación.....	9
1.4.3. <i>Definición de agricultura de conservación</i>	9
1.4.3.1. <i>Principios de la agricultura de conservación</i>	10
1.4.3.2. <i>La agricultura de conservación mermala erosión de los suelos</i>	10
1.5. Prácticas de Agricultura de conservación	10
1.5.1. <i>Tipos de labranza</i>	10
1.5.2. <i>Cobertura</i>	11
1.5.3. <i>Rotación de cultivos</i>	13
CAPÍTULO II	
2. MARCO METODOLÓGICO	14

2.1.	Características del lugar	14
2.1.1.	<i>Ubicación geográfica</i>.....	14
2.2.	Materiales.....	14
2.2.1.	<i>Materiales de oficina</i>.....	14
2.3.	Métodos	14
2.4.	Metodología.....	14
2.4.1.	<i>Rendimiento en kg/ha</i>	15
2.4.2.	<i>Análisis físico del suelo</i>.....	15
2.4.3.	<i>Análisis químico del suelo</i>	15
2.5.	Factores en estudio.....	16
2.6.	Tratamientos en estudio	16
2.7.	Tipo de diseño	18
2.7.1.	<i>Esquema de diseño</i>	18
2.7.2.	<i>Esquema de análisis de varianza</i>	18
2.7.3.	<i>Análisis funcional</i>.....	19
2.8.	Manejo específico del experimento	19
2.8.1.	<i>Trazado de zanjas de desviación de agua</i>	20
2.9.	Manejo de los cultivos en estudio	20
2.9.1.	<i>Cultivo de papa</i>	20
2.9.2.	<i>Manejo convencional del cultivo (testigo)</i>.....	20
2.9.3.	<i>Manejo del cultivo con agricultura de conservación</i>	21
2.10.	Cultivo de avena-vicia.....	21
2.10.1.	<i>Manejo convencional del cultivo (testigo)</i>.....	22
2.10.2.	<i>Manejo del cultivo con agricultura de conservación</i>	22
2.11.	Cultivo de cebada.....	22
2.11.1.	<i>Manejo convencional del cultivo (testigo)</i>.....	22
2.11.2.	<i>Manejo del cultivo con agricultura de conservación</i>	23
2.12.	Cultivo de haba.....	23
2.12.1.	<i>Manejo convencional del cultivo (testigo)</i>	23
2.12.2.	<i>Manejo del cultivo con agricultura de conservación</i>	24

2.13.	Manejo de la información	24
2.14.	Consecución de base de datos.....	24
2.15.	Depuración de bases de datos.....	25
2.16.	Análisis de datos físicos del suelo.....	25
2.17.	Análisis de datos químicos del suelo.....	25
2.18.	Análisis del rendimiento de los cultivos	25
2.19.	Análisis de los datos de los tratamientos en estudio	25
2.20.	Interpretación de resultados	25
CAPÍTULO III		
3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
3.1.	Fertilidad de los suelos.....	26
3.2.	Análisis de la humedad gravimétrica.....	26
3.3.	Análisis de la densidad aparente	27
3.4.	Análisis de nitrógeno amoniacal	28
3.5.	Análisis de fósforo.....	30
3.6.	Análisis de potasio.....	34
3.7.	Análisis de azufre	36
3.8.	Análisis de magnesio.....	39
3.9.	Productividad de los suelos.....	42
3.10.	Rendimiento del cultivo de papa en t/ha	42
3.11.	Rendimiento del cultivo de avena-vicia en t/ha	46
3.12.	Rendimiento del cultivo de cebada en t/ha	49
3.13.	Rendimiento del cultivo de haba en t/ha	51
CONCLUSIONES.....		55
RECOMENDACIONES.....		56
GLOSARIO		
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-3:	Promedio de humedad gravimétrica del suelo en los tratamientos de agricultura de conservación en relación al testigo.....	26
Tabla 2-3:	Promedio de densidad aparente (g cc ⁻¹) de los tratamientos de agricultura de conservación en relación al testigo.....	27
Tabla 3-3:	Estadísticas de regresión de los tratamientos de agricultura de conservación para el contenido de nitrógeno amoniacal NH ₄	28
Tabla 4-3:	Estadísticas de regresión del Testigo para el contenido de nitrógeno amoniacal NH ₄	29
Tabla 5-3:	Estadísticas de regresión de los tratamientos de agricultura de conservación para el contenido de fósforo (P).....	31
Tabla 6-3:	Estadísticas de regresión del Testigo para el contenido de fósforo (P).....	32
Tabla 7-3:	Estadísticas de regresión de los tratamientos de agricultura de conservación para el contenido de potasio (K)	34
Tabla 8-3:	Estadísticas de regresión del Testigo para el contenido de potasio (K)	35
Tabla 9-3:	Estadísticas de regresión de los tratamientos de agricultura de conservación para el contenido de azufre (S)	37
Tabla 10-3:	Estadísticas de regresión del Testigo para el contenido de azufre (S).....	38
Tabla 11-3:	Estadísticas de regresión de los tratamientos de agricultura de conservación para el contenido de magnesio (Mg).	40
Tabla 12-3:	Estadísticas de regresión del Testigo para el contenido de magnesio (Mg).....	40
Tabla 13-3:	Análisis de varianza para el rendimiento en t ha ⁻¹ del cultivo de papa	43
Tabla 14-3:	Promedios y pruebas de LSD al 5% para el rendimiento en t ha ⁻¹ del cultivo de papa	44
Tabla 15-3:	Análisis de varianza para el rendimiento en t/ha del cultivo de avena-vicia.....	46
Tabla 16-3:	Promedios y pruebas de LSD al 5% para el rendimiento en t ha ⁻¹ del cultivo de avena- vicia.....	47
Tabla 17-3:	Análisis de varianza para el rendimiento en t ha ⁻¹ del cultivo de cebada	49
Tabla 18-3:	Promedios y pruebas de LSD al 5% para el rendimiento en t ha ⁻¹ del cultivo de cebada	50
Tabla 19-3:	Análisis de varianza para el rendimiento en t/ha del cultivo de haba.....	52
Tabla 20-3:	Promedios y pruebas de LSD al 5% para el rendimiento en t/ha del cultivo de haba	53

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3:	Modelos de NH ₄ Lineal y NH ₄ Cuadrático en relación a los contenidos de NH ₄ en kg ha ⁻¹	30
Gráfico 2-3:	Modelos de fósforo Lineal y fósforo Cuadrático en relación a los contenidos de fósforo (P) en kg ha ⁻¹	33
Gráfico 3-3:	Modelos de potasio Lineal y potasio Cuadrático en relación a los contenidos de potasio (K) en kg ha ⁻¹	35
Gráfico 4-3:	Modelos de azufre Lineal y azufre Cuadrático en relación a los contenidos de azufre en kg ha ⁻¹	38
Gráfico 5-3:	Modelos de magnesio (Mg) Lineal y magnesio (Mg) Cuadrático en relación a los contenidos de magnesio (Mg) en kg ha ⁻¹	41
Gráfico 6-3:	Promedio de toneladas por hectárea del cultivo de papa	45
Gráfico 7-3:	Promedio de toneladas por hectáreas del cultivo de avena-vicia	48
Gráfico 8-3:	Promedio de toneladas por hectárea del cultivo de cebada.....	51
Gráfico 9-3:	Promedio de toneladas por hectárea del cultivo de haba	54

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: LOCALIZACIÓN DE LA MICROCUENCA DEL RÍO SICALPA. SUBCUENCA
DEL RÍO CHAMBO-ECUADOR.

ANEXO B: CONTENIDO DE NITRÓGENO AMONIACAL EN KG HA⁻¹

ANEXO C: CONTENIDO DE FÓSFORO EN KG HA⁻¹

ANEXO D: CONTENIDO DE POTASIO EN KG HA⁻¹

ANEXO E: CONTENIDO DE AZUFRE EN KG HA⁻¹

ANEXO F: CONTENIDO DE MAGNESIO EN KG HA⁻¹

ANEXO G: PROMEDIO DE INTERACCIONES DEL RENDIMIENTO T HA⁻¹ EN PAPA

ANEXO H: PROMEDIO DE INTERACCIONES DEL RENDIMIENTO T HA⁻¹ VICIA-
AVENA

ANEXO I: PROMEDIO DE INTERACCIONES DEL RENDIMIENTOT HA⁻¹ EN CEBADA

ANEXO J: PROMEDIO DE INTERACCIONES DEL RENDIMIENTO T HA⁻¹ EN HABA

ANEXO K: DENSIDAD APARENTE DE LOS CICLOS DE PRODUCCIÓN

ANEXO L: HUMEDAD GRAVIMÉTRICA (%) DE LOS CICLOS DE PRODUCCIÓN

RESUMEN

La presente investigación se evaluó la fertilidad y productividad de los suelos con prácticas de agricultura de conservación en la Microcuenca del Río Sicalpa; se implementó un diseño de bloques completos al azar, con 9 tratamientos (incluido el testigo) con tres repeticiones; las variables evaluadas fueron: zanjas de desviación, labranza reducida y cobertura del suelo con sus interacciones y sin aplicación de las prácticas de agricultura de conservación, se evalúan parámetros como: contenido de amonio, fósforo, potasio, azufre y magnesio, rendimiento en kilogramos por hectárea de los cultivos en rotación (papa, avena-vicia, cebada y haba). Los mejores resultados se obtuvieron con el cultivo de haba más la aplicación de las prácticas, se presentó mayor acumulación y baja demanda contenido de amonio, potasio y magnesio en un 23.53%, 33.42% y 0.17% respectivamente en comparación con el testigo, mientras que los mejores resultados para el contenido de fósforo y azufre fueron en los cultivos de avena-vicia y papa respectivamente, más la aplicación de las prácticas de agricultura de conservación, se presentó mayor acumulación y baja demanda de fósforo y azufre, en un 44.91% y 10.01% respectivamente en comparación con el testigo. En cuanto a los rendimientos los mejores resultados se obtuvieron con las interacciones con zanja-labranza convencional-sin cobertura en el cultivo de papa con un 27.92%, en comparación al testigo. Con la interacción: labranza reducida-con cobertura, el rendimiento fue 43.12%. Se concluye que la interacción con zanja-labranza reducida-con cobertura, obtuvo los mejores resultados tanto en el contenido de nutrientes como en la obtención de mayor rendimiento agronómico. Se recomienda que los estudios de investigación en colaboración con los agricultores sigan proporcionando información de los beneficios de las zanjas de desviación de agua, labranza reducida y cobertura con residuos, para mejorar la sostenibilidad de los sistemas de producción agrícola de esta microcuenca.

Palabras clave: <AGRONOMÍA>, <FERTILIDAD DEL SUELO>, <CONSERVACIÓN DEL SUELO>, <MICROCUEENCA>, <RÍO SICALPA>, <RENDIMIENTO DE CULTIVOS>, <SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA>.



Firmado electrónicamente por:
JHONATAN RODRIGO
PARREÑO UQUILLAS



01-07-2021

1271-DBRA-UTP-2021

ABSTRACT

This investigation objective was to evaluate the fertility and productivity of soils with conservation agriculture practices in the Sicalpa River microbasin; a randomized complete block design with 9 treatments (including the control) with three replications was implemented and the variables diversion ditches, reduced tillage and soil cover were evaluated with their interactions and without the application of conservation agriculture practices, parameters such as ammonium, phosphorus, potassium, sulfur, and magnesium content, yield in kilograms per hectare of the crops in rotation (potato, oats-vetch, barley and broad bean) were also evaluated. The best results were gotten with the bean crop plus the application of the practices, with a higher accumulation and low demand of ammonium, potassium and magnesium content of 23.53%, 33.42% and 0.17%, respectively, compared to the control, while the best results for phosphorus and sulfur content were in the oat-vetch and potato crops respectively, plus the application of conservation agriculture practices, there was a greater accumulation and low demand for phosphorus and sulfur, by 44.91% and 10.01% respectively compared to the control. In terms of yields, the best results were gotten with the interactions with trench-conventional tillage-without cover in the potato crop with 27.92%, compared to the control. Yield of 43.12% was reached with the interaction reduced tillage-with cover. It is concluded that the interaction with trench-reduced tillage-with cover reached the best results not only in nutrient content but also in obtaining a higher agronomic yield. It is recommended that investigation studies with the support of the farmers go on giving information on the benefits of water detour ditches, reduced tillage and cover crops with residues to improve the sustainability of agricultural production systems in this microbasin.

Key words: <AGRONOMY>, <SOIL FERTILITY>, <SOIL CONSERVATION>, <MICROBASIN>, <*SICALPA RIVER*>, <CROPYIELD>, <AGRICULTURAL PRODUCTION SYSTEMS>.

INTRODUCCIÓN

Según la (FAO, 2010), la superficie forestal mundial se reduce en alrededor de 13 millones de hectáreas cada año debido a la deforestación. América del Sur sufrió la mayor pérdida neta de bosques entre 2000 y 2010 con 4,3 millones de hectáreas por año.

En Ecuador, si el ritmo de deforestación continua, todas las reservas forestales habrán desaparecido para el año 2030, a causa de la expansión de la frontera agrícola con la aplicación de monocultivos, que resulta ser de poca sostenibilidad y mayor impacto ambiental en relación a la incidencia de plagas y enfermedades (MAE, 2012).

Este fenómeno ha provocado problemas como la degradación de los recursos naturales, la pérdida de biodiversidad, la degradación del suelo, el agotamiento de los recursos hídricos y la reducción de los sumideros de carbono, que merecen atención inmediata para mejorar la sostenibilidad ambiental (ALWANG et al., 2013, págs. 21-38).

Un resultado relevante ha sido disponer de la planificación participativa e implementación de Buenas Prácticas de Manejo (BMP) como son: construcción de zanjas de desviación, curvas de nivel, cultivos en fajas, rotación de cultivos, protección de zonas de desviación y curvas de nivel con pasto millín y plantación de especies nativas en linderos, cortinas rompevientos y barreras vivas, centrados en lugares con alta tasa de vulnerabilidad.

Proceso de manejo integrado de cultivos, épocas de siembra, labranza reducida, labranza mínima, reducción del uso de plaguicidas, uso de variedades resistentes de papa, cebada, trigo, quinua, haba y chocho, entre otras (BARRERA et al., 2012, págs. 768-779) .

En la microcuenca del río Sicalpa, subcuenca del río Chambo las personas de la zona dependen principalmente de la actividad agrícola para su sustento. La agricultura es la actividad principal y al rededor del 80% de la población se dedica a ella (TIERRA, 2013) .

Esta situación sitúa a la zona en un elevado nivel de vulnerabilidad, peligro social y monetario que podría provocarse como impacto del mal funcionamiento del bien natural, su degradación o consecuencia del cambio climático (GADC, 2014) .

Los avances en la implementación de Buenas prácticas de manejo y conservación de suelos han permitido medir y cuantificar su efecto en el rendimiento de los sistemas productivos relacionadas

con las propiedadesfísico-químicas y biológicas del suelo en el mediano y extenso plazo, así como la pérdida y deterioro de las condiciones del suelo, teniendo en cuenta la evaluación del efecto de la labranza reducida, el uso de suelo, la fertilización y rotación de cultivos: papa-avena vicia-cebada-haba-pasturas (Estuardo et al., 2014, pp. 130-140)

La razón de incluir en la rotación del sistema la avena-vicia y el haba, se debe a que la cosecha de papa -en los meses de julio-agosto- coincide con el período de verano, en donde se observó la presencia de fuertes vientos de hasta 35 km/hora, y en el cual los productores dejaban el suelo en descanso o cultivaban variedades nativas de papa que no les proveía cosechas con suficiente producción para su seguridad alimentaria y peor aún ingresos económicos extras; esto permitió tener cubierto el suelo con cultivos que promovieron un mejor uso del suelo y mejores ingresos económicos para las familias de la zona (BARRERA et al., 2012, págs. 768-779) .

IMPORTANCIA

La importancia de esta investigación está en cuantificar los efectos e interacciones de las prácticas de Agricultura de Conservación frente a las prácticas convencionales, con el fin de evaluar la fertilidad y la productividad de los cultivos en una región con fuertes pendientes y altitudes elevadas para incrementar los rendimientos de los cultivos de la zona, minimizar el uso de productos agrícolas para la producción y obtener mayores beneficios económicos, ambientales para los pobladores de la parroquia Sicalpa.

Las prácticas de Agricultura de Conservación evaluadas en esta investigación incluyen: zanjas de desviación de agua, labranza reduciday retención de residuos de cosechay un cultivo de cobertura como avena-vicia en la superficie del suelo; estas prácticas se incorporaron a una rotación de cultivos mejorados previamente por el INIAP

PROBLEMA

Las practicas convencionales de agricultura como: labranza, el uso indiscriminado de agroquímicos, la falta de conservación de suelos, y las condiciones ambientales adversas han provocado la erosión de los suelos, pérdida de fertilidad y productividad de los suelos.

JUSTIFICACIÓN

Este estudio se basa en la información recopilada por el INIAP en la investigación sobre prácticas de agricultura de conservación en el sistema papa-haba en la comunidad Compañía Labranza del cantón Colta provincia de Chimborazo, en donde se evaluaron tres factores con conservación de

suelos (con zanjas y sin zanjas), labranza (convencional y mínima) y cobertura (con remoción y sin remoción).

La razón de este estudio es analizar la relación existente en el suelo y el efecto que conlleva el uso e implementación de la agricultura de conservación versus la agricultura convencional, en la fertilidad y productividad del suelo en estudio

Debido a la alta tasa de erosión, baja fertilidad y productividad que presentan los suelos en la microcuenca del río Sicalpa, sobresale la necesidad de implementar prácticas de agricultura de conservación que integran el funcionamiento incluido del cultivo, la explotación razonable de los bienes naturales, la formación y empoderamiento de los beneficiarios/as, con lo que se colaborará a la sostenibilidad en los espacios sociales, culturales, políticos, físicos, financieros, humano y natural a mediano y extenso plazo.

El propósito final, es aumentar la productividad de los sistemas de producción a pequeña escala, en vez de sistemas extensivos y poco sostenibles lo que provoca que la frontera agrícola siga extendiéndose y a su vez la destrucción de los recursos naturales se potencialice, el propósito se cumplirá a través de la implementación de prácticas de agricultura de conservación con su posterior evaluación de la fertilidad y productividad. Finalmente, todas las acciones que se hagan en esta microcuenca apuntan al mejoramiento sostenido de las condiciones de vida de 381 familias localizadas en la microcuenca del río Sicalpa.

OBJETIVOS

GENERAL

Evaluar la fertilidad y productividad de los suelos con prácticas de agricultura de conservación en la microcuenca del río Sicalpa.

ESPECÍFICOS

1. Evaluar el efecto de las prácticas de agricultura de conservación en la fertilidad del suelo
2. Evaluar el efecto de las prácticas de agricultura de conservación en la productividad de los suelos

HIPÓTESIS

NULA

La implementación de las prácticas de agricultura de conservación no ejerce efecto en la fertilidad y productividad de los suelos de la microcuenca del río Sicalpa.

ALTERNA

Una de las prácticas de agricultura de conservación ejerce efecto en la fertilidad y productividad de los suelos de la microcuenca del río Sicalpa.

VARIABLES

1. Dependientes

- a. Fertilidad de los suelos
- b. Productividad de los cultivos

2. Independientes

- a. Cultivos
- b. Agricultura convencional
- c. Agricultura de conservación

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Fertilidad de los suelos

1.1.1. *Generalidades*

Como definición sobre fertilidad del suelo podemos decir que es la capacidad del suelo para sostener el crecimiento del cultivo y mejorar su rendimiento, entonces la fertilidad se favorece por medio de fertilizantes orgánicos e inorgánicos que se coloquen en el suelo (IAEA, 2015).

La fertilidad de los suelos es la capacidad de sostener la vida vegetal, que se sujeta al aprovechamiento de nutrientes, a la retención de humedad, al desarrollo del sistema radicular y la translocación de gases, a la presencia actividad microbiana. Entonces, al elegir el manejo agrícola, es fundamental analizar que la fertilidad del suelo (CÉSPEDES, 2017, pág. 1).

La fertilidad del suelo puede mejorar y aumentar en realizar actividades benéficas para el suelo ya sea colocando cultivos de cobertura que agreguen materia orgánica al suelo, colocando abono verde o cultivar leguminosas que fijan nitrógeno en el suelo; aplicando dosis de fertilizante para suplir perdidas por absorción de los cultivos y reduciendo las pérdidas provocadas por la lixiviación que van directo a las capas más profundas del suelo donde no pueden ser aprovechadas por los cultivos (IAEA, 2018).

1.1.2. Importancia fertilidad de los suelos.

Es importante considerar la fertilidad de los suelos y que este cuente con bacterias, lombrices, hongos, que esté libre de fertilizantes químicos y pesticidas, porque un suelo fértil producirá vegetales vigorosos y nutritivos. Al contrario, un suelo infértil producirá vegetales débiles, con menor cantidad de proteínas, enzimas y minerales (MEYER, 2011).

El conocimiento acerca de los requerimientos nutricionales de los cultivos, en cuanto a la extracción o remoción, es de gran utilidad al momento de ajustar los planes de fertilización, pero esta información por sí sola no es suficiente, y debe completarse con los resultados de investigaciones (CENI, 2008, pág. 6).

La fertilidad en un suelo es sumamente importante ya que entendemos que fertilidad del suelo es la capacidad de un suelo para brindar nutrientes esenciales a las plantas, en el caso de que la fertilidad sea reducida conlleva a efectos como la reducción del desarrollo y crecimiento de las plantas en interés, por esta razón es muy importante considerar un análisis de suelo y así definir estrategias que mejoren su fertilidad (CALIFORNIA, 2018).

La importancia de la fertilidad del suelo desde el punto de vista financiero también es muy importante ya que un suelo fértil es una fuente estratégica alimentaria vital para que se mantengan a flote las políticas agroalimentarias locales, donde se ve beneficiado la economía local, la agricultura y el desarrollo educativo de la localidad (FINANZAS, 2020).

1.2. La fertilidad de los suelos en la región andina del ecuador

La región andina o sierra ecuatoriana comprende en el norte las provincias del Carchi, Imbabura y Pichincha, las cuales disponen de una variabilidad de climas que les permite cultivar diversos cultivos, son suelos de origen volcánico, denominados negros andinos por su elevado contenido de materia orgánica y capa arable profunda. Los suelos presentan una buena capacidad de retención de agua, con un pH que varía de ligeramente ácido a neutro; el contenido de nitrógeno es medio; el de fósforo, bajo, y el de potasio va de medio a alto (BARRERA et al., 2014).

La zona centro comprende las provincias de Chimborazo, Cotopaxi, Tungurahua y Bolívar, el suelo tiene un pH que varía de ligeramente ácido a neutro; el contenido de nitrógeno es medio, el de fósforo es bajo y el de potasio va de medio a alto. La zona Sur comprende las provincias de Cañar, Azuay y Loja, la zona se destaca, con la mayor área sembrada, a la provincia del Cañar, y como la de mayor producción, a la provincia del Azuay (BARRERA et al., 2014, pág. 196).

1.2.1. Que es la física y química del suelo

La física del suelo permite planificar las labores agrícolas predominantes como: la fertilización, recuperación de suelos, conservación del suelo y manejo del agua. Se cualifica muchos parámetros como: el color, textura, estructura, formación de agregados, densidad aparente, densidad real, porosidad, porcentaje de humedad, potencial hídrico, consistencia del suelo (URBINA, 2015).

Las propiedades físicas de un suelo son básicamente la textura y la estructura. Las características de estas propiedades son en esencia el comportamiento del aire y la circulación del agua en el suelo, es decir la aireación y la permeabilidad están condicionadas por estas propiedades y su mal manejo puede tener efectos como asfixia radicular (INFOAGRO, 2017).

La química de suelos tiene como definición que es una rama de la ciencia que estudia al suelo en su composición química y los elementos que posee, las propiedades, las reacciones químicas, y las características e interacción de los suelos (RUBIO, 2012).

Las propiedades químicas del suelo más importantes son: pH o acidez, fertilidad, materia orgánica. Son analizadas en el laboratorio mediante un estudio químico de suelo (COLOMBIA C. D., 2010).

1.3. Productividad de los suelos

1.3.1. Generalidades

La productividad del suelo debe ser tratada y renovada en cada siembra y cosecha; tiene dos propiedades especiales que se debe realizar, sin estas el desarrollo del cultivo será restringido y el rendimiento de los suelos cada vez será más deficiente: primero, la humedad en el suelo deben estar en buenas proporciones de espacios porosos y sólido, “En los suelos afectados, alcanzar una máxima porosidad, conservarla correctamente, renovar y mantener su aptitud de autorrecuperación biológica son maneras prácticas de aumentar el rendimiento de los cultivos” (FAO, 2005).

Para tener suelos productivos, sanos, con buena fertilidad, deben ser tratados con un objetivo de forma sostenible, de labranza mínima o labranza cero, abonos verdes incluidos en la rotación de cultivos, añadiendo de materia orgánica. Se necesita mantener los cauces y fuentes hídricas para uso de regadío y para el mantenimiento de animales de granja (DIAZ, 2016).

La productividad del suelo engloba a la materia orgánica y la microfauna, la textura del suelo, la composición, la hondura, el conjunto de nutrientes, obstrucción de agua, la catálisis a los elementos químicos y su omisión. Esencialmente el rendimiento del suelo es dependiente de las propiedades físico-químicas, hídricas, biológicas y de sus relaciones (FAO, 2019).

1.3.2. Importancia de la productividad de los suelos

La importancia de la productividad del suelo radica en que es un complejo que integra características y propiedades del suelo, con prácticas culturales, con características y propiedades de otros elementos ambientales interrelacionados (DIAZ, 2016).

Por lo tanto, la importancia de la productividad del suelo se centra en la presencia de los elementos que nutren y a su vez ayudan en el crecimiento y el desarrollo de los cultivos (DIAZ, 2016).

Es importante promover el manejo sustentable del suelo en beneficio de la fertilidad, lo que permitirá al ser humano obtenerlos productos que necesita, contribuyendo así a reducir la pobreza, el crecimiento económico y la protección ambiental (GARCIA, 2015).

1.3.3. La revolución verde y su impacto en los suelos

La revolución verde tiene ventajas y desventajas al igual que varios avances tecnológicos que han cambiado a la forma de vida de la humanidad, sin embargo, ha provocado más efectos negativos en el medio ambiente cada vez más, como por ejemplo la destrucción y salinización de suelos, la contaminación de pesticidas y fertilizantes, la deforestación o pérdida de biodiversidad genética (FERNANDEZ, 2016).

El impacto de la revolución verde en el suelo se debe al efecto de los fungicidas e insecticidas ya que interfieren con microorganismos nitrificantes, reduciendo y alterando su población. Por lo tanto, afecta de forma negativa a la biología del suelo y alteran varios procesos importantes del suelo como la síntesis microbiode enzimasy el reciclaje de nutrientes, lo cual causa una reducción considerable de elementos esenciales en la solución del suelo y esto conlleva a un descenso en la productividad del suelo (CHILÓN, 2017, págs. 844-859).

Desde la revolución verde hasta hoy, la agricultura moderna ha potencializado la producción y a su vez el impacto negativo en el ambiente, como por ejemplo la devastación y salinización del suelo, la polución desmesurada por fungicidas, insecticidas, herbicidas y fertilizantes, resistencia de las plagas, la deforestación o la pérdida de gran parte de la biodiversidad genética (MUERZA, 2016).

1.4. Agricultura de conservación

1.4.1. Generalidades

La Agricultura de Conservación es un sistema de cultivo que aparece hace décadas como alternativa a la agricultura convencional y que se caracteriza principalmente por no utilizar maquinaria tan agresiva para el suelo. Tiene su origen en Estados Unidos y España se ha convertido en líder europeo en este cultivo (CABALLERO, 2019).

La agricultura de conservación es un procedimiento que evita la degradación del suelo y a la vez renueva los suelos erosionados. Además, fomenta las tareas de cobertura fija de los suelos, la labranza minina y los cultivos en rotación. Potencia la diversidad biológica y los procedimientos biológicos naturales en el suelo, lo cual conlleva a un mayor uso benéfico del agua y mejor disponibilidad de nutrientes y cultivos más sostenibles (FAO, 2019).

La agricultura de conservación se fundamenta en los principios relacionados de la mínima variación mecánica del suelo, la cobertura fija del suelo con material vegetal y la diversidad de cultivos por medio de la rotación de cultivos. Ayuda a los beneficiarios a conservar e incrementar los rendimientos, al mismo tiempo que menora la degradación del suelo, del medio ambiente (DONOVAN, 2020).

1.4.2. Importancia de la Agricultura de conservación

La agricultura de conservación posibilita las buenas prácticas agronómicas, como la realización de actividades a tiempo, e incrementa la producción de los cultivos tanto de secano como cultivos que necesitan riego constante (FAO, 2019).

La agricultura de conservación abarca una secuencia de técnicas que poseen como fin importante mantener y usar con mayor eficacia los recursos naturales, por medio del manejo integrado del suelo, el agua, los agentes biológicos y los ‘inputs’ externos. Posibilita así, la conservación del medio ambiente, así como un rendimiento agrícola sustentable. Hablamos de lograr una agricultura sustentable, sin explotar de forma excesiva los recursos naturales, manteniendo o aumentando los niveles de producción (INTEREMPRESAS, 2010).

1.4.3. Definición de agricultura de conservación

La agricultura de conservación es un planteamiento agrícola sustentable que en grupo abraza algunas prácticas agrícolas correctas para el cultivo, estas técnicas de producción y de uso del suelo, merma su erosión y degradación, mejora la calidad y la diversidad biológica. (MARQUEZ, 2008)

La agricultura de conservación puede definirse entonces como “un sistema agrícola cuyas prácticas están basadas en tres principios, que tienen como propósito contrarrestar los daños ocasionados al suelo y al medio ambiente”, este sistema factible tanto en términos ambientales, agronómicos y económicos (MARQUEZ, 2008).

1.4.3.1. Principios de la agricultura de conservación

La agricultura de conservación está basada en tres principios fundamentales:

- 1) Reducción de la alteración del suelo: es la disminución de labranza para la siembra de los cultivos.
- 2) Cubierta del suelo: es cubrir el suelo con restos vegetales vivos o inertes durante todo el año. Rotación de cultivos: consiste en alternar los tipos de especies vegetales para reducir problemas de malezas, plagas o enfermedades (GEORGELIN, 2019).

1.4.3.2. La agricultura de conservación merma la erosión de los suelos

El fin de la Agricultura de Conservación es conseguir una agricultura sustentable, productiva, y por ende encaminada a mejorar la calidad de vida de los agricultores (MARTINEZ, GONZALES & HOLGADO, 2001, págs. 21-26).

La agricultura de conservación es el apoyo para sostener el rendimiento de los recursos naturales y el cuidado del ambiente y la salud. Por lo tanto, accede incluso al aumento de ocupaciones ambientales como: la sujeción de carbono, producción de oxígeno, el turismo agrario y artículos alimenticios de buena índole que cada día es más significativo en la sociedad. (MARTINEZ, GONZALES & HOLGADO, 2001)

La Agricultura de Conservación aporta varios beneficios para los agricultores, para las comunidades y para el ambiente.

- a. Mayor rentabilidad y mayor ganancia económica
 - b. Mayor retención de humedad en el suelo.
 - c. Mejora la fertilidad del suelo.
 - d. Reduce la erosión y la evaporación del suelo.
 - e. Aumento de la biodiversidad del suelo
- (MARTINEZ, GONZALES & HOLGADO, 2001)

1.5. Prácticas de Agricultura de conservación

1.5.1. Tipos de labranza

Labranza convencional

Labranza convencional es una actividad que se hace en los suelos previo a sembrar, esta actividad parte los primeros 15 cm de suelo y lo volteo total o parcialmente, el suelo se disgrega y a su vez este se aísla y se mezcla, lo que mejora la retención e infiltración de agua, la solubilidad de los nutrientes, reduce el ataque de plagas y enfermedades (FERNANDEZ, 2016).

Habitualmente se liga a la labranza convencional con actividades de labranza agresiva, mal uso de maquinaria agrícola que afecta al suelo, principalmente en suelos con pendientes bajas y pronunciadas (STUDDERT, 2006).

Labranza mínima

La labranza mínima se define como “la menor cantidad de labranza requerida para crear las condiciones de suelos adecuadas para el brote de la semilla y el crecimiento de la planta.” Merma la actividad de remoción y se alista el suelo en surcos donde se va a cultivar o en los huecos de siembra. La actividad general es de reducir la probabilidad de erosión del suelo, a su vez ayuda a mejorar el nivel de materia orgánica y brinda protección a la microfauna del suelo (FAO, 2005).

Involucra el laboreo previo a la siembra menorando el uso de maquinaria previo a su corte. Se produce la aireación del suelo. Existe un aumento en la velocidad de mineralización de nutrientes, se incorporan los residuos vegetales en la superficie y mezclados en el suelo; por consiguiente, el peligro de erosión baja considerablemente. El objetivo principal es disminuir costos de producción y el apisonamiento del suelo al haber menos pasadas de la maquinaria. (ESPIN, 2018)

1.5.2. Cobertura

Cobertura orgánica permanente del suelo. Paralelo, deben utilizarse residuos de cultivos o cultivos de cobertura que cubren al menos el 30% del suelo de una forma superficial. Esta capa protectora elimina malas hierbas, protege al suelo de fenómenos meteorológicos extremos, evita la compactación del suelo y preserva su humedad. Para mayor seguridad, puede utilizar las polisombras de pinos para controlar eficientemente el ambiente de sus cultivos. (AGROPINOS, 2018)

Los residuos de cosecha se depositan en la superficie del terreno, pero en varios casos es necesario implementar cultivos de cobertura, si el cultivo subsiguiente se hará después de un largo periodo de tiempo. Los cultivos de cobertura aumentan la estabilidad del sistema de agricultura de conservación, mejoran las propiedades del suelo y favorece la biodiversidad del ecosistema agrícola. (FAO, 2019)

La cubierta vegetal es importante en la agricultura de conservación ya que protege al suelo del impacto de la gota de lluvia, a su vez le da sobra al suelo lo que mejora la retención de humedad, también a parte del reciclaje de nutrientes, tiene efecto alopáctico sobre las malezas, menorando su incidencia, a su vez se reduce el uso de agroquímicos y por ende se reducen los costos de producción. (FAO, 2019).

La agricultura de conservación parte de los principios relacionados de la labranza mínima, la cobertura fija del suelo usando material vegetal y la diversidad biológica de los cultivos. Tiene un efecto positivo en los beneficiarios ya que mantiene y aumenta los rendimientos, al mismo tiempo que merma la degradación del suelo. (DONOBAN, 2020)

Materia orgánica

El material orgánico natural o MON es materia que se elabora a partir de compuestos orgánicos tales como los carbohidratos, ligninas y proteínas que provienen de la acumulación de los restos plantas, animales y sus productos de residuo en el ambiente natural. Los microorganismos del suelo transforman la materia orgánica en compuestos como el dióxido de carbono y como resultado de esa transformación tenemos humus.(VENEGAS, 2010)

La materia orgánica es el resultado de la descomposición de restos de cosecha o platas y animales muertos o sus desechos. La MO tiene la capacidad de almacenar gran cantidad de agua y tiene un alto contenido mineral, de la MO se alimentan los microorganismos para aportar y liberar nutrientes que luego estarán disponibles para el cultivo (FAO, 2019)

Carbono orgánico del suelo

El carbono orgánico es el que está fijo en el suelo después de la transformación de una parte del material producido por organismos vivos, es el componente central de la materia orgánica del suelo y, como tal, constituye el combustible de cualquier suelo, es esencial para la estabilización de la estructura del suelo, la retención y liberación de nutrientes, permite la infiltración y almacenamiento de agua en el suelo. Por lo tanto, es primordial para garantizar la salud del suelo, la fertilidad y la producción de alimentos. (FAO, 2020)

El Carbono orgánico del suelo se encuentra en forma de residuos orgánicos poco alterados de vegetales, animales y microorganismos, en forma de humus y en formas muy condensadas de composición próxima al Carbono elemental. En condiciones naturales, el Carbono orgánico del

suelo resulta del balance entre la incorporación al suelo del material orgánico fresco y la salida de Carbono del suelo en forma de CO₂ a la atmósfera (MARTINEZ, 2017).

Rotación de cultivos

La rotación de cultivos es una actividad usada en la agricultura de conservación que implica cambiar varios tipos de cultivos en un mismo lugar, esta actividad reduce el desarrollo de plagas y enfermedades que afectan a una clase específica de cultivo (PÉREZ, DEFINICION AGRARIA, 2014).

Se trata de un método que alterna distintos cultivos en una zona determinada o parcela por un largo periodo, de forma para volver a sembrar un cultivo en la misma zona pasan varios años (GOSALBEZ, 2012).

Los cultivos en rotación permiten que la población de plagas se reduzca considerablemente y facilita el control de malezas, mejora el fraccionamiento de los nutrientes en la solución del suelo (SADR, 2017).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Características del lugar

2.1.1. *Ubicación geográfica*

La microcuenca del río Sicalpa tiene una extensión aproximada de 45.59 km² y comprende parte de los territorios de las provincias de Chimborazo y Pastaza de la región Alto Andina de Ecuador. Pertenece al sistema hídrico del Pastaza y a la subcuenca del río Chambo.

La microcuenca se extiende desde la latitud UTM 73800 S hasta 75000 S y desde la longitud UTM 9819000 W hasta 9804000 W (Anexo A). Esta región está entre los 3000 a 4300 msnm.

Durante la investigación, en promedio, desde el año 2015 al año 2018, se registraron temperaturas y precipitaciones en el rango de 8.8 a 17 °C y 500 a 1100 mm, respectivamente.

La humedad relativa fue del 50% y la velocidad del viento en 12.5 km h⁻¹. (INIAP, 2015)

La zona climática corresponde a bosque húmedo Montano bh-M (CAÑADAS, 1983).

2.2. Materiales

2.2.1. *Materiales de oficina*

Base de datos, lápices, esferos, hojas papel bond, borrador, marcadores, resaltadores, carpetas, cartuchos, cuadernos, cámara digital, calculadora, computadora, impresora.

2.3. Métodos

El estudio se basó en la información recopilada por el INIAP en la investigación sobre prácticas de agricultura de conservación en el sistema papa-pastos en la comunidad Compañía Labranza del cantón Colta provincia de Chimborazo.

2.4. Metodología

Se evaluaron los siguientes parámetros:

2.4.1. Rendimiento en kg/ha

Para el rendimiento de papa se evaluó los tubérculos en kg ha⁻¹, la biomasa de avena-vicia en kg ha⁻¹, la cebadase evaluó en maduresde campo en kg ha⁻¹ y el haba se evaluó en madures fisiológica en kg ha⁻¹.

2.4.2. Análisis físico del suelo

a. Humedad gravimétrica

Se adquirió varias muestras de suelo al inicio y al final de cada cultivo experimental. Las muestras se tomaron a 25 cm de profundidad, se pesaron y se colocaron en la estufa a 105 °C por 24 horas, luego se calculó el promedio de los resultados evaluados. Se expresó en porcentaje (%) aplicando la siguiente fórmula. Hg = (PSH - PSS /PSS) x 100.

b. Densidad aparente

En la parcela neta se procedió a la recolección de muestras de suelo, con un barreno de (68.19 cc), a una profundidad de muestreo de 25 cm. Se pesaron en húmedo y se colocaron a 105 °C en la estufa por 24 horas para sacar el peso seco. Los resultados obtenidos se expresan en g cc⁻¹, aplicando la siguiente fórmula. Da = Ms/Vt, posteriormente se obtuvo el promedio de los resultados evaluados

2.4.3. Análisis químico del suelo

a. Nitrógeno amoniacal

Método Fotocolorimétrico, el azul indofenol es un compuesto que se obtiene cuando reacciona al elevado pH del amonio e hipoclorito. Como extractante se utiliza Olsen modificado (Bicarbonato de Na+EDTA+ Super flow).

b. Fósforo

Método Fotocolorimétrico, está dada principalmente en la evaluación de la magnitud del color producto del complejo azul de fosfomolibdato. Este conjunto que es heteropolíácido se produce en un medio ácido con la reacción del ion ortofosfato y el ion molibdato.

c. Potasio

Método de Espectrofotometría de Absorción Atómica, los elementos en solución son atomizados en la flama aire-acetileno lo cual posibilita que se impregne la radiación perteneciente de una lámpara del mismo componente en forma proporcional a la suma de átomos existentes.

d. Azufre y magnesio

Método de Espectrofotometría de Absorción Atómica, los elementos en solución son atomizados en la flama aire-acetileno lo cual posibilita que se impregne la radiación perteneciente de una lámpara del mismo componente en forma proporcional a la suma de átomos existentes.

2.5. Factores en estudio

Tabla 1-2: Factores en estudio

Factor A	Factor B	Factor C
Sin zanjas de desviación	Labranza convencional	Sin residuo
Con zanjas de desviación	Labranza mínima	Con residuo

Realizando por: SÁNCHEZ, Luis, 2021

2.6. Tratamientos en estudio

Se evaluaron nueve tratamientos como se observa en la tabla 2-2, en donde, los tratamientos T1 a T8 son propuestas de AC y prácticas convencionales del agricultor, priorizando la tecnología de manejo integrado del cultivo que el INIAP ha desarrollado para cada cultivo en rotación, provenientes de la combinación de los factores AxBxC. El tratamiento T9 que es un tratamiento testigo o satélite de las prácticas convencionales que realizan los agricultores, incluido el manejo que ellos dan a cada cultivo en evaluación.

Tabla 2-2: Tratamientos que se investigaron y los ciclos de evaluación que se realizaron en la microcuenca del río Sicalpa, provincia de Chimborazo-Ecuador, 2019.

Tratamientos en estudio	1r o	2do	3ro	4to
T ₁ = Sin zanjas, labranza convencional, sin residuo	P ap a	Aven a- vicia	Ceba da	Ha ba
T ₂ = Sin zanjas, labranza convencional, con residuo	P ap a	Aven a- vicia	Ceba da	Ha ba
T ₃ = Sin zanjas, labranza reducida, sin residuo	P pa	Aven a- vicia	Ceba da	Ha ba
T ₄ = Sin zanjas, labranza reducida, con residuo	P ap a	Aven a- vicia	Ceba da	Ha ba
T ₅ = Con zanjas, labranza convencional, sin residuo	P ap a	Aven a- vicia	Ceba da	Ha ba
T ₆ = Con zanjas, labranza convencional, con residuo	P ap a	Aven a- vicia	Ceba da	Ha ba
T ₇ = Con zanjas, labranza reducida, sin residuo	P ap a	Aven a- vicia	Ceba da	Ha ba
T ₈ = Con zanjas, labranza reducida, con residuo	P ap a	Aven a- vicia	Ceba da	Ha ba
T ₉ = Testigo (manejo de los cultivos por el agricultor)	P ap a	Aven a- Vicia	Ceba da	Ha ba

Fuente: INIAP, 2015.

Realizando por: SÁNCHEZ, Luis, 2021

Sin residuo = corta y alimenta los animales o vende

Con residuo = corta y deja en la superficie del suelo.

2.7. Tipo de diseño

2.7.1. Esquema de diseño

Se aplicó el diseño de Bloques Completamente al Azar “DBCA” en arreglo de Parcela Dividida 2x2x2+1, en donde el factor A (conservación) corresponde a la parcela principal y los factores B (labranza) y C (cobertura) como parcela dividida sobre el factor A, más una comparación ortogonal testigo versuslos tratamientos conformados porlos factores deinvestigación (con zanjas de desviación de agua, labranza reducida, con residuo).

Tres bloques por tratamiento fueron utilizados, mismos que estuvieron representados por tres sistemas de producción. La distancia entre dos sistemas de producción era de 200 m y de estos con el tercero de 1000 m; la altitud de estos sistemas, en promedio, era de 3450 m, aproximadamente

Cada parcela experimental tenía un área total de 90 m² (15 m x 6 m) y el área de la parcela neta 52 m² (13 m x 4 m). Los factores labranza y cobertura del suelo fueron asignados aleatoriamente dentro del factor conservación que fueron las parcelas principales, con o sin zanjas de desviación de agua, que también fueron aleatorizadas.

2.7.2. Esquema de análisis de varianza

a. Análisis de varianza para cada cultivo

Tabla 3-2: Análisis de varianza (ADEVA)

Fuentes de variación	Grados de libertad
Total	26
Bloques	2
Conservación (A)	1
Error experimental	2
Labranza (B)	1
AxB	1
Cobertura (C)	1
CxA	1
CxB	1
AxBxC	1
Testigo vs Resto de tratamientos	1
Error experimental	14

Fuente: INIAP, 2015.

Realizando por: SÁNCHEZ, Luis, 2021

2.7.3. *Análisis funcional*

- Se determinó el coeficiente de variación expresado en porcentaje.
- Se realizó la prueba de LSD al 5% cuando existió diferencias significativa entre los tratamientos.

2.8. Manejo específico del experimento

Se basó en las investigaciones del INIAP realizadas para el sistema papa-pastos en la Sierra ecuatoriana y en las experiencias en la subcuenca del río Chimbo. En la comunidad Compañía Labranza de la microcuenca del río Sicalpa, se eligieron tres lotes de 1512 m² c/u, que por tres años estaban en barbecho. En cada lugar, se procedió a recoger muestras de suelo por cada unidad experimental al inicio y final de cada cultivo; para el posterior análisis químico completo se tomaron muestras a la profundidad de 11-20 cm.

En el análisis físico se tomaron las muestras a 0.20 cm de profundidad en los ciclos de cultivo. El tratamiento testigo se relaciona con las prácticas usuales que los agricultores la realizan en dos diferentes cultivos en rotación; en cambio, en los tratamientos de agricultura de conservación las

prácticas utilizadas tienen que ver con la tecnología que maneja el INIAP en los diferentes cultivos en rotación.

2.8.1. *Trazado de zanjas de desviación de agua*

Las parcelas en estudio, el factor A (A2= con zanjas), se ejecutó cuatro zanjas con una separación de 6 metros, 15 metros de longitud y 0.50 m de profundidad. El trazado de las zanjas se hizo con la implementación del nivel en A, con 1% de pendiente. En la parte alta del talud se sembraron pasto millón y especies arbustivas nativas (retama) con la finalidad de proteger las zanjas.

2.9. *Manejo de los cultivos en estudio*

2.9.1. *Cultivo de papa*

2.9.2. *Manejo convencional del cultivo (testigo)*

Para la preparación de las parcelas que corresponden a la labranza convencional, 15 días antes de la siembra se realizaron las labores en el suelo de barbecho con un pique y repique con azadones, hasta dejar el suelo mullido o suelto. Para la siembra, se hicieron surcos con azadones a una distancia entre surcos de 1.1 m y entre plantas de 0.40 m, y se utilizó semilla de la variedad INIAP-Fripapa con una dosis de 1136 kg ha⁻¹, depositando dos tubérculos pequeños por sitio.

La fertilización química se realizó con el fertilizante compuesto 18 -46-00 al momento de la siembra, en relación de 50 kg de abono por 181.80 kg de semilla de papa. Para el control de gusano blanco, pulguillas, trips y moscas minadoras, a partir de la emergencia del cultivo, se utilizaron insecticidas recomendados por las casas comerciales de la zona.

El tape se realizó con azadón, con una capa de tierra que cubrió la semilla. La labor de rascadillo y aporque se hicieron con azadón a los 60 y 100 días después de la siembra, se usó una mezcla de fertilizante químico 10-30-10 + cloruro depotasio 0-0-60 en relación 1:1 en el aporque, en relación 25 kg de abono por 181.80 kg de semilla de papa. Para el control de lancha se utilizaron fungicidas sistémicos y de contacto cada 10 o 15 días después de la emergencia.

La fertilización foliar en la época de floración y fructificación se realizó con el fertilizante 10-5-25 en una dosis de 2,5 kg ha⁻¹ cada 10 días hasta la cosecha.

La cosecha fue manual y se realizó cuando la piel del tubérculo estuvo firme; el follaje de las plantas cosechadas se sacó de las parcelas.

2.9.3. Manejo del cultivo con agricultura de conservación

A los 15 días antes de la siembra, se aplicó glifosato en dosis de 12.5 cc l^{-1} de agua. Antes de la siembra se hizo el trampeo para el seguimiento de la población de adultos del gusano blanco. Se ubicaron trampas de follaje de papa en una densidad de $100 \text{ trampas ha}^{-1}$.

Al follaje de la trampa se aplicó el insecticida Acefato en dosis de 2 g l^{-1} de agua y se cubrió con cartón. Cada 8 días se monitoreo el número de adultos y se cambió el follaje de la trampa.

Después de los 15 días de haber aplicado el herbicida se procedió a realizar el surcado con azadones, virando la chamba de pasto de cada lado; la distancia entre surcos fue de 1 m y 0.40 m entre plantas. Se utilizó semilla de la variedad de INIAP-Fripapa, depositando un tubérculo de 60 gramos por golpe, dando una dosis 909 kg ha^{-1} .

La fertilización se colocó en base al análisis químico del suelo que fue de $120\text{--}300\text{--}60\text{--}30 \text{ kg ha}^{-1}$ de N-P₂O₅-K₂O-S. En la siembra se colocó en la base del surco y a chorro continuo, el 40% de N y el 100% de P₂O₅-K₂O-S; se cubrió el fertilizante con una ligera capa de suelo y así eludir el roce con la semilla de papa.

A los 45 días después de la siembra se puso el 60% del N restante en bandas laterales. El tape de la semilla se realizó con azadones. Las labores de rascadillo y aporque se hicieron con azadón a los 45 y 60 días después de la siembra, respectivamente.

El combate de gusano blanco, pulguilla y trips, se realizó únicamente cuando fue necesario y con insecticidas de baja toxicidad.

Para el control de lancha, se procedió a emplear los principios de manejo integrado del cultivo, con el uso de la variedad resistente INIAP-Fripapa, semilla de certificada, fungicidas con modo de acción de contacto y sistémicos de baja toxicidad cuando el cultivo lo demandó. La cosecha fue manual y se realizó en la fase demadurez fisiológica, cuando la piel del tubérculo estuvo firme.

En los tratamientos sin residuo se procedió a retirar el follaje de la cosecha a un costado de las parcelas y en el caso de los tratamientos con residuo los restos de la cosecha se dejaron en el mismo sitio como cobertura del suelo.

2.10. Cultivo de avena-vicia

2.10.1. Manejo convencional del cultivo (testigo)

Quince días antes de la siembra se removió el suelo con azadón, con la finalidad de controlar las malezas que aparecieron en forma espontánea. La siembra fue al voleo, con la mezcla de 45.45 kg ha⁻¹ de avena y 12 kg ha⁻¹ de vicia, usando semilla de avena variedad INIAP 82 y vicia variedad común, alcanzando una dosis de 57.45 kg ha⁻¹ de la mezcla; se tapó la semilla con azadón.

En el testigo del agricultor no se realizó ningún tipo de fertilización, el control de plagas y enfermedades fue nulo. La cosecha o corte se realizó al inicio de la floración; el forraje se cortó y se sacó de las parcelas para la alimentación de animales y venta.

2.10.2. Manejo del cultivo con agricultura de conservación

En la preparación del suelo, 15 días antes de sembrar, se aplicó glifosato en dosis de 12.5 cc l⁻¹ de agua con la finalidad de controlar las malezas que aparecieron en forma espontánea. La siembra fue al voleo con la mezcla de 120 kg ha⁻¹ de avena-vicia(60 kg ha⁻¹ de avena y 60 kg ha⁻¹ de vicia), usando la semilla de avena variedad INIAP 82 y la vicia variedad común, tapando la semilla con azadón.

En los tratamientos T1-T8, la fertilización se realizó con 150 kg ha⁻¹ de 18-46-00 y 100 kg ha⁻¹ de Urea, que alcanzó una dosis de 250 kg ha⁻¹. El control de plagas y enfermedades fue nulo. La cosecha o corte se realizó al inicio de la floración; en los tratamientos sin residuo se cortó el forraje y se sacó de las parcelas para la alimentación de animales y venta, mientras que en los tratamientos con residuo se seccionó al ras del piso y se colocó en el terreno en estudio como cobertura del suelo.

2.11. Cultivo de cebada

2.11.1. Manejo convencional del cultivo (testigo)

La preparación del suelo, en los terrenos fue seleccionado para la labranza convencional, se removió el suelo con azadón 15 días antes de la siembra. La siembra se realizó al voleo utilizando 135 kg ha⁻¹ de la variedad INIAP-Cañicapa y se tapó con azadón. Al momento de la siembra se aplicó 25 kg ha⁻¹ de fertilizante 10-30-10 y una fertilización complementaria de 50 kg ha⁻¹ de Urea al macollamiento del cultivo.

No se realizó ningún tipo de control para plagas y enfermedades. La cosecha se realizó a la madurez de campo, se cortó con hoz, se sacó de las parcelas y se trilló con máquina estacionaria todas las plantas de las parcelas.

2.11.2. *Manejo del cultivo con agricultura de conservación*

En la preparación del suelo, 15 días antes de sembrar, se aplicó glifosato en dosis de 12.5 cc l⁻¹ de agua con la finalidad de controlar las malezas que aparecieron en forma espontánea. La siembra se realizó al voleo. La cantidad de semilla fue de 105 kg ha⁻¹ de cebada variedad INIAP-Cañicapa.

En cuanto a la fertilización de los tratamientos T1-T8, se aplicó la dosis recomendada para este cultivo que es 50–70–00 kg ha⁻¹ de N–P₂O₅–K₂O (150 kg de 18-46-00 y 50 de Urea), respectivamente, y se aplicó el fertilizante al voleo; en la siembra se aplicó el 100% de Fósforo y el 50% de Nitrógeno, y se tapó con azadón.

A los 45 días después de la siembra se realizó la fertilización complementaria con el 50% de Nitrógeno restante. El control de plagas y enfermedades fue nulo.

Para la actividad de cosecha se hizo cuando el cultivo alcanzo la madurez de campo; para los tratamientos sin residuo se cortaron todas las plantas y se sacaron de las parcelas para la trilla respectiva, mientras que en los tratamientos con residuo se cosecharon solamente las espigas y el resto de las plantas se dejaron en la superficie como cobertura del suelo.

2.12. *Cultivo de haba*

2.12.1. *Manejo convencional del cultivo (testigo)*

La preparación del suelo se realizó con azadón y se utilizó la fertilización de productor que fue de 100 kg ha⁻¹ de 18-46-00. La siembra se realizó a de 0.80 m de surco a surco y 0.40 m planta a planta, utilizando tres semillas por golpe. La variedad utilizada fue Huagrahaba, en dosis de 90 kg ha⁻¹. Se cubrió la semilla con una capade suelo. Las labores culturales como la deshierba se realizó a los 30 y 60 dds.

El combate de plagas y enfermedades se realizó con pesticidas recomendados por las casas comerciales. La cosecha y desgrane de las habas de las parcelas se realizaron en forma manual, cuando el cultivo estuvo en madurez comercial (vainas verdes), que es cuando los agricultores venden el producto; el follaje de las plantas cosechadas se sacó de las parcelas.

2.12.2. Manejo del cultivo con agricultura de conservación

En la preparación del suelo, 15 días antes de sembrar, se aplicó glifosato en dosis de 12.5 cc l⁻¹ de agua con la finalidad de controlar las malezas que aparecieron en forma espontánea.

Se aplicó una fertilización de 36-92-00 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O (200 kg ha⁻¹ de 18-46-00) al momento de la siembra. Para la siembra, se utilizó un espeque para realizar el hoyo y se aplicó dos semillas por sitio; la distancia de siembra fue de 0.80 m entre surcos y 0.40 m entre plantas. Se usó la variedad Huagrahaba, en dosis de 90 kg ha⁻¹; para cubrir la semilla se usó la mano en el caso del espeque, teniendo en cuenta que la capa de tierra debe ser fina, no mayor al doble del tamaño de la semilla.

Las labores culturales realizadas so rascadillo y deshierbaa los 30 y 60 dds. El combate de insectos como mosca minadora (*Liriomyza huidobrensis*) y los trips (*Frankliniella tuberosi*) y la enfermedad de la manchade chocolate (*Botrytis fabae*), se realizó cuando se presentó el problema. La cosecha y desgrane de las habas se realizó en forma manual, cuando el cultivo estuvo en la fase de madurez comercial (vainas verdes).

Para los tratamientos sin residuos, la cosecha consistió en sacar toda la planta y se procedido a retirar y colocarlas a un lado de las parcelas en estudio, en cambio para los tratamientos con residuos solo realizó la cosecha del as vainas y el sobrante vegetal se dejó como cobertura del suelo.

2.13. Manejo de la información

Para evaluar la fertilidad y productividad se consideró los datos tomados por el INIAP entre el año 2015 al 2018 en la investigación sobre prácticas de agricultura de conservación en el sistema papa-pastos y se seguirán los siguientes pasos:

2.14. Consecución de base de datos

La información a evaluar luego de su depuración fueron los datos recopilados por el INIAP entre el 2015 al 2019 en la investigación sobre prácticas de agricultura de conservación en el sistema papa-pastos.

2.15. Depuración de bases de datos

Se usó el programa data cleansing y consiste en el proceso de detección y corrección de datos

2.16. Análisis de datos físicos del suelo

Se evaluó la humedad gravimétrica expresada en porcentaje (%) y la densidad aparente expresada en gramos por centímetro cúbico (g cc^{-1}).

2.17. Análisis de datos químicos del suelo

Se evaluó el porcentaje de nitrógeno amoniacial, fósforo, potasio, azufre y magnesio.

2.18. Análisis del rendimiento de los cultivos

Se evaluó la producción de papa, avena-vicia, cebada y haba fue medida a través de la cosecha de todas las plantas de las parcelas netas: $52 \text{ m}^2 (13 \text{ m} \times 4 \text{ m})$, expresado en Kg ha^{-1}

2.19. Análisis de los datos de los tratamientos en estudio

Los datos fueron analizados a través de estadística de regresión y de un DBCA en arreglo de Parcela Dividida, en donde el factor A corresponde a la parcela principal y los factores B y C como parcela dividida sobre el factor A.

2.20. Interpretación de resultados

Los resultados se presentaron en porcentajes, g cc^{-1} , kg ha^{-1} , a los resultados que presentaron respuesta significativa se aplicó la prueba de Tukey al 5% y la prueba de DMS al 5%, se implementaron correlaciones y regresiones entre las variables en estudio y también se utilizó tablas y figuras.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

3.1. Fertilidad de los suelos

El Factor fertilidad de los suelos en relación a los cultivos en estudio (papa, avena-vicia, cebada, haba) fue influenciado por los factores en investigación: conservación con zanjas, labranza reducida y cobertura de suelos, estos resultados tienen diferencias considerables en la humedad gravimétrica, la densidad aparente y en los elementos nitrógeno, fósforo y potasio, mientras que en los elementos azufre y magnesio la diferencia es poca y casi nula, estadísticamente. La estadística de regresión de los tratamientos en estudio mostró la importancia de cada factor y las interacciones evaluadas.

3.2. Análisis de la humedad gravimétrica

En la tabla 3-1, se observan el promedio del porcentaje de humedad gravimétrica para los tratamientos de agricultura de conservación en comparación con el testigo, respecto a los días transcurridos y a los cultivos en rotación. La mejor respuesta se presenta en el promedio de los tratamientos de agricultura de conservación en el cultivo de haba con el valor de 34.65%, versus el valor obtenido del testigo que es de 33.85%.

Tabla 1-3: Promedio de humedad gravimétrica del suelo en los tratamientos de agricultura de conservación en relación al testigo.

Tratamientos	Línea Base	Papa	Avena-Vicia	Cebada	Haba
	%	%	%	%	%
Agricultura de conservación	30.45	15.82	16.74	18.04	34.65
Testigo	29.27	12.77	14.70	17.99	33.85

Fuente: Barrera et al., 2020

Realizando por: SÁNCHEZ, Luis, 2021

El valor de 34.65% para la humedad gravimétrica en el cultivo de haba con agricultura de conservación, este cultivo en su etapa de desarrollo no requiere de mucha humedad y a su vez, la incorporación de restos de cultivos anteriores ayuda a guardar humedad, esto influye en fases fenológicas de la planta y en el rendimiento del cultivo como se observa en la tabla 1-3.

Como manifiesta (HORQUE, 2004) quien dice que el cultivo de haba es resistente a sequias, por lo que en la etapa de desarrollo el riego no es necesario ya que se puede aprovechar el agua de lluvia, en caso de que la precipitación sea nula se deberá optar por el riego, este debe ser ligero en la etapa de desarrollo del cultivo.

(FAO, 2009) señala que, al aplicar rastrojos en los periodos de calor intenso, disminuyen los daños causados por la sequía en los cultivos, debido a que la humedad del suelo se mantiene por un mayor periodo, en comparación a un suelo desnudo.

La mejor respuesta de los tratamientos de Agricultura de conservación que fue en cultivo de haba, al compararlo con el testigo que tiene el valor de 33.85%, podemos determinar que el promedio de los tratamientos de agricultura de conservación es superior en un 2,31 % al testigo en el contenido de humedad gravimétrica.

3.3. Análisis de la densidad aparente

En la tabla 4. Se observan el promedio de la densidad aparente en gramos por centímetro cubico ($g\text{ cc}^{-1}$) para los tratamientos de agricultura de conservación y el testigo, respecto a los días transcurridos y a los cultivos en rotación.

No existe una mejor respuesta ya que todos (excepto el cultivo de haba) se encuentran en el rango de suelo arenoso ($1.2 - 1.6 g\text{ cc}^{-1}$), pero se determina que en el cultivo de papa que tiene $1.13 g\text{ cc}^{-1}$ presenta mayor espacio poroso y menor compactación en el promedio de los tratamientos de agricultura de conservación, versus el valor obtenido del testigo que es de $1.15 g\text{ cc}^{-1}$.

Tabla 2-3: Promedio de densidad aparente ($g\text{ cc}^{-1}$) de los tratamientos de agricultura de conservación en relación al testigo.

Tratamientos	Línea Base	Papa	Avena-Vicia	Cebada	Haba
	$g\text{ cc}^{-1}$				
Agricultura de conservación	1.18	1.13	1.15	1.14	1.68
Testigo	1.14	1.15	1.22	1.18	1.70

Fuente: Barrera et al., 2020

Realizando por: SÁNCHEZ, Luis, 2021

En la tabla 2-3 se observa, el valor de $1.13 g\text{ cc}^{-1}$ para la densidad aparente en el cultivo de papa con agricultura de conservación, presenta mayor espacio poroso y menor compactación, esto influye en el desarrollo del tubérculo y en el rendimiento del cultivo.

Como manifiesta (SALAMANCA, 2016) que cuando la densidad aparente del suelo se incrementa, también la compactación del suelo es mayor, disminuye el espacio poroso, afecta las condiciones de retención de humedad y a su vez, el crecimiento de las raíces.

La mejor respuesta de los tratamientos de Agricultura de conservación que fue en cultivo de papa, al compararlo con el testigo que tiene el valor de 1.15 g cc^{-1} podemos determinar que el promedio de los tratamientos de agricultura de conservación y el testigo se encuentran en el rango de la densidad aparente para textura fina $1-1.2 \text{ g cc}^{-1}$

3.4. Análisis de nitrógeno amoniacal.

La estadística de regresión de los tratamientos de agricultura de conservación para el contenido de nitrógeno amoniacal en kilogramos por hectárea como se observa en la tabla 3-3, determinó que por cada día transcurrido el NH_4 lineal se incrementó en $0,0309 \text{ kg ha}^{-1}$ y el NH_4 cuadrático se incrementó en $0,000061 \text{ kg ha}^{-1}$. El $R^2 = 0,902$ significa que los datos se ajustaron en un 90% a este modelo de regresión cuadrática que se expresa de la siguiente manera: $y = 148,32 + 0,0309x + 0,000061x^2$

Tabla 3-3: Estadísticas de regresión de los tratamientos de agricultura de conservación para el contenido de nitrógeno amoniacal NH_4 .

Coeficiente de correlación múltiple	0,949587306						
Coeficiente de determinación R^2	0,901716051						
R^2 ajustado	0,803432102						
Error típico	12,06389091						
Observaciones	5						
		Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	148,31586	11,44565	12,95827	0,0059026	99,06920	197,5625	
n	83	03	36	5	97	27	-
Días lineal	0,0308902	0,067325	0,458816	0,6914025	0,258790	0,320570	
Días cuadrático	56	98	32	2	03	55	-
	6,10235E-05	7,8809E-05	0,774321	0,5197465	0,000278	0,000400	
			99	9	06	11	

Realizando por: SÁNCHEZ, Luis, 2021

La estadística de regresión del Testigo para el contenido de nitrógeno amoniacal en kilogramos por hectárea como se observa en la tabla 4-3, determinó que por cada día transcurrido el NH₄ lineal decrece en -0,0636 kg ha⁻¹ y el NH₄ cuadrático se incrementó en 0,000102 kg ha⁻¹. El R² = 0,229 significa que los datos se ajustaron en un 23% a este modelo de regresión cuadrática que se expresa de la siguiente manera: $y = 149,06 - 0,0636x + 0,000102x^2$

Tabla 4-3: Estadísticas de regresión del Testigo para el contenido de nitrógeno amoniacal NH₄

Coeficiente de correlación múltiple	0,478842223					
Coeficiente de determinación R ²	0,229289874					
R ² ajustado	-0,541420251					
Error típico	26,12484656					
Observaciones	5					
	Coeficientes NH ₄	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	149,0599256	24,7860214	6,0138706	0,02655343	42,4142828	255,705568
Días lineal	0,063595996	0,14579714	0,43619509	0,70526458	0,69091045	0,56371846
Días cuadrático	0,000102306	0,00017066	0,59945589	0,60973349	-0,000632	0,00083661

Realizando por: SÁNCHEZ, Luis, 2021

En el gráfico 1-3 se observan las respuestas de NH₄ Cuadrático en kg ha⁻¹ para los tratamientos de agricultura de conservación y el testigo, respecto a los días transcurridos y a los cultivos en rotación. La mejor respuesta se presenta en los tratamientos de agricultura de conservación durante la rotación de los cultivos, mostrando el mayor contenido de NH₄ en el cultivo de haba a los 800 días, con un valor de 212.85 kg ha⁻¹, versus el valor obtenido con el modelo NH₄ cuadrático del testigo en donde el valor fue de 162.75 kg ha⁻¹

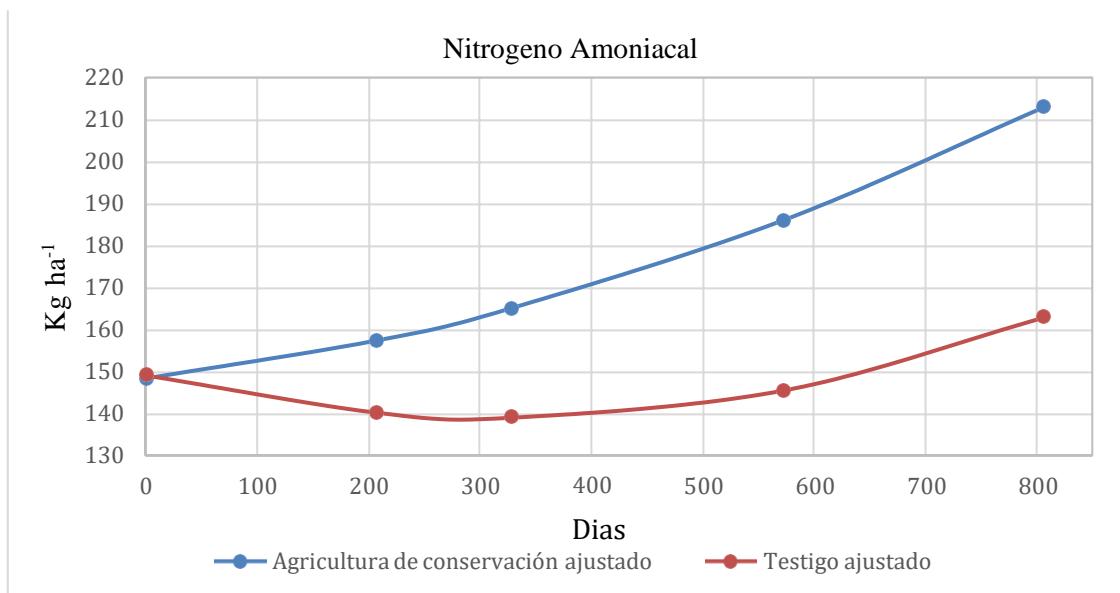


Gráfico 1-3: Modelos de NH₄ Lineal y NH₄ Cuadrático en relación a los contenidos de NH₄ en kg ha⁻¹

Realizando por: SÁNCHEZ, Luis, 2021

Los resultados mostraron en base al análisis del modelo NH₄ Cuadrático para los tratamientos de agricultura de conservación permite analizar que la mejor respuesta para el contenido NH₄ se consigue el cultivo de haba a los 800 días durante la rotación de cultivos, con el valor máximo de 212,85 kg ha⁻¹, en comparación al testigo que tuvo un valor de 162,76 kg ha⁻¹ en el mismo número de días, Los tratamientos de agricultura de conservación es superior en un 23,53 % al testigo en contenido de nitrógeno amoniacal.

Este es el resultado de la implementación de rotación de cultivos y la cobertura con residuos hasta la finalización del cultivo de haba en el trabajo de investigación. En el cultivo de avena-vicia fue donde se acumuló el contenido de NH₄, ya que, este cultivo aporta gran cantidad de nitrógeno tanto en su ciclo de cultivo como en la incorporación de este y los cultivos anteriores al suelo.

Como señala (JUÁREZ, 2018) quien dice que al incorporar el cultivo de avena-vicia las actividades más relevantes que las dos especies realizan en los sistemas agrícolas son: el control de malezas por competencia y la fijación de nitrógeno atmosférico. La vicia, al ser una leguminosa, puede realizar la acción de fijar el nitrógeno atmosférico, por medio de los nódulos que se encuentran en la raíz, por tal razón, contribuye con nitrógeno al suelo.

3.5. Análisis de fósforo.

La estadística de regresión de los tratamientos de agricultura de conservación para el contenido de fósforo en kilogramos por hectárea (tabla 5-3), determinó que por cada día transcurrido el fósforo

lineal se incrementó en $0,1518 \text{ kg ha}^{-1}$ y el fósforo cuadrático decrece en $-0,0002 \text{ kg ha}^{-1}$. El $R^2 = 0,699$ significa que los datos se ajustaron en un 70% a este modelo de regresión cuadrática que se expresa de la siguiente manera: $y = 56,629 + 0,1518x - 0,0002x^2$

Tabla 5-3: Estadísticas de regresión de los tratamientos de agricultura de conservación para el contenido de fósforo (P).

Coeficiente de correlación múltiple	0,836400306					
Coeficiente de determinación R^2	0,699565471					
R^2 ajustado	0,399130943					
Error típico	16,06312845					
Observaciones	5					
	Coeficientes NH_4	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	56,62884356	15,23993815	3,71581846	0,0654005	8,94331793	122,201005
Días lineal	0,151824856	0,089644858	1,69362593	0,23241627	0,23388584	0,53753555
Días cuadrático	-	-	-	-	-	-
	0,000210352	0,000104935	-2,00460631	0,18287802	0,00066185	0,00024114

Realizando por: SÁNCHEZ, Luis, 2021

La estadística de regresión del Testigo para el contenido de fósforo en kilogramos por hectárea (Tabla 8), determinó que por cada día transcurrido el fósforo lineal se incrementó en $0,0658 \text{ kg ha}^{-1}$ y el fósforo cuadrático decrece en $-0,0000897 \text{ kg ha}^{-1}$. El $R^2 = 0,704$ significa que los datos se ajustaron en un 70% a este modelo de regresión cuadrática que se expresa de la siguiente manera: $y = 34,871 + 0,0658x - 0,0000897x^2$

Tabla 6-3: Estadísticas de regresión del Testigo para el contenido de fósforo (P).

Coeficiente de correlación múltiple	0,838838666
Coeficiente de determinación R^2	0,703650308
R^2 ajustado	0,407300615
Error típico	6,680786141

Observaciones	5					
	Coeficientes	Error	Estadístico	Probabilidad	Inferior	Superior
	NH ₄	típico	t		95%	95%
Intercepción	34,870529	6,3384145	5,501459	0,031488	7,598533	62,14252
Días lineal	0,0657785	0,0372840	1,764254	0,219737	0,094641	0,226198
Días cuadrático	-8,971E-05	4,361E-05	-2,055693	0,17613	-0,00027	9,84E-05

Realizando por: SÁNCHEZ, Luis, 2021

En el gráfico 2-3 se observan las respuestas de fósforo Cuadrático en kg ha⁻¹ para los tratamientos de agricultura de conservación y el testigo, respecto a los días transcurridos y a los cultivos en rotación. La mejor respuesta se presentaen los tratamientos de agricultura de conservación durante la rotación de los cultivos, mostrando el mayor contenido de fósforo en el cultivo de avena-vicia a los 327 días, con un valor de 84,88 kg ha⁻¹, versus el valor obtenido con el modelo fósforo cuadrático del testigo en donde el valor fue de 46,76 kg ha⁻¹

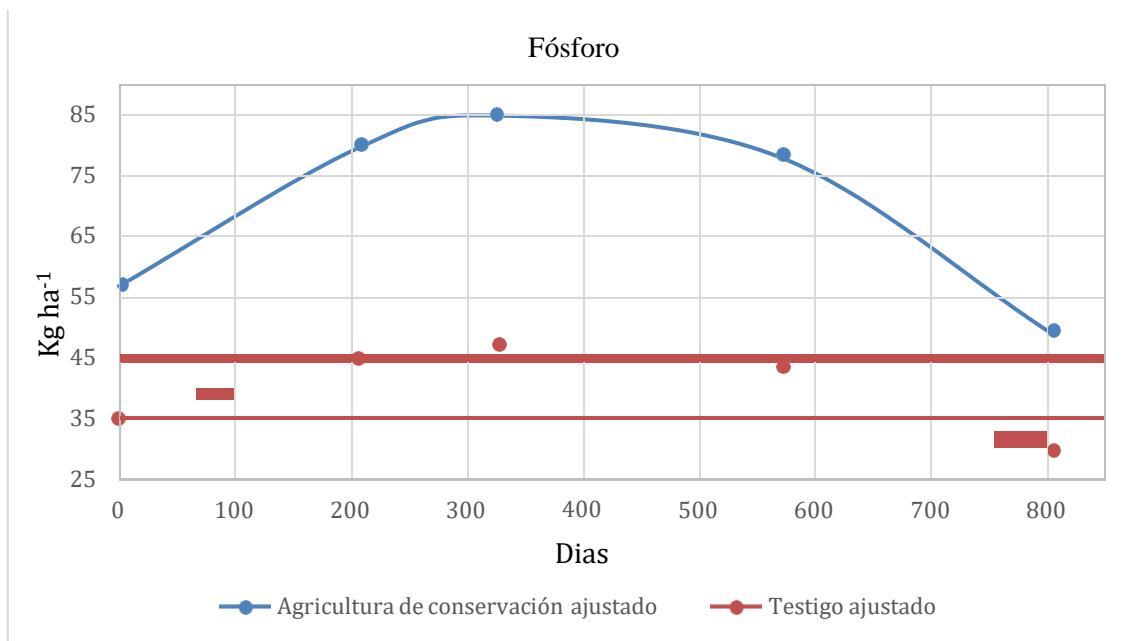


Gráfico 2-3: Modelos de fósforo Lineal y fósforo Cuadrático en relación a los contenidos de fósforo (P) en kg ha^{-1} .

Realizando por: SÁNCHEZ, Luis, 2021

Los resultados mostraron en base al análisis del elemento fósforo, que el modelo fósforo (P) Cuadrático para los tratamientos de agricultura de conservación permite analizar que la mejor respuesta para el contenido de fósforo (P) se consigue con el cultivo de avena-vicia a los 327 días durante la rotación de cultivos, con el valor máximo de $84,88 \text{ kg ha}^{-1}$, en comparación al testigo que tuvo un valor de $46,76 \text{ kg ha}^{-1}$ en el mismo número de días, podemos determinar que el promedio de los tratamientos de AC es superior en un 44.91 % al testigo en el contenido de fósforo (P).

El cultivo de papa fue donde se acumuló el contenido de fósforo (P) pero el cultivo de papa no aporta fósforo, al contrario, es un extractante, lo que aumentó el contenido de fósforo en el suelo fue la incorporación de fertilizantes edáficos, se sabe que el fósforo se asimila mejor vía foliar, por lo tanto, el contenido de fósforo aumentó en el suelo por la incorporación de fertilizantes edáficos y por la incorporación de los restos de cosecha.

Como presenta (MIELGO, 2019) quien dice que los abonos verdes incluidos en la rotación (avena-vicia), a diferencia del nitrógeno, no enriquecen el suelo con fósforo (P), potasio (K) u otros nutrientes, pero evitan que se den pérdidas de estos nutrientes en el suelo, lo que hacen es proteger a los nutrientes de la pérdida de los mismos por el lavado o escorrentías.

3.6. Análisis de potasio

La estadística de regresión de los tratamientos de agricultura de conservación para el contenido de potasio en kilogramos por hectárea (tabla 7-3), determinó que por cada día transcurrido el potasio lineal decrece en $-0,6988 \text{ kg ha}^{-1}$ y el potasio cuadrático se incrementa en $0,00061 \text{ kg ha}^{-1}$. El $R^2 = 0,741$ significa que los datos se ajustaron en un 74% a este modelo de regresión cuadrática que se expresa de la siguiente manera: $y = 545,47 - 0,6988x + 0,0006x^2$

Tabla 7-3: Estadísticas de regresión de los tratamientos de agricultura de conservación para el contenido de potasio (K).

Coeficiente de correlación múltiple	0,86051285					
Coeficiente de determinación R^2	0,74048237					
R^2 ajustado	0,48096474					
Error típico	64,4316746					
Observaciones	5					
	Coeficientes NH_4	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	545,4661	61,129731	8,9230915	0,012327	282,4461	808,4862
Días lineal	-0,698838	0,3595792	1,9434894	0,191415	2,245983	0,848306
Días cuadrático	0,000617	0,0004209	1,4668715	0,280089	-0,00119	0,002428

Realizando por: SÁNCHEZ, Luis, 2021

La estadística de regresión del Testigo para el contenido de potasio en kilogramos por hectárea (Tabla 10), determinó que por cada día transcurrido el potasio lineal se incrementa en $0,0719 \text{ kg ha}^{-1}$ y el potasio cuadrático decrece en $-0,0001 \text{ kg ha}^{-1}$. El $R^2 = 0,517$ significa que los datos se ajustaron en un 52 % a este modelo de regresión cuadrática que se expresa de la siguiente manera: $y = 254,69 + 0,0719x - 0,0001x^2$

Tabla 8-3: Estadísticas de regresión del Testigo para el contenido de potasio (K).

Coeficiente de correlación múltiple	0,71929051
Coeficiente de determinación R^2	0,51737884
R^2 ajustado	0,03475768
Error típico	21,1964943
Observaciones	5

	Coeficientes NH ₄	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior	Superior
					95%	95%
Intercepción	254,6896	20,110233	12,664681	0,006176	168,1623	341,2170
Días lineal	0,071867	0,1182930	0,6075373	0,605287	0,437106	0,580841
Días cuadrático	-0,000133	0,0001384	-0,9621180	0,437508	0,000729	0,000462

Realizando por: SÁNCHEZ, Luis, 2021

En el gráfico 3-3 se observan las respuestas de potasio Cuadrático en kg ha⁻¹ para los tratamientos de agricultura de conservación y el testigo, respecto a los días transcurridos y a los cultivos en rotación. La mejor respuesta se presenta en el promedio de los tratamientos de agricultura de conservación durante la rotación de los cultivos, mostrando el mayor contenido de potasio en el cultivo de haba a los 800 días con un valor de 372,02 kg ha⁻¹, versus el valor obtenido con el modelo potasio cuadrático del testigo en donde el valor fue de 247,68 kg ha⁻¹

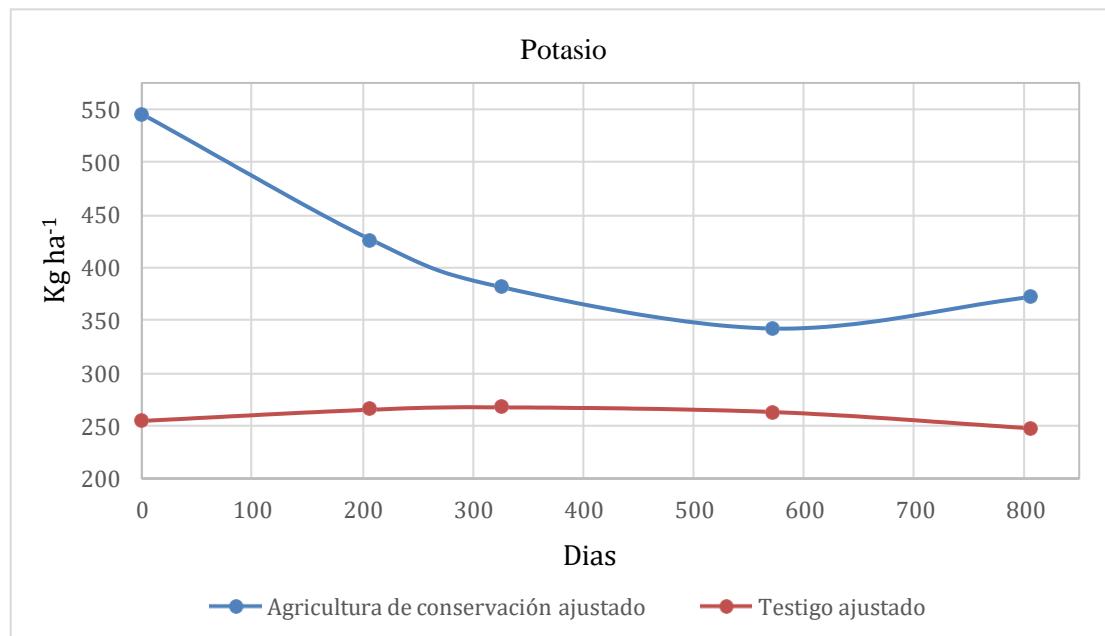


Gráfico 3-3: Modelos de potasio Lineal y potasio Cuadrático en relación a los contenidos de potasio (K) en kg ha⁻¹.

Realizando por: SÁNCHEZ, Luis, 2021

Los resultados mostraron en base al análisis del potasio, el modelo potasio (K) Cuadrático para los tratamientos de agricultura de conservación permite analizar la mejor respuesta para el contenido potasio (K) se consigue con el cultivo de haba a los 800 días durante la rotación de cultivos, el valor máximo de 372,02 kg ha⁻¹, en comparación al testigo que tuvo un valor de 247,68 kg ha⁻¹ en el mismo número de días, podemos determinar que el promedio de los tratamientos de agricultura de conservación es superior en un 33,42 % al testigo en contenido de potasio (K)

Las actividades principales fueron rotación de cultivos y la cobertura con residuos hasta el cultivo de haba en el trabajo de investigación, ya que, al incorporar los restos de cosecha anteriores, nos ayuda a que los elementos como el potasio (K) no se lixivien fácilmente, estén disponibles para la planta y a su vez el contenido de los elementos en la solución del suelo sea mayor, a través de esta práctica podemos observar en el gráfico 3 que el contenido de potasio (K) sigue en aumento.

Según (MINAGRI, 2018) nos dice que la colocación de cultivos de cobertura o incorporar restos de cosechas, protege el suelo reduciendo la erosión, el lavado de nutrientes, y mejorando el contenido de materia orgánica, lo que nos lleva a una mayor concentración de macro y microelementos en la solución del suelo.

3.7. Análisis de azufre

La estadística de regresión de los tratamientos de agricultura de conservación para el contenido de azufre en kilogramos por hectárea (tabla 9-3), determinó que por cada día transcurrido el azufre lineal decrece en -0,0067 kg ha⁻¹, y el azufre cuadrático se incrementó en 0,0000189 kg ha⁻¹. El R² = 0,338 significa que los datos se ajustaron en un 34% a este modelo de regresión cuadrática que se expresa de la siguiente manera: $y = 33,344 - 0,0067x + 0.0000189x^2$

Tabla 9-3: Estadísticas de regresión de los tratamientos de agricultura de conservación para el contenido de azufre (S).

Coeficiente de correlación múltiple	0,48820383				
Coeficiente de determinación R^2	0,23834298				
	-				
R^2 ajustado	0,52331405				
Error típico	17,9658513				
Observaciones	5				
	Coeficientes NH ₄	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95% Superior 95%
Intercepción	33,344053	17,04515	1,956219	0,189538	-39,9931 106,683
Días lineal	-0,0066481	0,100263	-0,066300	0,953162	-0,43804 0,42475
Días cuadrático	-1,8916E-05	0,000117	-0,161172	0,886766	-0,00052 0,00048

Realizando por: SÁNCHEZ, Luis, 2021

La estadística de regresión del testigo para el contenido de azufre en kilogramos por hectárea (tabla 10-3), determinó que por cada día transcurrido el azufre lineal se incrementó en $0,0062 \text{ kg ha}^{-1}$, y el azufre cuadrático decrece en $-0,000043 \text{ kg ha}^{-1}$. El $R^2 = 0,202$ significa que los datos se ajustaron en un 20% a este modelo de regresión cuadrática que se expresa de la siguiente manera: $y = 33,314 + 0,0062x - 0,0000439x^2$

Tabla 10-3: Estadísticas de regresión del Testigo para el contenido de azufre (S).

Coefficiente de correlación múltiple	0,54968309					
Coefficiente de determinación R^2	0,3021515					
R^2 ajustado	-0,395697					
Error típico	21,4204913					
Observaciones	5					
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
	NH ₄					
Intercepción	33,3140	20,3227	1,63925	0,242833	-54,16	120,755
Días lineal	0,00615	0,11954	0,05145	0,963636	-0,500	0,52050
Días cuadrático	-4,39E-05	0,00013	-0,31419	0,783119	-0,006	0,00055

Realizando por: SÁNCHEZ, Luis, 2021

En el gráfico 4-3 se observan las respuestas de azufre (S) Cuadrático en kg ha⁻¹ para los tratamientos de agricultura de conservación y el testigo, respecto a los días transcurridos y a los cultivos en rotación. La mejor respuesta se presenta en el promedio de los tratamientos de agricultura de conservación durante la rotación de los cultivos, mostrando el mayor contenido de azufre en el cultivo de papa a los 208 días, con un valor de 56.74 kg ha⁻¹, versus el valor obtenido con el modelo azufre cuadrático del testigo en donde el valor fue de 51.06 kg ha⁻¹

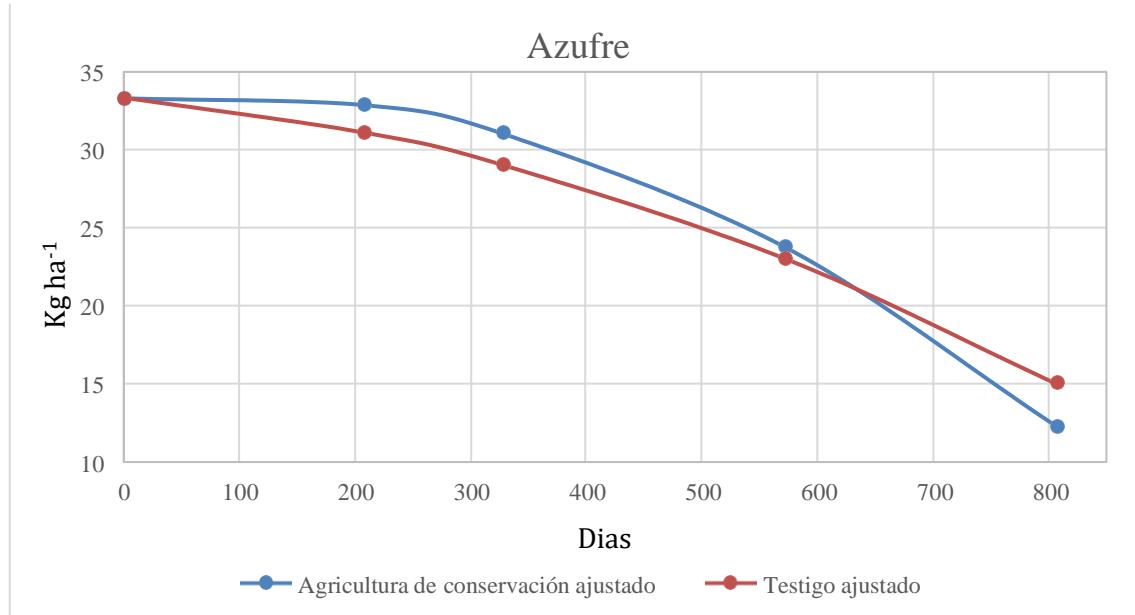


Gráfico 4-3: Modelos de azufre Lineal y azufre Cuadrático en relación a los contenidos de azufre en kg ha⁻¹.

Realizando por: SÁNCHEZ, Luis, 2021

Los resultados mostraron en base al análisis del azufre, el modelo azufre (S) Cuadrático para los tratamientos de agricultura de conservación y el testigo, permite analizar que la mejor respuesta

para el contenido azufre (S) se consigue con el cultivo de papa a los 208 días durante la rotación de cultivos, con el valor máximo de 32.87 kg ha^{-1} , en comparación al testigo que tuvo un valor de 31.11 kg ha^{-1} en el mismo número de días, podemos determinar que el promedio de los tratamientos de AC es superior en un 5.35 % al testigo en contenido de azufre (S)

Al implementar las prácticas de agricultura de conservación como la rotación de cultivos y la cobertura con residuos, a los 208 días en el cultivo de papa, el contenido, reciclaje y mantenimiento de azufre mejoró en relación al testigo y a los demás cultivos en estudio.

(REYNOSO, 2016) señala que los cultivos de cobertura, la cobertura con rastrojos y la incorporación de restos de cosecha mejoran la fertilidad del suelo mediante el aporte de la materia orgánica, disminuyendo la tasa de erosión, protege los elementos que están en la solución del suelo de la erosión.

3.8. Análisis de magnesio.

La estadística de regresión de los tratamientos de agricultura de conservación para el contenido de magnesio en kilogramos por hectárea (tabla 11-3), determinó que por cada día transcurrido el magnesio lineal decrece en $-7,428 \text{ kg ha}^{-1}$, y el magnesio cuadrático se incrementa en $0,0079 \text{ kg ha}^{-1}$. El $R^2 = 0,9107$ significa que los datos se ajustaron en un 91% a este modelo de regresión cuadrática que se expresa de la siguiente manera: $y = 2800 - 7.4284x + 0.0079x^2$

Tabla 11-3: Estadísticas de regresión de los tratamientos de agricultura de conservación para el contenido de magnesio (Mg).

Coeficiente de correlación múltiple	0,95432674					
Coeficiente de determinación R^2	0,91073954					
R^2 ajustado	0,82147907					
Error típico	298,64034					
Observaciones	5					
	Coeficientes NH ₄	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior95%
Intercepción	2800,0294	283,3358	9,882368	0,010084	1580,933	4019,12517
Días lineal	-7,4284457	1,666647	-4,457118	0,046829	14,59944	-0,2574402
Días cuadrático	0,0079258	0,001950	4,062612	0,055584	0,000468	0,01631986

Realizando por: SÁNCHEZ, Luis, 2021

La estadística de regresión del Testigo para el contenido de magnesio en kilogramos por hectárea (Tabla 14), determinó que por cada día transcurrido el magnesio lineal decrece en -6,552 kg ha⁻¹, y el magnesio cuadrático se incrementa en 0,007 kg ha⁻¹. El R² = 0,784 significa que los datos se ajustaron en un 78% a este modelo de regresión cuadrática que se expresa de la siguiente manera:
 $y = 2683,5 - 6,552x + 0,007x^2$

Tabla 12-3: Estadísticas de regresión del Testigo para el contenido de magnesio (Mg).

Coeficiente de correlación múltiple	0,88562616					
Coeficiente de determinación R^2	0,7843337					
R^2 ajustado	0,5686674					
Error típico	440,899329					
Observaciones	5					
	Coeficientes NH ₄	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior95%
Intercepción	2683,523	418,304	6,41524	0,0234470	883,704	4483,34
Días lineal	-6,55254	2,46056	2,66301	0,1168135	-17,139	4,03442
Días cuadrático	0,007001	0,00288	2,43093	0,1356289	-0,0053	0,01939

Realizando por: SÁNCHEZ, Luis, 2021

En la gráfico 5-3 se observan las respuestas de magnesio (Mg) Cuadrático en kg ha^{-1} para los tratamientos de agricultura de conservación y el testigo, respecto a los días transcurridos y a los cultivos en rotación, La mejor respuesta se presenta en los tratamientos de agricultura de conservación durante la rotación de los cultivos, mostrando el mayor contenido de magnesio en el cultivo de haba a los 800 días, con un valor $1892,1 \text{ kg ha}^{-1}$, versus el valor obtenido con el modelo magnesio cuadrático del testigo en donde el valor fue de $1888,85 \text{ kg ha}^{-1}$

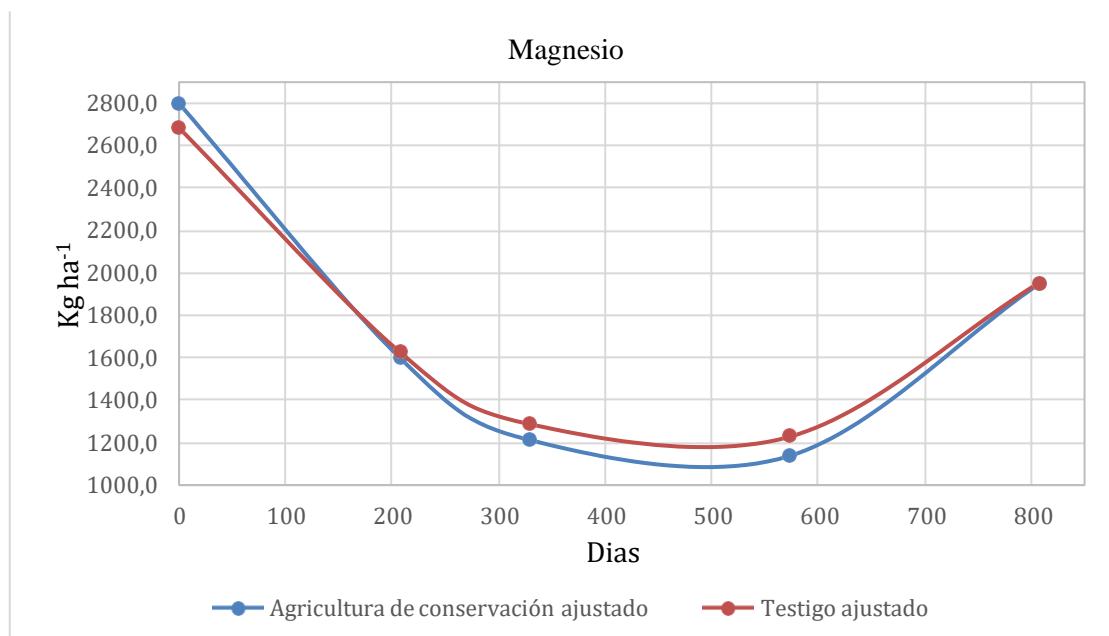


Gráfico 5-3: Modelos de magnesio (Mg) Lineal y magnesio (Mg) Cuadrático en relación a los contenidos de magnesio (Mg) en kg ha^{-1} .

Realizando por: SÁNCHEZ, Luis, 2021

Los resultados mostraron en base al análisis del Magnesio, el modelo magnesio (Mg) Cuadrático para los tratamientos de agricultura de conservación permite analizar que la mejor respuesta para el contenido magnesio (Mg) se consigue con el cultivo de haba a los 800 días durante la rotación de cultivos, con el valor máximo de $1892,1 \text{ kg/ha}$, en comparación al testigo que tuvo un valor de $1888,85 \text{ kg/ha}$ en el mismo número de días, podemos determinar que el promedio de los tratamientos de agricultura de conservación es superior en un 0.17 % al testigo en contenido de magnesio (Mg)

La mejor respuesta en términos de contenido, reciclaje y aportación de magnesio, se encontró con prácticas de agricultura de conservación durantela rotación de cultivos y la coberturacon residuos a los 800 días en el cultivo de haba, hasta los días que finalizó el cultivo en el trabajo de investigación, ya que al incorporar los restos de cosecha anteriores y al implementar la rotación de cultivos, estos ayudan a que los elementos como el magnesio no se lixivien fácilmente, estén

disponibles para la planta y a su vez el contenido de los elementos en la solución del suelo sea mayor, a través de estas prácticas podemos observar en el gráfico 4 que el contenido de magnesio sigue en aumento.

Como manifiesta (PÉREZ, 2015) quien dice que, al implementar la rotación de cultivos, mejora de la fertilidad del suelo y su contenido en nutrientes disponibles para las plantas, reduce las pérdidas de nutrientes por erosión y mejora o mantiene los contenidos de materia orgánica.

(BIANCHINI, 2018) dice que al implementar los cultivos de cobertura mejora la captación e ingreso de agua, lo que beneficia a que los nutrientes del suelo no se pierdan por lixiviación o escorrentía, y beneficia principalmente al aumento del carbono en el suelo.

3.9. Productividad de los suelos

El factor productividad o rendimiento de los cultivos en estudio (papa, avena-vicia, cebada, haba) fue influenciado por los factores en investigación: conservación con zanjas, labranza reducida y cobertura de suelos, estos fueron significativos ($Pr \leq 0.05$) y altamente significativos ($Pr \leq 0.01$), estadísticamente. La partición de la suma de cuadrados de los tratamientos en estudio mostró la importancia de cada factor y las interacciones evaluadas.

3.10. Rendimiento del cultivo de papa en t/ha

Análisis de varianza para el rendimiento en toneladas por hectárea del cultivo de papa determinó diferencias altamente significativas para tratamientos de agricultura de conservación versus testigo, con un coeficiente de variación de 8,67% (tabla 13-3)

Tabla 13-3: Análisis de varianza para el rendimiento en t ha⁻¹ del cultivo de papa.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Papa
Repeticiones	2	0.86 ns
Conservación (A)	1	4.60 ns
Error experimental	2	1.74
Labranza (B)	1	18.43 *
A x B	1	3.46 ns
Cobertura (C)	1	3.49 ns
A x C	1	6.75 ns
B x C	1	8.23 ns
A x B x C	1	12.69 *
T (1-8) vs T9	1	30.74 **
Error experimental	14	2.21
Total	26	
CV (%)		8.67
Promedio t ha⁻¹		16.91

Fuente: Barrera et al., 2020

Realizando por: SÁNCHEZ, Luis, 2021

La prueba LSD al 5% en la tabla 16, para el rendimiento del cultivo de papa en toneladas por hectárea presenta 3 grupos, en el grupo “a” se ubica el mayor rendimiento por hectárea de la interacción con zanjas - labranza convencional - cultivo sin residuo, con una media 19.27 toneladas por hectárea, mientras que en el grupo “c” se ubica con el menor rendimiento por hectárea la interacción con zanjas-labranza reducida - cultivo sin residuo, con una media de 14,13 toneladas por hectárea.

Tabla 14-3: Promedios y pruebas de LSD al 5% para el rendimiento en t ha⁻¹ del cultivo de papa.

Factores en estudio	Rendimiento en t ha ⁻¹
Papa	
Conservación:	
Sin zanjas	17.73 a
Con zanjas	16.85 a
Labranza:	
Convencional	18.17 a
Reducida	16.41 b
Conservación por Labranza:	
Sin zanjas – convencional	18.22 a
Sin zanjas – reducida	17.23 a
Con zanjas – convencional	18.11 a
Con zanjas – reducida	15.60 b
Cobertura:	
Sin residuo	17.67 a
Con residuo	16.91 a
Conservación por Labranza por Cobertura:	
Sin zanjas-convencional-sin residuo	18.99 a
Sin zanjas-convencional-con residuo	17.45 ab
Sin zanjas-reducida-sin residuo	18.28 ab
Sin zanjas-reducida-con residuo	16.18 bc
Con zanjas-convencional-sin residuo	19.27 a
Con zanjas-convencional-con residuo	16.94 ab
Con zanjas-reducida-sin residuo	14.13 c
Con zanjas-reducida-con residuo	17.06 ab
Testigo versus el Resto	
Testigo	13.89 b
Prácticas de Agricultura de conservación	17.29 a

Fuente: Barrera et al., 2020

Realizando por: SÁNCHEZ, Luis, 2021

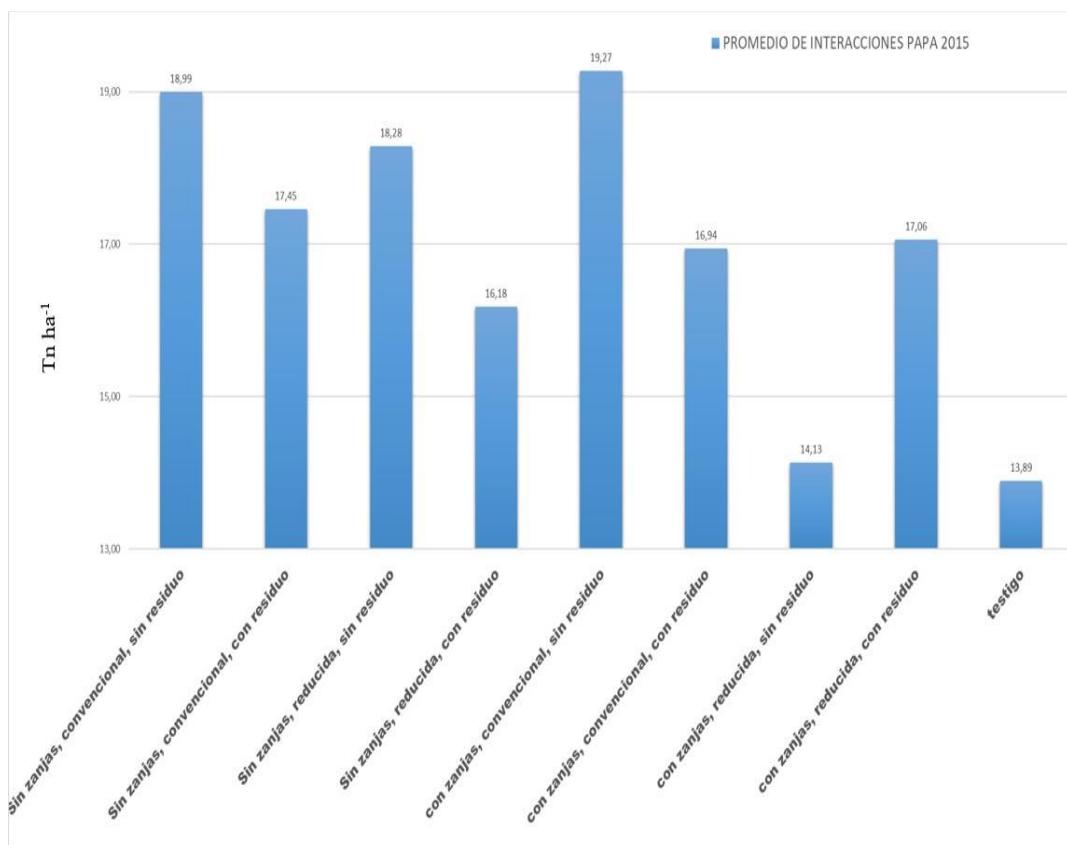


Gráfico 6-3: Promedio de toneladas por hectárea del cultivo de papa

Realizando por: SÁNCHEZ, Luis, 2021

Los resultados mostraron que en base al análisis del rendimiento de papa en $t\text{ ha}^{-1}$, fue superior en 10% con la labranza convencional al compararlo con la labranza reducida; en esta misma variable, las interacciones conservación con zanjas - labranza convencional - cobertura sin residuo, con rendimiento de $19.27\text{ t}\text{ ha}^{-1}$, fue la mejor que el resto de interacciones, en relación con el testigo con rendimiento de $13.89\text{ t}\text{ ha}^{-1}$, que lo supera en un 27,92% de su rendimiento. Las prácticas de agricultura de conservación muestran un incremento en el rendimiento de papa de 19.66% en relación al testigo del agricultor.

Según la (FAO, 2013) nos dice que cultivar papa con prácticas de agricultura de conservación reduce el riesgo de erosión del suelo y filtración de nitratos, mejora la ventilación de las capas más profundas del suelo, facilita la penetración de las raíces y a su vez contribuye al buen desarrollo de los tubérculos, mejorando la cantidad y la calidad de la papa.

3.11. Rendimiento del cultivo de avena-vicia en t/ha

Análisis de varianza para el rendimiento en toneladas por hectárea del cultivo de avena-vicia determinó diferencias altamente significativas para repeticiones, conservación, labranza, cobertura y tratamientos de agricultura de conservación versus testigo, con un coeficiente de variación de 3,08% (Tabla 15-3)

Tabla 15-3: Análisis de varianza para el rendimiento en t/ha del cultivo de avena-vicia.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Avena-Vicia
Repeticiones	2	17.91 **
Conservación (A)	1	13.17 **
Error experimental	2	0.17
Labranza (B)	1	389.30 **
A x B	1	3.29 *
Cobertura (C)	1	18.55 **
A x C	1	0.82 ns
B x C	1	0.46 ns
A x B x C	1	0.21 ns
T(1-8) vs T9	1	67.92 **
Error experimental	14	0.61
Total	26	
CV (%)		3.08
Promedio t ha⁻¹		24.12

Fuente: Barrera et al., 2020

Realizando por: SÁNCHEZ, Luis, 2021

La prueba LSD al 5% en la tabla 18 para el rendimiento del cultivo de avena-vicia en toneladas por hectárea presenta 3 grupos, en el grupo “a” se ubica el mayor rendimiento por hectárea de la interacción con zanjas - labranza reducida - cultivo con residuo, con una media 31,11 toneladas por hectárea, mientras que en el grupo “c” se ubica con el menor rendimiento por hectárea la interacción Sin zanjas – labranza convencional, con una media de 20,28 toneladas por hectárea.

Tabla 16-3: Promedios y pruebas de LSD al 5% para el rendimiento en t ha⁻¹ del cultivo de avena- vicia

Factores en estudio	Rendimiento en t ha⁻¹
	Avena-Vicia
Conservación:	
Sin zanjas	23.94 b
Con zanjas	25.42 a
Labranza:	
Convencional	20.65 b
Reducida	28.70 a
Conservación por Labranza:	
Sin zanjas – convencional	20.28 c
Sin zanjas – reducida	27.59 b
Con zanjas – convencional	21.02 c
Con zanjas – reducida	29.82 a
Cobertura:	
Sin residuo	23.80 b
Con residuo	25.56 a
Conservación por Labranza por Cobertura:	
Sin zanjas-convencional-sin residuo	19.63 a
Sin zanjas-convencional-con residuo	20.93 a
Sin zanjas-reducida-sin residuo	26.85 a
Sin zanjas-reducida-con residuo	28.33 a
Con zanjas-convencional-sin residuo	20.19 a
Con zanjas-convencional-con residuo	21.85 a
Con zanjas-reducida-sin residuo	28.52 a
Con zanjas-reducida-con residuo	31.11 a
Testigo versus el Resto	
Testigo	19.63 b
Prácticas de Agricultura de conservación	24.68 a

Fuente: Barrera et al., 2020

Realizando por: SÁNCHEZ, Luis, 2021

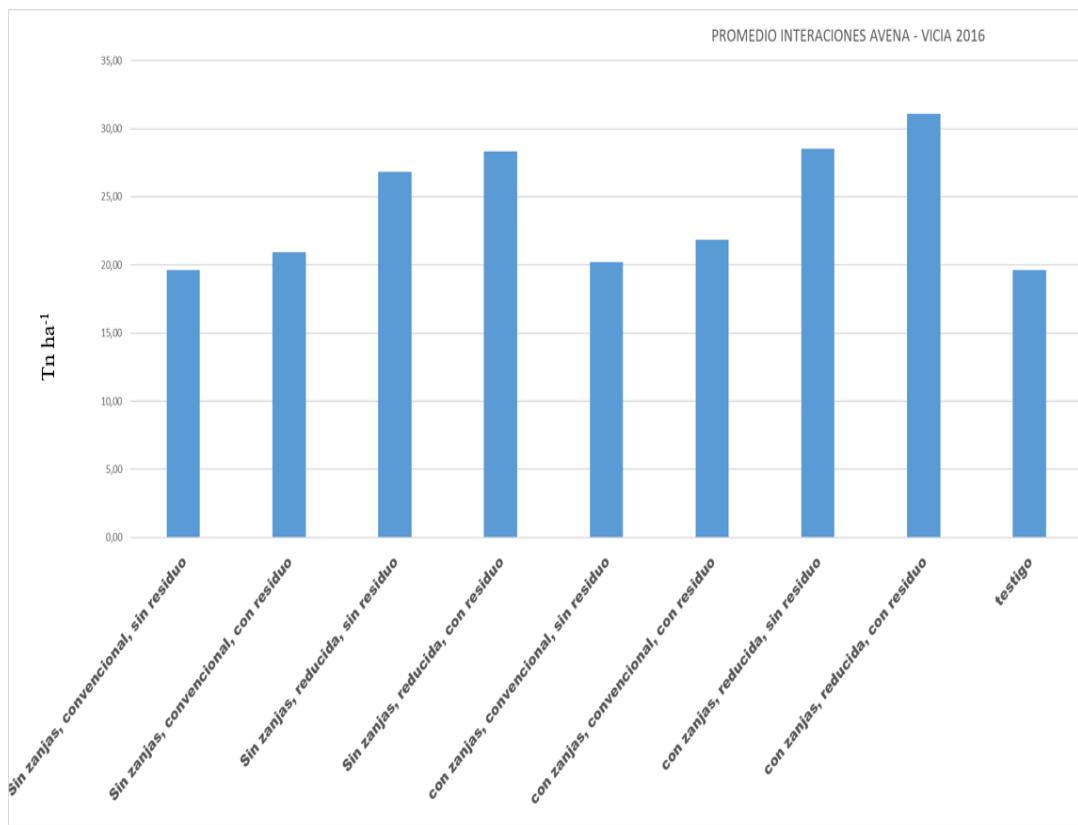


Gráfico 7-3: Promedio de toneladas por hectáreas del cultivo de avena-vicia

Realizando por: SÁNCHEZ, Luis, 2021

En la variable rendimiento de avena-vicia en $t \text{ ha}^{-1}$, tenemos que la conservación con zanjas, labranza reducida y cobertura con residuo presentan rendimientos superiores en 5.82%, 28.1% y 6.88% a los obtenidos con la conservación sin zanjas, labranza convencional y cobertura sin residuo, respectivamente; la interacción conservación con zanjas – labranza reducida – cultivo con residuo fue la mejor interacción, con un rendimiento de 31.11 t ha^{-1} en relación con el testigo, que lo supera en un 36.9% de su rendimiento. Es importante señalar que, en promedio, las prácticas de agricultura de conservación, muestran un incremento en el rendimiento de avena-vicia de 20.46 % en relación al testigo del agricultor.

Como manifiesta (VALAREZO, 2017) dice que los resultados de las prácticas de agricultura de conservación aplicadas en cultivos como papa, avena-vicia y haba, tienen un efecto positivo en el rendimiento debido al mínimo laboreo del suelo y el mantenimiento permanente de cobertura vegetal por la no remoción de residuos de cosecha en relación con la parcela testigo que se obtuvo rendimientos mínimos.

3.12. Rendimiento del cultivo de cebada en t/ha

Análisis de varianza para el rendimiento en toneladas por hectárea del cultivo de cebada determinó diferencias altamente significativas para repeticiones, labranza y tratamientos de agricultura de conservación versus testigo, con un coeficiente de variación de 8,22% (Tabla 17-3)

Tabla 17-3: Análisis de varianza para el rendimiento en t ha⁻¹ del cultivo de cebada.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cebada
Repeticiones	2	3.34 **
Conservación (A)	1	0.05 ns
Error experimental	2	0.01
Labranza (B)	1	0.83 **
A x B	1	0.08 ns
Cobertura (C)	1	0.34 *
A x C	1	0.01 ns
B x C	1	0.00 ns
A x B x C	1	0.03 ns
T(1-8) vs T9	1	3.43 **
Error experimental	14	0.06
Total	26	
CV (%)		8.22
Promedio t ha⁻¹		2.72

Fuente: Barrera et al., 2020, en revisión

Realizando por: SÁNCHEZ, Luis, 2021

La prueba LSD al 5% en la tabla 20, para el rendimiento del cultivo de cebada en toneladas por hectárea presenta 2 grupos, en el grupo “a” se ubica el mayor rendimiento por hectárea de la interacción con zanjas - labranza reducida - cultivo con residuo, con una media 3,20 toneladas por hectárea, mientras que en el grupo “b” se ubica con el menor rendimiento la labranza convencional con una media de 2,66 toneladas por hectárea.

Tabla 18-3: Promedios y pruebas de LSD al 5% para el rendimiento en t ha⁻¹ del cultivo de cebada.

Factores en estudio	Rendimiento en t ha ⁻¹	
	1	Cebada
Conservación:		
Sin zanjas	2.80 a	
Con zanjas	2.90 a	
Labranza:		
Convencional	2.66 b	
Reducida	3.04 a	
Conservación por Labranza:		
Sin zanjas – convencional	2.56 b	
Sin zanjas – reducida	3.05 a	
Con zanjas – convencional	2.77 b	
Con zanjas – reducida	3.03 a	
Cobertura:		
Sin residuo	2.73 b	
Con residuo	2.97 a	
Conservación por Labranza por Cobertura:		
Sin zanjas-convencional-sin residuo	2.43 a	
Sin zanjas-convencional-con residuo	2.69 a	
Sin zanjas-reducida-sin residuo	2.97 a	
Sin zanjas-reducida-con residuo	3.13 a	
Con zanjas-convencional-sin residuo	2.68 a	
Con zanjas-convencional-con residuo	2.86 a	
Con zanjas-reducida-sin residuo	2.85 a	
Con zanjas-reducida-con residuo	3.20 a	
Testigo versus el Resto		
Testigo	1.72 b	
Prácticas de Agricultura de conservación	2.85 a	

Fuente: Barrera et al., 2020

Realizando por: SÁNCHEZ, Luis, 2021

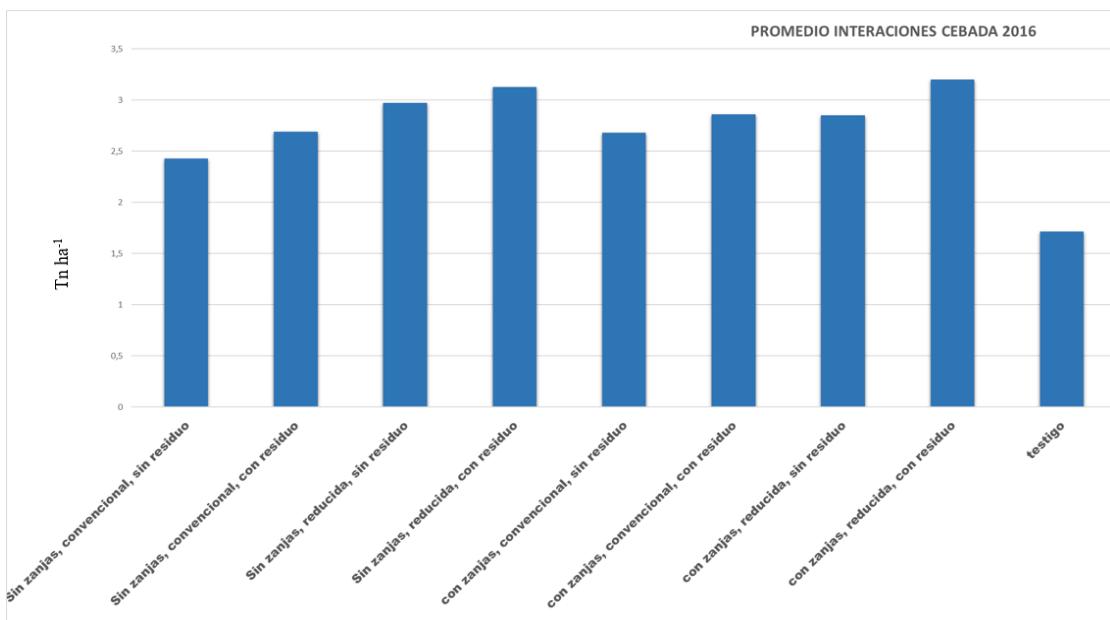


Gráfico 8-3: Promedio de toneladas por hectárea del cultivo de cebada

Realizando por: SÁNCHEZ, Luis, 2021

Los resultados encontrados para la variable rendimiento de cebada en $t\ ha^{-1}$, señalan que la labranza reducida y cobertura con residuo presentan rendimientos superiores en 12.5% y 8.1% a los rendimientos obtenidos con la labranza convencional y cobertura sin residuo, respectivamente, la interacción conservación con zanjas – labranza reducida – cultivo con residuo, fue la mejor interacción con un rendimiento de $3.20\ t\ ha^{-1}$ en relación con el testigo, que lo superaen un 46.25% de su rendimiento. Es importante señalar que, en promedio, las prácticas de agricultura de conservaciónmuestran un incremento en el rendimiento de cebadade 39.65% en relación al testigo del agricultor.

(VERHULST, 2015) dice que al sembrar cebada con prácticas de agricultura de conservación puede asegurar una producción agrícola más sustentable y sostenible, ya que a la producción puede aumentar en un 35% con respecto a la agricultura convencional, también mejora la retención de humedad, aumenta la cantidad y calidad de la materia orgánica y por la cobertura del suelo no permite el brote de malezas , porende tenemos más nutrientes que están disponibles para el cultivo, así, menoran los gastos en fertilizantes químicos y en productos químicos para control de malezas.

3.13. Rendimiento del cultivo de haba en t/ha

Análisis de varianza para el rendimiento en toneladas por hectárea del cultivo de haba determinó diferencias altamente significativas para labranza, cobertura y tratamientos de agricultura de conservación versus testigo, con un coeficiente de variación de 11.39%. (Tabla 19-3)

Tabla 19-3: Análisis de varianza para el rendimiento en t/ha del cultivo de haba.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Haba
Repeticiones	2	7.58 *
Conservación (A)	1	0.16 ns
Error experimental	2	2.73
Labranza (B)	1	21.11 **
A x B	1	0.62 ns
Cobertura (C)	1	14.68 **
A x C	1	2.36 ns
B x C	1	1.58 ns
A x B x C	1	0.06 ns
T(1-8) vs T9	1	41.04 **
Error experimental	14	1.36
Total	26	
CV (%)		11.39
Promedio t ha⁻¹		10.85

Fuente: Barrera et al., 2020

Realizando por: SÁNCHEZ, Luis, 2021

La prueba LSD al 5% en la tabla 20-3, para el rendimiento del cultivo de haba en toneladas por hectárea presenta 2 grupos, en el grupo “a” se ubica el mayor rendimiento por hectárea de la interacción sin zanjas - labranza reducida - cultivo con residuo, con una media 12,94 toneladas por hectárea, mientras que en el grupo “b” se ubica con el menor rendimiento por hectárea la labranza convencional con una media de 10,35 toneladas por hectárea.

Tabla 20-3: Promedios y pruebas de LSD al 5% para el rendimiento en t/ha del cultivo de haba.

Factores en estudio	Rendimiento en t ha ⁻¹	
	Haba	GRUPOS
Conservación:		
Sin zanjas	11.37	a
Con zanjas	11.21	a
Labranza:		
Convencional	10.35	b
Reducida	12.24	a
Conservación por Labranza:		
Sin zanjas – convencional	10.59	b
Sin zanjas – reducida	12.15	a
Con zanjas – convencional	10.11	b
Con zanjas – reducida	12.30	a
Cobertura:		
Sin residuo	10.50	b
Con residuo	12.07	a
Conservación por Labranza por Cobertura:		
Sin zanjas-convencional-sin residuo	9.19	a
Sin zanjas-convencional-con residuo	11.99	a
Sin zanjas-reducida-sin residuo	11.35	a
Sin zanjas-reducida-con residuo	12.94	a
Con zanjas-convencional-sin residuo	9.43	a
Con zanjas-convencional-con residuo	10.78	a
Con zanjas-reducida-sin residuo	12.04	a
Con zanjas-reducida-con residuo	12.56	a
Testigo versus el Resto		
Testigo	7.36	b
Prácticas de Agricultura de conservación	11.29	a

Fuente: Barrera et al., 2020, en revisión

Realizando por: SÁNCHEZ, Luis, 2021

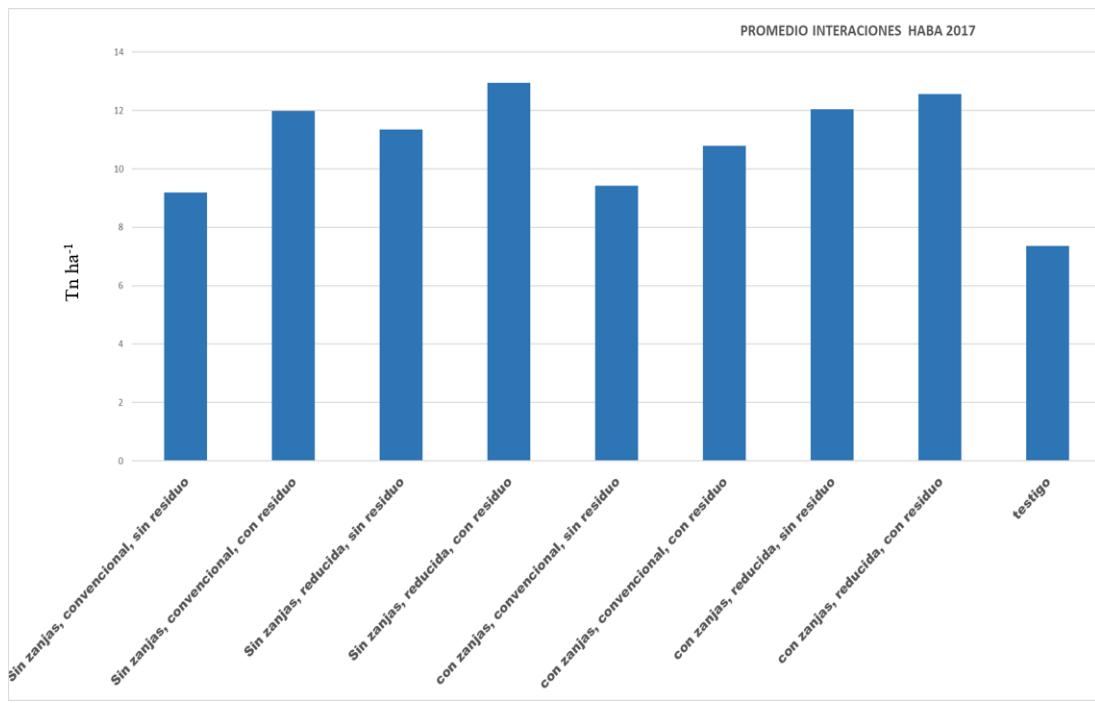


Gráfico 9-3: Promedio de toneladas por hectárea del cultivo de haba

Realizando por: SÁNCHEZ, Luis, 2021

En la variable rendimiento de haba en $t\text{ ha}^{-1}$, la labranza reducida y cobertura con residuo reportaron rendimientos superiores en 15.44% y 13.01% a los obtenidos con la labranza convencional y cobertura sin residuo, respectivamente. la interacción conservación sin zanjas – labranza reducida – cultivo con residuo, fue la mejor interacción con un rendimiento de 12.94 $t\text{ ha}^{-1}$ en relación con el testigo, que lo supera en un 43.12% de su rendimiento. En promedio, las prácticas de agricultura de conservación, muestran un incremento en el rendimiento de haba de 34.80% en relación al testigo del agricultor.

Según (VALAREZO, 2017) en su estudio de implementación de prácticas de agricultura de conservación en el cultivo de haba nos dice que al comparar los rendimientos de los tratamientos con prácticas de agricultura de conservación versus el testigo obtuvo un incremento en el rendimiento, el cultivo de haba con prácticas de agricultura de conservación superó en un 48% al testigo en términos de producción.

CONCLUSIONES

La investigación sobre las “Prácticas de agricultura de conservación en la microcuenca del río Sicalpa, Ecuador”, probó la hipótesis que estas prácticas muestran un beneficio positivo en mantener y mejorar el contenido de nutrientes en el suelo y en los rendimientos en t ha⁻¹ de los cultivos en rotación (papa, avena-vicia, cebada y haba).

Del análisis de los resultados obtenidos para las variables de fertilidad del suelo sobre los contenidos de nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y magnesio, en los cultivos en rotación, se concluye que, al realizar la conservación con zanjas de desviación de agua, labranza reducida y mantener un suelo cubierto con residuo de cosecha y con un cultivo de cobertura como avena-vicia, sí contribuye a mantener y aumentar la concentración de estos elementos en el suelo,

Exceptuando el elemento azufre que tanto con las prácticas de agricultura de conservación como con el tratamiento testigo, hubo una decreción y cada vez mayor pérdida de este elemento con los cultivos en rotación.

Al análisis de los resultados obtenidos para las variables de rendimiento de los cultivos en rotación, se concluye que, al realizar la conservación con zanjas de desviación de agua, labranza reducida y mantener un suelo cubierto con residuo de cosecha y con un cultivo de cobertura como avena-vicia, sí contribuye a incrementar los rendimientos de los cultivos de papa, avena-vicia, cebada y haba.

Las zanjas de desviación de agua mejoraron la productividad del cultivo de avena-vicia en 20.46 % en relación al testigo del agricultor, y revela que puede desempeñar un papel importante en la productividad de los cultivos. Además, la labranza reducida y la cobertura con residuo, también fueron prácticas de agricultura de conservación que mejoraron positivamente el rendimiento de los cultivos de papa, avena-vicia, cebada, haba.

RECOMENDACIONES

Es importante que los estudios de investigación en colaboración con los agricultores sigan proporcionando información de los beneficios de las zanjas de desviación de agua, labranza reducida y cobertura con residuos, para mejorar la sostenibilidad de los sistemas de producción agrícola de esta microcuenca y de la Región Andina del Ecuador en general, para minimizar las amenazas que sufre la agricultura y garantizar la seguridad alimentaria en un clima cambiante.

Las prácticas de agricultura de conservación investigadas son alternativas que los agricultores de la microcuenca del río Sicalpa podrían usar para incrementar sus ingresos económicos, mejorar la fertilidad del suelo, por ende, la productividad de sus cultivos y la sostenibilidad de sus sistemas.

Realizar trabajos de investigación con la implementación de otros cultivos de importancia económica de la zona, como: pastos, maíz, cultivos asociados como papa-haba, maíz-frejol. Etc

Valorar la retención de humedad, como aporte de la implementación de las zanjas de desviación y los cultivos con cobertura vegetal.

GLOSARIO

Agricultura de conservación: Es un sistema de cultivo que puede prevenir la pérdida de tierras cultivables y a la vez regenerar las tierras degradadas. La agricultura de conservación fomenta el mantenimiento de una cobertura permanente de los suelos, el laboreo mínimo de las tierras y la diversificación de especies vegetales (¿Qué es la agricultura de conservación?, 2020, p. 15).

Escorrentías: La corriente de agua que se vierte al rebasar su depósito o cauce naturales o artificiales (WordReference 2021).

Lixivien: Tratar una sustancia con el disolvente adecuado para obtener su parte soluble («lixivien» [sin fecha], p. 2)

Macollamiento: Etapa fisiológica o de desarrollo de un cultivo, en la que se obtienen de una misma cepa o planta varios tallos, los cuales con un adecuado manejo logran alcanzar la madurez fisiológica (Anaid 2012, p. 18).

Microelementos: Son aquellos elementos nutritivos que, siendo esenciales, son utilizados por las plantas en cantidades relativamente bajas o muy bajas (Villafuerte, 2018, p. 19)
Rotación de cultivos: Consiste en alternar plantas de diferentes familias y con necesidades nutritivas diferentes en un mismo lugar durante distintos ciclos, evitando que el suelo se agote y que las enfermedades que afectan a un tipo de plantas se perpetúen en un tiempo determinado (WordReference 2021).

Sustentable: Es aquel que se puede mantenerse en el tiempo por sí mismo, sin ayuda exterior y sin que se produzca la escasez de los recursos existentes (Barahona Amores, 2012, p. 17)

Urea: Fertilizante nitrogenado de gran riqueza, hasta un 46% de nitrógeno, muy soluble en agua (Escudero et al. 2014, p. 9).

Zanjas: Excavaciones lineales, abiertas y asentadas en el terreno, accesibles a los operarios, y realizadas con medios manuales o mecánicos (Guzmán Casado et al. 2008, p. 19).

BIBLIOGRAFÍA

ALARCÓN BARRENO, Juan José. *Agropinos.com* [blog].[Consultado: 14 junio 2020].

Disponible en: <https://www.agropinos.com/en-qué-consiste-la-agricultura-de-conservación>

ALWANG, Jeffrey, NORTON, George, BARRERA, Victor & BOTELLA, Ruben. *Conservation agriculture in the andean highlands* [en linea] . Berlin Heidelberg-USA: Springer Geography, 2013. [Consultado: 14 agosto 2020]. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-642-33584-6_3.

BARRERA, Victor, ESCUDERO, Luis, ALWANG, Jeffrey & ANDRADE, Roberto. "Integrated management of natural resources in the ecuador highlands". *Agricultural sciences* [en linea], 2012, (United State of America) 03(05), pp. 768-779 [Consultado: 10 agosto 2020]. ISSN 768-779. Disponible en: <http://www.scirp.org/Journal/Paperabs.aspx?paperid=22558>

BARRERA, Victor; et al. *Manejo del sistema de producción papa-leche en la sierra ecuatoriana*. Quito-Ecuador: Abya-Yala, 2014, pp. 1-19.

BIANCHINI, Agustín. *Beneficios de los cultivos de cobertura*. [en linea] [Consultado: 10 julio 2020]. Disponible en: <https://horizonteadigital.com/beneficios-de-los-cultivos-de-cobertura-por-agustin-bianchini-okandu/>

CABALLERO, Isabel. *Agricultura de Conservacion*. [blog].[Consultado: 14 junio 2020]. Disponible en: <https://isabelcaballero.com/agricultura-de-conservacion-o-agricultura-sin-labranza/>

CAÑADAS CRUZ, Luis. *El Mapa Bioclimático y Ecológico del Ecuador*. Quito-Ecuador: Quito Ministerio de Agricultura (MAG), Programa Nacional de Regionalización Agraria (PRONAREG), Auspicio Banco Central del Ecuador, 1983, pp 10-50.

CÉSPEDES, Cecilia. "Manejo de la fertilidad del suelo". *Chillan: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias* [en línea], 2010, (Chile) 1(208) [Consultado: 14 agosto 2020]. ISSN 1090-7803. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/7359>

CHILON, CAMACHO, Eduardo. "Revolucion verde" Agricultura y suelo, aporte y controversias. Revista Apthapi,[en línea], 2017, (Bolivia) 3(3) , [Consultado: 20 agosto 2020]. pp.844-859. ISSN 0102-0304. Disponible en: http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?script=sci_isoref&pid=S0102-03042017000300019&lng=es&tLng=es

DIAZ, Abel. *La importancia de la fertilidad de los suelos* [blog]. [Consultado: 4 agosto 2020]. Disponible en: <https://www.viveroscalifornia.com/curiosidades/plantas-de-fresas-fertilidad-suelo>

DÍAZ, Fernando. *Los suelos productivos* [blog]. [Consultado: 1 septiembre 2020]. Disponible en: <https://www.abc.com.py/edicion-impresa/suplementos/abc-rural/los-suelos-productivos---ing-agr-fernando-diaz-shenker--1536064.html>

DONOVAN, Mary. *¿Qué es la agricultura de conservación?* [blog]. [Consultado: 12 septiembre 2020]. Disponible en: <https://www.cimmyt.org/es/noticias/que-es-la-agricultura-de-conservacion/>

ESCUDERO, Luis, DELGADO, Jorge, MONAR, Carlos, VALVERDE, Franklin, BARRERA, Víctor & ALWANG, Jeffrey. "A new nitrogen index for assessment of nitrogen management of andean mountain cropping systems of Ecuador". Soil science [en línea], 2014,(Ecuador), 179 (3), [Consultado: 10 julio 2020]. ISSN 0038-075X Disponible en: https://journals.lww.com/soilsci/Abstract/2014/03000/A_New_Nitrogen_Index_for_Assessment_of_Nitrogen.3.aspx

ESPIN, Adriana. Tipos de labramza - Agricultura de conservacion ACEP [blog]. [Consultado: 22 septiembre 2020]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/agriculturadeconservacionacep/5-avisos-o-anuncios/tiposdelabranza>

ESPINOZA, GEORGELIN. *Agricultura de conservación, definición, sus tres principios* [en línea]. [Consultado: 12 junio 2020]. Disponible en: <https://naturaleza.paradais-sphynx.com/ecologia/agricultura-de-conservacion.htm>

FERNANDEZ MUERZA, Alex. *Revolución Verde* [blog]. [Consultado: 12 septiembre 2020]. Disponible en: <https://www.consumer.es/medio-ambiente/revolucion-verde.html>

FERNANDEZ, Angel. *Métodotradicional* [blog]. [Consultado: 12 septiembre 2020]. Disponible en: <http://mecanizacionagr.blogspot.com/2016/09/labranza-convencional.html>

GARCÍA SERRANO, Pilar. *El suelo, recurso fundamental en la productividad de la agricultura.* [blog]. [Consultado: 12 septiembre 2020]. Disponible en: <https://www.fertiberia.com/es/blog/2015/abril/el-suelo-recurso-fundamental-en-la-productividad-de-la-agricultura/>

GOBIERNO MUNICIPAL DE COLTA - UBICACIÓN. Ubicación geográfica COLTA.[en línea]. [Consultado: 12 agosto 2020]. Disponible en: <https://municipiodecolta.gob.ec/gadcolta/index.php/colta/ubicacion>.

GOSALBEZ, Cecilia. *Rotaciones: una técnica de horticultura imprescindible* [en línea]. [Consultado: 22 agosto 2020]. Disponible en: https://www.planetahuerto.es/revista/rotaciones-una-tecnica-de-horticultura-imprescindible_00115

HORQUE FERRO, Roberto. *Cultivo de Haba* [en línea]. Lima-Peru: Instituto nacional de investigación agraria - INIA, 2004. [Consultado: 2 septiembre 2020]. Disponible en: http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/inia/740/2/Horque-Cultivo_del_Haba.pdf

INFOAGRO. *El suelo y su estructura física* [en línea]. [Consultado: 2 septiembre 2020]. Disponible en: <https://mexico.infoagro.com/el-suelo-y-su-estructura-fisica/>

INTEREMPRESAS. *La importancia de la agricultura de conservación* [en línea]. [Consultado: 22 septiembre 2020]. Disponible en: <https://www.interempresas.net/Agricola/Articulos/40019-La-importancia-de-la-agricultura-de-conservacion.html>

JUÁREZ CURIA, Juan Ignacio. *Vicia, cultivo estratégico para producción sustentable. Perman semillas* [en línea]. [Consultado: 22 junio 2020]. Disponible en: <https://www.peman.com.ar/es/noticias/vicia-cultivo-estrat%C3%A9gico-para-producci%C3%B3n-sustentable>

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE Y AGUA. *Minga de reforestación para la recuperación de sitios degradados-Ministerio del Ambiente y Agua* [en línea]. [Consultado: 22 agosto 2020]. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/minga-de-reforestacion-para-la-recuperacion-de-sitios-degradados/>

MARQUEZ GARCÍA, Francisco. *Agricultura de conservación: un nuevo concepto para una sociedad medioambientalmente sostenible* [en línea]. [Consultado: 22 junio 2020]. Disponible en: <http://www.interempresas.net/Agricola/Articulos/23196-Agricultura-de-conservacion-nuevo-concepto-para-sociedad-medioambientalmente-sostenible.html>

MARTINEZ, Eduardo, FUENTES, Juan & ACEVEDO, Edmundo. "Carbono orgánico y propiedades del suelo" Scielo [en línea], 2008, (Chile) 1(8). [Consultado: 25 junio 2020]. ISSN 0718-2791. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0718-27912008000100006&lng=e&nrm=iso&tlng=es

MARTINEZ, Armado, CRUZ, Manuel & CABRERA, Antonio. "Situación Actual de la Agricultura" Dialnet [en línea], 2008, (Europa). 1(214). pp. 21-26. [Consulta: 12 septiembre 2020]. ISSN 1133-8938. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1249405>

MEYER, Cecilia. *La importacia de un suelo fértil*. [blog]. [Consultado: 9 septiembre 2020]. Disponible en: <http://delagro.blogspot.com/2011/02/la-importancia-de-un-suelo-fertil.html>

MIELGO, Antonio & GUAMÁN, Gloria. *Buenas prácticas en producción ecológica. Uso de Abonos Verdes* [en línea] Madrid-España: Ministerio AGRIC PESCA ALIME, 2009, [Consultado: 18 septiembre 2020]. Disponible en: https://www.popularlibros.com/libro/buenas-practicas-en-produccion-ecologica_349462

MINISTERIO DE DESARROLLOAGRARIOY RIEGO. Minagri promoverá beneficios para productores que cultiven de acuerdo a las condiciones de su territorio [en línea]. [Consultado: 18 septiembre 2020] Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/28079-minagri-promovera-beneficios-para-productores-que-cultiven-de-acuerdo-a-las-condiciones-de-su-territorio>

MUERZA FERNÁNDEZ, Alex. *Revolución Verde*. [blog]. [Consultado: 9 octubre 2020]. Disponible en: <https://www.consumer.es/medio-ambiente/revolucion-verde.html>

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA-IAEA. *Mejora de la fertilidad del suelo.* [en línea] [Consultado: 22 septiembre 2020]. Disponible en: <https://www.iaea.org/es/temas/mejora-de-la-fertilidad-del-suelo>

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA. *Agua de lluvia, productividad de la tierra y sequía.* [en línea]. [Consultado: 12 septiembre 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/y4690s/y4690s07.htm>

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA. *Limitación del estrés de agua y mejoramiento de los recursos hídricos* [en línea] [Consultado: 10 octubre 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/y4690s/y4690s08.htm>

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA. *Manejo de humedad del suelo en zonas secas* [en línea]. [Consultado: 18 octubre 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-at780s.pdf>

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA. *La deforestación disminuye en el mundo, pero continúa a ritmo alarmante en muchos países.* [en línea]. [Consultado: 10 septiembre 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/news/story/es/item/40952/icode/>

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA. *La papa y la conservación del suelos.* [en línea]. [Consultado: 20 septiembre 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/potato-2008/es/lapapa/suelo.html>

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA. *Agricultura de conservación FAO.* [en línea]. [Consultado: 25 septiembre 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/y4690s/y4690s0a.htm>

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA. *Cobertura orgánica del suelo.* [en línea]. [Consultado: 25 octubre 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/conservation-agriculture/in-practice/soil-organic-cover/es/#:~:text=Los%20residuos%20de%20los%20cultivos,del%20siguiente%20es%20demasiado%20largo.&text=Mejoran%20la%20estructura%20del%20suelo,compactadas%20y%20las%20capas%20duras.>

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA. *El suelo.* [en línea]. [Consultado: 15 octubre 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/w1309s/w1309s04.htm>

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA. *Mapa de carbon orgánico del suelo* [en línea]. [Consultado: 21 octubre 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/i8195es/I8195ES.pdf>

PÉREZ PORTON, Jualián & GARDEY, Ana. *Definicion de rotacion de cultivos agraria* [en línea]. [Consultado: 11 octubre 2020]. Disponible en: <https://definicion.de/rotacion-de-cultivos/>

PÉREZ, Por Toño. *Grupo Borau / Beneficios y ventajas de la rotación de cultivos* [blog]. [Consultado: 29 octubre 2020]. Disponible en: <http://borauhermanos.com/beneficios-y-ventajas-de-la-rotacion-de-cultivos/>

REYNOSO, Vero. *Cultivos de cobertura* [blog]. [Consultado: 13 noviembre 2020]. Disponible en: <https://consumidoresorganicos.org/2016/11/18/utilice-cultivos-de-cobertura-para-mejorar-el-suelo/>

RUBIO MARTÍNEZ, Luis Enrique. Evaluación de las propiedadesfísico.químicas y biológicas de un suelo sodico del Guacanal- Cerrito (Valle del Cauca) tratado con un inoculante biológico [recurso electrónico] [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Facultad Ciencias Agropecuarias, Carrera de Agronomía, Santa Clara-Cuba, 2016, pp. 20-23. [Consultado: 29-09-2020]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10893/9012>

SADEGHIAN, Siovash. "Fertilidad del suelo y nutrientes del caféen Colombia". *CENICAFFE* [en linea], 2008, (Colombia) 1(32) pp 1-45 [Consultado: 1 agosto 2020]. ISSN 0120-047X. Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/587>

SALAMANCA JIMÉNEZ, Alveriro & SADEGHIAN KHALAJABADI, Siavosh. *La desisidad aprarente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera Colombia* [en línea]. [Consultado: 12 octubre 2020]. Disponible en: <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc056%2804%29381-397.pdf>

SECRETARIA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. *Agricultura de conservación, una práctica sustentable. Secretaria de agricultura y desarrollo rural* [blog]. [Consultado: 13 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/agricultura-de-conservacion-una-practica-sustentable>

STUDDERT, Guillermo. *Trigo. Labranza convencional* [blog]. [Consultado: 22 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/labranza-trigo-t26366.htm>

TIERRA VIZUETA, Edwin Rolando. Determinación de la oferta Hídrica del Río Sicalpa, para la definición de políticas de uso óptimo del agua en el cantón Colta, provincia de Chimborazo [En línea]. (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Facultad Recursos Naturales, Carrera Ingeniero Forestal, Riobamba-Ecuador. 2013. pp.15-35 [Consulta: 2-09-2020]. Disponible en: <http://dspace.esepoch.edu.ec/handle/123456789/2795>

URBINA SÁNCHEZ, Elizabeth. *Propiedades físicas del suelo.* [en línea] [Consultado: 27 noviembre 2020] Disponible en: <http://ri.uaemex.mx/oca/view/20.500.11799/34850/1/secme-20123.pdf>

VALAREZO BELTRÓN, Néstor Raul & MONTESDEOCA MONTESDEOCA, Fabián Homero. Evaluación del impacto socio-económico y ambiental de las prácticas de agricultura de conservación en los sistemas de producción a nivel de la microcuenca del río Illangama [En línea] (Trabajo de titulación) (Maestria) Universidad Central del Ecuador. Quito-Ecuador. 2017. pp.25-35. [Consulta: 2020-09-12]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/8328>

VENEGASYUSTE, Sara & IZQUIERDO, Raquel. *La materia orgánica del suelo papel de los microorganismos.* [en línea] [Consultado: 17 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.ugr.es/~cj1/MO%20en%20suelos.pdf>

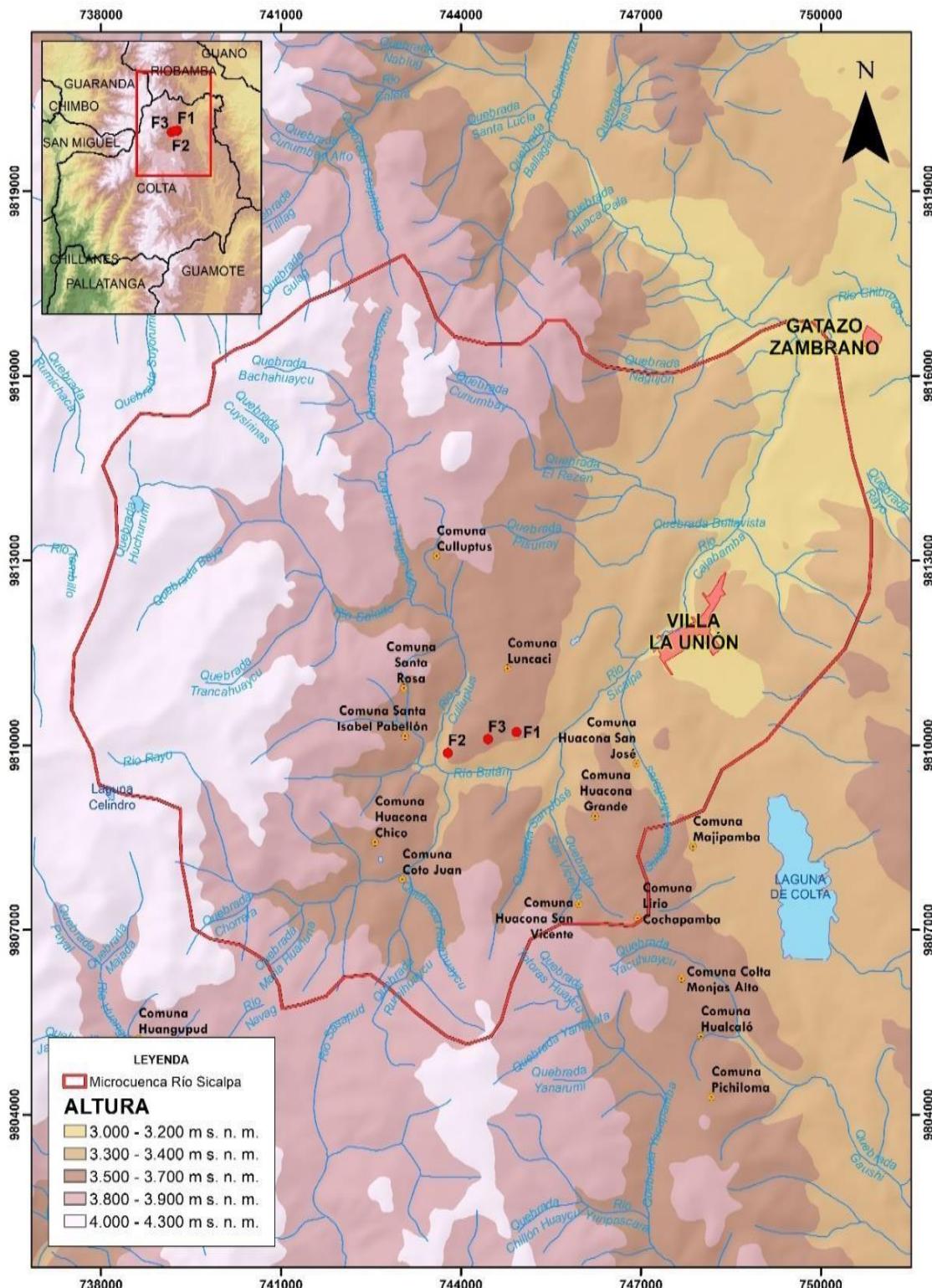
VERHULST NELE, Isabelle & BRAM COVAERTS, Francois. *Agricultura de conserbación, ¿mejora la calidad del suelo a fin de obtener sistemas de producción sustentable?* [en línea] . [Consultado: 17 octubre 2020]. Disponible en: <https://repository.cimmyt.org/bitstream/handle/10883/4408/56985.pdf?sequence=4&isAllowed=y>



ANEXOS

ANEXO A: LOCALIZACIÓN DE LA MICROCUENCA DEL RÍO SICALPA. SUBCUENCA DEL RÍO CHAMBO-ECUADOR.

MAPA DE ALTURA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO SICALPA



ANEXO B: CONTENIDO DE NITRÓGENO AMONIACAL EN KG HA⁻¹

Contenido de nitrógeno amoniacial en Kg ha ⁻¹					
Días	Días ²	Agricultura De Conservación	Agricultura de conservación Ajustado	Testigo	Testigo Ajustado
0	0	150,888147	148,32	140,981354	149,06
208	43264	157,714576	157,386304	147,456779	140,1576
327	106929	154,218483	164,946969	157,588112	138,9557
572	327184	198,19035	185,953024	117,951801	145,3992
806	649636	208,435132	212,853196	174,962116	162,762

ANEXO C: CONTENIDO DE FÓSFORO EN KG HA⁻¹

Contenido de fósforo en Kg ha ⁻¹					
Días	Días ²	Agricultura De Conservació n	Agricultura de conservación Ajustado	Testigo	Testigo Ajustado
0	0	49,7189868	56,629	32,36134168	34,871
208	43264	96,9679694	79,5506	48,18481042	44,66364
327	106929	77,800875	84,8818	50,12660703	46,76399
572	327184	65,0515716	78,0218	35,96812827	43,06204
806	649636	46,9759129	49,0526	32,43398348	29,43856

ANEXO D: CONTENIDO DE POTASIO EN KG HA⁻¹

Contenido de potasio en Kg ha ⁻¹					
Días	Días ²	Agricultura De Conservación	Agricultura de conservación Ajustado	Testigo	Testigo Ajustado
0	0	521,588381	545,47	249,42269 1	254,69
208	43264	500,509056	426,078	265,52847 8	265,3188
327	106929	340,090409	381,1198	281,56835 5	267,5084
572	327184	329,435328	342,0668	230,04863 6	263,0984
806	649636	394,66839	372,0188	234,21822 3	247,6778

ANEXO E: CONTENIDO DE AZUFRE EN KG HA⁻¹

Contenido de azufre en Kg ha ⁻¹					
Días	Días ²	Agricultura De Conservación	Agricultura de conservación Ajustado	Testigo	Testigo Ajustado
0	0	25,5923808	33,344	24,218621 2	33,314
208	43264	51,0625295	31,10592	56,742435 4	32,8730 4
327	10692 9	22,652735	29,04722	21,746101 6	31,0642 4
572	32718 4	12,4414137	23,02512	10,487168 2	23,7730 4
806	64963 6	20,9348023	15,03168	15,593977 6	12,3257 6

ANEXO F: CONTENIDO DE MAGNESIO EN KG HA⁻¹

Contenido de magnesio en Kg ha ⁻¹					
Días	Días ²	Agricultura De Conservació n	Agricultura de conservación Ajustado	Testigo	Testigo Ajustado
0	0	2920,709048	2800,0	2836,1030 5	2683,5
208	43264	1256,484333	1596,6784	1124,7299 2	1623,428
327	10692 9	1377,433641	1215,6523	1615,2749 7	1289,335 5
572	32718 4	1275,263235	1135,7088	1308,6259	1225,758
806	64963 6	1892,097082	1944,834	1888,8517 4	1949,637

ANEXO G: PROMEDIO DE INTERACCIONES DEL RENDIMIENTO T HA⁻¹ EN PAPA

Promedio de interacciones papa		
T1	18,99	Sin zanjas, convencional, sin residuo
T2	17,45	Sin zanjas, convencional, con residuo
T3	18,28	Sin zanjas, reducida, sin residuo
T4	16,18	Sin zanjas, reducida, con residuo
T5	19,27	con zanjas, convencional, sin residuo
T6	16,94	con zanjas, convencional, con residuo
T7	14,13	con zanjas, reducida, sin residuo
T8	17,06	con zanjas, reducida, con residuo
T9	13,89	testigo

ANEXO H: PROMEDIO DE INTERACCIONES DEL RENDIMIENTO T HA⁻¹ VICIA-AVENA

Promedio de interacciones avena-vicia		
T 1	19,63	Sin zanjas, convencional, sin residuo
T 2	20,93	Sin zanjas, convencional, con residuo
T 3	26,85	Sin zanjas, reducida, sin residuo
T 4	28,33	Sin zanjas, reducida, con residuo
T 5	20,19	con zanjas, convencional, sin residuo
T 6	21,85	con zanjas, convencional, con residuo
T 7	28,52	con zanjas, reducida, sin residuo
T 8	31,11	con zanjas, reducida, con residuo
T 9	19,63	testigo

ANEXO I: PROMEDIO DE INTERACCIONES DEL RENDIMIENTO T HA⁻¹ EN CEBADA

Promedio de interacciones cebada		
T 1	2,43	Sin zanjas, convencional, sin residuo
T 2	2,69	Sin zanjas, convencional, con residuo
T 3	2,97	Sin zanjas, reducida, sin residuo
T 4	3,13	Sin zanjas, reducida, con residuo
T 5	2,68	con zanjas, convencional, sin residuo
T 6	2,86	con zanjas, convencional, con residuo
T 7	2,85	con zanjas, reducida, sin residuo
T 8	3,20	con zanjas, reducida, con residuo
T 9	1,72	testigo

ANEXO J: PROMEDIO DE INTERACCIONES DEL RENDIMIENTO T HA⁻¹ EN HABA

Promedio de interacciones haba		
T1	9,19	Sin zanjas, convencional, sin residuo
T2	11,99	Sin zanjas, convencional, con residuo
T3	11,35	Sin zanjas, reducida, sin residuo
T4	12,94	Sin zanjas, reducida, con residuo
T5	9,43	con zanjas, convencional, sin residuo
T6	10,78	con zanjas, convencional, con residuo
T7	12,04	con zanjas, reducida, sin residuo
T8	12,56	con zanjas, reducida, con residuo
T9	7,36	testigo

ANEXO K: DENSIDAD APARENTE DE LOS CICLOS DE PRODUCCIÓN

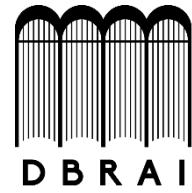
REPETICIÓN	TRATAMIENTOS	Línea Base	Papa	Avena- Vicia	Cebada	Haba
		DA				
		g cc ⁻¹				
1	T1 = Sin zanja -LC-SR	1,13	1,10	1,12	1,11	1,63
	T2 = Sin zanja - LC-CR	1,10	1,02	1,09	1,28	1,50
	T3 = Sin zanja - LM-SR	1,09	1,08	1,08	1,16	1,63
	T4 = Sin zanja - LM-CR	1,24	1,11	1,21	1,20	1,60
	T5 = Con zanja - LC-SR	1,07	1,04	1,09	1,14	1,58
	T6 = Con zanja - LC-CR	1,11	1,19	1,11	1,15	1,90
	T7 = Con zanja - LM-SR	1,07	1,15	1,02	1,09	1,44
	T8 = Con zanja - LM-CR	1,17	1,22	1,16	1,10	1,84
	T9 = Testigo	0,98	0,96	1,21	1,14	1,49
2	T1 = Sin zanja -LC-SR	1,14	1,14	1,19	1,23	1,57
	T2 = Sin zanja - LC-CR	1,10	0,94	1,07	1,11	1,62
	T3 = Sin zanja - LM-SR	1,17	1,12	1,22	1,06	1,75
	T4 = Sin zanja - LM-CR	1,21	1,18	1,24	1,04	1,80
	T5 = Con zanja - LC-SR	1,17	1,07	1,08	1,04	1,62
	T6 = Con zanja - LC-CR	1,38	1,01	1,13	1,15	1,53
	T7 = Con zanja - LM-SR	1,06	1,27	1,23	0,95	1,72
	T8 = Con zanja - LM-CR	1,17	1,17	1,02	1,08	1,70
	T9 = Testigo	1,05	1,06	1,20	0,97	1,79
3	T1 = Sin zanja -LC-SR	1,19	1,14	1,32	1,19	1,78
	T2 = Sin zanja - LC-CR	1,25	1,06	1,18	1,21	1,65
	T3 = Sin zanja - LM-SR	1,26	1,15	1,17	1,17	1,82
	T4 = Sin zanja - LM-CR	1,17	1,15	1,13	1,17	1,58
	T5 = Con zanja - LC-SR	1,23	1,13	1,14	1,22	1,90
	T6 = Con zanja - LC-CR	1,34	1,21	1,22	1,17	1,86
	T7 = Con zanja - LM-SR	1,22	1,10	1,23	1,15	1,59
	T8 = Con zanja - LM-CR	1,23	1,26	1,21	1,08	1,77
	T9 = Testigo	1,32	1,13	1,24	1,14	1,83

ANEXO L: HUMEDAD GRAVIMÉTRICA (%) DE LOS CICLOS DE PRODUCCIÓN

REPETICIÓN	TRATAMIENTOS	Línea				
		Base	Papa	A-Vicia	Cebada	Haba
		H. Gravimétrica				
%	%	%	%	%	%	
1	T1 = Sin zanja -LC-SR	31,69	13,96	18,25	17,37	33,57
1	T2 = Sin zanja - LC-CR	33,07	17,46	21,80	18,46	29,14
1	T3 = Sin zanja - LM-SR	31,22	17,78	21,30	15,13	34,74
1	T4 =Sin zanja - LM-CR	28,49	14,30	15,05	16,69	30,61
1	T5 = Con zanja - LC-SR	30,63	17,72	16,35	19,82	54,51
1	T6 = Con zanja - LC-CR	26,98	11,47	10,95	17,50	31,58
1	T7 = Con zanja - LM-SR	31,87	13,48	21,50	16,91	38,02
1	T8 = Con zanja - LM-CR	28,84	12,79	14,85	16,22	29,28
1	T9 = Testigo	33,93	23,85	21,00	16,13	38,80
2	T1 = Sin zanja -LC-SR	31,07	8,27	10,51	16,27	35,98
2	T2 = Sin zanja - LC-CR	33,29	12,15	9,49	23,72	34,90
2	T3 = Sin zanja - LM-SR	28,64	10,57	10,00	19,03	25,27
2	T4 = Sin zanja - LM-CR	27,17	11,57	8,15	21,55	32,38
2	T5 = Con zanja - LC-SR	29,11	14,73	11,17	22,49	40,83
2	T6 = Con zanja - LC-CR	28,16	9,83	9,49	19,44	36,75
2	T7 = Con zanja - LM-SR	31,62	11,19	9,55	23,18	39,52
2	T8 = Con zanja - LM-CR	30,61	16,79	12,50	21,00	39,90
2	T9 = Testigo	30,18	13,23	10,48	22,15	34,13
3	T1 = Sin zanja -LC-SR	24,68	11,24	12,35	12,44	31,44
3	T2 = Sin zanja - LC-CR	27,50	11,49	17,96	14,68	30,99
3	T3 = Sin zanja - LM-SR	25,42	10,97	18,00	15,41	29,87
3	T4 = Sin zanja - LM-CR	28,05	12,28	18,11	13,33	30,51
3	T5 = Con zanja - LC-SR	30,44	11,90	14,45	16,41	30,53
3	T6 = Con zanja - LC-CR	28,46	10,34	18,85	17,25	30,84
3	T7 = Con zanja - LM-SR	26,75	13,96	15,70	20,08	30,45
3	T8 = Con zanja - LM-CR	28,78	10,28	16,55	17,26	30,90
3	T9 = Testigo	27,25	10,39	18,74	15,85	31,01



**ESCUELA SUPERIOR POLÍTÉCNICA DE
CHIMBORAZO**
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS
PARA EL APRENDIZAJE Y LA
INVESTIGACIÓN



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 23/08/2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)

Nombres – Apellidos: LUIS FERNANDO SÁNCHEZ SANAGUANO

INFORMACIÓN INSTITUCIONAL

Facultad: RECURSOS NATURALES

Carrera: INGENIERÍA AGRONÓMICA

Título a optar: INGENIERO AGRÓNOMO

f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. CPA. Jhonatan Rodrigo Parreño Uquillas. MBA.



23-08-2021

1271-DBRAI-UTP-2021