

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**“AGRICULTURA REGENERATIVA EN EL CULTIVO DE PAPA:
EFECTO EN EL RENDIMIENTO, RENTABILIDAD Y HUELLA DE
CARBONO EN LA VARIEDAD INIA 325-PODEROSA”**

TESIS

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Presentado por el Bachiller:

PERCY JONATAN BRICEÑO POLO

Asesores:

Dr. JUAN FRANCISCO SEMINARIO CUNYA

PhD. DAVID ANTONIO RAMÍREZ COLLANTES

M. Sc. JOSÉ RONAL OTINIANO VILLANUEVA

CAJAMARCA - PERÚ

2024



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
“NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA”
Fundada por ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

CONSTANCIA DE CONTROL ANTIPLAGIO

Quien suscribe él asesor de la tesis y en virtud de la originalidad del trabajo de investigación, se hace constar:

Que la investigación denominada **“AGRICULTURA REGENERATIVA EN EL CULTIVO DE PAPA: EFECTO EN EL RENDIMIENTO, RENTABILIDAD Y HUELLA DE CARBONO EN LA VARIEDAD INIA 325-PODEROSA”**, del bachiller **PERCY JONATAN BRICEÑO POLO**, identificado con DNI N° 71236554; presenta un índice de similitud de 10 % según el software especializado **TURNITIN**.

Se expide la presente constancia a la parte solicitante en señal de conformidad para los fines que él destine conveniente.

Cajamarca, 18 de marzo del 2024.

Dr. Juan Francisco Seminario Cunya

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

“NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA”

Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Cajamarca, a los dieciséis días del mes de febrero del año dos mil veinticuatro, se reunieron en el ambiente 2C - 202 de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 015-2024-FCA-UNC, de fecha 15 de enero del 2024**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: **“AGRICULTURA REGENERATIVA EN EL CULTIVO DE PAPA: EFECTO EN EL RENDIMIENTO, RENTABILIDAD Y HUELLA DE CARBONO EN LA VARIEDAD INIA 325 - PODEROSA”**, realizada por el Bachiller **PERCY JONATAN BRICEÑO POLO** para optar el Título Profesional de **INGENIERO AGRÓNOMO**.

A las once horas y once minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de dieciocho (18); por tanto, el Bachiller queda expedito para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO AGRÓNOMO**.

A las doce horas y treinta y cinco minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.

Dr. Wilfredo Pomá Rojas
PRESIDENTE

Dr. Víctor Masquez Arce
SECRETARIO

Ing. M. Sc. Jesús Hipólito De La Cruz Rojas
VOCAL

Dr. Juan Francisco Seminario Cunya
ASESOR

Ph. D. David Antonio Ramírez Collantes
ASESOR

Ing. M. Sc. José Ronal Otiniano Villanueva
ASESOR

DEDICATORIA

*A mis padres Nelson y Natalia,
hermanas Rebeca y Elisa,
y sobrinos Jarely y Stiven.*

AGRADECIMIENTO

Al Centro Internacional de la Papa (CIP) bajo la iniciativa global “CGIAR Excellence in Agronomy 2030” con el proyecto: Estudio de Caso en Latino América (Sistemas agrícolas inteligentes a nivel local a través de recomendaciones específicas basadas en datos para pequeños agricultores); y la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH a través del proyecto “Fomento de la innovación en la agricultura (i4Ag): Producción de papas mediante labranza cero con mantillo de paja: una tecnología innovadora para la intensificación sostenible y la diversificación de los sistemas basados en el arroz con el fin de mejorar los medios de subsistencia de los pequeños agricultores de Asia” por su apoyo en el financiamiento de esta investigación.

A la ONG Asociación Pataz (AP) por brindarme todo el apoyo dentro de sus posibilidades para lograr desarrollar mis actividades en esta investigación.

Al Dr. David Antonio Ramírez Collantes (Asesor y coordinador principal del proyecto) por incentivar me, apoyarme y brindarme sus enseñanzas durante el desarrollo de la investigación y elaboración de esta tesis.

Al M. Sc. Javier Rinza Díaz por estar pendiente de mí, por brindarme su apoyo, amistad, soporte, consejos y enseñanzas durante todo el proceso de investigación.

Al M. Sc. José Ronal Otiniano Villanueva (Asesor) por su apoyo, amistad, soporte y consejos para desarrollar con éxito mis actividades.

Al Dr. Juan Francisco Seminario Cunya (Asesor) por incentivar me a participar en el proceso de convocatoria, brindarme sus enseñanzas y soporte en esta investigación.

Un agradecimiento muy especial a la Asociación de Productores Agropecuarios Mi Licame Unido (caserío de Licame) y Asociación de Productores Agropecuarios y Semilleristas La Poderosa (caserío La Soledad), presididas en su momento por el señor Wilmer Rodríguez Marquina y Ronal Maquina Contreras, respectivamente; por todo el soporte y apoyo en el manejo de los ensayos experimentales.

A mis queridos padres, por brindarme su apoyo y darme lo mejor que han podido durante todo mi proceso de formación profesional.

ÍNDICE GENERAL

Resumen	xvi
Abstract.....	xvii
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Descripción de problema.....	3
1.2. Formulación del problema.....	4
1.3. Justificación.....	4
1.4. Objetivos	5
1.4.1. Objetivo general.....	5
1.4.2. Objetivos específicos	6
1.5. Hipótesis.....	6
CAPÍTULO II.....	7
REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
2.1. Antecedentes	7
2.2. Marco Teórico	9
2.2.1. Agricultura regenerativa	9
2.2.2. Agricultura de conservación	10
2.2.3. Agricultura orgánica	10
2.2.4. Prácticas agrícolas regenerativas	11
2.2.5. Efecto de la gallinaza en el rendimiento del cultivo de papa.....	13
2.2.6. Suelos y secuestro de carbono en la mitigación al cambio climático	14
2.2.7. Gases de efecto invernadero	16
2.2.8. Huella de carbono	16
2.2.9. Cool Farm Tool.....	17
2.2.10. Plagas más importantes de la papa.....	17
2.2.11. Enfermedades más importantes de la papa	18
2.2.12. Control de plagas y enfermedades en el distrito de Chugay	19
2.3. Definición de términos	23
CAPÍTULO III	24
MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1. Ubicación de la investigación.....	24
3.2. Materiales	25

3.2.1. Material biológico.....	25
3.2.2. Materiales y herramientas de campo.....	26
3.2.3. Equipos	26
3.2.4. Materiales y equipos de laboratorio.....	26
3.3. Metodología.....	27
3.3.1. Tipo y diseño de investigación.	27
CAPÍTULO IV	40
RESULTADOS Y DISCUSIONES	40
4.1. Estimación del rendimiento total de tubérculos frescos de papa INIA 325 – Poderosa en agricultura de conservación.....	40
4.2. Estimación de huella de carbono por tonelada de tubérculos frescos de papa INIA 325 – Poderosa en agricultura de conservación.	41
4.3. Estimación de rentabilidad de papa INIA 325 – Poderosa en agricultura de conservación	44
4.4. Numero de tubérculos totales y comerciales de papa INIA 325 - Poderosa en agricultura de conservación	45
4.5. Estimación de Cobertura de follaje de papa INIA 325 - Poderosa en agricultura de conservación.....	47
4.6. Determinación de la altura de plantas de papa INIA 325-Poderosa en agricultura de conservación.	48
4.7. Labranza, “mulch” y emergencia en agricultura de conservación	50
4.8. Labranza, “mulch” y humedad gravimétrica del suelo	52
4.9. “Mulch” y temperatura de suelo.....	53
4.10. Tasa de descomposición de la materia orgánica	54
4.11. Estimación del rendimiento total de tubérculos frescos de papa INIA 325 – Poderosa en agricultura orgánica.	55
4.12. Estimación de huella de carbono por tonelada de papa INIA 325 – Poderosa en agricultura orgánica.....	56
4.13. Estimación de rentabilidad de papa INIA 325 – Poderosa en agricultura orgánica.....	59
4.14. Estimación de Cobertura de follaje de papa INIA 325 – Poderosa en agricultura orgánica.	60
4.15. Determinación de la altura de plantas de papa INIA 325 – Poderosa en agricultura orgánica.	62

4.16. Numero de tubérculos totales y comerciales de papa INIA 325 – Poderosa en agricultura orgánica.....	63
4.17. Índice integrado en agricultura de conservación y orgánica	65
CAPÍTULO V	66
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
5.1. Conclusiones	66
5.2. Recomendaciones	67
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
ANEXOS.....	85

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Valores de los factores inductores del tizón tardío utilizados en los discos de apoyo para manejo de fungicidas que controlan rancho (<i>Phytophthora infestans</i>)	22
Tabla 2: Condiciones meteorológicas durante el desarrollo vegetativo (octubre 2022-marzo 2023), registradas con la estación meteorológica CIP-La Soledad. Dataset Rinza et al. (2024)	25
Tabla 3: Análisis de caracterización de suelo del laboratorio de Análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes Universidad Nacional Agraria La Molina - Facultad de Agronomía (04/11/2022), donde se instaló el ensayo de agricultura de conservación (caserío de Licame) y agricultura orgánica (caserío de La Soledad), ambos pertenecientes al distrito de Chugay, provincia Sánchez Carrión, departamento La Libertad.....	28
Tabla 4: Factores, niveles y tratamientos de estudio en el ensayo 1 de agricultura de conservación ubicado en el caserío de Licame durante el periodo 2022-2023.....	33
Tabla 5: Factores, niveles y tratamientos de estudio en ensayo 2 de agricultura orgánica ubicado en el caserío de La Soledad durante el periodo 2022-2023.....	37
Tabla 6: Escenarios y valoración de indicadores agronómicos (FTY-Rendimiento fresco de tubérculo) económicos (BCR-Relación costo-beneficio o rentabilidad) y ambientales (HC-Huella de carbono).....	39
Tabla 7: Análisis de varianza para rendimiento de tubérculo fresco de papa INIA 325-Poderosa considerado la modalidad de labranza, uso de barreras de plástico y espesores de “mulch” en la sierra de La Libertad.....	43
Tabla 8: Análisis de varianza para huella de carbono por tonelada de tubérculo fresco de papa INIA 325-Poderosa considerado la modalidad de labranza, uso de barreras de plástico y espesores de “mulch” en la sierra de La Libertad.....	43
Tabla 9: Análisis de varianza para rentabilidad de papa INIA 325-Poderosa considerado la modalidad de labranza, uso de barreras de plástico y espesores de “mulch” en la sierra de La Libertad.....	45

Tabla 10: Análisis de varianza para número total de tubérculos de papa INIA 325-Poderosa considerado la modalidad de labranza, uso de barreras de plástico y espesores de “mulch” en la sierra de La Libertad.....	46
Tabla 11: Análisis de varianza para cobertura foliar (%) de papa INIA 325-Poderosa considerado la modalidad de labranza, uso de barreras de plástico y espesores de “mulch” en la sierra de La Libertad.....	48
Tabla 12: Análisis de varianza para altura de planta de papa INIA 325-Poderosa considerado la modalidad de labranza, uso de barreras de plástico y espesores de “mulch” en la sierra de La Libertad.....	49
Tabla 13: Análisis de varianza para emergencia de papa INIA 325-Poderosa considerado la modalidad de labranza, uso de barreras de plástico y espesores de “mulch” en la sierra de La Libertad.....	51
Tabla 14: Análisis de varianza para rendimiento de tubérculo fresco de papa INIA 325-Poderosa considerando sistema agrícola de siembra, uso de discos y dosis de gallinaza en la sierra de La Libertad.....	58
Tabla 15: Análisis de varianza para huella de carbono por tonelada de tubérculo fresco de papa INIA 325-Poderosa considerando sistema agrícola de siembra, uso de discos y dosis de gallinaza en la sierra de La Libertad.....	58
Tabla 16: Análisis de varianza para rentabilidad de papa INIA 325-Poderosa considerando sistema agrícola de siembra, uso de discos y dosis de gallinaza en la sierra de La Libertad.....	60
Tabla 17: Análisis de varianza para cobertura foliar de papa INIA 325-Poderosa considerando sistema agrícola de siembra, uso de discos y dosis de gallinaza en la sierra de La Libertad.	61
Tabla 18: Análisis de varianza para altura de plantas de papa INIA 325-Poderosa considerando sistema agrícola de siembra, uso de discos y dosis de gallinaza en la sierra de La Libertad.	63
Tabla 19: Análisis de varianza en número total de tubérculos de papa INIA 325-Poderosa considerando sistema agrícola de siembra, uso de discos y dosis de gallinaza en la sierra de La Libertad.	64

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Discos portátiles de apoyo utilizados en la toma de decisiones para aplicación de fungicidas que controlan racha en variedades de papa a) susceptibles, b) moderadamente resistentes y c) resistentes. Figura tomada de Pérez et al. 2020.	21
Figura 2: Ubicación de los ensayos experimentales de agricultura de conservación y orgánica en los caseríos de Licame y La Soledad respectivamente, ambos en el distrito de Chugay, provincia de Sánchez Carrión, departamento la Libertad-Perú.....	24
Figura 3: Origen y genealogía para la obtención de la variedad INIA 325-Poderosa	26
Figura 4: Croquis de distribución de tratamientos del ensayo en agricultura de conservación ubicado en el caserío de Licame 2022-2023.....	34
Figura 5: Croquis de distribución de tratamientos del ensayo en agricultura orgánica ubicado en el caserío de La Soledad 2022-2023.....	38
Figura 6: Influencia de la modalidad de labranza (LC=Labranza convencional, SL=Labranza cero), barreras de plástico (CP=Con plástico, SP=Sin plástico) y “mulch” (M1=10 cm, M2=20 cm y M3=30 cm), en el rendimiento de tubérculos frescos (FTY) de papa INIA 325-Poderosa, en la sierra de La Libertad. Letras distintas indican diferencia significativa entre niveles de factores ($p<0.05$) detectado mediante prueba de Tukey.....	41
Figura 7: Influencia de la modalidad de labranza (LC=Labranza convencional, SL=Labranza cero), barreras de plástico (CP=Con plástico, SP=Sin plástico) y “mulch” (M1=10 cm, M2=20 cm y M3=30 cm), en la huella de carbono (HC) por tonelada de tubérculo fresco de papa INIA 325-Poderosa, en la sierra de La Libertad. Letras distintas indican diferencia significativa entre niveles de factores ($p<0.05$) detectado mediante prueba de Tukey.....	42
Figura 8: Influencia de la modalidad de labranza (LC=Labranza convencional, SL=Labranza cero), barreras de plástico (CP=Con plástico, SP=Sin plástico) y “mulch” (M1=10 cm, M2=20 cm y M3=30 cm), en la rentabilidad (BCR) de papa INIA 325-Poderosa, en la sierra de La Libertad. Letras distintas indican diferencia significativa entre niveles de factores ($p<0.05$) detectado mediante prueba de Tukey.....	44

Figura 9: Influencia de la modalidad de labranza (LC=Labranza convencional, SL=Labranza cero), barreras de plástico (CP=Con plástico, SP=Sin plástico) y “mulch” (M1=10 cm, M2=20 cm y M3=30 cm), en número total de tubérculos (NTT) de papa INIA 325-Poderosa, en la sierra de La Libertad. Letras distintas indican diferencia significativa entre niveles de factores ($p<0.05$) detectado mediante prueba de Tukey.....	46
Figura 10: Influencia de la modalidad de labranza (LC=Labranza convencional, SL=Labranza cero), barreras de plástico (CP=Con plástico, SP=Sin plástico) y “mulch” (M1=10 cm, M2=20 cm y M3=30 cm), en la cobertura foliar de papa INIA 325-Poderosa, en la sierra de La Libertad. Letras distintas indican diferencia significativa entre niveles de factores ($p<0.05$) detectado mediante prueba de Tukey.....	47
Figura 11: Interacción de la modalidad de labranza (LC=Labranza convencional, SL=Labranza cero) y “mulch” (M1=10 cm, M2=20 cm y M3=30 cm), en la altura de planta (AP) de papa INIA 325-Poderosa, en la sierra de La Libertad. Letras distintas indican diferencia significativa entre niveles de factores ($p<0.05$) detectado mediante prueba de Tukey.....	49
Figura 12: Influencia de la modalidad de labranza (LC=Labranza convencional, SL=Labranza cero), barreras de plástico (CP=Con plástico, SP=Sin plástico) y “mulch” (M1=10 cm, M2=20 cm y M3=30 cm), en la emergencia de papa INIA 325-Poderosa, en la sierra de La Libertad (A); letras distintas indican diferencia significativa entre niveles de factores ($p<0.05$) detectado mediante prueba de Tukey. Emergencia de papa INIA 325-Poderosa por tratamiento (B)....	51
Figura 13: Efecto de la modalidad de labranza (LC=Labranza convencional, SL=Labranza cero) y espesor de “mulch” (M1=10 cm, M2=20 cm y M3=30 cm) en la conservación de humedad gravimétrica (Hg) del suelo P: Precipitación, DDS: Días después de siembra	53
Figura 14: Determinación de temperatura del suelo utilizando sensores hobo en labranza convencional sin “mulch” (T0) y labranza cero más 30 cm de espesor de “mulch” (SL+ M3) a 0, 10 y 25 centímetros de profundidad de suelo durante los primeros 81 días.....	54
Figura 15: Influencia de la modalidad de labranza (LC=Labranza convencional, SL=Labranza cero), espesor de “mulch” (M1=10 cm, M2=20 cm y M3=30 cm) y barreras de plástico (CP=Con plástico, SP=Sin plástico) en la tasa de	

descomposición (K) en agricultura de conservación. Letras distintas indican diferencia significativa entre niveles de factores ($p < 0.05$) detectado mediante prueba de Tukey.....	55
Figura 16: Influencia del sistema agrícola (SH=Sin “intercalación”, CH=Con “intercalación”), uso de discos (SD=Sin discos, CD=Con discos) y dosis de gallinaza (D1=1 t ha ⁻¹ , D2=2 t ha ⁻¹ , D3=4 t ha ⁻¹), en el rendimiento de tubérculo fresco (FTY) de papa INIA 325-Poderosa, en la sierra de La Libertad. Letras distintas indican diferencia significativa entre niveles de factores ($p < 0.05$) detectado mediante prueba de Tukey.....	56
Figura 17: Influencia del sistema agrícola (SH=Sin “intercalación”, CH=Con “intercalación”), discos (SD=Sin discos, CD=Con discos) y dosis de gallinaza (D1=1 t ha ⁻¹ , D2=2 t ha ⁻¹ , D3=4 t ha ⁻¹), en la huella de carbono (HC) por tonelada de tubérculos frescos de papa INIA 325-Poderosa, en la sierra de La Libertad. Letras distintas indican diferencia significativa entre niveles de factores ($p < 0.05$) detectado mediante prueba de Tukey.....	57
Figura 18: Influencia del sistema agrícola (SH=Sin “intercalación”, CH=Con “intercalación”), discos (SD=Sin discos, CD=Con discos) y dosis de gallinaza (D1=1 t ha ⁻¹ , D2=2 t ha ⁻¹ , D3=4 t ha ⁻¹), en la rentabilidad (BCR) de papa INIA 325-Poderosa, en la sierra de La Libertad. Letras distintas indican diferencia significativa entre niveles de factores ($p < 0.05$) detectado mediante prueba de Tukey.....	59
Figura 19: Influencia del sistema agrícola (SH=Sin “intercalación”, CH=Con “intercalación”), discos (SD=Sin discos, CD=Con discos) y dosis de gallinaza (D1=1 t ha ⁻¹ , D2=2 t ha ⁻¹ , D3=4 t ha ⁻¹), en la cobertura foliar de papa INIA 325-Poderosa, en la sierra de La Libertad. Letras distintas indican diferencia significativa entre niveles de factores ($p < 0.05$) detectado mediante prueba de Tukey.....	61
Figura 20: Influencia del sistema agrícola (SH=Sin “intercalación”, CH=Con “intercalación”), discos (SD=Sin discos, CD=Con discos) y dosis de gallinaza (D1=1 t ha ⁻¹ , D2=2 t ha ⁻¹ , D3=4 t ha ⁻¹), en la altura de planta (AP) de papa INIA 325-Poderosa, en la sierra de La Libertad. Letras distintas indican diferencia significativa entre niveles de factores ($p < 0.05$) detectado mediante prueba de Tukey.....	62

Figura 21: Influencia del sistema agrícola (SH=Sin “intercalación”, CH=Con “intercalación”), discos (SD=Sin discos, CD=Con discos) y dosis de gallinaza (D1=1 t ha ⁻¹ , D2=2 t ha ⁻¹ , D3=4 t ha ⁻¹), en el número total de tubérculos (NTT) de papa INIA 325-Poderosa, en la sierra de La Libertad. Letras distintas indican diferencia significativa entre niveles de factores (p<0.05) detectado mediante prueba de Tukey.....	64
Figura 22: Valoración de tratamientos en un índice integrado (IIN) bajo combinación de indicadores ambientales (HC) económicos (BCR) y agronómico (FTY) en AC y AO.....	65

LISTA DE ABREVIATURAS

AC	: Agricultura de conservación
AO	: Agricultura orgánica
HC	: Huella de carbono
BCR	: Relación costo-beneficio o rentabilidad
CIP	: Centro Internacional de la Papa
LC	: Labranza convencional
SL	: Labranza cero
SH	: Sin “intercalación”
CH	: Con “intercalación”
AP	: Altura de planta
PEY	: Rendimiento equivalente
FTY	: Rendimiento de tubérculo fresco
CO ₂ – eq t ⁻¹	: Dióxido de carbono equivalente por tonelada de tubérculo fresco de papa
NTT	: Número total de tubérculos
P	: Precipitación
Hg	: Humedad gravimétrica del suelo
LC+M1	: Labranza convencional con 10 cm de espesor de “mulch”
LC+M2	: Labranza convencional con 20 cm de espesor de “mulch”
LC+M3	: Labranza convencional con 30 cm de espesor de “mulch”
SL+M1	: Labranza cero con 10 cm de espesor de “mulch”
SL+M2	: Labranza cero con 20 cm de espesor de “mulch”
SL+M3	: Labranza cero con 30 cm de espesor de “mulch”
DDS	: Días después de la siembra
K	: Tasa de descomposición de la materia orgánica
IIN	: Índice integrado

RESUMEN

Se instaló dos ensayos experimentales de papa, uno en agricultura de conservación (AC) y otro en agricultura orgánica (AO), conducidos desde inicios de octubre (2022) a finales de abril (2023) en los caseríos de Licame y La Soledad, del distrito de Chugay - Sánchez Carrión - La Libertad. En AC los factores de interés fueron método de labranza con dos niveles (LC – labranza convencional vs SL – labranza cero), barreras de plástico con dos niveles (CP – con plástico vs SP – sin plástico) y espesor de “mulch” en tres niveles (M1 – 10 cm vs M2 – 20 cm vs M3 – 30 cm) que formaron 12 tratamientos de estudio. En AO los factores de estudio fueron sistema agrícola de siembra en dos niveles (CH – con “intercalación”- papa con haba vs SH – sin “intercalación”- monocultivo de papa), uso de discos para el manejo de fungicidas que controlan de ranchara (*Phytophthora infestans*) en dos niveles (CD – con discos vs SD – sin discos) y fertilización con gallinaza en tres niveles (D1 – 1 t ha⁻¹ vs D2 – 2 t ha⁻¹ vs D3 – 4 t ha⁻¹) que formaron 12 tratamientos. Los dos experimentos fueron conducidos bajo diseño experimental de parcelas divididas caso sub-sub-parcelas. Las variables evaluadas en AC fueron rendimiento fresco de tubérculo (FTY), rentabilidad (BCR), huella de carbono (HC), número de tubérculos totales (NTT), cobertura foliar, altura de planta (AP), emergencia, humedad gravimétrica del suelo (Hg), temperatura de suelo y tasa de descomposición de la materia orgánica (K). En el experimento de AO, las variables evaluadas fueron FTY, BCR, HC, NTT, AP y cobertura foliar. Los FTY en LC fue de 28.3 t ha⁻¹ mientras que en SL fue de 15.6 t ha⁻¹ de tubérculos de papa, en M3 el FTY fue de 23.8 t ha⁻¹, seguido por M2 con 22.3 t ha⁻¹ y finalmente M1 con 19.7 t ha⁻¹. La HC en LC fue de 61 kg CO₂ – eq t⁻¹ y en SL de 38.9 kg CO₂ – eq t⁻¹ tonelada de tubérculo fresco. Con M1 la HC fue de 63.1 kg CO₂ – eq t⁻¹, con M2 la HC fue de 44.9 kg CO₂ eq t⁻¹, y con M3 la HC fue de 41.9 kg CO₂ – eq t⁻¹. En agricultura orgánica, los rendimientos del cultivo bajo SH fue de 26.8 t ha⁻¹ y el rendimiento equivalente en CH fue de 18.9 t ha⁻¹. Cabe resaltar que con 4 t ha⁻¹ (D3) de gallinaza se alcanzó un rendimiento de 23.8 t ha⁻¹ siendo mayor que los alcanzados con D1 (22.4 t ha⁻¹) y D2 (22.2 t ha⁻¹). La HC en CH fue de 97.8 kg CO₂ – eq t⁻¹ mientras que en SH fue de 64 kg CO₂ – eq t⁻¹. Respecto a las dosis de gallinaza la huella de carbono es menor cuando se utiliza 4 t ha⁻¹ (77.5 kg CO₂ – eq t⁻¹). Las rentabilidades para ambos ensayos fueron valores de BCR > 1 debido principalmente a la subida del precio de kg de papa a 0.9 USD en la temporada de cosecha. Finalmente, el índice integrado nos da a conocer que los tratamientos T5 y T6 en AC y T1 y T6 en AO lograron disminuir HC, e incrementar FYT y BCR.

Palabras clave: *labranza convencional, labranza cero, “mulch”, tasa de descomposición, temperatura de suelo, humedad de suelo, cobertura foliar, gallinaza.*

ABSTRACT

Two experimental potato trials were set up, one in conservation agriculture (AC) and the other in organic agriculture (AO), conducted from the beginning of October (2022) to the end of April (2023) in the localities of Licame and La Soledad, in the district of Chugay - Sánchez Carrión- La Libertad. In AC, the factors of interest were two-level tillage method (LC – conventional tillage vs SL – zero tillage), two-level plastic barriers (CP – with plastic vs SP – without plastic) and mulch thickness at three levels (M1 – 10 cm vs M2 – 20 cm vs M3 – 30 cm) that formed 12 study treatments. In AO, the study factors were a two-level sowing agricultural system (CH – with “potato and bean” intercropping vs SH – without “potato monoculture” intercropping), use of discs for the management of fungicides that control ranch (*Phytophthora infestans*) at two levels (CD – with discs vs SD – without discs) and fertilization with chicken manure at three levels (D1 – 1 t ha⁻¹ vs D2 – 2 t ha⁻¹ vs D3 – 4 t ha⁻¹) that formed 12 treatments. The two experiments were conducted under a split plot experimental design, case split - split plot. The variables evaluated in AC were yield (FTY), profitability (BCR), carbon footprint (HC), number of total tubers, leaf cover, plant height, emergence, gravimetric soil humidity, soil temperature and decomposition rate of organic matter. In the AO experiment, the variables evaluated were FTY, BCR, HC, NTT, AP, and canopy cover. The FTY in LC was 28.3 t ha⁻¹ while in SL it was 15.6 t ha⁻¹ of potato tubers, in M3 the FTY was 23.8 t ha⁻¹, followed by M2 with 22.3 t ha⁻¹ and finally M1 with 19.7 t ha⁻¹. The HC in LC was 61 kg CO₂ – eq t⁻¹ and in SL was 38.9 kg CO₂ – eq t⁻¹ ton of fresh tuber. With M1 the HC was 63.1 kg CO₂ – eq t⁻¹, with M2 the HC was 44.9 kg CO₂ eq t⁻¹, and with M3 the HC was 41.9 kg CO₂ – eq t⁻¹. In organic agriculture, crop yields under SH were 26.8 t ha⁻¹ and the equivalent yield in CH was 18.9 t ha⁻¹. It should be noted that with 4 t ha⁻¹ (D3) of chicken manure, a yield of 23.8 t ha⁻¹ was achieved, being higher than those achieved with D1 (22.4 t ha⁻¹) and D2 (22.2 t ha⁻¹). The HC in CH was 97.8 kg CO₂ – eq t⁻¹ while in SH it was 64 kg CO₂ – eq t⁻¹. Regarding the doses of chicken manure, the carbon footprint is lower when 4 t ha⁻¹ (77.5 kg CO₂ – eq t⁻¹) is used. The returns for both trials were values of BCR>1 due mainly to the increase in the price per kg of potatoes to 0.9 USD in the harvest season. Finally, the integrated index tells us that treatments T5 and T6 in AC and T1 and T6 in AO managed to reduce HC and increase FYT and BCR.

Keywords: *Conventional tillage, no-till, mulch, decomposition rate, soil temperature, soil moisture, canopy cover, poultry manure.*

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El cambio climático (CC) es la modificación de las propiedades del clima debido a la actividad antropogénica, la cual modifica la composición de la atmosfera global y del suelo (CMNUCC, 1992) incrementando los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmosfera (Benavides & León, 2007) y degradación en los suelos (Agronet, 2019). Estas alteraciones aceleran el CC y originan escasez de agua, inseguridad alimentaria y cambios en la temperatura y en los regímenes de las precipitaciones (Miller, 2007; Agronet, 2019). Algunos autores consideran a la agricultura como el sector más susceptible o vulnerable al CC a nivel mundial (Viguera et al., 2017), debido a que el clima determina el desarrollo de los cultivos (Ramírez et al., 2010), distribución, adaptabilidad, rendimiento y sostenibilidad agrícola (CIAT, 2010). Las consecuencias del CC se manifiestan a través de inundaciones y una mayor frecuencia y severidad de sequías afectando el crecimiento y producción de los cultivos. (Altieri & Nicholls, 2009).

Para el decenio del 2080 todos estos efectos del CC en la agricultura se expresarán con mayor severidad en los países de América Latina debido a su limitada capacidad de mitigación y adaptabilidad (Cline, 2007), y a la alta dependencia directa de los fertilizantes químicos (Escalante, 2020). Analizando el contexto actual, podemos decir que la agricultura moderna depende de la situación sociopolítica de los países que producen dichos insumos, ejemplo de ello es la crisis de fertilizantes que atravesamos como producto de la guerra entre Rusia y Ucrania (Blandón, 2022). Donde Rusia suspende sus exportaciones de fertilizantes por las sanciones occidentales impuestas, afectando a varios países de Europa, Asia Central y América Latina (Bedoya, 2022).

En la agricultura moderna los fertilizantes y plaguicidas proporcionan beneficios, sobre todo mejores cosechas; pero su uso no es sostenible, ya que originan efectos adversos para el

ambiente y la salud (ONU, 2022), generando GEI (CO₂ y N₂O) que contribuyen al calentamiento global y al CC (Umaña et al., 2013). El haber superado las 400 ppm de CO₂ en la atmósfera durante el año 2015 implica ya haber superado el límite de seguridad (350 ppm) que los científicos del IPCC habían delimitado como arriesgado para la vida y el ser humano (WMO, 2016). La tendencia observada en los últimos años es la de seguir aumentando por año una media de 2-3 ppm CO₂, lo que indica que nos encontramos en un proceso de calentamiento continuo que a lo largo de esta década nos podría llevar a sobrepasar el límite de 1.5 °C de aumento de temperatura (Gonzales, 2021). Limitar el calentamiento a 1.5 °C implica reducir hasta un 45 % las emisiones de CO₂ y no sobrepasar las 300 Gt a finales de siglo. Al ritmo actual de 42 Gt CO₂ por año, dicho presupuesto se agotaría en menos de 8 años (ONU, 2021). Por otro lado, los insumos usados en agricultura convencional no solo han afectado negativamente al medio ambiente, sino que también han reducido la salud del suelo, originando pérdida de nutrientes, eliminación de microfauna benéfica, compactación y erosión de los suelos como producto del sobre laboreo (Pahalvi et al., 2021).

En este contexto la agricultura regenerativa es, por ahora, una de las mejores alternativas de mitigación al CC (Gudynas, 2010), porque sus prácticas se adhieren a principios y elementos de la agroecología (Pérez, 2021; Jones et al., 2022). Así mismo, porque incluye enfoques agroecológicos como la agricultura orgánica (AO) y la agricultura de conservación (AC) (Jones et al., 2022). Emplea técnicas para incrementar la fijación de carbono, mitigar la emisión de GEI, incrementar la materia orgánica y potenciar la recuperación de tierras degradadas; de allí que, la agricultura regenerativa se presenta como una estrategia viable y consistente para afrontar el cambio climático (Daza & Vargas, 2012). También hace énfasis en la dinámica de los procesos ecológicos (reciclaje de nutrientes, simbiosis y competencia) y las interrelaciones entre los componentes bióticos y abióticos (Vandermeer, 1995).

En el cultivo de papa, la agricultura regenerativa incluye prácticas de asociación de cultivos (“intercalación”), aplicación de abonos orgánicos, laboreo mínimo o labranza cero (siembra directa), uso de “mulch”¹ orgánico (Gonzales, 2021), uso de controles físicos (barreras de plástico para el control de gorgojo de los Andes, *Premnotrypes* spp) y retención de restos vegetales. Estas prácticas están enmarcadas dentro de la AC, AO y la agroecología (Jones et al., 2022). De este modo se busca condiciones favorables del suelo para el crecimiento de las plantas (Reinjtjes et al., 1992), el incremento de la actividad biótica del suelo y reducción en el uso y dependencia de insumos sintéticos (Gauthier & Pavarotti, 2018).

Ante este escenario se instaló dos ensayos enmarcados en agricultura regenerativa (AC y AO) con el objetivo de testar la huella de carbono, rendimiento y rentabilidad; así mismo, encontrar las mejores prácticas que logren reducir las emisiones de GEI sin afectar rendimiento y rentabilidad.

1.1. Descripción de problema

La agricultura convencional se basa en dos objetivos: incrementar rendimientos y generar beneficios económicos. Para lograr este propósito el agricultor recurre a cualquier medio e insumo a su disposición (Gliessman, 2002). Siendo los más utilizados en la agricultura los fertilizantes sintéticos (nitrogenados, fosfatados y potásicos). Convirtiendo a Perú, a nivel de Latinoamérica y el Caribe, en el segundo país que más depende de las importaciones de fertilizantes (León, 2022) en un 53 % durante el año 2021 (Flores, 2022). El uso de estos fertilizantes y plaguicidas químicos originan efectos adversos para el ambiente (ONU, 2022) como eutrofización, degradación del suelo y de los ecosistemas, contaminación del aire, desequilibrios biológicos y disminución de la biodiversidad (González, 2019). Por otro lado, la agricultura en Perú aporta el 12.6 % de GEI equivalente a 25 910.2 Gg CO₂ eq (MINAM,

¹ “Mulch”: cubierta protectora orgánica (restos de cultivos cosechados) o inorgánica (plásticos) esparcidos sobre la superficie de los suelos (Patil et al., 2013)

2021). Para reducir este impacto, se recomienda hacer uso de prácticas agrícolas con un enfoque agroecológico, siendo la agricultura regenerativa una de las mejores alternativas para suprimir el uso de fertilizantes sintéticos y cortar el círculo vicioso de la dependencia a este tipo de insumos (MIDAGRI, 2022). Llevando a cabo la implementación de actividades enmarcadas en la agricultura regenerativa por ser un sistema de producción sostenible (García et al., 2006) que contribuye a mitigar la emisión de GEI y sus implicancias en el CC (Umaña et al., 2013).

1.2. Formulación del problema

¿Cómo la agricultura regenerativa adaptada a las condiciones locales para el cultivo de papa en la sierra de la Libertad (*soporte con discos para el manejo de fungicidas que controlan de rancho, uso de barreras de plástico, uso de “mulch”, fertilizante orgánico, “intercalado de cultivos” - asocio con haba, labranza cero y convencional*), afecta al rendimiento, rentabilidad y huella de carbono?

1.3. Justificación

El Perú se ha convertido en el primer productor de papa en América Latina, cultiva 330 790 ha, con un rendimiento promedio de 17.7 toneladas (MIDAGRI, 2022). Sin embargo, esta producción se podría reducir en un 30 % (Chero & Cuadros, 2022) debido a la crisis de fertilizantes que el mundo atraviesa. Recientemente se ha estimado que el Perú tiene un déficit de 180 mil toneladas de urea (Montaño & Jara, 2022). Este déficit es el resultado de todas las sanciones occidentales impuestas a Rusia por la guerra con Ucrania, motivo por el cual suspendió sus exportaciones de fertilizantes (Bedoya, 2022). Esto ha afectado considerablemente a Perú por ser el segundo país a nivel de Latinoamérica y el Caribe que más depende de las importaciones de fertilizantes de Rusia (León, 2022) en un 53 % durante el año 2021 (Flores, 2022). Esta crisis deja en evidencia que nuestra agricultura y seguridad

alimentaria depende directamente de insumos químicos (Escalante, 2020) ya que 15.5 millones de peruanos estarían en riesgo alimentario en caso de no mitigar esta crisis de fertilizantes (FAO, 2021).

Además, el uso de fertilizantes y plaguicidas químicos no es sostenible, debido a que originan efectos adversos para el ambiente (ONU, 2022). Como emisión de GEI, degradación del suelo, eutrofización, desequilibrios biológicos y disminución de la biodiversidad (González, 2019). Estas razones justifican la investigación planteada, en la cual se estimó el costo ambiental o huella de carbono (HC) que se genera para producir una tonelada de tubérculo fresco de papa, haciendo uso de la calculadora “Cool Farm Tool”. Asimismo, se evaluó la rentabilidad utilizando la relación costo-beneficio (BCR) y el rendimiento (FTY) que resulta de adoptar prácticas de agricultura regenerativa. Este trabajo servirá para la toma de iniciativas sobre la mitigación de los efectos de los GEI y reducir el impacto ambiental que genera el cultivo de papa.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la interacción de 24 tratamientos de agricultura regenerativa (12 tratamientos de agricultura de conservación y 12 tratamientos de agricultura orgánica), con respecto al rendimiento, la rentabilidad y la huella de carbono, en la variedad de papa INIA 325 Poderosa, en la sierra de la Libertad.

1.4.2. Objetivos específicos

- Evaluar la interacción en el rendimiento total de 12 tratamientos de AC y 12 tratamientos de AO, en la variedad de papa INIA 325 Poderosa, en la sierra de la Libertad.
- Evaluar la interacción en la rentabilidad (BCR) de 12 tratamientos de AC y 12 tratamientos de AO, en la variedad de papa INIA 325 Poderosa, en la sierra de la Libertad.
- Calcular la interacción de la huella de carbono (en términos de emisiones de CO₂ eq por tonelada de tubérculo fresco producido, durante el ciclo del cultivo) de 12 tratamientos de AC y 12 tratamientos de AO, en la variedad de papa INIA 325 Poderosa, en la sierra de la Libertad.

1.5. Hipótesis

Existe interacción positiva entre los tratamientos de agricultura regenerativa en estudio y por lo menos uno de los factores de interés, en cada ensayo, resulta estadísticamente superior a los otros, respecto a los indicadores evaluados (rendimiento, rentabilidad y huella de carbono).

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

Ramírez et al. (2022) realizó una revisión sistemática sobre el efecto de la labranza cero y el acolchado con paja de arroz (PZTM) en papa, en Asia, sobre los indicadores clave del rendimiento (KPI). Para cumplir con este objetivo se realizó una revisión sistemática de evidencia científica enmarcada en labranza cero, acolchado orgánico, huella de carbono y control de malezas en el cultivo de papa basados en sistemas de intensificación sostenible, logrando tamizar 213 documentos y seleccionando 49 documentos de acuerdo con los criterios de elegibilidad acorde al objetivo planteado. Finalizado el análisis de literatura, se da conocer como resultado que la mayoría de los estudios realizados indican que usar “mulch” mejora la emergencia de la plántula e incrementa el rendimiento de tubérculos en un 20 % o más en comparación con la producción sin cubierta vegetal (acolchado), logrando producir 28.9 t ha⁻¹. También se menciona que el sistema PZTM mitiga el estrés por agua y calor, al aumentar la humedad del suelo y reducir la temperatura del suelo, logrando incrementos en la productividad del agua del 7.7 % al 13.5 %, reduciendo alrededor de 200 mm de agua de riego. Respecto a los nutrientes del suelo se reporta un incremento en P y K, y en cuanto a huella de carbono se indica que el sistema labranza cero y acolchado con “mulch” mejora la captura de carbono del suelo, informando que la labranza convencional produce ~35 kg C kg⁻¹, mientras que la labranza cero y mínima liberaron 6 – 8 kg C kg⁻¹.

Gitari et al. (2018) en Kenia, evaluó el efecto de la incorporación de leguminosas en el sistema de producción de papa sobre la cobertura de suelo, contenido de humedad del suelo, rendimiento de tubérculo y legumbres, rendimiento equivalente de papa e indicador de rentabilidad (BCR). Se instaló cuatro sistemas de cultivo: papa pura (1S), papa - dolichos (2S), papa- alverja (3S), papa frejol (4S); los tubérculos fueron sembrados a 0.3 m entre planta y 0.9

m entre surcos a una profundidad de 0.1 m mientras que las leguminosas se sembraron entre los surcos de papa a 0.25 m. La mayor cobertura (69 %) se presentó en la etapa de iniciación del tubérculo en el sistema 2S en comparación con el 66 % en 3S y 4S, y el 56 % en 1S. Los mayores contenidos de humedad fueron 230, 207, 201 y 188 mm m⁻¹ en 2s, 3s, 4s y 1s respectivamente. Los rendimientos equivalentes de papa fueron 36 t ha⁻¹ (1S), 35 t ha⁻¹ (2S) y 29 t ha⁻¹ (3S). Los sistemas 2S y 4S fueron los más rentables (BCR de 5.7 y 5.4 respectivamente) que los sistemas 1S y 3S (BCR = 5.1). Se concluye que la asociación de papa con algunas leguminosas (dolichos y frejol) obtienen mayores rendimientos equivalentes de papa en comparación con el monocultivo de papa.

Coronado et al. (2018) indica que el gorgojo de los Andes es una plaga de importancia para los pequeños agricultores de papa debido a su alta distribución, llegando a causar daños en campo y almacén, generando pérdidas entre 20 y 70 %. Menciona a las barreras de plástico como una forma de control mecánico, pero, no da a conocer datos cuantitativos sobre la disminución de daños. Sin embargo, estudios anteriores indican que usar estas barreras incrementa los beneficios económicos y ambientales ya que pueden reducir hasta en 10 % los daños ocasionados por el gorgojo: 2 % de tubérculos afectados, con barreras de plástico; y 12.5 % de tubérculos afectados, sin barreras de plástico (Puma & Calderón, 2016).

Pérez et al. (2020) evaluó la eficacia de los discos (HH-DST) para manejar fungicidas en el control de racha (*Phytophthora infestans*), número de aplicaciones de fungicida por temporada e impacto ambiental. Se instaló 11 ensayos experimentales en importantes zonas productoras de papa del Perú y Ecuador, y se comparó el efecto de los HH-DST, prácticas locales y dos sistemas de soporte de decisiones. En cultivares susceptibles, medianamente resistentes y resistentes, en Perú, las evaluaciones se realizaron a 7; 9 y 11 días, mientras que en Ecuador los cultivares susceptibles se evaluaron cada 4 o 7 días, los cultivares moderadamente resistentes y resistentes se evaluaron cada 5 u 11, y 7 o 14 días

respectivamente. La primera aplicación de fungicidas se realizó al 80 % de emergencia de la planta y, a partir de esa fecha, todas las siguientes aplicaciones de fungicida se basaron en las recomendaciones proporcionadas por el régimen de aspersión de los discos. La evaluación visual de los datos graficados mostró que los HH-DST y las prácticas locales en general controlaron efectivamente el tizón tardío en Ecuador como en Perú, sin embargo, el número de aspersiones fue la variable que mostró mayor diferencia entre países; en Perú, las prácticas locales resultaron consistentemente en más fumigaciones que al usar HH-DST, mientras que en Ecuador el usar HH-DST resultó en más fumigaciones para cultivares susceptibles. Al evaluar el impacto ambiental, las prácticas locales mostraron un mayor impacto ambiental que el uso de HH-DST. Referente al grado de la enfermedad se mostró que el uso de discos disminuye la severidad de *Phytophthora infestans* en comparación con las prácticas locales. Finalmente se concluye, que los HH-DST son una herramienta de mucho valor para el manejo de fungicidas que controlan el tizón tardío de la papa dentro de una agricultura de escasos recursos.

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Agricultura regenerativa

La agricultura regenerativa es la aplicación de prácticas ecológicas para el aprovechamiento y restauración del suelo, aprovechando la fotosíntesis de las plantas para cerrar el ciclo del carbono (Regeneration International, 2017). Pone en marcha el enfoque teórico de la agroecología para aumentar la sustentabilidad agraria desde las perspectivas ecológica, social y económica (Pérez, 2021). La agricultura regenerativa se basa en 3 aspectos: 1. Recuperación de la fertilidad del suelo (utilizando harina de rocas “rock dust”; microorganismos nativos; materia orgánica y “mulch” orgánico) 2. Elaboración de insumos in situ (bio-fertilizantes, compostas, biosidas). 3. Manejo del cultivo (con uso de “mulch”) (Vega, 2020). Hacer uso de actividades regenerativas que permiten aumentar la materia orgánica del

suelo conlleva a restaurar los niveles de carbono orgánico del suelo y promover la actividad microbiana (Vásquez, 2022). Con las prácticas de agricultura regenerativa se mejora la formación estructural del suelo (Six et al., 2000), la capacidad de retención de agua y el secuestro de carbono, reduciendo así los niveles de CO₂ atmosférico y su impacto en el CC (Regeneration International, 2017). El sistema de agricultura regenerativa se basa en décadas de investigación científica de agricultura orgánica, agroecología, pastoreo holístico y agrosilvicultura (Jones et al., 2022).

2.2.2. Agricultura de conservación

La agricultura de conservación (AC) se basa en tres principios: 1. Mínima perturbación del suelo (labranza cero) mediante la colocación directa de semillas y/o fertilizantes. 2. Cobertura permanente del suelo (residuos de cosechas o cultivos de cobertura). 3. Diversificación de las especies vegetales (rotaciones de cultivos variadas y asociaciones que involucran al menos tres especies de cultivos diferentes). Estas actividades contribuyen a mejorar la biodiversidad y los procesos biológicos (microorganismos) en los horizontes suelo, logrando una producción agrícola mejorada y sostenida, debido al uso eficiente del agua y de los nutrientes (FAO 2022).

2.2.3. Agricultura orgánica

Es un enfoque agrícola que busca sostener la salud de los suelos, de los ecosistemas y de las personas (Jones et al., 2022), minimizando la dependencia exterior de insumos (fertilizantes inorgánicos y pesticidas) y optimizando los recursos propios o locales de producción. Este enfoque hace énfasis en el mejoramiento de la fertilidad del suelo (*uso de estiércoles de animales, abonos verdes con énfasis en leguminosas, aplicaciones de fitoestimulantes de origen orgánico como el biol y microelementos*), manejo de plagas, enfermedades y malezas (“cultivos intercalados” del inglés "intercropping", rotación de

cultivos, control biológico, uso de macro y microelementos puros o en forma de complejos como azufre, cobre, cal y fosfatos) (Salazar et al., 2003).

2.2.4. Prácticas agrícolas regenerativas

Las prácticas de agricultura regenerativa bien conducidas permiten reducir a cero las emisiones de CO₂, y también capturarlo y almacenarlo como carbono orgánico en el suelo o en la biomasa de la vegetación perenne (Bellido, 2022). Es decir, a través de estas prácticas podemos invertir las emisiones de carbono de nuestra agricultura moderna a una de secuestro de carbono, limpiando así los niveles de CO₂ la atmósfera (Regeneration International, 2017). Estas prácticas se fundamentan sobre los siguientes puntos: reducción de la labranza o implementación de labranza cero, adición de residuos o enmiendas orgánicas (“mulch”), cultivos de cobertura, mantención de la cobertura vegetal del suelo, fomentar la diversidad y rotación de especies cultivadas (Vasques, 2022).

a. Labranza cero o mínimo laboreo.

Esta labranza evita que los agregados del suelo sean fraccionados o interrumpidos, ya que la alteración de los macroagregados en una labranza convencional expone la reserva de carbono de los microagregados a los descomponedores, lo que aumenta la mineralización (Quintero & Comerford, 2013). Así también, el laboreo mínimo reduce la oxidación del carbono evitando así emisiones de CO₂ (Gonzales, 2021), mejora la estructura del suelo y contribuye al aumento de carbono orgánico de los suelos (Abdalla et al., 2013) por tener, los agregados, mayor protección física (Quintero & Comerford, 2013). Ciertos estudios indican que la labranza cero en el cultivo de papa reduce la pérdida de nutrientes en la superficie del suelo, sin tener un efecto negativo en el rendimiento y la calidad, aunque puede haber alguna influencia en la maduración y fecha de cosecha (Uribe et al., 2018). Se indica que los rendimientos de papa sin labranza no se reducen en comparación con los convencionales,

logrando producir 14.5 t ha⁻¹ en labranza cero y 13.5 t ha⁻¹ en labranza convencional (Mosquera et al., 2019).

b. Cultivo “intercalado”.

El cultivo “intercalado” es la práctica de cultivar dos o más cultivos en la misma tierra al mismo tiempo o dentro del mismo período (Rezig et al., 2013). Esta práctica hace un mejor uso de los recursos ambientales (Midmore, 1993), incrementa rendimientos (Zhang et al., 2007) y produce mayor cantidad total de materia seca (Gao et al., 2009). En Kenia, un estudio encontró que, al intercalar dos variedades de papa con una leguminosa en hileras de dos por dos, el rendimiento de papa incrementa, sin embargo, los rendimientos eran menores cuando el “intercalado” era dos filas de papa por una fila de leguminosa, pero superiores en comparación al monocultivo de papa (Khalili & Al, 2013). También se da a conocer que la cantidad de materia seca de la papa en cultivo “intercalado” con frejol es mayor que en cultivo único (Rezig et al., 2013). Por otro lado, el uso de fabáceas o leguminosas crean una relación simbiótica con las bacterias del suelo, originando la formación de nódulos en las raíces, que conlleva a una fijación biológica del nitrógeno (Paredes, 2013).

c. Acolchado o “mulch”.

Esta práctica consiste en esparcir restos vegetales sobre la superficie del suelo (Abdul et al., 2019; Prosdocimi et al., 2016) como paja de trigo, restos de hojas de papa, maíz, paja de arroz, compost, paja de avena, aserrín etc. (Kader et al., 2017). Esta técnica de conservación protege al suelo de la degradación física, química y biológica, ya que evita el impacto directo de las gotas de lluvia sobre los agregados del suelo evitando la erosión (Prosdocimi et al., 2016). Además, favorece la infiltración, retiene mayor humedad y temperatura (Malumba & Lab, 2018; Kader et al., 2017). Otra ventaja que tiene la aplicación de “mulch” a los campos de cultivo es incrementar la concentración del carbono orgánico del suelo y los rendimientos

(Malumba & Lab, 2008). Así, Raju & Krishi (2013) mencionan que Dixit & Majumdar (1995) obtuvieron un incremento del 27.9 % en el rendimiento y 18.2 % en el contenido de almidón en cultivo de papa con “mulch” de paja de arroz en comparación con la parcela sin “mulch”.

d. Barreras de plástico como medida de control del gorgojo de los Andes.

Esta alternativa se enmarca en el control físico para mitigar a una de las plagas clave del cultivo de papa, *Premnotrypes* spp, esta desarrollada en base al comportamiento migratorio e incapacidad para volar de los gorgojos, ya que estos caminan largas distancias desde los campos infestados de papa de la campaña anterior a los campos de papa nuevos (Kroschel et al., 2012). Usar estas barreras incrementa los beneficios económicos y ambientales ya que pueden reducir hasta en 10 % los daños ocasionados por gorgojos: con barreras de plástico 2 % de tubérculos afectados y sin barreras de plástico 12.5 % de tubérculos afectados (Puma & calderón, 2016). De igual modo, otro estudio revela que estas barreras son muy eficaces para controlar el gorgojo de los Andes, ya que en promedio los daños se reducen de 5 % y 7 %. En comparación, con la aplicación de insecticidas que lograron disminuir los daños solamente en 18 % y 20 % en parcelas demostrativas (Kroschel et al., 2013). Esta tecnología consiste en fijar la lámina de plástico a estacas de madera y colocarlo alrededor del cultivo (10 cm por debajo del suelo y 40 a 50 cm sobre la superficie del suelo).

2.2.5. Efecto de la gallinaza en el rendimiento del cultivo de papa

La gallinaza es un fertilizante orgánico compuesto por paja de arroz, plumas, porción no digerible de los alimentos y excretas de gallina o pollo (Arévalo et al., 2018), su incorporación como abono logra incrementar los rendimientos, ya que aporta nutrientes como N-P-K, e incrementa la materia orgánica del suelo (Casas et al., 2020). Su uso es infaltable en las campañas de papa en la sierra de la libertad, aunque sus dosis de aplicación dependen del poder adquisitivo del agricultor. Con la finalidad de evaluar el efecto de la gallinaza en el rendimiento

de la papa se llevaron a cabo varias investigaciones considerando dosis de aplicación de 2 t ha⁻¹, 3 t ha⁻¹, 4 t ha⁻¹ (Peñaloza et al., 2019) 6 t ha⁻¹ y 8 t ha⁻¹ de gallinaza (Alcarraz, 2010). Llegando a reportar rendimientos de 24.4 y 23.9 t ha⁻¹ en los cultivares Rosita y Ágata, ambos con 4 t ha⁻¹ de gallinaza (Peñaloza et al., 2019). Por otro lado, Alcarraz (2010) reporto rendimientos de 28.6 y 31.3 t ha⁻¹ de tubérculos de papa utilizando 4 y 8 t ha⁻¹ de gallinaza respectivamente, llegando a sobrepasar el rendimiento de los tratamientos control. Estas investigaciones, y otras, destacan el efecto de los abonos orgánicos por observarse un mejor comportamiento de los cultivos, llegando a incrementar rendimientos. (Luna et al., 2016).

2.2.6. Suelos y secuestro de carbono en la mitigación al cambio climático

a. Los suelos como sumidero de carbono.

Convertir globalmente a los suelos agrícolas en sumideros de carbono y cuantificar esta captura es un gran desafío del protocolo de Kyoto (Hernández et al., 2014), ya que la capacidad del suelo para almacenar carbono es superior al carbono almacenado en la fitomasa y atmosfera (Scharlemann et al., 2014). Este almacenamiento es a través del secuestro de carbono, haciendo posible disminuir las emisiones del CO₂ atmosférico, y a través de la materia orgánica particulada estabilizarlo en los macroagregados y microagregados (Gonzales, 2021; Quintero & Comerford, 2013;). La capacidad del suelo para almacenar carbono depende de las prácticas de manejo y conservación del suelo como, sistemas de labranza, rotaciones de cultivos, incorporación de residuos de cosecha, la fertilización, riego y drenaje (Ethevarría & Barahona, 2018). La FAO manifiesta que los suelos son capaces fijar alrededor de 20 Pg de carbono en 25 años, equivalente a más del 10 % de las emisiones por la humanidad.

b. Materia orgánica del suelo.

La divergencia de captura y salida del carbono del suelo nos representa la cantidad de materia orgánica del suelo (Ethevarría & Barahona, 2018) que se compone aproximadamente

el 58 % del carbono orgánico del suelo (Pribyl, 2010). Los procesos involucrados en la formación materia orgánica en el suelo son: la humidificación y la mineralización (Gros & Domínguez, 1992), siendo la humificación una fase rápida de descomposición por acción de microorganismos formando un humus joven “lábil” o “libre” y un humus estabilizado (húmina, ácidos húmicos y fúlvicos). La mineralización es una fase lenta donde se destruye el humus estable por acción de otros microorganismos liberando minerales para las plantas (Meneses et al., 2006). Por otro lado, la incorporación de residuos de cultivo (rastros), de raíces y exudados radicales son la principal fuente de captura de carbono (Ethevarría & Barahona, 2018).

c. Influencia del microbiota.

La dinámica de los sistemas agrícolas enmarcados en el enfoque orgánico y sostenible consideran a los microorganismos como elementos básicos para lograr la sostenibilidad (Ferrera & Alarcón, 2001) ya que los microorganismos del suelo intervienen en el ciclo del carbono y nitrógeno (Vries et al., 2013). Siendo la asociación de hongo y raíz (micorriza) una forma principal para regular la dinámica del carbono en los ecosistemas, (Clemmensen et al., 2013) ya que los micelios micorrícicos proporcionan extensas vías para los flujos de carbono y nutrientes a través del suelo (Leake et al., 2004), ejemplo de ello el asocio raíz de leguminosa-Rhizobio para fijar el nitrógeno atmosférico, formando nódulos. Sin embargo, el sobre laboreo, la aplicación de fertilizantes y pesticidas sintéticos rompen esta dinámica natural (Neely & Fynn, 2011) ya que las micorrizas y bacterias asociadas se inhiben al existir un laboreo excesivo y niveles altos de P y N soluble (Leake et al., 2004). Además, utilizar fertilizantes nitrogenados sintéticos generan pérdida de materia orgánica del suelo, pérdida de nitrógeno en forma N_2O y emisión de carbono en forma de CO_2 aproximadamente 10 000 kg de carbono por hectárea (González, 2021).

2.2.7. Gases de efecto invernadero

Los gases de invernadero de origen natural (CO₂, N₂O, CH₄, O₃) o antropogénico (Hexafluoruro de azufre, Hidrofluorocarbonos, Perfluorocarbonos) son los componentes de la atmósfera, que contribuyen al CC (Benavides & León, 2007). Su capacidad de absorber y remitir radiación infrarroja en todas las direcciones, provocan un aumento de temperatura en la atmosfera y en la superficie terrestre (Espínola & Valderrama, 2011). En forma simple el efecto invernadero provoca que la energía que llega a la Tierra sea devuelta más lentamente, por lo que es mantenida más tiempo junto a la superficie elevando la temperatura (Bolin et al., 1986). El grado de contribución al cambio climático depende de la cantidad y tiempo de vida de los GEI en la atmósfera y el nivel de impacto en la temperatura global (Cepsa, 2015).

2.2.8. Huella de carbono

De forma general la HC es la suma total de GEI emitidos a la atmosfera por un individuo, organización o producto de forma directa o indirecta; expresada generalmente en kilos o toneladas de CO₂ equivalentes (Schneider & Samaniego, 2010). Teniendo en cuenta el concepto anterior, la HC en agronomía representa la suma de todos los GEI emitidos a la atmosfera durante todo el proceso productivo de un cultivo (Ministerio para la transición ecológica, 2014). Los GEI con mayor atención en el protocolo de Kyoto son: CO₂, el óxido de nitrógeno (N₂O), el metano (CH₄), los perfluorocarbonos (PFCs), el hexafluoruro de azufre (SF₆) y los hidrofluorocarbonos (HFCs), Sin embargo, el CO₂ es el GEI que tiene mayor influencia en el calentamiento del planeta, y es por ello, por lo que las emisiones de GEI se miden en función de este gas (COFIDE, 2018).

2.2.9. Cool Farm Tool

Cool Farm Tool (CFT) es una calculadora que estima la huella de carbono (emisiones de GEI y secuestro de carbono) en la agricultura, originalmente fue creada por la Universidad de Aberdeen (USA). La versión en línea de CFT tiene un diseño sencillo y fácil de manejar, sin embargo, estas características no quitan la validez y respaldo científico de la herramienta en la medición de carbono (Neira, 2020). Para calcular la HC, la calculadora hace uso de 7 secciones de entrada: configuración de la granja (ubicación, clima), información general (producto, año), área de cultivo (área, características del suelo), tratamiento de campo (protección de cultivos, uso de fertilizantes, gestión de residuos), gestión (uso y gestión de la tierra, biomasa aérea), energía y procesamiento (uso de energía, maquinaria agrícola), además de transporte (Cool Farm Alliance, 2023). A diferencia de otras calculadoras, CFT incluye cálculos de secuestro de carbono por el suelo, recomendando la introducción de cultivos de cobertura, la reducción de labranza y rotación de cultivos haciendo énfasis en la mitigación y adaptación al CC y reducción del impacto ambiental. (Cool Farm Alliance, 2023).

2.2.10. Plagas más importantes de la papa

a. El gorgojo de los Andes (*Premnotrypes spp*)

Plaga importante del cultivo de papa (Egusquiza, 2013) denominada también gusanera o gusano blanco (Perez & Forbes, 2011). Los adultos se alimentan en la noche de las hojas, causando daños en forma de medialuna, y en el día permanecen debajo de los terrones, las larvas se alimentan de los tubérculos causando galerías o túneles, sus estados de desarrollo son, incubación, larva, prepupa, pupa y adulto (Salamanca et al., 2013).

b. Pulguilla (*Epitrix sp*)

Los adultos se alimentan de las hojas produciendo perforaciones que reducen el área foliar. Las larvas causan daño al alimentarse raspando raíces, estolones y superficie de los

tubérculos, permitiendo el ingreso de otras plagas, especialmente enfermedades virósicas afectando la calidad comercial (Egusquiza, 2013).

c. Palomilla de la papa (*Phthorimaea operculella* Zeller)

Plaga importante en campo y almacén, los daños en hojas se visualizan como minas y son originadas por las larvas que se desarrollaron a partir de huevecillos ovipositados por los adultos (Alcázar & Cisneros, 1996).

2.2.11. Enfermedades más importantes de la papa

a. Racha (*Phytophthora infestans* (Mont.) De Bary)

Los síntomas de esta enfermedad se presentan en toda la planta. En hojas se manifiestan como manchas húmedas de color marrón, los tallos afectados se tiñen de color negro y de consistencia quebradiza. El signo se observa en forma de mildiu cuando existe humedad permanentemente bajo la presencia de lluvias o garugas, este signo también se presenta al contorno de las lesiones originadas por el fitopatógeno (Roncal, 2004).

b. Rizoctonias (*Rhizoctonia solani* Kuhn)

Afecta la parte basal de los brotes que presentan lesiones de color marrón. Los síntomas en planta adulta son, enrollamiento hacia arriba y coloración purpura de las hojas, formación de tubérculo aéreo y clorosis (Otiniano, 2017).

c. Tizón temprano de la papa (*Alternaria solani* Sorauer)

Afecta a foliolos, peciolos y tallos. Los síntomas se visualizan en lesiones circulares con anillos concéntricos. Esta enfermedad se presenta con mayor incidencia cuando el cultivo entra en senescencia, iniciándose en hojas inferiores y asciende a las hojas superiores si las condiciones presentes en el campo de cultivo son favorables. (Roncal, 2014; Perez & Forbes, 2011).

2.2.12. Control de plagas y enfermedades en el distrito de Chugay

Las plagas y enfermedades clave del cultivo de papa, generan daños en la parte aérea (follaje) y subterránea (estolones, raíces y tubérculos) de la planta, estas se presentan de forma constante en temporadas chicas y grandes afectando el rendimiento y productividad (Alcázar & Cisneros, 1996). La incidencia de ellas reduce el beneficio económico del agricultor ya que el daño originado se traduce en pérdidas. Con el fin de maximizar ganancias y reducir pérdidas el agricultor hace hincapié principalmente en el control químico.

a. Control químico

Es el control más usado por pequeños y grandes agricultores, a nivel nacional, aunque es cierto que los plaguicidas proporcionan beneficios (acción rápida), su uso no es sostenible, pues originan efectos adversos para el ambiente y la salud (ONU, 2022), generando GEI que contribuyen al calentamiento global y al CC (Umaña et al., 2013). La aplicación de estos insumos generalmente depende del criterio propio del agricultor, agudizando más los efectos negativos por no tener un soporte técnico en el manejo de plaguicidas, rotación de ingredientes activos y umbrales de acción. Los agricultores de Chugay no son la excepción a esta realidad, siendo la plaga y enfermedad de mayor impacto en sus campos de cultivo de papa el gorgojo de los Andes (*Premnotrypes* sp) y ranca (*Phytophthora infestans*) que más plaguicidas demandan. La falta de un sistema de soporte para tomar decisiones al momento de aplicar fungicidas para el control de ranca origina que el Centro Internacional de la Papa desarrolle una herramienta denominada Juego de ruedas o discos, que nos indica los días que debemos fumigar teniendo en cuenta las precipitaciones existentes.

b. Uso de discos para manejo de fungicidas que controlan ranca

Los discos son una herramienta portátil que ayuda al agricultor a manejar la aplicación de fungicidas para el control del tizón tardío del papa causado por *Phytophthora infestans*. El

kit, consta de tres discos de cartón plastificado de diferente color que son utilizados de acuerdo con el nivel de susceptibilidad de las variedades (Figura 1) cada disco tiene tres círculos concéntricos, dos de los cuales representan los factores que impulsan las epidemias de tizón tardío y el tercero brinda una recomendación de aspersión (Pérez et al., 2020). El disco rojo se utiliza para variedades susceptibles; el amarillo en variedades moderadamente resistentes y verde para variedades resistentes. La escala de susceptibilidad va de 0 a 9 y fue propuesta por Yuen & Forbes (2009), en el que el aumento de la susceptibilidad se representa mediante números ascendentes, donde 9 representa una alta susceptibilidad (Tabla 1). Dentro de cada disco hay dos círculos giratorios, uno para el número de días de lluvia a partir de la última aplicación de fungicida y otro para el número de días transcurridos desde la última aplicación de fungicida, rotar los círculos da diferentes niveles de factor, cuantificados por números, y cada combinación de niveles da como resultado una recomendación de aspersión, en el centro del círculo (Pérez et al., 2020). Para ver la efectividad del HH-DST, se comparó con los regímenes de rociado de fungicidas aplicados localmente en tres ensayos en Perú y en seis ensayos en Ecuador. Los resultados indican que los regímenes de discos y de rociado local controlaron relativamente bien la enfermedad en todos los casos. Sin embargo, el manejo de discos fue más efectivo con cultivares altamente susceptibles tanto en Ecuador como en Perú. En cuanto al número de aplicaciones los HH-DST tuvieron un número igual o menor que las realizadas localmente, originando un menor impacto ambiental que las prácticas locales. Finalmente se concluye que los HH-DST, controlaron adecuadamente la enfermedad, y reducen el número de aplicaciones de fungicidas para rancho por temporada, mitigando así el impacto ambiental (Pérez et al., 2020).

Figura 1

Discos portátiles de apoyo utilizados en la toma de decisiones para aplicación de fungicidas que controlan rancha en variedades de papa a) susceptibles, b) moderadamente resistentes y c) resistentes. Figura tomada de Pérez et al. 2020.

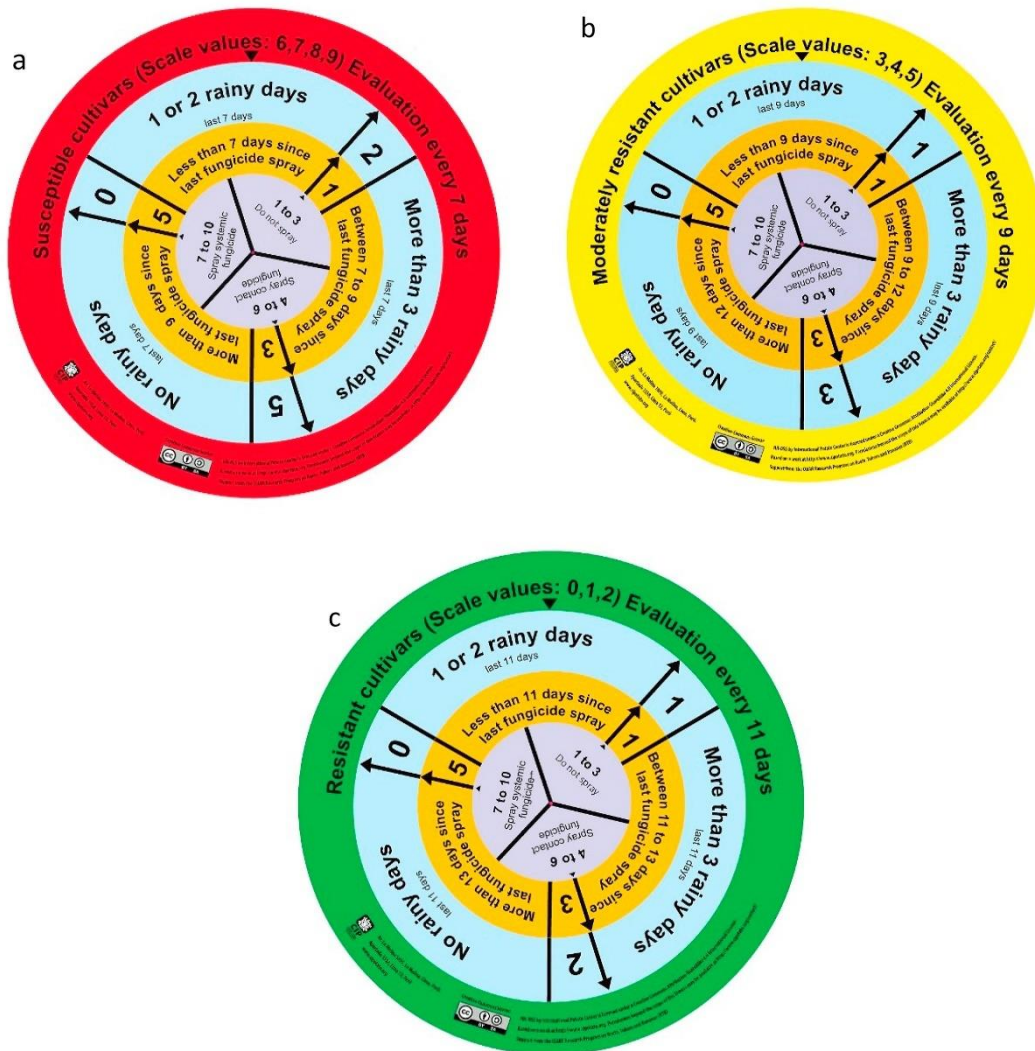


Tabla 1

Valores de los factores inductores del tizón tardío utilizados en los discos de apoyo para manejo de fungicidas que controlan rancha (*Phytophthora infestans*).

Factores	(Valor del factor en días), Valor de salida de HH-DST			(Valor del factor en días), Valor de salida de HH-DST		
	Perú			Ecuador		
	Verde ^a	Amarillo	Rojo	Verde	Amarillo	Rojo
Días lluviosos	(0), 0	(0), 1	(0), 2	(0), 0	(0), 1	(0), 2
	(1–2), 1	(1–2), 1	(1–2), 3	(1–4) o (1–35 mm), 1	(1–4) o (1–15 mm), 1	(1–2) o (1–5 mm) 1
	(>2), 2	(>2), 3	(>2), 5	(>4) o (>35 mm) 2	(>4) o (>14 mm) 2	(>2) o (>5 mm) 2
Tiempo desde la última aplicación de fungicida	(<11), 0	(<8), 0	(<6), 1	(<14), 1	(<11), 1	(<7), 1
	(11–13), 3	(9–12), 3	(7–9), 3	(14–17), 3	(11–14), 3	(7–9), 3
	(>13), 5	(>12), 5	(>9), 5	(>17), 5	(>14), 5	(>9), 5

Nota. ^a El color verde representa variedades resistentes, el amarillo representa variedades con resistencia moderada y el rojo representa variedades susceptibles. La susceptibilidad al tizón tardío se basó en una escala propuesta por Yuen y Forbes (2009), el cual tiene números ascendentes en la media que aumenta la susceptibilidad.

2.3. Definición de términos

Agricultura Regenerativa: Es una práctica holística de gestión de la tierra, definida también como herramienta que pone en marcha todas las estrategias o enfoque teórico de la agroecología, basándose en la recuperación de la fertilidad de los suelos, uso de insumos locales y conservación de suelos (Regeneration International, 2017; Pérez, 2021; Vega, 2020).

Rendimiento: Es la relación existente entre la cantidad total de un cultivo cosechado por su unidad de superficie que utiliza; generalmente se expresa en toneladas por hectárea (Gitari et al., 2018).

Rentabilidad: Beneficios derivados de una determinada inversión. (Mosquera et al., 2019).

Huella de carbono: Es la cuantificación total de gases de efecto invernadero de origen antropogénico expresados en CO₂ equivalentes por unidad de producto o de tiempo (Ramírez et al. 2022).

Discos para manejo de fungicidas que controlan rancho (*Phytophthora infestans*): Es una herramienta portátil desarrollada por el CIP y sus socios, que brinda soporte al agricultor en la toma de decisiones para manejar la aplicación de fungicidas que controlan el tizón tardío del papa causado por *Phytophthora infestans*. Este sistema consta tres discos de cartón plastificado de diferente color que son utilizados de acuerdo con el nivel de susceptibilidad de las variedades (disco rojo para variedades susceptibles; amarillo para variedades moderadamente resistentes; verde para variedades resistentes) (Pérez et al., 2020).

Cool farm tool: Calculadora que cuantifica las emisiones de GEI (huella de carbono) del sector agrícola, sus resultados se expresan en unidades de masa de CO₂ eq por tonelada o hectárea, cuenta con 7 secciones de recolección de información para calcular la huella de carbono (Cool Farm Alliance, 2023).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación de la investigación

La presente investigación se desarrolló con dos ensayos experimentales:

Ensayo 1 (agricultura de conservación): ubicado en el caserío de Lícame, distrito de Chugay – provincia de Sánchez Carrión, geográficamente localizado en la zona 18 M-186514 m E, 9140853 S, a una altitud de 3575 m s. n. m. con temperatura media anual de 7.6 °C, temperatura media máxima anual de 12.9 °C y media mínima anual de 3.9 °C.

Ensayo 2 (agricultura orgánica): ubicado en el caserío de La Soledad, distrito de Chugay, provincia de Sánchez Carrión, geográficamente localizado en la zona 18 M- 187820 m E, 9139408 m S, a una altitud de 3790 m s. n. m. con temperatura media anual de 7.9 °C, temperatura media máxima anual de 15.5 °C, media mínima anual de 2.9 °C y precipitación anual de 1080.5 mm (ver Anexo 4).

Figura 2

Ubicación de los ensayos experimentales de agricultura de conservación y orgánica en los caseríos de Licame y La Soledad respectivamente, ambos en el distrito de Chugay, provincia de Sánchez Carrión, departamento La Libertad-Perú.

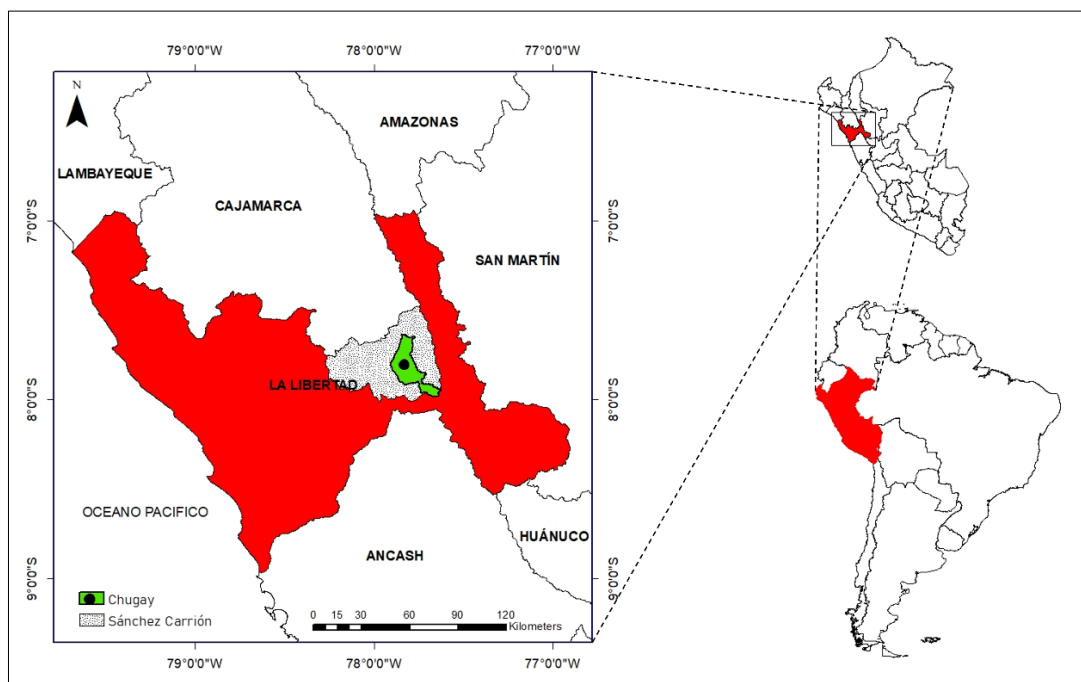


Tabla 2

Condiciones meteorológicas durante el desarrollo vegetativo (octubre 2022- marzo 2023), registradas con la estación meteorológica CIP-La Soledad. Dataset Rinza et al. (2024).

	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.
Precipitación (mm)	115.8	40.4	142.0	150.6	163.2	234.2
Humedad relativa del aire (%)	81.1	74.0	82.6	88.6	92.2	89.8
Temperatura promedio del aire (°C)	8.1	8.3	7.6	7.3	7.7	7.3
Temperatura máxima del aire (°C)	16.9	17.7	16.6	15.0	15.2	13.8
Temperatura mínima del aire (°C)	2.7	2.9	1.8	2.8	3.8	3.1
Radiación solar (Wm ⁻²)	181.8	213.8	179.4	176.0	163.3	161.2

3.2. Materiales

3.2.1. Material biológico

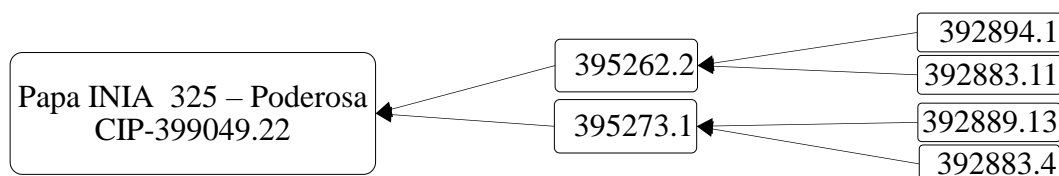
La variedad de papa INIA 325-Poderosa (CIP-399049.22). Es una variedad de papa mejorada, obtenida por Selección Varietal Participativa (SVP), con la metodología mamá y bebé, logrando seleccionar un genotipo de papa de la población B1C5029.22, codificado como (CIP 399049.22).² Se caracteriza por tener alto potencial de rendimiento, resistencia a la racha y buena calidad culinaria y altos valores nutricionales (CIP, 2015). Esta variedad fue liberada en el año 2015 y es el resultado de un convenio tripartito entre dos instituciones dedicadas a la investigación Centro Internacional de la Papa (CIP), el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) y una ONG al servicio de los productores, la Asociación Pataz (CIP, 2015).

Semilla de haba (*Vicia faba* L). El haba de la variedad señorita fue adquirida de la asociación mi Lícame unido, origen de producción local.

² <http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/706/1/Trip-Papa-INIA325.pdf>

Figura 3

Origen y genealogía para la obtención de la variedad de papa INIA 325-Poderosa. Fuente: INIA (2014).



3.2.2. Materiales y herramientas de campo

Los materiales y herramientas que se utilizaron fueron: libreta de apuntes, identificadores, lapiceros, plástico, cinta, rafia, plumones indelebles, nivel, cordel, palitos de bambú, cinta métrica, picotas y parantes de madero.

3.2.3. Equipos

Los equipos utilizados fueron: laptop, tablet, GPS, muestreadores, mochila fumigadora y cámara fotográfica NIKON D3500.

3.2.4. Materiales y equipos de laboratorio

Se utilizo: horno, balanza digital y placas Petri.

3.3. Metodología

3.3.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación fue experimental y el diseño de investigación fue parcelas divididas caso sub-sub-parcelas en DBCA (diseño de bloque completamente aleatorizado); el *modelo estadístico lineal*, según Vásquez (2014), se describe a continuación:

$$Y_{ijk} = \mu + \rho_l + \alpha_i + \delta_{il} + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \tau_{ijk} + \gamma_k + (\alpha\gamma)_{ik} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + e_{ijkl} \quad (1)$$

Donde:

- μ : es la media
- ρ_l : es el efecto de la l-esima repetición (bloque)
- α_i : es el efecto de la i-esimo nivel del factor **a** que se estudia en parcelas
- δ_{il} : es el efecto de la i-esimo nivel del factor **a** en la i-esima repetición (interacción)
- β_j : es el efecto de la j-esimo nivel del factor **b** que se estudia en la sub-parcela
- τ_{ijk} : es el efecto del error en términos de sub-parcelas
- γ_k : es el efecto de la k-esimo nivel del factor **c** que se estudia en la sub-sub-parcela
- $(\alpha\beta)_{ij}$: interacción entre parcela y sub-parcela
- $(\alpha\gamma)_{ik}$: interacción entre parcela y sub-sub-parcela
- $(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$: interacción entre parcela, sub-parcela y sub-sub-parcela
- e_{ijkl} : son las variables de error con media cero y varianza σ_a^2 , σ_b^2 y σ_c^2 respectivamente

La investigación consistió en 2 ensayos (experimentos) como se detalla a continuación:

3.3.1.1. Ensayo 1, de agricultura de conservación. Incluyo los factores labranza, con dos niveles (LC=labranza convencional y SL=labranza cero), “mulch” con tres niveles de espesor (M1=10 cm, M2=20 cm y M3=30 cm), barrera de plástico para manejo del gorgojo de los Andes con dos niveles (CP=con plástico y SP=sin plástico). De la combinación de estos factores y niveles resultaron 12 tratamientos. Además, se agregó un testigo o control con manejo convencional, como lo acostumbra el agricultor de la zona. De este modo tuvimos 12 tratamientos en estudio y un control (Tabla 4), los cuales se ubicaron en las sub-sub-parcelas,

en cuatro repeticiones, conforme al croquis (Figura 4). La siembra se realizó (ver Anexo 2, Foto 1-2) a 1 m entre surcos y 0.3 m entre plantas, lo que correspondió a una densidad de población de 33 333 plantas ha⁻¹. Para todo el ensayo se aplicó abono de gallinaza en la dosis equivalente de 2 t ha⁻¹.

Tabla 3

Análisis de caracterización de suelo del laboratorio de Análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes Universidad Nacional Agraria La Molina - Facultad de Agronomía (04/11/2022), donde se instaló el ensayo de agricultura de conservación (caserío de Licame) y agricultura orgánica (caserío de La Soledad), ambos pertenecientes al distrito de Chugay, provincia Sánchez Carrión, departamento La Libertad.

Número de Muestra Lab	Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
13894	Licame	5.12	0.08	0.00	6.21	7.2	145	41	44	15	Fr.	16.00	1.99	0.21	0.27	0.01	0.65	3.13	2.48	15
13895	La Soledad	4.40	0.13	0.00	9.18	59.8	144	33	52	15	Fr.L.	21.12	0.93	0.12	0.37	0.06	2.05	3.52	1.47	7

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Número de Muestra Lab	Claves	N %
13894	Licame	0.33
13895	La Soledad	0.40

Las características y propiedades del suelo donde se instaló el experimento de agricultura de conservación (Licame) se detallan en el análisis de caracterización mostrado en la Tabla 3, estos suelos son de textura franca, de reacción fuertemente ácida (pH: 5.12), nivel alto de materia orgánica (MO: 6.21 %) nivel alto de nitrógeno (N: 0.33 %), medio en fósforo disponible (P: 7.2 ppm), nivel medio de potasio disponible (K: 145 ppm), nivel alto de capacidad intercambio catiónico (CIC: 16.00 meq/100g), sin carbonatos (CaCO₃: 0 %), presenta niveles bajos de aluminio más hidrógeno (Al⁺³ + H⁺: 0.65 meq/100 g), no salinos (CE: 0.08 dS m⁻¹), la razón de absorción de sodio (RAS) es baja, por lo tanto no afecta la disponibilidad de nutrientes y baja saturación de bases (SB: 15 %).

a. Labores que se realizaron en agricultura de conservación. Después de haber realizado la delimitación del área y preparación de terreno, se continuo con la *siembra y aplicación de los tratamientos*, en labranza convencional, el tubérculo fue enterrado en los surcos entre 10 a 15 cm de profundidad, se usó abono orgánico en todos los tratamientos en

igual dosis. En labranza cero, se tomó un cordel y con una picota trazamos una línea para colocar los tubérculos alineados (los tubérculos no se enterraron), se acompañó de abono orgánico en todos los tratamientos en la misma dosis que para labranza convencional, posteriormente se colocó el “mulch” sobre la superficie del suelo, en ambos casos la distancia entre surcos fue de 1 m y 0.3 m entre plantas. Para la instalación de las barreras de plástico (ancho = 1 m), se realizó una pequeña zanja alrededor de los tratamientos y se fijaron parantes de madera (1 m de longitud), a continuación, se colocó uno de los bordes del plástico en la zanja de aproximadamente 15 cm y el otro se fijó a los parantes de madera; finalmente se llenó tierra en la zanja. Respecto a las **labores culturales**, no se realizó deshierbe ni aporque ya que el “mulch” evito la aparición de malezas, a excepción de los tratamientos controles. A todos los tratamientos se realizó una aplicación con abono foliar, Bayfolan de la empresa Bayer (150 mL / 20 L de agua) cuando la papa tenía aproximadamente 10 cm de altura, y Grow More premium de la línea Connagra (150 g/ 20 L de agua) en pleno desarrollo de brotes laterales.

b. Evaluación de las condiciones del suelo. Posterior a la instalación del experimento, se realizó un monitoreo de humedad, temperatura y tasa de descomposición de la materia orgánica, con la finalidad de observar su comportamiento del suelo y del cultivo de papa en agricultura de conservación y agricultura tradicional; A continuación, se describe el procedimiento:

- **Temperatura del suelo:** La temperatura de suelo fue registrada utilizando una estación HOBO U12 (Onset Computer Corporation, USA) a 10 y 25 cm de profundidad en el tratamiento testigo_T0 (*labranza convencional sin “mulch”*) y a 0, 10 y 25 cm de profundidad en el tratamiento nueve_T9 (*labranza cero con 30 cm de espesor de “mulch”*); (ver Anexo 2, Foto 3).
- **Tasa de descomposición de la materia orgánica (k):** Para calcular la tasa de descomposición de la materia orgánica se emplearon bolsitas de té Rooibos, siguiendo la

metodología de keuskamp et al. (2013). Para ello se registró el peso inicial del té (se pesa solo el contenido de té y restamos el peso de la bolsita que lo contiene), posteriormente, se enterraron las bolsitas de té a 8 cm de profundidad en todos los tratamientos y dejaremos transcurrir 180 días. Para identificar el lugar del entierro de las bolsitas de té utilizamos varitas de bambú, transcurrido los 180 días se recuperaron las bolsitas de té, se retiró las partículas de tierra adheridas y se secaron durante 48 horas a 70 °C. La pérdida de peso (descompuesta) se determinará con el modelo exponencial simple:

$$w_t = w_0 e^{-kt} \quad (2)$$

Donde, W_0 = Peso inicial de la bolsa de té. W_t = Peso final de la bolsa de té. t = Tiempo (180 días) y K = Constante de la tasa de descomposición.

Para calcular “k”, se utiliza la fórmula de Olson (1963):

$$\ln \left(\frac{x_0}{x_t} \right) = -kt \quad (3)$$

Donde X_0 = peso original la bolsa de té. X_t = peso remanente o final en el momento t .

- **Humedad gravimétrica del suelo (hg):** Para medir esta variable se utilizó la metodología establecida por Rinza et al. (2021), para ello utilizamos un muestreador de suelo tipo sacabocado, los muestreos se realizaron a 25 cm de profundidad, sacando 2 muestras por tratamiento de cada bloque, mezclamos las muestras del mismo tratamiento y separamos 200 gramos (peso fresco) en una placa Petri (ver Anexo 2, Foto 9). Posteriormente, secamos la muestra en un horno microondas durante 25 minutos y pesaremos (peso en seco). Para determinar la humedad gravimétrica se utilizó la siguiente formula:

$$hg = \left(\frac{w_{sh} - w_{ss}}{w_{ss}} \right) \times 100 \quad (4)$$

Donde, w_{sh} = Peso de suelo fresco y w_{ss} = Peso de suelo seco.

c. Evaluaciones realizadas en la cosecha y postcosecha. Se cosecharon los dos surcos centrales, desechando las plantas de los extremos (por efecto de borde), entonces, 16 plantas por tratamiento y repetición. Luego se evaluó:

- **Número total de tubérculos. (NTT):** Para determinar el número total de tubérculos se contabilizo y sumo los tubérculos de la categoría comercial (diámetro ≥ 3 cm) y no comercial (diámetro ≤ 3 cm).
- **Numero de tubérculos comerciales (NTC):** Se contabilizo el número de tubérculos con diámetro ≥ 3 cm. Mientras que los tubérculos no comerciales con diámetro ≤ 3 cm, teniendo en cuenta las clasificaciones de diferentes autores. Así mismo, para discriminar entre tubérculos comerciales y no comerciales se tomó como base la experiencia de los agricultores en la venta de papa (ver Anexo 2, Foto 8).
- **Peso de tubérculos comerciales:** Se realizo utilizando una balanza de colgar digital de la marca KERN ch 50k50.
- **Rendimiento (FTY):** Se calculo utilizando la fórmula de Sánchez & Meza (2015):

$$FTY (t ha^{-1}) = \frac{fty_t}{a} \times 10000 \text{ m}^2 \quad (5)$$

Donde, fty_t = Peso en kilogramos del tratamiento, a = área (m^2) cosechada del tratamiento.

- **Rentabilidad:** Se calculo utilizando la fórmula de Sarangi et al. (2021):

$$BCR = \frac{RB}{CDP} \quad (6)$$

Donde, RB=Retorno bruto, CDP= costo de producción.

Utilizando el indicador de rentabilidad BCR, se analizó la relación costo beneficio, teniendo en cuenta los siguientes parámetros, si $BCR > 1$, indica que el tratamiento en estudio es rentable; si $BCR < 1$, indica que el tratamiento en estudio no es rentable; si $BCR = 1$ indica que los costos son iguales a los beneficios (rentabilidad cero).

- **Huella de carbono:** Para estimar huella de carbono se utilizó la calculadora Cool Farm Tool-CFT (Cool Farm Alliance, 2023). Se llenaron las 7 secciones de entrada de CFT utilizando la información de todas las actividades e insumos que fueron aplicados en los tratamientos, durante todo su ciclo biológico. Se anotó la cantidad de semilla, el área de cultivo, las características del suelo, los fertilizantes aplicados (dosis, modo de aplicación) los pesticidas aplicados (dosis y formulación), productos usados en desinfección o protección de semilla (dosis y formulación), riegos (cantidad de agua y frecuencia), fuentes de energía utilizada en actividades como preparación del terreno, aplicación de pesticidas, abonos, incorporación de residuos de papa después de la cosecha y transporte de semilla. Esta información fue procesada en la calculadora CFT y se obtuvo la huella de carbono de cada tratamiento.

d. Evaluaciones referidas al rendimiento. En esta sección, se evaluó:

- **Altura de planta (AP):** La altura de planta se evaluó en plena floración, para ello se utilizó una cinta métrica y se midió a partir de la superficie del suelo hasta la parte apical de la planta. Se muestreo 3 plantas por tratamiento y por repetición.

- **Cobertura del follaje:** La cobertura se evaluó de una a dos veces semanalmente a través de fotografías. Para capturar las imágenes se utilizó una cámara NIKON D3500 la cual fue ubicada a 80 cm de la parte apical de la planta de papa (sin zoom, sin flash, máxima resolución, en primer plano), el lente fue dirigido hacia la cubierta foliar cubriendo el área designada para el desarrollo de dos plantas. En la primera *fotografía de escala* se utilizó un nivel de burbuja, luego se tomó la fotografía a todas las plantas identificadas para esta evaluación. Posteriormente, las imágenes fueron procesadas utilizando el software Image Canopy v.3.6. (Barreda et al., 2017). Se evaluaron 4 plantas por tratamiento y repetición.

e. Evaluación de plagas y enfermedades. Teniendo en cuenta las características del ensayo se evaluó:

- **Plagas:** iniciando el desarrollo vegetativo de las plantas de papa, se identificó saltamontes en todos los tratamientos y se controló con insecticida Lorpyfos de la empresa TQC (40 mL/20 L de agua); también se presentó gorgojo de los andes en estado adulto e inicio de estado larval.
- **En enfermedades:** el cultivo de papa en etapa de floración presento alternariosis (*Alternaria solani*), no se realizó control por tener baja severidad e incidencia.

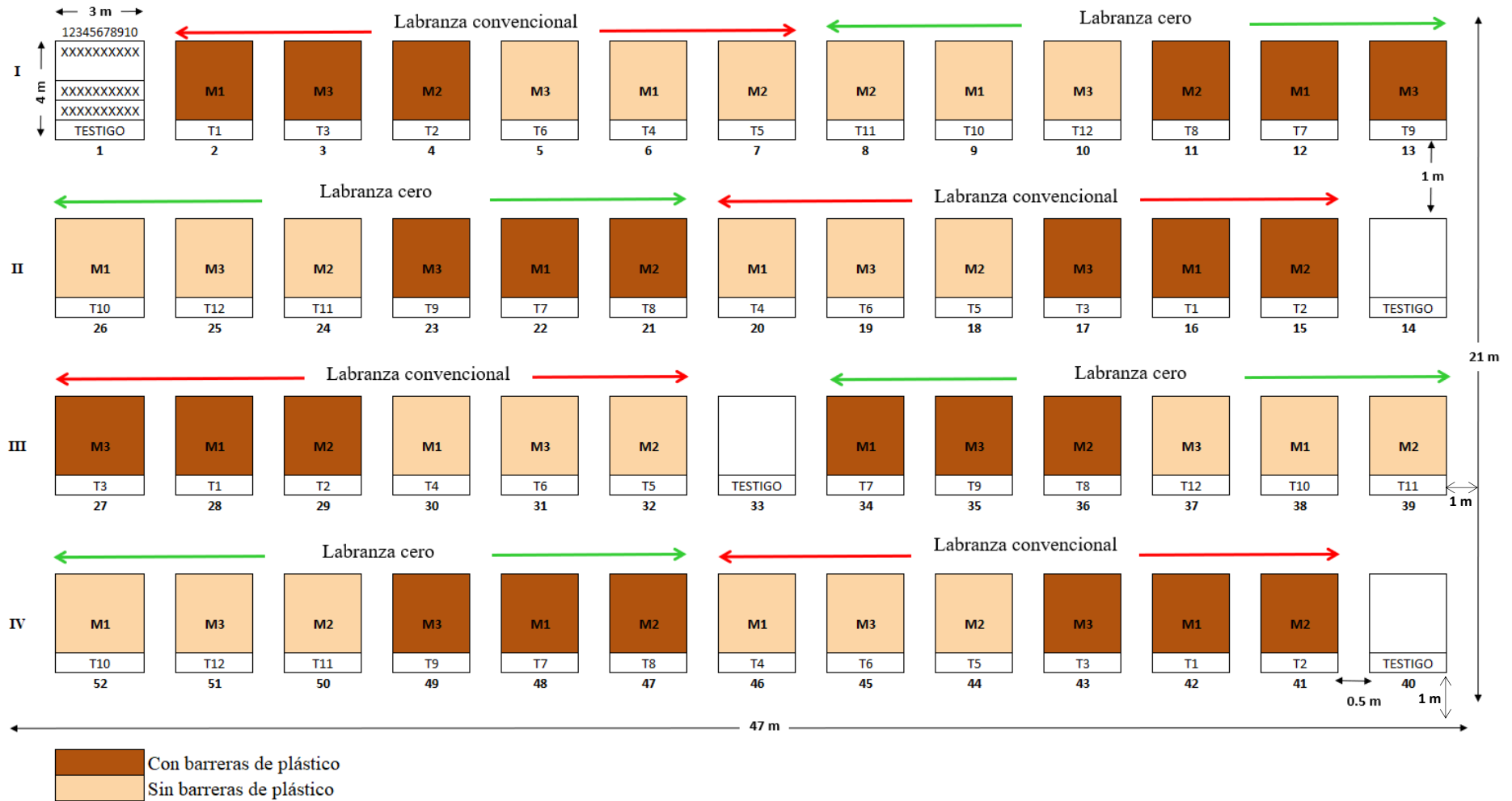
Tabla 4

Factores, niveles y tratamientos de estudio en el ensayo 1 de agricultura de conservación ubicado en el caserío de Licame durante el periodo 2022-2023.

Factores	Niveles	Tratamientos
		T1 Labranza convencional + 10 cm de “mulch” + plástico
		T2 Labranza convencional + 20 cm de “mulch” + plástico
		T3 Labranza convencional + 30 cm de “mulch” + plástico
labranza	LC: convencional	T4 Labranza convencional + 10 cm de “mulch” + sin plástico
	SL: cero	T5 Labranza convencional + 20 cm de “mulch” + sin plástico
	M1: 10 cm	T6 Labranza convencional + 30 cm de “mulch” + sin plástico
“Mulch”	M2: 20 cm	T7 Labranza cero + 10 cm de “mulch” + plástico
	M3: 30 cm	T8 Labranza cero + 20 cm de “mulch” + plástico
Plástico	CP: con plástico	T9 Labranza cero + 30 cm de “mulch” + plástico
	SP: sin plástico	T10 Labranza cero + 10 cm de “mulch” + sin plástico
		T11 Labranza cero + 20 cm de “mulch” + sin plástico
		T12 Labranza cero + 30 cm de “mulch” + sin plástico
Testigo o control		T0 Manejo convencional

Figura 4

Croquis de distribución de tratamientos del ensayo en agricultura de conservación ubicado en el caserío de Licame 2022-2023.



3.3.1.2. Ensayo 2, de agricultura orgánica. Los factores de interés fueron sistema agrícola de siembra en dos niveles (CH=con “intercalación” papa-haba, SH=sin “intercalación” monocultivo de papa, ver Anexo 3), gallinaza en tres dosificaciones (D1 = 1 t ha⁻¹, D2 = 2 t ha⁻¹ y D3 = 4 t ha⁻¹) y manejo de discos para aplicaciones de fungicidas en el control de rancharía (CD=con discos y SD=sin discos). De la combinación de estos factores y niveles resultaron 12 tratamientos. Además, se agregó un testigo con manejo convencional, como lo acostumbra el agricultor de la zona. De este modo tenemos 12 tratamientos (Tabla 5), los cuales se ubicaron en las sub-sub-parcelas, en cuatro repeticiones, conforme al croquis (Figura 5). La siembra se realizó a distanciamientos de 1 m entre surcos y 0.3 m entre plantas, lo que correspondió a una densidad de población de 33 333 planta ha⁻¹.

De acuerdo al análisis de suelo donde se instaló este ensayo (Tabla 3), el suelo de La Soledad fue de textura Franco limoso, de reacción extremadamente ácida (pH: 4.40) nivel alto de materia orgánica (MO: 9.18 %) nivel alto de nitrógeno (N: 0.40 %), nivel alto en fósforo disponible (P: 59.8 ppm), nivel medio de potasio disponible (K:144 ppm), sin carbonatos (CaCO₃: 0 %), presenta niveles altos de aluminio más hidrógeno (Al⁺³ + H⁺: 2.05 meq/100g), no salinos (CE: 0.13 dS m⁻¹), la razón de absorción de sodio (RAS) es baja, por lo tanto no afecta la disponibilidad de nutrientes y baja saturación de bases (SB: 7 %).

a.Labores que se realizaron en agricultura orgánica. Después de haber realizado la delimitación del área y preparación de terreno, se continuo con la *siembra*, todos los tratamientos se manejaron bajo labranza convencional, los tubérculo semilla fueron enterrados en los surcos entre 5 a 10 cm de profundidad, cada tratamiento se instaló siguiendo las especificaciones de la Tabla 5, en los tratamientos con “intercalación” la siembra se realizó intercalando haba – papa a 30 cm de distancia entre especies, de igual modo se usó la misma distancia para el cultivo de papa sin “intercalación” con haba (monocultivo de papa). En ambos casos se mantendrá una distancia de 1 metro entre surcos. Respecto a las **labores culturales**,

se realizó deshierbe y aporque en todos los tratamientos. Así mismo, se realizó una aplicación con abono foliar, Bayfolan de la empresa Bayer (150 mL / 20 L de agua) cuando la papa tenía aproximadamente 10 cm de altura, y Grow More premiumun de la línea Connagra (150 g/ 20 L de agua) en pleno desarrollo de brotes laterales.

b. Evaluaciones realizadas en la cosecha y postcosecha. Se cosecharon los dos surcos centrales, desechando las plantas de los extremos (por efecto de borde), entonces, 16 plantas por tratamiento y repetición en monocultivo de papa. En los tratamientos con “intercalación” de papa y haba se cosecharon 6 plantas de papa y haba pertenecientes a los dos surcos centrales, desechando las plantas de los extremos por efecto de borde; luego se evaluó.

- **Número total de tubérculos (NTT), peso total de tubérculos, número de tubérculos comerciales (NTC), peso de tubérculos comerciales, rentabilidad (BCR), Huella de carbono (HC).** Para realizar estas evaluaciones se empleó la misma metodología, procedimiento y formulas utilizadas en agricultura de conservación.

- **Rendimiento equivalente de papa.** Los rendimientos de papa y haba de los tratamientos “intercalados” se expresaron en términos rendimiento equivalente de papa (PEY) utilizando la formula descrita por Gitari et al. (2018):

$$PEY (kg h^{-1}) = PY (kg h^{-1}) + \frac{LY (kg h^{-1}) \times LP (US\$ kg^{-1})}{PP (kg h^{-1})} \quad (7)$$

Donde, PY= Rendimiento de papa, LY= Rendimiento de la leguminosa, LP=Precio de mercado de la leguminosa, PP= Precio de mercado de la papa.

c. Evaluaciones referidas al rendimiento y variables relacionadas. Se evaluó, altura de planta (AP) y cobertura del follaje, utilizando el mismo procedimiento que en agricultura de conservación.

d. Evaluación de plagas y enfermedades. Teniendo en cuenta las características del ensayo se evaluó:

- **Plagas.** Se presento gorgojo de los andes, su control se realizó con insecticida Matrix 200 SC (12.5 mL / 20 L de agua) de la empresa Silvestre, el cual se aplicó en una sola oportunidad.
- **Enfermedades.** En Chugay, la enfermedad más importante que afecta a los cultivos de papa es la rancha (*Phytophthora infestans*). Su control de forma empírica por el agricultor, muchas veces, demanda excesos en el uso de fungicidas. En esta investigación, se propuso, la utilización de **“discos” para manejo de fungicidas que controlan rancha**, con la finalidad de disminuir la frecuencia de aplicaciones y uso excesivo de fungicidas. Sin embargo, durante el ciclo biológico del cultivo de papa INIA 325 "Poderosa" no se presentó la incidencia rancha.

Tabla 5

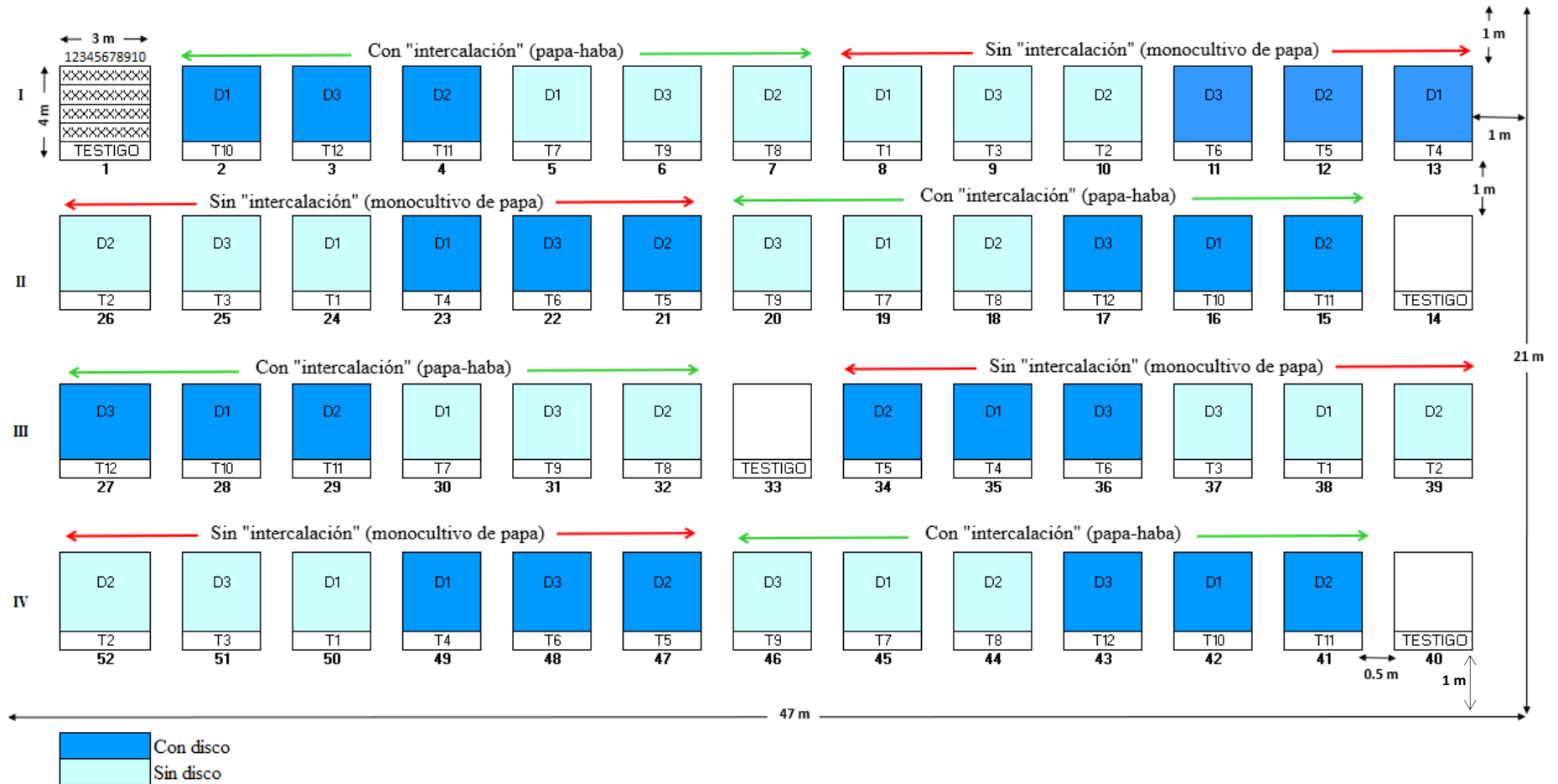
Factores, niveles y tratamientos de estudio en ensayo 2 de agricultura orgánica ubicado en el caserío de La Soledad durante el periodo 2022-2023.

Factores	Niveles	Tratamientos
		T1 Sin “intercalación” + 1 t ha ⁻¹ de gallinaza + sin disco
		T2 Sin “intercalación” + 2 t ha ⁻¹ de gallinaza + sin disco
		T3 Sin “intercalación” + 4 t ha ⁻¹ de gallinaza + sin disco
Sistema agrícola	SH: sin “intercalación”	T4 Sin “intercalación” + 1 t ha ⁻¹ de gallinaza + con disco
	CH: con “intercalación”	T5 Sin “intercalación” + 2 t ha ⁻¹ de gallinaza + con disco
Gallinaza	D1: 1 t ha ⁻¹	T6 Sin “intercalación” + 4 t ha ⁻¹ de gallinaza + con disco
	D2: 2 t ha ⁻¹	T7 Con “intercalación” + 1 t ha ⁻¹ de gallinaza + sin disco
	D3: 4 t ha ⁻¹	T8 Con “intercalación” + 2 t ha ⁻¹ de gallinaza + sin disco
Discos	SD: sin disco	T9 Con “intercalación” + 4 t ha ⁻¹ de gallinaza + sin disco
	CD: con disco	T10 Con “intercalación” + 1 t ha ⁻¹ de gallinaza + con disco
		T11 Con “intercalación” + 2 t ha ⁻¹ de gallinaza + con disco
		T12 Con “intercalación” + 4 t ha ⁻¹ de gallinaza + con disco
Testigo o control		T0 Manejo convencional

Sin “intercalación” (SH) = Monocultivo de papa; y con “intercalación” (CH) = “Intercalación” de papa con haba.

Figura 5

Croquis de distribución de tratamientos del ensayo en agricultura orgánica ubicado en el caserío de La Soledad 2022-2023.



3.3.1.3. Índice integrado para valoración de tratamientos de agricultura de conservación y orgánica.

La valoración de tratamientos en un índice integrado combina el indicador ambiental (HC = Huella de carbono), agronómico (FTY = Rendimiento de tubérculo fresco) y económico (BCR = Rentabilidad) en diferentes escenarios (Tabla 6), los cuales representan la transición del agricultor de una agricultura convencional (centrada en incrementar rendimientos) a una agricultura amigable, priorizando criterios económicos y ambientales (Rinza et al., 2022). Las valoraciones de (1, 2 y 3) para cada indicador (FTY, BCR, HC) se asignó considerando la preferencia del agricultor: 1 (sin importancia), 2 (moderadamente importante), 3 (muy importante). Para todos los escenarios, el rendimiento (FTY) fue muy importante, mientras que la rentabilidad y huella de carbono oscilaron desde moderadamente importante a no importante. En términos matemáticos, Rinza et al., 2022 nos indica que el IIN responde a la siguiente fórmula:

$$IIN = sFTY \times \omega_{FTY} + sBCR \times \omega_{BCR} + sHC \times \omega_{HC} \quad (8)$$

Donde:

$sFTY$, $sBCR$ y sHC fueron los valores de puntuación de FTY, BCR, y HC, respectivamente, divididos por la puntuación máxima (10); ω_{FTY} , ω_{BCR} , y ω_{HC} fueron el valor de ponderación de importancia (1–3) dividido por la suma de las ponderaciones máximas (12) correspondientes a FTY, BCR, y HC, respectivamente.

Tabla 6

Escenarios y valoración de indicadores agronómicos (FTY-Rendimiento fresco de tubérculo) económicos (BCR-Relación costo-beneficio o rentabilidad) y ambientales (HC-Huella de carbono).

Escenarios	FTY	BCR	HC
I	3	1	1
II	3	2	1
III	3	3	1
IV	3	3	2
V	3	3	3

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Todos los datos registrados en el ensayo de agricultura de conservación y agricultura orgánica, se encuentran disponibles en la plataforma Dataverse en Briceño et al., 2024a y Briceño et al., 2024b, respectivamente.

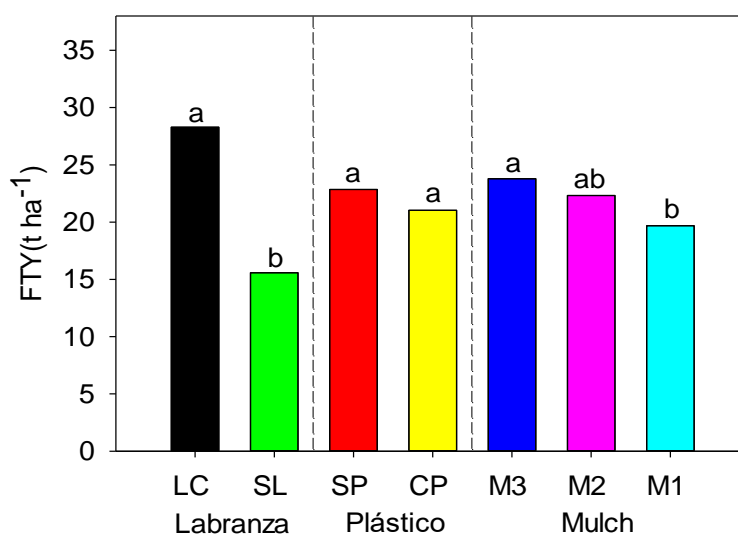
4.1. Estimación del rendimiento total de tubérculos frescos de papa INIA 325 – Poderosa en agricultura de conservación.

En la sierra liberteña los rendimientos de la variedad de papa INIA 325-Poderosa con manejo tradicional oscilan de 11 a 59 t ha⁻¹ (Otiniano et al., 2014). Sin embargo, las condiciones climáticas extremas actualmente son perjudiciales, afectando los rendimientos esperados (Kuradusenge et al., 2023). Ante este escenario, la agricultura de conservación se convierte en una alternativa viable para minimizar los efectos de las tensiones climáticas (Ardila-García, et al., 2022) ya que, en el presente estudio, a pesar de no haberse hecho labores de deshierbe y porque se obtuvieron rendimientos de 28.3 t ha⁻¹ y 15.6 t ha⁻¹ utilizando “mulch” con labranza convencional y cero, respectivamente. Por otro lado, los rendimientos obtenidos dependieron del espesor de “mulch” aplicado (Figura 6), ya que con 30 y 20 cm de “mulch” se obtienen mayores rendimientos en comparación con 10 cm de “mulch” (Sarangi et al., 2021). Bajo este contexto, el rendimiento utilizando “mulch” de M3 fue de 23.9 t ha⁻¹, con M2 fue 22.3 t ha⁻¹ y con M1 fue 19,7 t ha⁻¹. Utilizar 30 cm de “mulch” posiblemente origina menor iluminación, evitando que los estolones se conviertan en tallos aéreos, promoviendo así mayor formación de tubérculos (Aharinta et al., 2023). De cierto modo, los resultados obtenidos se asemejan a los reportados por Sarangi et al. (2021), quien obtuvo rendimientos de 14.9, 17.8 y 18.1 t ha⁻¹ utilizando 15, 20 y 25 cm de espesor de “mulch” de arroz en labranza cero. En resumen, los niveles de labranza y “mulch” presentaron diferencias significativas en rendimiento (Tabla 7), mientras que las barreras de plástico no influyeron probablemente por la asincronía existente

entre el desarrollo larval de gorgojo de los andes con el desarrollo y maduración del tubérculo de papa, dado que no presentan diferencias significativas (Figura 6).

Figura 6

Influencia de la modalidad de labranza (LC=Labranza convencional, SL=Labranza cero), barreras de plástico (CP=Con plástico, SP=Sin plástico) y “mulch” (M1=10 cm, M2=20 cm y M3=30 cm), en el rendimiento de tubérculos frescos (FTY) de papa INIA 325-Poderosa, en la sierra de La Libertad. Letras distintas indican diferencia significativa entre niveles de factores ($p<0.05$) detectado mediante prueba de Tukey.



4.2. Estimación de huella de carbono por tonelada de tubérculos frescos de papa INIA 325 – Poderosa en agricultura de conservación.

La huella de carbono (HC) en agricultura mide la emisión de GEI en equivalentes de CO₂ resultantes de la producción de los cultivos (Svubure et al., 2018). Por ejemplo, en el cultivo de papa esta puede llegar a oscilar de 94.5 a 1064 kg CO₂ – eq t⁻¹ de tubérculo fresco de papa (Rinza et al., 2022). Estudios demuestran que la modalidad de labranza influye en la HC, ya que en labranza convencional se emite mayor carbono que en labranza cero (Ramírez et al., 2022). En nuestro caso, la HC con labranza convencional (LC) fue de 61 kg CO₂ - eq t⁻¹ de tubérculo fresco y con labranza cero (SL) fue de 38.9 kg CO₂ – eq t⁻¹ de tubérculo fresco, llegando a diferir 36 %, sin embargo, estas diferencias no fueron significativas (Figura 7). Por otro lado, el uso de “mulch” en labranza cero también reduce la emisión de carbono (Ramírez et al., 2022) siempre y cuando se utilice los espesores adecuados, ya que con 10 cm de espesor

de “mulch” obtuvimos una HC de 63.1 kg CO₂ – eq t⁻¹, con 20 cm de 44.9 kg CO₂ – eq t⁻¹, y con 30 cm de 41.9 kg CO₂ – eq t⁻¹ de tubérculo fresco de papa. La reducción de HC entre los niveles de “mulch” se atribuye a los mayores rendimientos obtenidos (Svubure et al., 2018) ya que 30 y 20 cm de “mulch”, son considerados como niveles adecuados para el cultivo de papa en labranza cero (Sarangi et al., 2021). Bajo este escenario, los tratamientos T7 (82.2 kg CO₂ – eq t⁻¹) y T4 (72.8 kg CO₂ – eq t⁻¹) presentaron las mayores HC por tonelada de tubérculo fresco de papa, por utilizar 10 cm de “mulch” con labranza cero y convencional respectivamente. Y las menores huellas de carbono por tonelada de tubérculo fresco de papa en los tratamientos T9 (28.5 kg CO₂ – eq t⁻¹) y T12 (26.7 kg CO₂ – eq t⁻¹) utilizando 30 cm de “mulch” y labranza cero. A pesar de existir todas estas diferencias numéricas, los niveles de los factores de estudio no presentaron diferencias estadísticas significativas (Tabla 8).

Figura 7

Influencia de la modalidad de labranza (LC=Labranza convencional, SL=Labranza cero), barreras de plástico (CP=Con plástico, SP=Sin plástico) y “mulch” (M1=10 cm, M2=20 cm y M3=30 cm), en la huella de carbono (HC) por tonelada de tubérculo fresco de papa INIA 325-Poderosa, en la sierra de La Libertad. Letras distintas indican diferencia significativa entre niveles de factores ($p < 0.05$) detectado mediante prueba de Tukey.

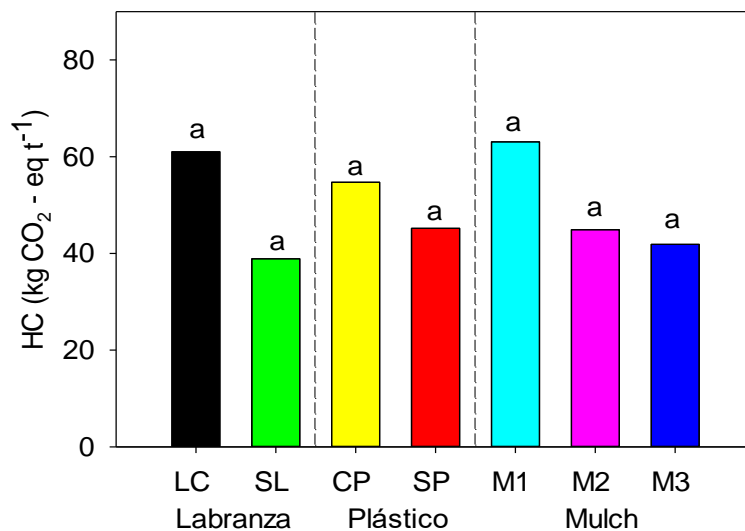


Tabla 7

Análisis de varianza para rendimiento de tubérculo fresco de papa INIA 325-Poderosa considerado la modalidad de labranza, uso de barreras de plástico y espesores de “mulch” en la sierra de La Libertad.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	p-valor
Modelo	2797.97	23	121.65	6.11	<0.0001
Bloque	96.27	3	32.09	0.23	0.8683
Labranza (L)	1939.29	1	1939.29	14.12	0.0329
Error (a)	412.08	3	137.36		
Plástico (P)	39.79	1	39.79	2.63	0.1558
P*L	2.57	1	2.57	0.17	0.6945
Error (b)	90.64	6	15.11		
“Mulch” (M)	137.42	2	68.71	3.45	0.0481
P*M	13.9	2	6.95	0.35	0.7088
L*M	11.4	2	5.7	0.29	0.7534
P*L*M	54.6	2	27.3	1.37	0.2729
Error (c)	477.76	24	19.91		
Total	3275.73	47			

$CV(a) = 53.45 \%$

$CV(b) = 17.73 \%$

$CV(c) = 20.35 \%$

Tabla 8

Análisis de varianza para huella de carbono por tonelada de tubérculo fresco de papa INIA 325-Poderosa considerado la modalidad de labranza, uso de barreras de plástico y espesores de “mulch” en la sierra de La Libertad.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	p-valor
Modelo	26596.49	23	1156.37	1.35	0.2359
Bloque	1681.55	3	560.52	0.39	0.7712
Labranza (L)	5868.44	1	5868.44	4.06	0.1372
Error (a)	4332.56	3	1444.19		
Plástico (P)	1089.09	1	1089.09	1.5	0.2667
P*L	515.88	1	515.88	0.71	0.4318
Error (b)	4359.92	6	726.65		
“Mulch” (M)	4195.35	2	2097.68	2.45	0.1079
P*M	511.31	2	255.66	0.3	0.7449
L*M	991.39	2	495.7	0.58	0.5686
P*L*M	3050.99	2	1525.5	1.78	0.1903
Error (c)	20577.57	24	857.4		
Total	47174.06	47			

$CV(a) = 76.09 \%$

$CV(b) = 53.97 \%$

$CV(c) = 58.63 \%$

4.3. Estimación de rentabilidad de papa INIA 325 – Poderosa en agricultura de conservación

La mayoría de los estudios revisados dan a conocer que la rentabilidad del cultivo de papa es mayor cuando se utilizan técnicas de conservación (Ramírez et al., 2022). Ya que la disminución de labranza y labores culturales reducen los costos de producción (Mosquera et al., 2019). En la presente investigación, a pesar de no haberse realizado labores de aporque y deshierbe en ningún caso, el cultivo de papa con labranza convencional y “mulch” generó una rentabilidad mayor (BCR= 2.8) que el cultivo de papa en labranza cero y “mulch” (BCR=1.6), llegando a diferir significativamente (Tabla 9). Por otro lado, las rentabilidades también dependieron del espesor de “mulch” aplicado (Sarangi et al., 2021) ya que los espesores M3 (BCR=2.5) y M2 (BCR=2.3) generaron mayores beneficios económicos que M1 (BCR=1.9) con cualquier modalidad de labranza. La interacción de los factores estudiados que representan los tratamientos logró alcanzar rentabilidades de 3.1 (T6) y 1.9 (T12) utilizando 30 cm de “mulch” en labranza convencional y labranza cero respectivamente. Llegando a diferir significativamente, razón por la cual se categorizan en diferentes agrupaciones (Figura 8).

Figura 8

Influencia de la modalidad de labranza (LC=Labranza convencional, SL=Labranza cero), barreras de plástico (CP=Con plástico, SP=Sin plástico) y “mulch” (M1=10 cm, M2=20 cm y M3=30 cm), en la rentabilidad (BCR) de papa INIA 325-Poderosa, en la sierra de La Libertad. Letras distintas indican diferencia significativa entre niveles de factores ($p<0.05$) detectado mediante prueba de Tukey.

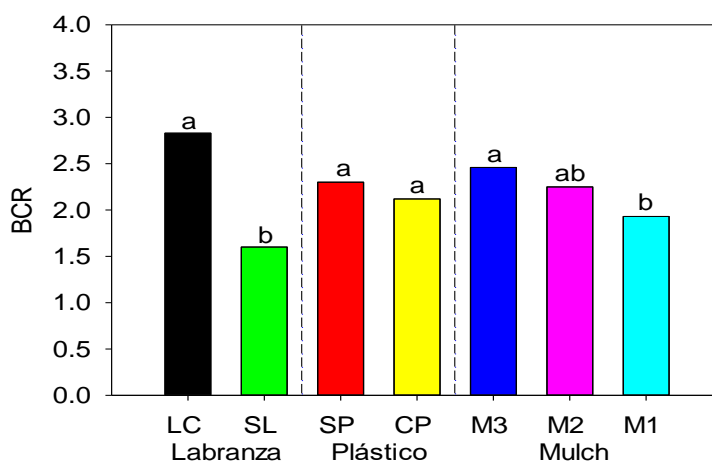


Tabla 9

Análisis de varianza para rentabilidad de papa INIA 325-Poderosa considerado la modalidad de labranza, uso de barreras de plástico y espesores de “mulch” en la sierra de La Libertad.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	p-valor
Modelo	30.07	23	1.31	4.83	0.0001
Bloque	1.88	3	0.63	0.37	0.7827
Labranza (L)	18.3	1	18.3	10.79	0.0463
Error (a)	5.09	3	1.7		
Plástico (P)	0.4	1	0.4	2.24	0.185
P*L	0.03	1	0.03	0.15	0.7151
Error (b)	1.07	6	0.18		
“Mulch” (M)	2.29	2	1.15	4.24	0.0266
P*M	0.13	2	0.07	0.25	0.7832
L*M	0.27	2	0.14	0.5	0.6135
P*L*M	0.61	2	0.3	1.12	0.3429
Error (c)	6.5	24	0.27		
Total	36.57	47			

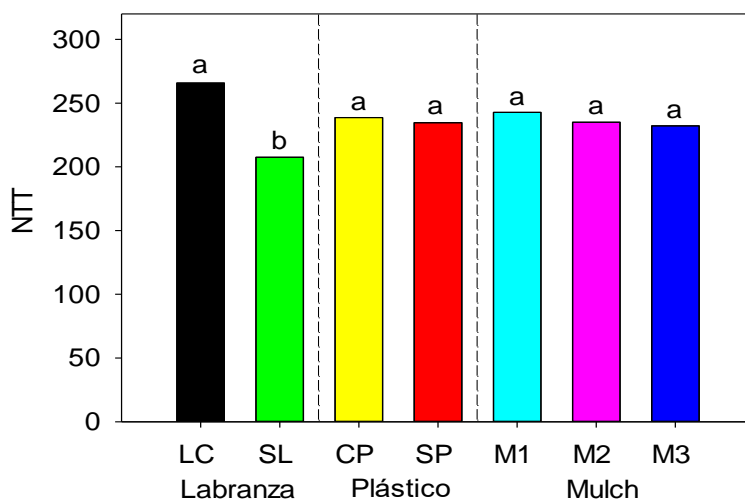
$$CV(a) = 58.86 \% \quad CV(b) = 19.09 \% \quad CV(c) = 23.51 \%$$

4.4. Numero de tubérculos totales y comerciales de papa INIA 325 - Poderosa en agricultura de conservación

El número de tubérculos totales y comerciales son variables muy importantes, ya que se relacionan directamente con el rendimiento y rentabilidad del cultivo. Siendo la modalidad de labranza, un factor influye en número de tubérculos (Aharinta et al., 2023). Dado que, en el presente estudio, con labranza convencional y “mulch” se obtuvieron en promedio 266 tubérculos por tratamiento, mientras que en labranza cero y “mulch” se cosecharon en promedio 208 tubérculos por tratamiento, llegando a existir diferencias significativas entre los métodos de labranza (Figura 9). Otro factor que determino el número de tubérculos es el espesor de “mulch” aplicado (Msheik et al., 2019) ya que con 10 cm de espesor de “mulch” se formaron mayor cantidad de tubérculos (243) en comparación con 20 cm (235) y 30 cm de espesor de “mulch” (232). Sin embargo, al considerar el tamaño de los tubérculos, con labranza reducida y poco “mulch” los tubérculos son de menor tamaño que en labranza convencional (Drakopoulos et al., 2016) razón por cual con 30 cm de “mulch” en labranza convencional se obtuvo mayor cantidad de tubérculos comerciales.

Figura 9

Influencia de la modalidad de labranza (LC=Labranza convencional, SL=Labranza cero), barreras de plástico (CP=Con plástico, SP=Sin plástico) y "mulch" (M1=10 cm, M2=20 cm y M3=30 cm), en número total de tubérculos (NTT) de papa INIA 325-Poderosa, en la sierra de La Libertad. Letras distintas indican diferencia significativa entre niveles de factores ($p < 0.05$) detectado mediante prueba de Tukey.

**Tabla 10**

Análisis de varianza para número total de tubérculos de papa INIA 325-Poderosa considerado la modalidad de labranza, uso de barreras de plástico y espesores de "mulch" en la sierra de La Libertad.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	p-valor
Modelo	87.96	23	3.82	2.37	0.0203
Bloque	17.94	3	5.98	7.94	0.0613
Labranza (L)	43.19	1	43.19	57.37	0.0048
Error (a)	2.26	3	0.75		
Plástico (P)	0.14	1	0.14	0.07	0.7989
P*L	0.12	1	0.12	0.06	0.811
Error (b)	11.82	6	1.97		
"Mulch" (M)	0.91	2	0.45	0.28	0.7578
P*M	7.26	2	3.63	2.25	0.1273
L*M	1.81	2	0.9	0.56	0.5782
P*L*M	2.51	2	1.26	0.78	0.4702
Error (c)	38.73	24	1.61		
Total	126.69	47			

 $CV(a) = 5.67 \%$
 $CV(b) = 9.18 \%$
 $CV(c) = 8.31 \%$

4.5. Estimación de Cobertura de follaje de papa INIA 325 - Poderosa en agricultura de conservación

La cobertura foliar del cultivo de papa cumple un rol fundamental, ya que en ella se realiza la fotosíntesis, se produce carbono y se exportan los asimilados (Castellanos et al., 2010). La obtención de una buena cobertura depende de muchos factores, siendo uno de ellos la modalidad de labranza empleada (Yaroson et al., 2019). Ya que, con labranza convencional se promovió el desarrollo de mayor cobertura (92.1 %), y con labranza cero se lo penalizo (69.2 %), no obstante, estas diferencias no fueron significativas (Tabla 11). Otro factor que favoreció el desarrollo de la cobertura fue el espesor de “mulch”, ya que con 30 y 20 cm de “mulch” las coberturas fueron mayores (83 – 84 %) y difirieron significativamente de la cobertura obtenida con 10 cm de “mulch” (75 %) (Figura 10). Bajo la combinación de estos factores, las máximas coberturas fueron de 96.5 % (T3) y 75.2 % (T9), utilizando 30 cm de “mulch” con labranza convencional y cero respectivamente. La menor cobertura fue de 53.4 % (T10) utilizando 10 cm de espesor de “mulch” en labranza cero.

Figura 10

Influencia de la modalidad de labranza (LC=Labranza convencional, SL=Labranza cero), barreras de plástico (CP=Con plástico, SP=Sin plástico) y “mulch” (M1=10 cm, M2=20 cm y M3=30 cm), en la cobertura foliar de papa INIA 325-Poderosa, en la sierra de La Libertad. Letras distintas indican diferencia significativa entre niveles de factores ($p < 0.05$) detectado mediante prueba de Tukey.

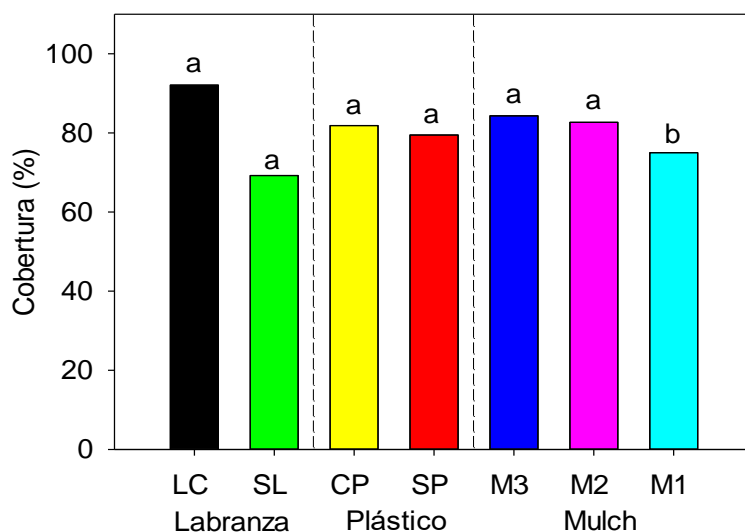


Tabla 11

Análisis de varianza para cobertura foliar (%) de papa INIA 325-Poderosa considerado la modalidad de labranza, uso de barreras de plástico y espesores de “mulch” en la sierra de La Libertad.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	p-valor
Modelo	2.16	23	0.09	8.97	<0.0001
Bloque	0.12	3	0.04	0.28	0.8408
Labranza (L)	1.18	1	1.18	8.02	0.0661
Error (a)	0.44	3	0.15		
Plástico (P)	0.01	1	0.01	0.4	0.5516
P*L	0.04	1	0.04	1.27	0.3026
Error (b)	0.17	6	0.03		
“Mulch” (M)	0.13	2	0.06	6.14	0.007
P*M	0.02	2	0.01	1.02	0.3741
L*M	0.04	2	0.02	1.82	0.1835
P*L*M	0.01	2	5.00E-03	0.47	0.6292
Error (c)	0.25	24	0.01		
Total	2.42	47			

$$CV(a) = 33.34 \%$$

$$CV(b) = 14.52 \%$$

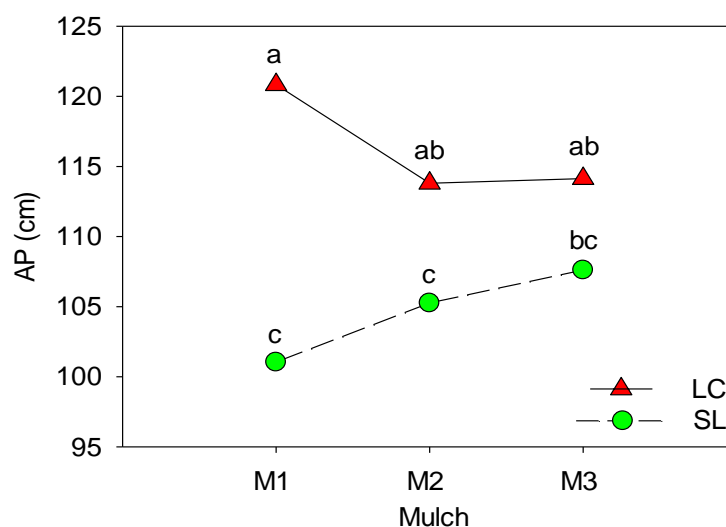
$$CV(c) = 8.88 \%$$

4.6. Determinación de la altura de plantas de papa INIA 325-Poderosa en agricultura de conservación.

La altura de una planta es una característica muy importante, ya que su modificación favorece su adaptación al estrés y mejora los rendimientos (Zhao, et al., 2023). En papa, modificar el tamaño de los tallos depende de la modalidad de labranza y del espesor de “mulch” aplicado (Yaroson et al., 2019) ya que la interacción del factor labranza y “mulch” definieron la altura de las plantas, obteniéndose tallos con mayor longitud (a = 120.8; ab = 114.1 y 113.8 cm) en labranza convencional y “mulch”, y menor longitud (c = 101.1 y 105.3; bc = 107.6 cm) en labranza cero con “mulch”, llegando a diferir significativamente (Figura 11). Por otro lado, el “mulch” por sí solo no influyó en la altura de las plantas, dado que no existen diferencias significativas (Tabla 12).

Figura 11

Interacción de la modalidad de labranza (LC=Labranza convencional, SL=Labranza cero) y “mulch” (M1=10 cm, M2=20 cm y M3=30 cm), en la altura de planta (AP) de papa INIA 325-Poderosa, en la sierra de La Libertad. Letras distintas indican diferencia significativa entre niveles de factores ($p < 0.05$) detectado mediante prueba de Tukey.

**Tabla 12**

Análisis de varianza para altura de planta de papa INIA 325-Poderosa considerando la modalidad de labranza, uso de barreras de plástico y espesores de “mulch” en la sierra de La Libertad.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	p-valor
Modelo	2797.49	23	121.63	4.59	0.0002
Bloque	255.23	3	85.08	2.33	0.2532
Labranza (L)	1618.2	1	1618.2	44.22	0.0069
Error (a)	109.77	3	36.59		
Plástico (P)	44.28	1	44.28	1.69	0.2409
P*L	3.91	1	3.91	0.15	0.7123
Error (b)	156.87	6	26.14		
“Mulch” (M)	20.01	2	10.01	0.38	0.6896
P*M	20.87	2	10.44	0.39	0.6789
L*M	409.18	2	204.59	7.72	0.0026
P*L*M	159.17	2	79.59	3	0.0687
Error (c)	636.42	24	26.52		
Total	3433.92	47			

$$CV(a) = 5.48 \%$$

$$CV(b) = 4.63 \%$$

$$CV(c) = 4.66 \%$$

4.7. Labranza, “mulch” y emergencia en agricultura de conservación

La emergencia del cultivo de papa depende de las propiedades del suelo, ya que los suelos duros retrasan la emergencia y los suelos friables la promueven (Huntenburg et al., 2021), Siendo así, que el crecimiento e introducción de las raíces dependen del grado de compactación del suelo (Djaman et al., 2021). Esta es una de las razones que explicaría las diferencias significativas de emergencia entre los métodos de labranza de esta investigación (Tabla 13), dado que la emergencia en labranza convencional fue mayor (78.6 %) que en labranza cero (47.9 %) (Figura 12 – A). Otros factores que también influyen en la emergencia de papa, es el uso de “mulch” y la temperatura del suelo (Mahmood et al., 2002) dado que temperaturas de 21 a 24 °C favorecen la emergencia y temperaturas menores la restringen (Rubio et al., 2000). Bajo este contexto, podemos indicar que las temperaturas del suelo con labranza convencional se aproximaron más al rango antes mencionado, ya que estas oscilaron de 10.2 - 20.5 °C. Por otro lado, las temperaturas del suelo en labranza cero con 30 cm de “mulch” fueron menores (5.1 - 8 °C), llegando a concordar con Ramírez et al. (2022) quien indica que el uso de “mulch” disminuye la temperatura del suelo. Finalmente podemos indicar que los tratamientos con 10 cm de espesor de “mulch” presentaron mayor porcentaje de emergencia en comparación con los de 20 y 30 cm de espesor de “mulch” (Figura 12- B).

Figura 12

Influencia de la modalidad de labranza (LC=Labranza convencional, SL=Labranza cero), barreras de plástico (CP=Con plástico, SP=Sin plástico) y “mulch” (M1=10 cm, M2=20 cm y M3=30 cm), en la emergencia de papa INIA 325-Poderosa, en la sierra de La Libertad (A); letras distintas indican diferencia significativa entre niveles de factores ($p < 0.05$) detectado mediante prueba de Tukey. Emergencia de papa INIA 325-Poderosa por tratamiento (B).

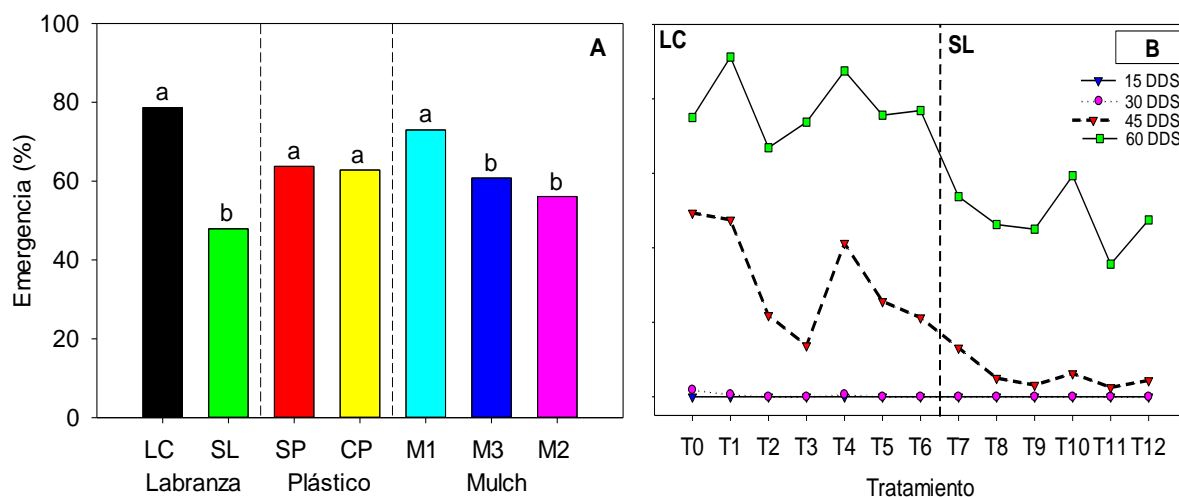


Tabla 13

Análisis de varianza para emergencia de papa INIA 325-Poderosa considerando la modalidad de labranza, uso de barreras de plástico y espesores de “mulch” en la sierra de La Libertad.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	p-valor
Modelo	2.05	23	0.089	13.81	<0.0001
Bloque	0.17	3	0.056	6.81	0.0747
Labranza (L)	1.40	1	1.401	170.14	0.001
Error (a)	0.02	3	0.008		
Plástico (P)	1.20E-03	1	0.001	0.22	0.6525
P*L	4.00E-03	1	0.004	0.75	0.4186
Error (b)	0.03	6	0.005		
“Mulch” (M)	0.34	2	0.169	26.16	<0.0001
P*M	2.10E-03	2	0.001	0.16	0.85
L*M	0.02	2	0.009	1.37	0.2734
P*L*M	0.06	2	0.031	4.74	0.0184
Error (c)	0.15	24	0.006		
Total	2.20	47			

$$CV(a) = 9.70 \%$$

$$CV(b) = 7.82 \%$$

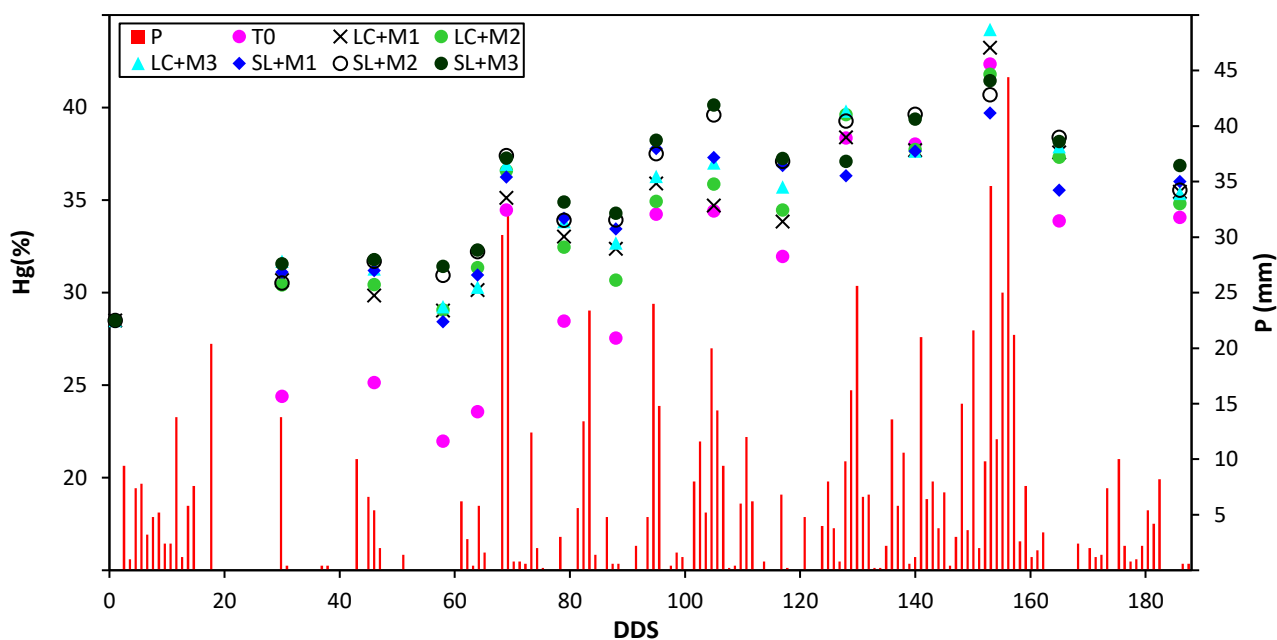
$$CV(c) = 8.59 \%$$

4.8. Labranza, “mulch” y humedad gravimétrica del suelo

Los cultivos instalados en labranza cero tienen mayor contenido de humedad volumétrica en la mayor parte de sus etapas fenológicas (Blevins et al., 1971) ya que el uso de “mulch” conserva 3.5 a 7.5 % más humedad (Ali et al., 2019). Sin embargo, la humedad de un suelo dependerá del espesor de “mulch” aplicado, ya que altas dosis de “mulch” mejoran la capacidad de retención de agua, tasa de infiltración y contenido de humedad del suelo (Iqbal et al., 2020). En la presente investigación los niveles de “mulch” guardaron una relación directa con la humedad del suelo, siendo los tratamientos con 30 cm de espesor de “mulch”, los que retuvieron mayor cantidad de agua en el suelo, en comparación con los tratamientos con 20 y 10 cm de espesor de “mulch”. Se detectó una diferencia de 9.4 % en humedad gravimétrica en el tratamiento SL+M3 (labranza cero más 30 cm de espesor de “mulch”) en comparación con el tratamiento T0 (labranza convencional sin “mulch”) a los 57 días después de la siembra (Figura 13). Sin embargo, la retención de agua depende también de la frecuencia e intensidad de precipitaciones (P). Considerando que la papa es un cultivo exigente en agua, estas retenciones de humedad son muy valiosas, ya que el cultivo de papa con “mulch” y labranza cero puede reducir el requerimiento hídrico de 31 a 38 % (Sarangi et al., 2021).

Figura 13

Efecto de la modalidad de labranza (LC=Labranza convencional, SL=Labranza cero) y espesor de “mulch” (M1=10 cm, M2=20 cm y M3=30 cm) en la conservación de humedad gravimétrica (Hg) del suelo. P: Precipitación. DDS: Días después de siembra.

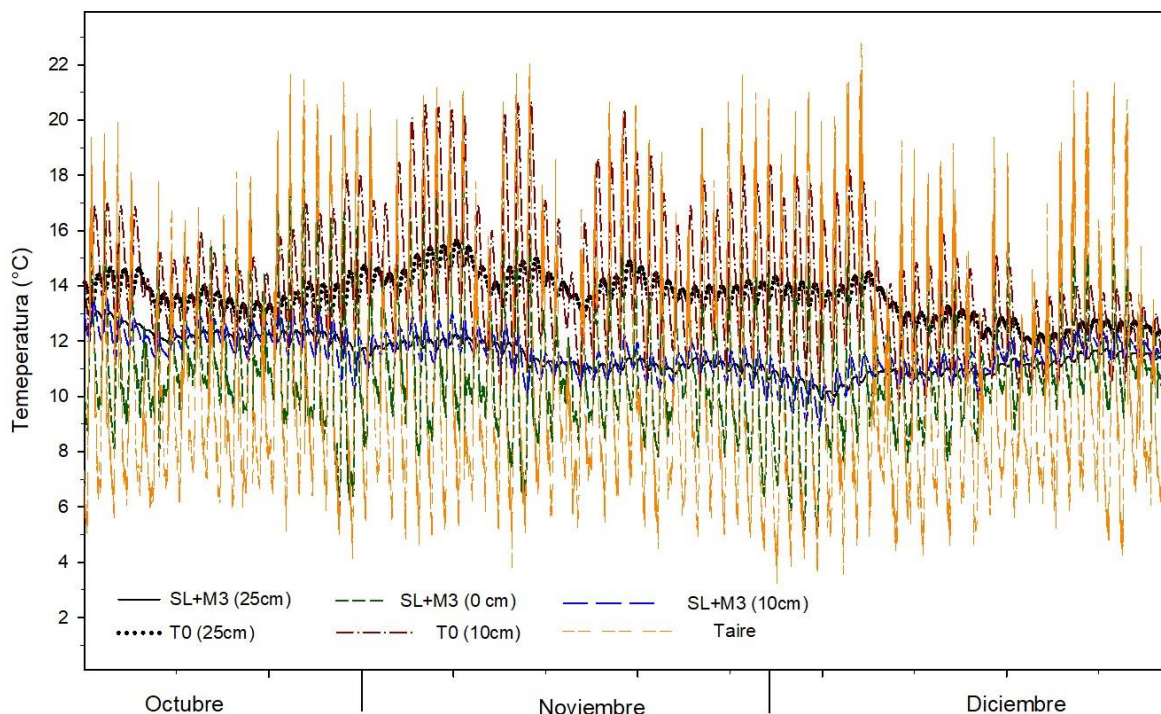


4.9. “Mulch” y temperatura de suelo

El incremento o disminución de temperatura depende del origen del “mulch” (orgánico-inorgánico) y capacidad de albedo para reflejar la radiación incidente (Iqbal et al., 2020). El “mulch” inorgánico de color oscuro incrementa la temperatura, mientras que el “mulch” orgánico de paja tiene un efecto contrario (Pramanik et al., 2015). En el presente estudio, las temperaturas en labranza convencional en el T0 (10 a 20.5 °C) fueron mayores en comparación con las de labranza cero con “mulch” - SL+M3 (8.9 a 14 °C) (Figura 14), llegando a concordar con Awan (1964) y Ramírez et al. (2022) quienes indican que el “mulch” (mantillo) disminuye la temperatura del suelo en el cultivo de papa. A los 25 cm de profundidad, la temperatura en el T0 osciló de 12.5 a 15.5 °C y en labranza cero con “mulch” (SL+M3) fue de 9.9 a 13.4 °C, manteniendo el mismo comportamiento que a 10 cm de profundidad. En general, las temperaturas de un suelo con “mulch”, entre 10 y 25 cm de profundidad son más uniformes; mientras que al nivel del suelo (0 cm) estas son más heterogéneas, llegando a oscilar de 5.1 a 18 °C asemejándose a la temperatura ambiental.

Figura 14

Determinación de temperatura del suelo utilizando sensores hobo en labranza convencional sin “mulch” (T0) y labranza cero más 30 cm de espesor de “mulch” (SL+ M3) a 0, 10 y 25 centímetros de profundidad de suelo durante los primeros 81 días.

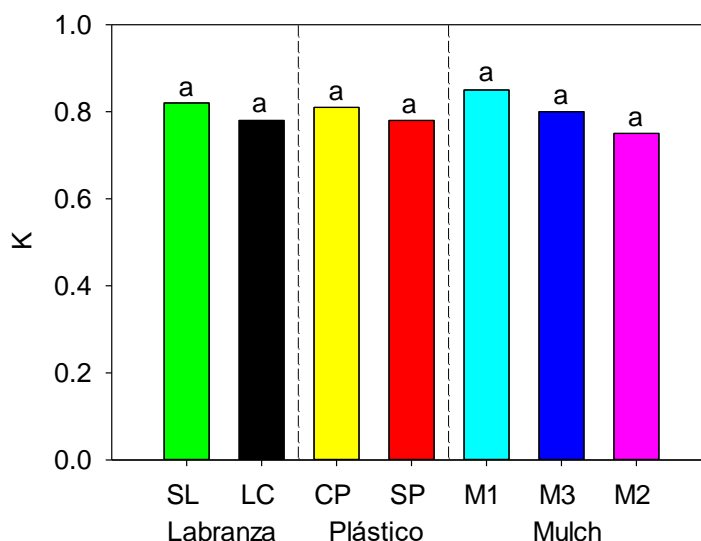


4.10. Tasa de descomposición de la materia orgánica

La reducción de la labranza del suelo incrementa la diversidad microbiana (Niewiadomska et al., 2020), mientras que, la intensificación de labranza tiene un efecto contrario (Morugan et al., 2022). La tasa de descomposición (K) de la materia orgánica estadísticamente no presentó diferencias significativas en los métodos de labranza (SL-CL) y los espesores de “mulch” (Figura 15). Sin embargo, los residuos vegetales en labranza cero se descompusieron con mayor rapidez que en labranza convencional. La temperatura del suelo controla K (Cruz & Johannes, 2022) en una relación directa (Monroy et al., 2023). Esto pudo haber explicado la mayor K detectada en los tratamientos con 10 cm de “mulch”, que presentó mayores temperaturas, a comparación de los tratamientos con 20 y 30 cm de “mulch” que presentaron una temperatura y K menor.

Figura 15

Influencia de la modalidad de labranza (LC=Labranza convencional, SL=Labranza cero), espesor de “mulch” (M1=10 cm, M2=20 cm y M3=30 cm) y barreras de plástico (CP=Con plástico, SP=Sin plástico) en la tasa de descomposición (K) en agricultura de conservación. Letras distintas indican diferencia significativa entre niveles de factores ($p < 0.05$) detectado mediante prueba de Tukey.



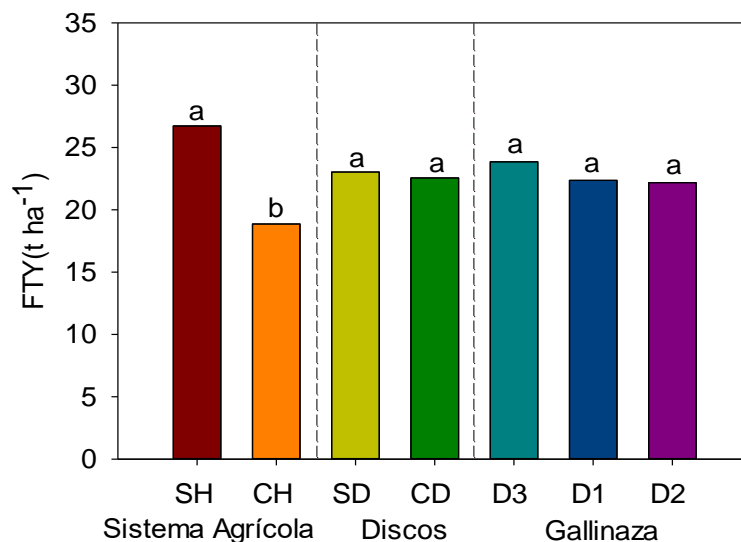
4.11. Estimación del rendimiento total de tubérculos frescos de papa INIA 325 – Poderosa en agricultura orgánica

El rendimiento de un cultivo depende del sistema de producción agrícola, ya que el número de plantas con “intercalación” y sin “intercalación” pueden ser diferentes. No obstante, mantener el número de plantas por hectárea del monocultivo de papa en un sistema de “intercalación”, se traduce en mayores rendimientos equivalentes de papa (PEY) (Gitari et al., 2018). Y no mantener el número de plantas del monocultivo de papa en un sistema de “intercalación”, tiene un efecto contrario. Siendo así, que 16 666 plantas de papa por hectárea intercaladas con 16 666 plantas de haba resultaron en un PEY (18.9 t ha^{-1}) menor al rendimiento de papa en monocultivo (26.7 t ha^{-1}), llegando a diferir significativamente (Figura 16). Al comparar nuestros PEY con un sistema de siembra similar al nuestro (con 50 % de plantas por hectárea) podemos indicar que concordamos con lo reportado por Shadrack et al. (2021), quien obtuvo PEY de 18.9 hasta 34.2 t ha^{-1} intercalando papa con leguminosa. Finalmente podemos

indicar que el tratamiento T6 (28.5 t ha⁻¹) obtuvo el mayor rendimiento de papa en monocultivo; y el T9 (21.8 t ha⁻¹) obtuvo el mayor PEY en “intercalación”; utilizando ambos tratamientos 4 t ha⁻¹ de gallinaza (Peñaloza et al., 2019). Finalmente, el análisis de varianza (Tabla 14), nos indica que el uso de discos y gallinaza no presentaron diferencias significativas entre sus niveles, aunque cabe resaltar que con 4 t ha⁻¹ (D3) de gallinaza se alcanzó mejores rendimientos que los alcanzados con D1 y D2.

Figura 16

Influencia del sistema agrícola (SH=Sin “intercalación”, CH=Con “intercalación”), uso de discos (SD=Sin discos, CD=Con discos) y dosis de gallinaza (D1=1 t ha⁻¹, D2=2 t ha⁻¹, D3=4 t ha⁻¹), en el rendimiento de tubérculo fresco (FTY) de papa INIA 325-Poderosa, en la sierra de La Libertad. Letras distintas indican diferencia significativa entre niveles de factores (p<0.05) detectado mediante prueba de Tukey.



4.12. Estimación de huella de carbono por tonelada de papa INIA 325 – Poderosa en agricultura orgánica

Algunos de los factores que influyen en la huella de carbono es el sistema agrícola de siembra, clase de suelo, origen y tasa de aplicación de fertilizantes (Haverkort et al., 2014) ya que, en esta investigación, el cultivo de papa intercalada con haba genero una huella de carbono de 103.7 kg CO₂ – eq t⁻¹ de tubérculo fresco (T7) utilizando 1 t ha⁻¹ de gallinaza (D1). Sin embargo, la papa en monocultivo (sin haba) emitió una HC de 59 kg CO₂ – eq t⁻¹ de tubérculo

fresco (T6) utilizando 4 t ha⁻¹ de gallinaza (D3), llegando a existir diferencias significativas entre los sistemas agrícolas de siembra estudiados (Figura 17). Respecto a la fertilización con gallinaza, podemos indicar que la huella de carbono fue menor cuando se utilizó dosis de 4 t ha⁻¹ y mayor cuando se utilizó 1 y 2 t ha⁻¹, estas de diferencias a pesar de no ser significativas (Tabla 15), se atribuye a los mayores rendimientos de papa obtenidos con 4 t ha⁻¹ de gallinaza (Svubure et al., 2018). Las HC de todos los factores estudiados se encuentran dentro del rango (77 – 116 kg CO₂ – eq t⁻¹ de tubérculo fresco) reportado por Haverkort & Hillier (2011) en diferentes sistemas de cultivo de papa.

Figura 17

Influencia del sistema agrícola (SH=Sin “intercalación”, CH=Con “intercalación”), discos (SD=Sin discos, CD=Con discos) y dosis de gallinaza (D1=1 t ha⁻¹, D2=2 t ha⁻¹, D3=4 t ha⁻¹), en la huella de carbono (HC) por tonelada de tubérculos frescos de papa INIA 325-Poderosa, en la sierra de La Libertad. Letras distintas indican diferencia significativa entre niveles de factores (p<0.05) detectado mediante prueba de Tukey.

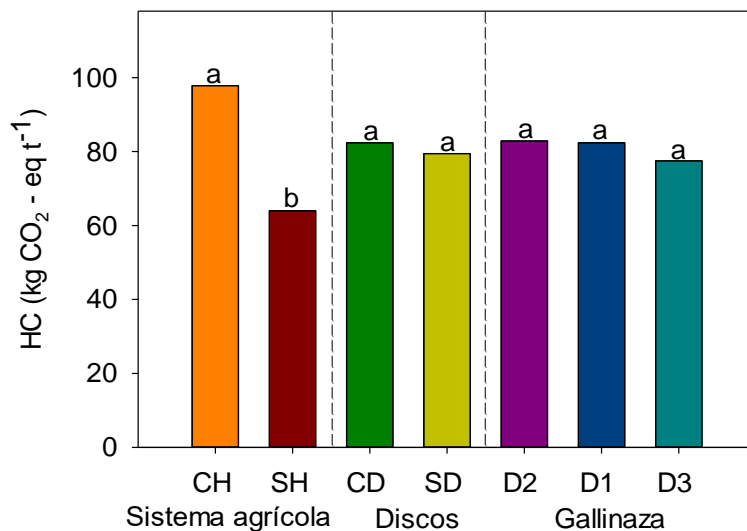


Tabla 14

Análisis de varianza para rendimiento de tubérculo fresco de papa INIA 325-Poderosa considerando sistema agrícola de siembra, uso de discos y dosis de gallinaza en la sierra de La Libertad.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	p-valor
Modelo	1238.47	23	53.85	4.09	0.0005
Bloque	259.93	3	86.64	40.21	0.0064
Sistema agrícola (I)	744.42	1	744.42	345.45	0.0003
Error (a)	6.46	3	2.15		
Discos (D)	2.66	1	2.66	0.12	0.7397
D*I	0.31	1	0.31	0.01	0.9091
Error (b)	132.04	6	22.01		
Gallinaza (G)	26.95	2	13.47	1.02	0.3746
D*G	4.67	2	2.33	0.18	0.8387
I*G	10.3	2	5.15	0.39	0.6805
D*I*G	50.73	2	25.36	1.93	0.1676
Error (c)	316.08	24	13.17		
Total	1554.55	47			

$$CV(a) = 6.44 \% \quad CV(b) = 20.58 \% \quad CV(c) = 15.92 \%$$

Nota: Los valores de los coeficientes de variación para ambos casos se justifican ya que los factores labranza, “mulch” e “intercalado” influyen fuertemente en el rendimiento, indicando la variación existente entre los distintos tratamientos.

Tabla 15

Análisis de varianza para huella de carbono por tonelada de tubérculo fresco de papa INIA 325-Poderosa considerando sistema agrícola de siembra, uso de discos y dosis de gallinaza en la sierra de La Libertad.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	p-valor
Modelo	23428.37	23	1018.62	2.1	0.0386
Bloque	4834.22	3	1611.41	3.27	0.1782
Sistema agrícola (I)	13747.84	1	13747.84	27.91	0.0132
Error (a)	1477.62	3	492.54		
Discos (D)	101.5	1	101.5	0.41	0.5476
D*I	56.85	1	56.85	0.23	0.6504
Error (b)	1500.54	6	250.09		
Gallinaza (G)	285.88	2	142.94	0.29	0.7474
D*G	141.32	2	70.66	0.15	0.8652
I*G	134.93	2	67.47	0.14	0.8708
D*I*G	1147.67	2	573.83	1.18	0.3236
Error (c)	11640.36	24	485.02		
Total	35068.73	47			

$$CV(a) = 27.43 \% \quad CV(b) = 19.54 \% \quad CV(c) = 27.22 \%$$

Nota: El coeficiente de variación para AC se justifican ya que los factores labranza, “mulch” e han influido en el rendimiento del cultivo; a efecto de no realizarse las labores culturales. Mientras que en CV en AO queda justificado por la variabilidad entre el número de plantas de SH y CH.

4.13. Estimación de rentabilidad de papa INIA 325 – Poderosa en agricultura orgánica

La rentabilidad tiene una relación directa con el rendimiento, y a su vez esté, depende de las condiciones climáticas, fertilización, riego y sistema de siembra (García-Mora, et al., 2023). Considerando el sistema de siembra, la rentabilidad de papa en monocultivo (BCR = 2.7) fue mayor que la rentabilidad al intercalarla con haba (BCR = 1.9), llegando a presentar diferencias significativas (Figura 18). Considerando las dosis fertilización, los beneficios económicos son mayores cuando se utiliza 4 t ha⁻¹ de gallinaza (Peñaloza et al., 2019) llegando a alcanzar un BCR de 2.9 (T6) en monocultivo de papa y 2.1 (T9) en “intercalación” con haba en el presente estudio. La menor rentabilidad lo presento el T7 (BCR = 1.7) el cual fue fertilizado con 1 t ha⁻¹ de gallinaza en “intercalación” con haba. Los beneficios económicos obtenidos, sobrepasaron a las reportados (2.0 ± 0.12; 1.0 ± 0.11) por Rinza et al. (2022) debido a la subida del precio del kg de papa a 0.9 USD en la temporada de cosecha. Finalmente podemos indicar que los factores discos y gallinaza no influyen significativamente en la rentabilidad, dado que no existe diferencias estadísticas entre sus niveles (Tabla 16).

Figura 18

Influencia del sistema agrícola (SH=Sin “intercalación”, CH=Con “intercalación”), discos (SD=Sin discos, CD=Con discos) y dosis de gallinaza (D1=1 t ha⁻¹, D2=2 t ha⁻¹, D3=4 t ha⁻¹), en la rentabilidad (BCR) de papa INIA 325-Poderosa, en la sierra de La Libertad. Letras distintas indican diferencia significativa entre niveles de factores (p<0.05) detectado mediante prueba de Tukey.

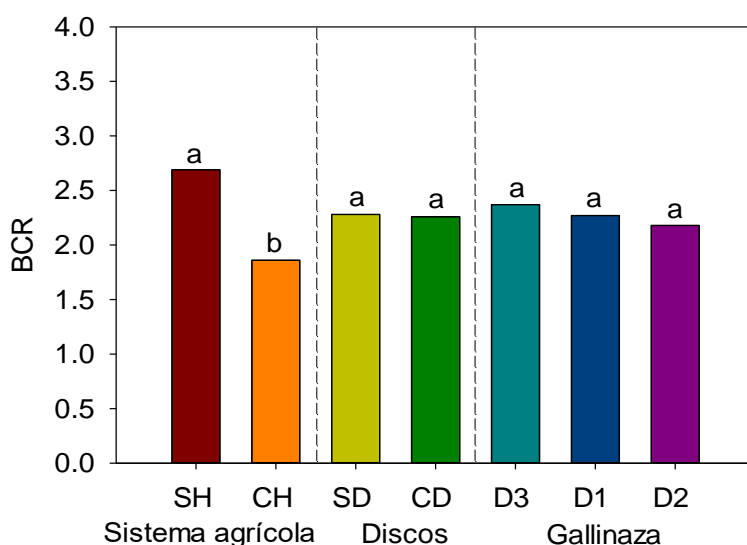


Tabla 16

Análisis de varianza para rentabilidad de papa INIA 325-Poderosa considerando sistema agrícola de siembra, uso de discos y dosis de gallinaza en la sierra de La Libertad.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	p-valor
Modelo	12.7	23	0.55	3.51	0.0017
Bloque	2.03	3	0.68	14.13	0.0283
Sistema agrícola (I)	8.18	1	8.18	170.6	0.001
Error (a)	0.14	3	0.05		
Discos (D)	0.01	1	0.01	0.02	0.8848
D*I	0.02	1	0.02	0.09	0.7704
Error (b)	1.42	6	0.24		
Gallinaza (G)	0.28	2	0.14	0.9	0.4212
D*G	0.11	2	0.05	0.35	0.7107
I*G	0.06	2	0.03	0.2	0.818
D*I*G	0.44	2	0.22	1.41	0.2627
Error (c)	3.77	24	0.16		
Total	16.48	47			

$$CV(a) = 9.63 \%$$

$$CV(b) = 21.42 \%$$

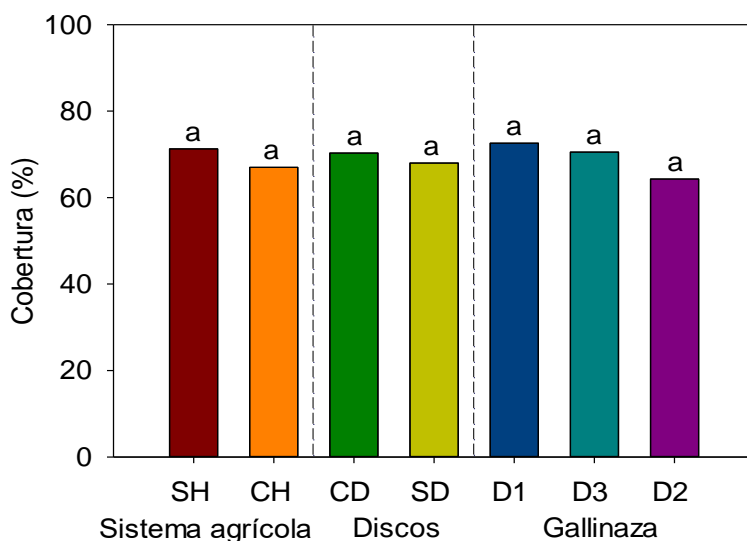
$$CV(c) = 17.45 \%$$

4.14. Estimación de Cobertura de follaje de papa INIA 325 – Poderosa en agricultura orgánica

La altitud y el sistema agrícola de siembra influyen en la cobertura foliar, ya que el monocultivo de papa desarrolla mayores coberturas que la “intercalación” de papa con leguminosas, en tierras de altura (Shadrack et al., 2021). Llegándose a obtener, en nuestra investigación, coberturas que oscilaron de 65.5 a 75.7 % en monocultivo, y de 59.4 a 73.3 % en la “intercalación” de papa con haba. Las coberturas obtenidas no difieren significativamente, razón por la cual pertenecen a una misma agrupación (Figura 19). Así mismo, los resultados obtenidos mantienen la misma tendencia que los reportados por Shadrack et al. (2021), quien obtuvo coberturas, de 89 % en monocultivo, y de 74 % en “intercalación” papa – leguminosa.

Figura 19

Influencia del sistema agrícola (SH=Sin “intercalación”, CH=Con “intercalación”), discos (SD=Sin discos, CD=Con discos) y dosis de gallinaza (D1=1 t ha⁻¹, D2=2 t ha⁻¹, D3=4 t ha⁻¹), en la cobertura foliar de papa INIA 325-Poderosa, en la sierra de La Libertad. Letras distintas indican diferencia significativa entre niveles de factores ($p < 0.05$) detectado mediante prueba de Tukey.

**Tabla 17**

Análisis de varianza para cobertura foliar de papa INIA 325-Poderosa considerando sistema agrícola de siembra, uso de discos y dosis de gallinaza en la sierra de La Libertad.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	p-valor
Modelo	0.74	23	0.032	2.07	0.0412
Bloque	0.45	3	0.148	22.49	0.0147
Sistema agrícola (I)	0.03	1	0.031	4.74	0.1176
Error (a)	0.02	3	0.007		
Discos (D)	3.80E-03	1	0.004	0.25	0.6333
D*I	1.50E-03	1	0.002	0.1	0.7605
Error (b)	0.09	6	0.015		
Gallinaza (G)	0.09	2	0.046	3	0.0686
D*G	3.60E-03	2	0.002	0.12	0.8908
I*G	0.02	2	0.009	0.61	0.5538
D*I*G	0.03	2	0.015	0.99	0.3863
Error (c)	0.37	24	0.015		
Total	1.11	47			

$$CV(a) = 8.19 \%$$

$$CV(b) = 12.34 \%$$

$$CV(c) = 12.53 \%$$

4.15. Determinación de la altura de plantas de papa INIA 325 – Poderosa en agricultura orgánica

La altura de las plantas de papa depende de la variedad y dosis de fertilización, ya que las dosis altas de gallinaza favorecen tallos con mayor longitud, y dosis bajas de gallinaza tienen un efecto contrario (Gherman & Mohammed, 2013). Bajo este escenario, en el presente estudio, al utilizar 4 t ha⁻¹ de gallinaza las plantas presentaron mayor altura (94.1 cm) que al utilizar 2 (90.9 cm) y 1 t ha⁻¹ (87.5 cm) de gallinaza. Los resultados obtenidos difieren significativamente (Tabla 18), razón por la cual las dosis de gallinaza se categorizan en diferentes agrupaciones (Figura 20). Sin embargo, Peñaloza et al. (2019) indica que no existen diferencias significativas en altura de planta cuando se utiliza diferentes dosis de gallinaza; las diferencias entre nuestros resultados, posiblemente se deben al utilizar diferentes variedades de papa en nuestras investigaciones. Finalmente, podemos indicar que el factor “intercalación” de cultivos y uso de discos no influyeron en la altura de planta ya que no presentan diferencias significativas (Tabla 18).

Figura 20

Influencia del sistema agrícola (SH=Sin “intercalación”, CH=Con “intercalación”), discos (SD=Sin discos, CD=Con discos) y dosis de gallinaza (D1=1 t ha⁻¹, D2=2 t ha⁻¹, D3=4 t ha⁻¹), en la altura de planta (AP) de papa INIA 325-Poderosa, en la sierra de La Libertad. Letras distintas indican diferencia significativa entre niveles de factores ($p < 0.05$) detectado mediante prueba de Tukey.

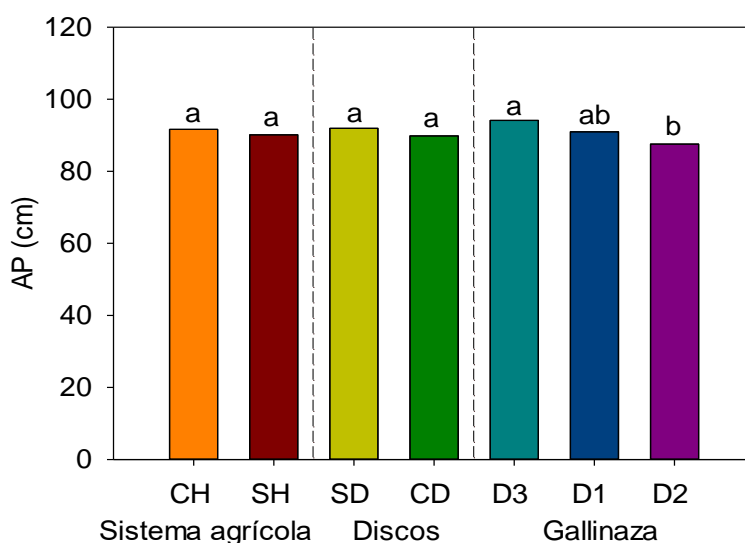


Tabla 18

Análisis de varianza para altura de plantas de papa INIA 325-Poderosa considerando sistema agrícola de siembra, uso de discos y dosis de gallinaza en la sierra de La Libertad.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	p-valor
Modelo	1167.88	23	50.78	1.35	0.2344
Bloque	384.22	3	128.07	10.22	0.044
Sistema agrícola (I)	28.03	1	28.03	2.24	0.2317
Error (a)	37.61	3	12.54		
Discos (D)	52.13	1	52.13	8.07	0.0295
D*I	35.6	1	35.6	5.51	0.0572
Error (b)	38.74	6	6.46		
Gallinaza (G)	346.93	2	173.46	4.62	0.0201
D*G	7.81	2	3.9	0.1	0.9017
I*G	209.28	2	104.64	2.79	0.0817
D*I*G	27.52	2	13.76	0.37	0.6972
Error (c)	901.76	24	37.57		
Total	2069.64	47			

$$CV(a) = 3.90 \%$$

$$CV(b) = 2.80 \%$$

$$CV(c) = 6.75 \%$$

4.16. Numero de tubérculos totales y comerciales de papa INIA 325 – Poderosa en agricultura orgánica

En agricultura orgánica, el promedio de tubérculos por tratamiento en el monocultivo de papa fue de 195, mientras que en el sistema intercalado de papa con haba se cosecharon 121 tubérculos por tratamiento. Llegando a diferir significativamente (Tabla 19). Respecto a tubérculos comerciales, se mantuvo la misma tendencia, obteniéndose 162 en cultivo sin intercalar y 96 en cultivo “intercalado”. Por otro lado, el efecto de gallinaza no fue significativo en el número de tubérculos (Figura 21), llegando a concordar con lo reportado por Peñaloza et al. (2019). Sin embargo, podemos indicar que con 4 t ha⁻¹ de gallinaza se obtuvo mayor cantidad de tubérculos (en promedio 165 tubérculos por tratamiento) en comparación con 2 (157 tubérculos/tratamiento) y 1 (153 tubérculos/tratamiento) t ha⁻¹ de gallinaza.

Figura 21

Influencia del sistema agrícola (SH=Sin “intercalación”, CH=Con “intercalación”), discos (SD=Sin discos, CD=Con discos) y dosis de gallinaza (D1=1 t ha⁻¹, D2=2t ha⁻¹, D3=4 t ha⁻¹), en el número total de tubérculos (NTT) de papa INIA 325-Poderosa, en la sierra de La Libertad. Letras distintas indican diferencia significativa entre niveles de factores (p<0.05) detectado mediante prueba de Tukey.

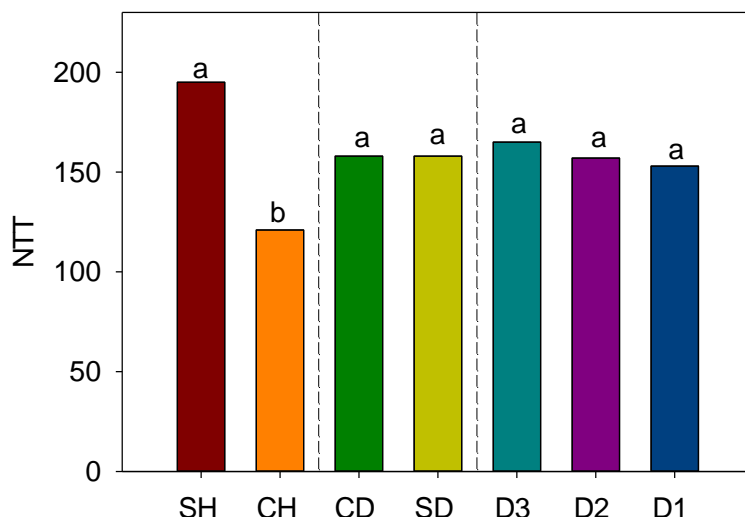


Tabla 19

Análisis de varianza en número total de tubérculos de papa INIA 325-Poderosa considerando sistema agrícola de siembra, uso de discos y dosis de gallinaza en la sierra de La Libertad.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	p-valor
Modelo	143.68	23	6.25	5.33	0.0001
Bloque	13.95	3	4.65	1.54	0.3663
Sistema agrícola (I)	104.73	1	104.73	34.61	0.0098
Error (a)	9.08	3	3.03		
Discos (D)	0.01	1	0.01	0.01	0.9353
D*I	0.09	1	0.09	0.07	0.8043
Error (b)	8.06	6	1.34		
Gallinaza (G)	2.35	2	1.18	1.01	0.3809
D*G	0.05	2	0.03	0.02	0.9784
I*G	0.84	2	0.42	0.36	0.7023
D*I*G	4.52	2	2.26	1.93	0.1672
Error (c)	28.11	24	1.17		
Total	171.8	47			

$$CV(a) = 13.99 \%$$

$$CV(b) = 9.33 \%$$

$$CV(c) = 8.71 \%$$

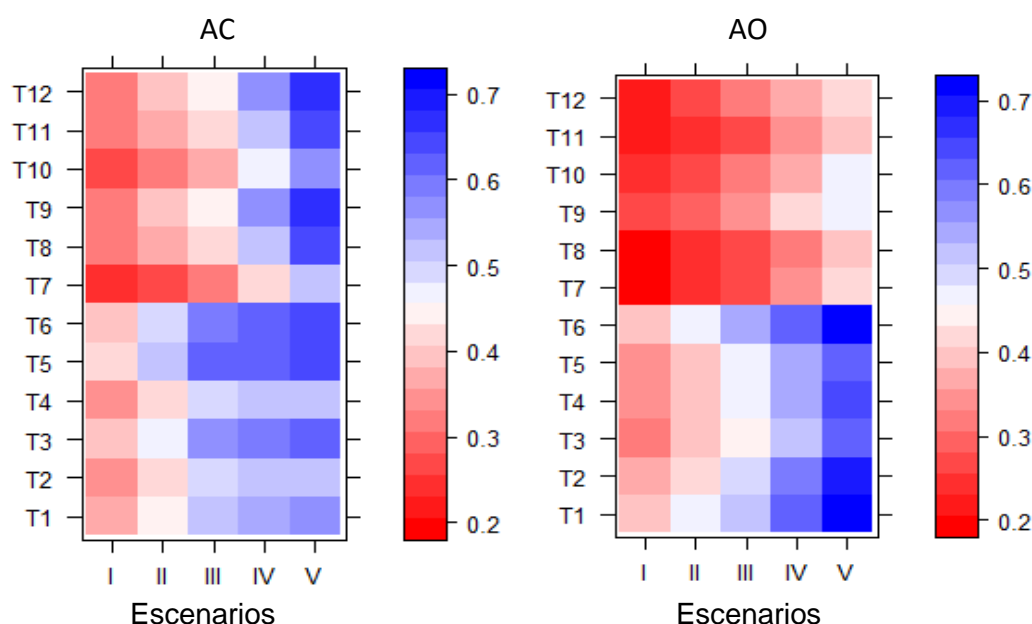
4.17. Índice integrado en agricultura de conservación y orgánica

La valoración de tratamientos en un índice integrado combina el indicador ambiental (HC), agronómico (FTY) y económico (BCR) en diferentes escenarios, los cuales representan la transición del agricultor de una agricultura convencional (centrada en incrementar rendimientos) a una agricultura amigable, priorizando criterios económicos y ambientales (Rinza et al., 2022). En términos matemáticos el IIN responde a la siguiente fórmula:

$$IIN = sFTY \times \omega_{FTY} + sBCR \times \omega_{BCR} + sHC \times \omega_{HC} \quad (10)$$

Figura 22

Valoración de tratamientos en un índice integrado (IIN) bajo combinación de indicadores ambientales (HC) económicos (BCR) y agronómico (FTY) en AC y AO.



En agricultura de conservación, según el INN (Figura 22), los tratamientos bajo labranza convencional han tenido una mejor respuesta, llegando a destacar el T6 (labranza convencional + 30 cm de “mulch” + sin plástico) y T5 (labranza convencional + 20 cm de “mulch” + sin plástico). No obstante, los tratamientos T9 (labranza cero + 30 cm de “mulch” + plástico) y T12 (labranza cero + 30 cm de “mulch” + sin plástico) llegaron a tener la misma importancia. Por otro lado, en agricultura orgánica, los tratamientos sin haba tuvieron una mejor respuesta, llegando a destacar el T6 (Sin “intercalación” + 4 t ha⁻¹ de gallinaza + con disco) y T2 (Sin “intercalación” + 2 t ha⁻¹ de gallinaza + sin disco).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

El mayor rendimiento total y comercial del cultivo de papa enmarcado en agricultura de conservación se logró utilizando labranza convencional más 20 y 30 cm de “mulch” (T5 y T6) llegando a obtener rendimientos de 31.5 y 30.4 t ha⁻¹. Por otro lado, los rendimientos en labranza cero más 30 cm de “mulch” fueron 17.9 (T12) y 17.6 t ha⁻¹ (T9) de papa. En agricultura orgánica el mayor rendimiento fue de 28.5 t ha⁻¹ bajo el sistema agrícola “*sin intercalación*” fertilizado con 4 t ha⁻¹ de gallinaza (T6), y el menor rendimiento fue de 17,4 t ha⁻¹ bajo el sistema agrícola con “intercalación” fertilizado con 1 t ha⁻¹ de gallinaza.

La huella de carbono en efecto dependió del manejo del cultivo de la papa, dado que, en labranza cero (38.8 kg CO₂ – eq t⁻¹) se emitió 36 % menos HC que en labranza convencional (61 kg CO₂ – eq t⁻¹) así mismo, el uso de 30 y 20 cm de espesor de “mulch” logro reducir la HC en 33.5 % y 28.7 % en comparación con la HC de 10 cm de “mulch”. En agricultura orgánica las huellas de carbono de papa intercalada con haba (97.8 kg CO₂ – eq t⁻¹) fueron superiores en 34.5 %, al monocultivo de papa (63.9 kg CO₂ – eq t⁻¹). Por otro lado, la fertilización con 4 t ha⁻¹ de gallinaza logro reducir la huella de carbono en comparación con 1 t ha⁻¹.

Los tratamientos de agricultura de conservación y orgánica fueron rentables, ya que presentan valores de BCR > 1. Llegando a destacar en agricultura de conservación los tratamientos T6 (3.1) y T5 (3.1) utilizando labranza convencional más “mulch”. En agricultura orgánica los tratamientos de papa en monocultivo (BCR = 2.7) lograron una rentabilidad mayor de 30.8 % en comparación con los tratamientos “intercalados” con haba (BCR = 1.8). Así mismo, podemos indicar que con 4 t ha⁻¹ de gallinaza la rentabilidad es mayor.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda realizar la validación de la respuesta de los factores estudiados de agricultura de conservación y orgánica de esta investigación utilizando otras variedades de papa y otras fuentes de “mulch”.

Se recomienda y se incentiva investigar rendimiento equivalente de papa, manteniendo el número de plantas por hectárea del monocultivo de papa en un sistema de “intercalación” con leguminosas (cultivo de papa en densidad de 0.3 m x 1.0 m; las leguminosas instalar entre los surcos de papa).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdalla, M., Osborne, B., Lanigan, G., Forristal, D., Williams, M., Smith & Jones, (2013). Conservation tillage systems: a review of its consequences for greenhouse gas emissions. *Soil Use Management*, 29(2), 199-209. <https://doi.org/10.1111/sum.12030>
- Abdul, M., Singha, A., Amena, M., Jewel, A., Hossain, F., Islam, N. (2019). Mulching as water-saving technique in dryland agriculture: review article. *National Research Centre*, 43(147), 2-6. <https://doi.org/10.1186/s42269-019-0186-7>
- Agronet (2019, 29 marzo). Estas son las amenazas que impulsan la degradación del suelo. <https://www.agronet.gov.co/Noticias>.
- Aharinta, F., Osiru, D., Arinaitwe, A., y Kamugisha, F. (2023). Effect of Different Seedbed Preparation Methods on Potato Yields in Kabarole District, Uganda. *East African Journal of Agriculture and Biotechnology*, 6(1), 243-256. <https://doi.org/10.37284/eajab.6.1.1308>
- Alcarraz, O. (2010). *Efecto del encalado y gallinaza en el rendimiento de papa (solanum tuberosum) variedad amarilla Tumbay en Andahuaylas, Apurímac a 3850 msnm*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga] ScienceDirect y Scopus. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3215>
- Alcázar, J. & Cisneros, F. (1996). *Principales insectos que atacan a cultivo de papa*. <http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/09/4-1-Manual-produccion.pdf>.
- Ali, M., Shahadat, M., Rashid, M. (2019). Performance of Zero Tillage Potato Cultivation with Different Mulch Materials in the South-Western Saline Area of Bangladesh. *Proceedings*, 36(1), 29. <https://doi.org/10.3390/proceedings2019036029>
- Altieri, M. & Nicholls, C. (2009) Cambio climático y agricultura campesina: impactos y respuestas adaptativas. *LEISA: revista de agroecología*, 14, 5-8. https://www.researchgate.net/publication/302558890_Cambio_climatico_y_agricultura_campesina_Impactos_y_respuestas_adaptativas
- Ardila-Garcia, V., Vallejo, V., Plazas-Navarro, L. (2022). Agricultura de conservación como estrategia potencial para incrementar la calidad del suelo en agroecosistemas de Colombia. *Ciencia Y Tecnología Agropecuaria*, 23(3). https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num3_art:2674
- Arévalo, H., Puglla, C., Danilo, J. (2018). Valoración nutricional de la gallinaza para alimentación animal y procesos industriales [Tesis de maestría, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE] Dspace software. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/14805>
- Awan, A. (1964). Influence of mulch on soil moisture, soil temperature and yield of potatoes. *American Potato Journal*, 41, 337–339 (1964). <https://doi.org/10.1007/BF02855669>
- Barreda C., Guerrero, J., Cruz, M. (2017). Image Canopy: Software to estimate canopy cover, International Potato Center, V2. <https://doi.org/10.21223/P3/50TASS>

- Bedoya, J. (2022, 9 de abril). Fertilizantes y alimentos al alza: efectos de la guerra que amenazan con una crisis alimentaria. *France* 24. <https://www.france24.com/es/programas/econom%C3%ADa/20220409-fertilizantes-alimentos-precios-crisis-alimentaria>
- Bellido, L. (2022). *Agricultura y secuestro de carbono. Potencial de mitigación del cambio climático*. Acribia. https://www.editorialacribia.com/libro/agricultura-y-secuestro-de-carbono_140558/
- Benavides, H. & León, G. (2007). *Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático*. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf>
- Blandón, D. (2022, 5 de marzo). De trigo a fertilizantes: así afecta la guerra en Ucrania los precios de los alimentos. *France* 24. <https://www.france24.com/es/programas/econom%C3%ADa/20220305-guerra-ucrania-rusia-exportaciones-precios>
- Blevins, R., Cook, D., Phillips, S., Phillips, R. (1971). Influence of No-tillage on Soil Moisture. *Agronomy*, 63 (4) 593-596. <https://doi.org/10.2134/agronj1971.00021962006300040024x>
- Bolin, B., Döös, J., Jäger & Warrick, R. (1986). *The greenhouse effect, climatic change and ecosystems*. John Wiley & Sons. <https://www.nhbs.com/the-greenhouse-effect-climatic-change-and-ecosystems-book>
- Briceño, P., Rinza, J., Ramirez, D. A., Ninanya, J., Diaz, E., Seminario, J., Villanueva, C., Mendoza, W., Villanueva, A., Otiniano, R., Perez, J. (2024). Dataset for: Conservation agriculture trial in the locality of Licame, Chugay district, La Libertad – Peru, International Potato Center, V1. <https://doi.org/10.21223/XNXOG3>
- Briceño, P., Rinza, J., Ramirez, D. A., Ninanya, J., Diaz, E., Seminario, J., Villanueva, C., Mendoza, W., Villanueva, A., Otiniano, R., Perez, J. (2024). Dataset for: Organic agriculture trial in the locality of La Soledad, Chugay district, La Libertad - Peru, International Potato Center, V1. <https://doi.org/10.21223/PP7DMK>
- Casas, S., Guerra, L. (2020). La gallinaza, efecto en el medio ambiente y posibilidades de reutilización. *Revista de Producción Animal*, 32(3), 87-102
- Castellanos, M., Segura, M., Núñez, C. (2010). Análisis de crecimiento y relación fuente-demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 63(1), 5253-5266.
- Cepa (2015). *El cambio climático y los gases de efecto invernadero*. Dossier Cepa Dirección de Comunicación. https://www.cepsa.com/stfls/CepaCom/Coorp_Comp/Medio%20Ambiente_Seguridad_Calidad/Art%C3%ADculos/Dossier-Cambio-Climatico-y-GEI.pdf

- Chero A. & Cuadros F. (2022, 20 de mayo). Producción del agro peruano caería 30% y desataría crisis alimentaria. *La República*. <https://larepublica.pe/economia/2022/05/20/crisis-alimentaria-produccion-del-agro-peruano-caeria-30-y-desataria-crisis-alimentaria-agricultores-peruanos-the-economist>
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical)-. (2010). *Agricultura y cambio climático: instituciones política e innovación*. Naciones unidas. https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/7021/LCL3353s_es.pdf
- CIP (2015). *Liberan nueva variedad de papa 'INIA 325 – PODEROSA' en Perú*. <https://cipotato.org/es/lapapa/liberan-nueva-variedad-papa-inia-325-poderosa-peru/>
- Clemmensen K., Ovaskainen O., Dahlberg A., Ekblad A., Wallander H., Stenlid J., Finlay RD., Wardle DA., Lindahl BD. (2013). Roots and Associated Fungi Drive Long-Term Carbon Sequestration in Boreal Forest. *Science*, 339, 1615–1618.
- Cline, W. (2007). *Global Warming and Agriculture: Impact Estimates by Country*. Peterson Institute for International Economics.
- CMNUCC, (1992). Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- COFIDE- Corporación financiera de desarrollo- (2018). *Inventario de Gases de Efecto Invernadero*. https://www.cofide.com.pe/COFIDE/images/secciones/transparencia_s7_7.%20L%C3%ADnea%20base%20huella%20de%20carbono.pdf
- Cool Farm Alliance (2023). *Cool Farm Tool, Online V2*. <https://app.coolfarmtool.org/account/login/>
- Coronado, C., Miethbauer, T., Alcázar, J., Carhuapoma, P., Kroschel, J. (2018). Manejo integrado del gorgojo de los Andes (*Premnotypes suturicallus* Kuschel) en el valle del Mantaro: aspectos socioeconómicos y uso potencial de las barreras de plástico. *Researchgate*. <https://www.researchgate.net/publication/328811493>
- Cruz, C., Johannes, D. (2022). Variation in Temperature Dependences across Europe Reveals the Climate Sensitivity of Soil Microbial Decomposers. *American Society for Microbiology*, 89(5), <https://doi.org/10.1128/aem.02090-22>
- Daza, F. & Vargas, L. A. (2012). La agroecología: una estrategia para afrontar el cambio climático. *Libre empresa*, 9(1), 125-138. <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/libreempresa/article/view/2966>.
- Dixit, C. & Majumdar, A. (1995). Effect of mulching on water use efficiency, yield and quality of potato (*Solanum tuberosum* L). *Indian Journal of Horticultural Sciences*, 24:289-290.
- Djaman, K., Sanogo, S., Koudahe, K., Allen, S., Saibou, A., Essah, S. (2021). Characteristics of Organically Grown Compared to Conventionally Grown Potato and Processed Products: A Review. *Sustainability* 13(11), 6289. <https://doi.org/10.3390/su13116289>

- Drakopoulos, D., Scholberg, J., Lantinga, E., Tiftonell, P. (2016). Influence of reduced tillage and fertilization regime on crop performance and nitrogen use of organic potato. *Organic Agriculture*, 6, 75–87 (2016). <https://doi.org/10.1007/s13165-015-0110-x>
- Egusquiza, R. (2013). *Manejo integrado de plagas y enfermedades en el cultivo de papa*. Guía técnica. <https://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/032-d-papa.pdf>.
- Etcheverría, P. & Barahona, V. (2018). El secuestro de carbono en los suelos. Red agrícola. <https://redagricola.com/el-secuestro-de-carbono-en-los-suelos>
- Escalante, H. (2020). La agricultura mundial, en la cuerda floja de los fertilizantes químicos La historia de la agricultura moderna es, en gran medida, la historia de la dependencia de los fertilizantes químicos. *El salto*. <https://www.elsaltodiario.com/agricultura/agricultura-mundial-cuerda-floja-fertilizantes-quimicos>.
- Espíndola, C. & Valderrama, J. (2012). Huella del Carbono. Parte 1: Conceptos, Métodos de Estimación y Complejidades Metodológicas. *Información Tecnológica*, 23(1),163-176. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642012000100017>
- FAO (2021) & Escobar M. (2022). FAO advierte posible crisis alimentaria para más de 15 millones de peruanos. *La República*. <https://larepublica.pe/economia/2022/05/16/fao-advierde-posible-crisis-alimentaria-para-mas-de-15-millones-de-peruanos/>
- FAO (2022). *Agricultura de Conservación*. <https://www.fao.org/3/cb8350es/cb8350es.pdf>
- Ferrera, R., & Alarcón, A. (2001). La microbiología del suelo en la agricultura sostenible. *Dialnet*, 8(2), 175-183. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5167200>
- Flores, S. (2022, 3 de junio). La escasez de fertilizantes y crisis alimentaria. *Macroconsult* https://sim.macroconsult.pe/wp-content/uploads/2022/06/Fertilizantes_Sandra-Flores.pdf.
- Forbes, G., Pérez, W., Andrade Piedra, J. (2014). *Procedimiento para Evaluación Estándar y Manejo de Datos de Clones Avanzados de Papa. Modulo 3: Evaluación de la Resistencia en genotipos de papa a Phytophthora infestans bajo condiciones de campo. Guía para Colaboradores Internacionales*. <http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/09/006182.pdf>
- Gao, Y., Duan, A., Sun, J., Li, F., Liu, Z., Liu, H., Liu, Z. (2009). Coeficiente de cultivo y eficiencia en el uso del agua de cultivos intercalados en franjas de trigo de invierno/maíz de primavera. *Investigación de cultivos de campo*, 111(1), 65-73. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2008.10.007>
- García, A., Laurín, M., Llosa M., González, V., Sanz M., Porcuna, J. (2006). Contribución de la agricultura ecológica a la mitigación del cambio climático en comparación con la agricultura convencional. *Agroecología*, 1(1), 76-88. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/169/150>
- García-Mora, V., Ilbay, M., Ramos, R. (2023). Modelo de predicción para los factores que influyen en el rendimiento del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en Ecuador. *Revista Bases de la Ciencia*, 8(2), 1-16. [Doi:10.33936/revbasdelaciencia.v8i2.5403](https://doi.org/10.33936/revbasdelaciencia.v8i2.5403)

- Gauthier, J. & Pavarotti, V. (2018). *Los principios de la agroecología hacia sistemas alimentarios justos, resilientes y sostenibles*. Hearts & Minds. https://www.manosunidas.org/sites/default/files/imce/noticias/es_los_principios_de_la_agroecologia_cidse_2018.pdf
- Ghemam, D., Mohammed, S. (2013). Influence of organic manure on the vegetative growth and tuber production of potato (*Solanum tuberosum* L varspunta) in a Sahara Desert region. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 5. 2724-2731.
- Gitari, H., Gachene, C., Karanja, N., Kamau, S., Nyawade, S., Sharma, K., Schulte-Geldermann, E., (2018). Optimizing yield and economic returns of rain-fed potato (*Solanum tuberosum* L.) through water conservation under potato-legume intercropping systems. *Agricultural Water Management*, 208 (2018) 59–66. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.06.005>
- Gliessman, S. (2002). Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible. *CATIE - Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza*. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/9149>
- González, D. (2021). *Prácticas de agricultura regenerativa para la fijación de carbono en suelos en la mitigación del cambio climático* [Trabajo fin de máster, Universidad Autónoma de Madrid]. <https://sustraiak.coop/carbono-regenerativa/>
- González, P. (2019). Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes. *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*. https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27059/1/Consecuencias_ambientales_de_la_aplicacion_de_fertilizantes.pdf
- Gros, A. & Domínguez, A. (1992). *Abonos guía práctica de la fertilización*. 8va. edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 450 p.
- Gudynas, E. (2010). Agroecología frente al cambio climático. *LEISA, revista de agroecología*, 26(3), 36-37
- Haverkort, A., Hillier, J. (2011). Cool Farm Tool – Potato: Model Description and Performance of Four Production Systems. *Potato Research*. 54, 355–369 (2011). <https://doi.org/10.1007/s11540-011-9194-1>
- Haverkort, A., Sandaña, P., Kalazich, J. (2014). Yield Gaps and Ecological Footprints of Potato Production Systems in Chile. *Potato Research*, 57, 13-31. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11540-014-9250-8>
- Hernández, J., Tirado, D., Beltrán, I. (2014). Captura de carbono en los suelos. universidad autónoma del estado de hidalgo instituto de ciencias básicas e ingeniería. *boletín pädi* 1(2) https://www.researchgate.net/publication/321958980_Captura_de_carbono_en_los_suelos.
- Huntenburg, K., Dodd, I., Stalham M. (2021). Agronomic and physiological responses of potato subjected to soil compaction and/or drying. *Annals Applied Biology*, 178(2), 328–340. <https://doi.org/10.1111/aab.12675>

- INIA (2014). Plegable N° 12: Papa INIA 325-PODEROSA. <http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/706/1/Trip-Papa-INIA325.pdf>
- Iqbal, R., Raza, M., Valipour, M., Saleem, M., Zaheer, M., Ahmad, S., Toleikiene, M., Haider, I., Aslam, M., Nazar, M. (2020). Beneficios potenciales agrícolas y ambientales de los mantillos: una revisión. *Bull Natl Res Cent*, 44 (75). <https://doi.org/10.1186/s42269-020-00290-3>
- Jones, S., Bergamini, N., Beggi, F., Lesueur, D., Vinceti, B., Bailey, A., Kettle, C., DeClerck, F., Estrada-Carmona, N., Fadda, C., Hainzelin, E., Hunter, D., Fremout, T., Kihara, J., Kader, A., Pulleman, M., Remans, R., Termote, C., Thomas, E., Verchot, L., Quintero, M. (2022). Research strategies to catalyze agroecological transitions in low- and middle-income countries. *Sustainability Science*, <https://doi.org/10.1007/s11625-022-01163-6>
- Kader, M., Sengeb, M., MojidC, M., Itob, K. (2017). Avances recientes en materiales de acolchado y métodos para modificar el entorno del suelo. *Elsevier*, 168 (2017), 155–166. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2017.01.001>
- Keuskamp, J., Dingemans B., Lehtinen, T., Sarneel, J., Hefting, M. (2013) Tea Bag Index: A novel approach to collect uniform decomposition data across ecosystems. *Methods in Ecology and Evolution* 4(11), 1070–1075. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12097>
- Khalili, R. & Al, N. (2013). Microenvironmental Effects on Potato and Bean Yields Grown Under Intercropping System. Retrieved from. *Researchgate*. https://www.researchgate.net/publication/268016420_microenvironmental_effects_on_potato_and_bean_yields_grown_under_intercropping_system
- Kroschel, J., Alcázar, J., Cañedo, V., Miethbauer, T., Zegarra, O., Córdoba, L., Gamarra, C. (2013). Producción de papa orgánica en la región andina del Perú: el manejo integrado de plagas lo hace posible. 165-181. https://www.researchgate.net/publication/282865154_Produccion_de_papa_organica_en_la_region_andina_del_Peru_El_manejo_integrado_de_plagas_lo_hace_posible
- Kroschel, J., Mujica, N., Alcázar, J., Canedo, V., Zegarra O. (2012). Developing Integrated Pest Management for Potato: Experiences and Lessons from Two Distinct Potato Production Systems of Peru. *I*(25), 419-450. [DOI 10.1007/978-94-007-4104-1_25](https://doi.org/10.1007/978-94-007-4104-1_25)
- Kuradusenge, M., Hitimana, E., Hanyurwimfura, D., Rukundo, P., Mtonga, K., Mukasine, A., Uwitonze, C., Ngabonziza, J., Uwamahoro, A. (2023) Crop Yield Prediction Using Machine Learning Models: Case of Irish Potato and Maize. *Agriculture*. 13(1), 225. <https://doi.org/10.3390/agriculture13010225>
- Larkin, R., Honeycutt, C., Griffin, T., Olanya, O., He, Z. (2021). Potato Growth and Yield Characteristics under Different Cropping System Management Strategies in Northeastern U.S. *Agronomy* 11(1):165. <https://doi.org/10.3390/agronomy11010165>

- Leake, J., Johnson, D., Donnelly, D., Muckle, G., Boddy, L., Read, D., (2004). Networks of power and influence: the role of mycorrhizal mycelium in controlling plant communities and agroecosystem functioning. *Canadian Journal of Botany*, 82: 1016-1045
- León, J. (2022). Perú es el segundo país en Latinoamérica y el Caribe que más depende de las importaciones de fertilizantes de Rusia. *Agraria.pe*. <https://agraria.pe/noticias/peru-es-el-segundo-pais-en-latinoamerica-y-el-caribe-que-mas-27794>
- Luna, R., Bejarano, A., Espinoza, A., Ulloa, C., Espinosa, K., Trávez, R. (2016). Respuesta de variedades de papa (*Solanum tuberosum*, L) a la aplicación de abonos orgánicos y fertilización química. *Ciencia Y Tecnología*, 9(1), 11–16. <https://doi.org/10.18779/cyt.v9i1.160>
- Malumba, L. & Lal, R. (2008). Efectos del acolchado en propiedades físicas seleccionadas del suelo. Sciencedirect. *Investigación de suelos y labranza*, 98 (2008), 106–111. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2007.10.011>
- Mahmood, M., Farooq, k., Hussain, A., Sher, R. (2002). Effect of Mulching on Growth and Yield of Potato Crop. *Asian Journal of Plant Sciences*, 1(2), 132-133. DOI: [10.3923/ajps.2002.132.133](https://doi.org/10.3923/ajps.2002.132.133)
- Meneses, L., Julca, A. J., Blas, R., Bello, S. (2006). Organic matter, importance, experiences and its role in agricultura. *Agricultura*, 24 (1) 49-61
- MIDAGRI (2022, 13 de abril). *Promoverán uso de fertilizantes orgánicos para enfrentar alzas de fertilizantes sintéticos en mercados*. <https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/600020-promoveran-uso-de-fertilizantes-organicos-para-enfrentar-alzas-de-fertilizantes-sinteticos-en-mercados>
- MIDAGRI, (2022). *En el Día Nacional, el Perú lidera la producción de papa en América Latina*. <https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/612374-midagri-en-el-dia-nacional-el-peru-lidera-la-produccion-de-papa-en-america-latina>.
- Midmore, D. (1993). Modificación agronómica del uso de recursos y productividad de cultivos intercalados. *Investigación de cultivos de campo*, 34(1993), 357-380. [http://dx.doi.org/10.1016/0378-4290\(93\)90122-4](http://dx.doi.org/10.1016/0378-4290(93)90122-4)
- Miller, G. (2007). *Ciencia ambiental: Desarrollo sostenible, un enfoque integral*, 8va edición, Editores Internacional Thomson, México.
- MINAM. (2021). Resumen ejecutivo del inventario nacional de gases de efecto invernadero del año 2016 y actualización de las estimaciones de los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014.
- Ministerio Para La Transición Ecológica. (2014). *Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización*. Gobierno de España, 280-14-241-8. https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia_huella_carbono_tcm30-479093.pdf
- Monroy, S., Larrañaga, A., Martínez, A. Pérez, J., Molinero, J., Basaguren, A., Pozo, J. (2023) Temperature Sensitivity of Microbial Litter Decomposition in Freshwaters: Role of Leaf Litter

- Quality and Environmental Characteristics. *Microbial Ecology*, 85, 839–852. <https://doi.org/10.1007/s00248-022-02041-5>
- Montaño, F. & Jara, M. (2022, 29 mayo). Escasez y alza global de precios en fertilizantes afecta producción de alimentos en Perú y Chile. *Ojo público*. <https://ojo-publico.com/3525/alza-del-precio-de-fertilizantes-afecta-la-agricultura-en-peru-y-chile>.
- Morugán, A., Pérez, P., Insolia, E., Soto, D., Fernández, D., Zornoza, R. (2022). The impact of crop diversification, tillage and fertilization type on soil total microbial, fungal and bacterial abundance: A worldwide meta-analysis of agricultural sites. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 329, 107867, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.107867>.
- Mosquera, V., Delgado, J., Alwang, J., Escudero L., Cartagena Y., Domínguez, J., D'Adamo, R. (2019). Conservation Agriculture Increases Yields and Economic Returns of Potato, Forage, and Grain Systems of the Andes. *Published in Agron*, 111:2747–2753. [doi:10.2134/agronj2019.04.0280](https://doi.org/10.2134/agronj2019.04.0280)
- Msheik, A., Haidar, M., Jaafar, H. (2019). Strawponic for No-Till Potato Production. *American Journal of Plant Sciences*, 10(12), 2159-2169. <https://doi.org/10.4236/ajps.2019.1012152>
- Neely & Fynn, (2011). "Critical choices for crop and livestock production systems that enhance productivity and build ecosystem resilience," SOLAW (The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture) Background Thematic Report – TR11, FAO, n.d.
- Neira, R. (2020). *Emisión y fijación de gases de efecto invernadero en el proceso de producción y post producción de café en parcelas agroforestales, en la coipa, San Ignacio Cajamarca*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca] <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/4627>
- Niewiadomska, A., Majchrzak, L., Borowiak, K., Wolna-Maruwka, A., Waraczewska, Z., Budka, A., Gaj, R. (2020). The Influence of Tillage and Cover Cropping on Soil Microbial Parameters and Spring Wheat Physiology. *Agronomy*, 10(2), 200. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020200>
- ONU. (2021). COP26: Together for our planet. <https://www.un.org/en/climatechange/cop26>
- ONU. (2022). Efectos de plaguicidas y fertilizantes sobre el medio ambiente y la salud y formas de reducirlos. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/34463/JSUNEPPF_Sp.pdf.
- Otiniano, J. (2017). Manual del cultivo de papa para pequeños productores en la sierra norte del Perú. Asociación Pataz, *Grafikoz*. p.32. <https://www.poderosa.com.pe/Content/descargas/libros/manual-del-cultivo-de-papa.pdf>.
Ultimo acceso: 9/07/22
- Otiniano, J., Pérez, J. M., Sánchez, H., Gastelo, M. (2014). *Poderosa variedad de papa para la sierra con valor agregado*. Congreso de la ALAP. Papa. Bogotá, Colombia.
- Pahalvi, H.N., Rafiyya, L., Rashid, S., Nisar, B., Kamili, A.N. (2021). Chemical Fertilizers and Their Impact on Soil Health. In: Dar, G.H., Bhat, R.A., Mehmood, M.A., Hakeem, K.R. (eds) *Microbiota and Biofertilizers*, Springer, 2. https://doi.org/10.1007/978-3-030-61010-4_1

- Raju, B & Krishi, K. (2013). Effect of mulching on crop production under rainfed conditions - a review. *Agri. Reviews*, 34 (3), 188-197. [DOI- 10.5958/j.0976-0741.34.3.003](https://doi.org/10.5958/j.0976-0741.34.3.003)
- Ramírez, D., Ordaz, J., Mora, J., Acosta, A., Serna, B. (2010). *Efectos del cambio climático sobre la agricultura* 2010. México, D.F. <https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/25921/lcmex1972.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramírez, D.A., Silva-Díaz, C., Ninanya, J., Carbajal, M., Rinza, J., Kakraliya, S.K., Gatto, M., Kreuze, J. (2022). Potato Zero-Tillage and Mulching Is Promising in Achieving Agronomic Gain in Asia. *Agronomy*, 12(7), 1494. <https://doi.org/10.3390/agronomy12071494>
- Regeneration International (2017). *What is Regenerative Agriculture?* <https://regenerationinternational.org/why-regenerative-agriculture/>
- Reijntjes, C., Haverkort & Waters-Bayer, A. (1992). Farming for the future. An introduction to low-external input and sustainable agriculture. *Macmillan*. <http://www.ciesin.org/docs/004-176a/004-176a.html>.
- Rezig, M., Sahli, A., Hachicha, M., Ben Jeddi, F., Harbaoui, Y. (2013). Papa (*Solanum tuberosum* L.) y frijol (*Faseolus vulgaris* L.) en Cultivos intercalados de lenguado: Efectos sobre la interceptación de la luz y Eficiencia en el uso de la radiación. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 5(9), 65-77. <http://dx.doi.org/10.5539/jas.v5n9p65>
- Rinza, J., Ramírez, D. A., Ninanya, J., de Mendiburu, F., García, J., Quiroz, R. (2022). Water Saving Using Thermal Imagery-Based Thresholds for Timing Irrigation in Potatoes under Drip and Furrow Irrigation Systems. *Agronomy*, 12(12), 2921. <https://doi.org/10.3390/agronomy12122921>
- Rinza, J., Ramirez, D.A., Ninanya, J. (2021). Guía de práctica de campo. Monitoreo de rasgos multifuncionales en los cultivos para la detección de estrés temprano: La conducción estomática y termografía infrarroja como herramienta de medidas clave. Lima, Perú. Centro internacional de la papa. <https://cipotato.org/publications/guia-de-practica-de-campo-monitoreo-de-rasgos-multifuncionales-en-los-cultivos-para-la-deteccion-de-estres-temprano-la-conductancia-estomatica-y-termografia-infrarroja-como-herramienta-de-medidas-claves/>
- Rinza, J., Briceño, P.; Ninanya, J., Ramirez, D.A., Villanueva, C., Huamanchay, W., Arias, E., Villanueva, A., Campos, J., Otiniano, R., Perez, J.M., 2024. Meteorological data at La Soledad locality, Chugay - La Libertad from 2022 to 2024, International Potato Center, V1. <https://doi.org/10.21223/BWELO8>
- Roncal, M. (2014). *Principios de fitopatología andina. Primera edición. Oficina General de Investigación* - UNC, Editor. P.1-422
- Rubio, C., Rangel, G., Flores, L., Magallanes, G., Díaz, H., Zavala, Q., Rivera, P., Cadena, H., Rocha, R., Ortíz, T., López, D., Díaz, V., Paredes, T. (2000). *Manual Para la Producción de Papa en las Sierras y Valles Altos del Centro de México*. División Agrícola.

- Salamanca, F., Gallegos, P., Reyes, A. (2013). La plaga que afecta los cultivos de papa en los Andes. <https://www.croplifela.org/es/plagas/listado-de-plagas/gorgojo-de-los-andes>.
- Salazar, E., Fortis, M., Vásquez, A., Vásquez, C. (2003). *Agricultura orgánica*. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. https://smcsmx.org/files/books/agricultura_org.pdf
- Sánchez, M., Meza, R. (2015). Evaluación del rendimiento del cultivo de papa bajo la aplicación del riego deficitario (PRD) utilizando cintas de riego. *Anales Científicos*, 76 (1), 21-28. <https://doi.org/10.21704/ac.v76i1.760>
- Sarang, S., Maji, B., Sharma, P., Digar, S., Mahanta, K., Burman, D., Mandal, U., Mandal, S., Mainuddin, M. (2021). Potato (*Solanum tuberosum* L.) Cultivation by Zero Tillage and Paddy Straw Mulching in the Saline Soils of the Ganges Delta. *Potato Research*, 64, 277–305. <https://doi.org/10.1007/s11540-020-09478-6>
- Scharlemann, J., Tanner, E., Hiederer, R., Kapos, V. (2014). Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. *Future Science*, 5(1), 81-91. <https://doi.org/10.4155/cmt.13.77>
- Schneider, H., & Samaniego, J. (2010). La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Organización de las Naciones Unidas. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3753/S2009834_es.pdf.
- Shadrack, N., Harun, G., Nancy, K., Charles, G., Elmar, S., Monica, P. (2021). Yield and evapotranspiration characteristics of potato-legume intercropping simulated using a dual coefficient approach in a tropical highland. *Field Crops Research*, 274, 108327. [DOI:10.1016/j.fcr.2021.108327](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108327)
- Singh, S., Sadawarti, M., Rawal, S., Dua, V., Sharma, S., Singh, Y. (2023). Evaluation of conventional and zero tillage for potato cultivation in rice – potato sequence. *Potato Journal*, 50(1). Retrieved from <https://epubs.icar.org.in/index.php/PotatoJ/article/view/130576>
- Six, J., Elliott, E. & Paustian, K. (2000). Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: A mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biology and Biochemistry*, 32(14), 2099–2103. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(00\)00179-6](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00179-6).
- Svubure, O., Struik, P., Haverkort, A., Steyn, J. (2018). Carbon footprinting of potato (*Solanum tuberosum* L.) production systems in Zimbabwe. *Outlook on Agriculture*, 47(1), 3–10. <https://doi.org/10.1177/0030727018757546>
- Umaña, J. & Pulgarín, A. (2013). Huella de carbono en los sistemas de producción agrícola dominantes en el municipio de Falan, Tolima. *Revista Ciencia Animal*, 1(6), 11-27. <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1062&context=ca>
- Uribe, N., Corzo, G., Quintero, M., Griensven, A., Solomatina, D. (2018). Impacto de la labranza de conservación en las pérdidas por escorrentía de nitrógeno y fósforo en un sistema de cultivo de

- papa en la cuenca del Fúquene, Colombia. *Gestión del agua agrícola* 209(2018), 62–72. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.07.006>
- Vandermeer, J. (1995). The ecological basis of alternative agriculture. *Annual Review of Ecological Systems*, 26, 201-224. DOI: [10.1146/ANNUREV.ES.26.110195.001221](https://doi.org/10.1146/ANNUREV.ES.26.110195.001221)
- Vásquez, (2022). *Respuesta temprana en la microbiología funcional y propiedades del suelo posterior a la implementación de un sistema de manejo de agricultura regenerativa*. [Tesis de magister, Pontificia universidad católica de Chile]. <https://doi.org/10.7764/tesisUC/AGR/63741>
- Vega, V. (2020). *Agricultura Regenerativa: La fertilidad del suelo y el manejo de cultivos*. <https://s30428.pcdn.co/wp-content/uploads/sites/2/2020/12/Manual-Fertilidad-del-Suelo.pdf>
- Viguera, B., Martínez, R., Donatti, C., Harvey, C., Alpízar, F. (2017). *Impactos del cambio climático en la agricultura de Centroamérica, estrategias de mitigación y adaptación*. https://www.conservation.org/docs/default-source/publication-pdfs/cascade_modulo-2-impactos-del-cambio-climatico-en-la-agricultura-de-centroamerica.pdf
- Vries, F., Thébault, E. & Liiri, M., Bardgett, R. (2013). Soil food web properties explain ecosystem services across European land use systems. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 110 (35) 14296–14301. <https://doi.org/10.1073/pnas.1305198110>
- WMO. (2016). *WMO Statement on the State of the Global Climate in 2016*. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3414.
- Yaroson, A., Henry, U., Adeniyi, T., Ibrahim, I., Adam, D. (2019). Effect of Different Tillage Practices on the Performance of Potato (*Solanum tuberosum*) on the Jos Plateau. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 9(2), 618-625. <http://dx.doi.org/10.29322/IJSRP.9.02.2019.p8679>
- Yuen, J., Forbes, G., (2009). Estimating the level of susceptibility to *Phytophthora infestans* in potato genotypes. *Phytopathology* 99(6), 783–786. <https://apsjournals.apsnet.org/doi/pdf/10.1094/PHYTO-99-6-0782>
- Zhang, L., van der Werf, W., Zhang, S., Li, B., Spiertz, J. (2007). Crecimiento, rendimiento y calidad del trigo y algodón en sistemas intercalados de franjas de relevo. *Res. de cultivos extensivos*, 103(3), 178-188. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2007.06.002>
- Zhao, L., Zou, M., Jiang, S., Dong, X., Deng, K., Na, T., Wang, J., Xia, Z., Wang, F. (2023). Insights into the Genetic Determination of the Autotetraploid Potato Plant Height. *Genes*, 14(2), 507. <https://doi.org/10.3390/genes14020507>

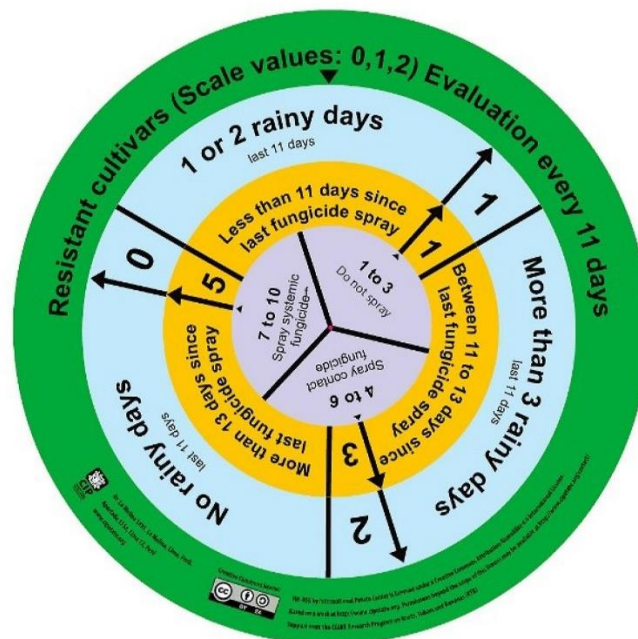
ANEXOS

Anexo 1. Manejo de disco para el uso de fungicidas que controlan r Mancha en papa INIA 325-Poderosa.

Considerando la resistencia a Mancha (*Phytophthora infestans*) de la papa INIA 325 "Poderosa" se debe utilizar el disco verde que consta de tres círculos giratorios, a continuación se describe la metodología de su uso: **paso 1**, rotamos el disco de mayor diámetro considerando el número de días de lluvia a partir de la última aplicación de fungicida; **paso 2**, rotamos el disco intermedio considerando el número de días transcurridos desde la última aplicación de fungicida; **paso 3**, sumar los números de los círculos anteriores y girar el disco más pequeño obteniendo la recomendación de aspersión, en el centro del círculo (Pérez et al., 2020).

Fig. 1

Disco verde para uso de fungicidas en variedades de papa resistentes a Mancha. Pérez et al 2020.



Anexo 2. Panel fotográfico del trabajo de investigación en agricultura de conservación y orgánica.



Foto 1: Siembra de papa en agricultura de conservación (A y C) y orgánica (B y D) ocurridas el 10 y 11 octubre 2022 respectivamente.



Foto 2: Aplicación de diferentes espesores de “mulch” en labranza cero y convencional en el ensayo de agricultura de conservación, 10 de octubre 2022.



Foto 3: Instalación de la estación Hobo con sensores de temperatura de suelo en el tratamiento testigo_T0 (labranza y manejo convencional) y tratamiento T9 (labranza cero con 30 cm de espesor de “mulch”), 10 de octubre 2022.



Foto 4: Emergencia de papa en labranza cero con “mulch”, 7 noviembre 2022.



Foto 5: Inicio de floración de papa cultivada en labranza cero, 12 de enero 2023.



Foto 6: Cultivo de papa en etapa fenológica de floración, 22 de enero 2023.



Foto 7: Formación de tubérculos en labranza cero, 22 de enero 2023.



Foto 8: Cosecha y selección de papas por tamaño por agricultoras en labranza cero, 26 de abril 2023.



Foto 9: Procesamiento de suelo para estimación de humedad gravimétrica realizadas en la oficina de Asociación Pataz, Chugay.



Foto 10: Aplicación de abono foliar en el ensayo de agricultura de conservación, en el caserío de Licame, Chugay-La Libertad.

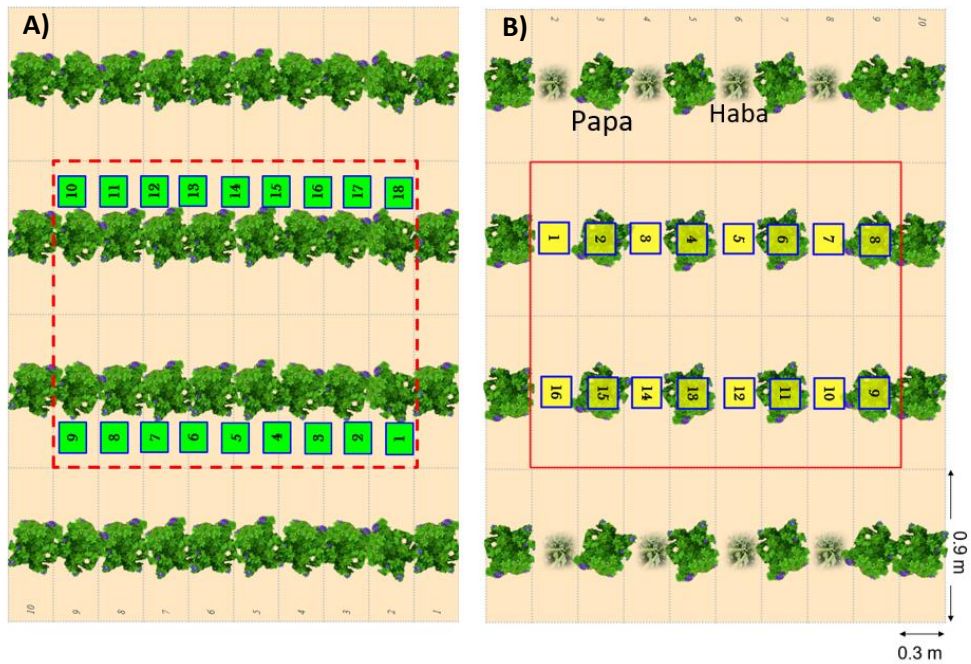


Foto 11: Final de la cosecha de papa con la *Asociación de Productores Agropecuarios Mi Licame Unido* en el ensayo de Agricultura de Conservación 2022-2023 en el caserío Licame-Chugay, 26 de abril 2023.



Foto 12: Final de la cosecha de papa con la *Asociación de Productores Agropecuarios y Semilleristas La Poderosa* en el ensayo de agricultura de orgánica ubicada en el caserío La Soledad-Chugay, 27 de abril 2023.

Anexo 3. Esquema de parcela sin “intercalación” (A, monocultivo de papa) y con “intercalación” (B, papa-haba) llevadas a cabo en el ensayo de agricultura orgánica en el caserío La Soledad, Chugay.



Anexo 4. Condiciones meteorológicas mensuales registradas por la estación meteorológica de CIP-La Soledad, Chugay; correspondiente del periodo de 11 de julio 2022 a 31 de diciembre 2023. Temperatura del aire promedio (T_a), máxima (T_{max}) y mínima (T_{min}), y de precipitación (P).

