

Lista de Anexos

Anexo 1. Entrevistas semiestructuradas a actores involucrados en el área de estudio.....	103
Anexo 2. Síntesis de problemática ambiental relacionada con los cultivos de papa.....	104
Anexo 3. Análisis y tratamiento estadístico.....	105
Anexo 4. Indicadores y porcentaje de inclusión en herramientas de evaluación de sustentabilidad.....	110
Anexo 5. Cuestionario análisis multicriterio de priorización de indicadores.....	113
Anexo 6. Resultados de aplicación de cuestionario de priorización de indicadores.....	117
Anexo 7. Indicadores priorizados evaluación sustentabilidad agrícola en ecosistemas vulnerables.....	119
Anexo 8. Ecuaciones del modelo dinámico.....	121

ANEXOS

Anexo 1. Entrevistas semiestructuradas a actores involucrados en el área de estudio.

1. Preguntas orientadoras aplicadas a productores de papa.

- ¿Ha oído hablar sobre el páramo de Guerrero, ¿sabe en donde se está localizado?
- ¿Cuál es su concepto de ese lugar? ¿Es positivo o negativo?
- ¿Hábleme de esta vereda, Hace cuanto vive en este lugar?
- ¿Cómo era el clima hace 10 años en esta vereda?
- ¿Cómo era la vegetación antes, había más o menos vegetación?
- ¿Ha observado animales silvestres en esta vereda? ¿Había más o menos hace 10 años?
- ¿Hace cuánto empezaron a realizarse cultivos de papa aquí en la vereda?
- ¿Considera que han aumentado o disminuido los cultivos de papa en los últimos 10 años?
- ¿Considera que los cultivos de papa deterioran el Páramo?
- ¿En su concepto como se puede cultivar la papa sin deteriorar el páramo?

2. Preguntas orientadoras aplicadas a actores institucionales.

- ¿Ha oído hablar sobre el páramo de Guerrero, ¿sabe en donde se está localizado?
- ¿Cuál es su concepto de ese lugar? ¿Es positivo o negativo?
- ¿Conoce hace cuanto empezaron a realizarse cultivos de papa en las veredas Rio Frío Occidental y El Salitre?
- ¿Considera que han aumentado o disminuido los cultivos de papa en los últimos 10 años?
- ¿Considera que es posible hacer sustentables los cultivos de papa en esta área del páramo?

Nota: Para las entrevistadas, se inició con preguntas sin involucrar juicios de valor, para permitir que las personas se expresaran libremente sobre sus realidades de manera imparcial, omitiendo preconceitos por parte del investigador.

Anexo 2. Síntesis de problemática ambiental relacionada con los cultivos de papa.

Factores	Aspecto	Fuente
Ecológicos	Consumo de agua	16% de productores cuentan con programas de ahorro y uso eficiente sus fincas que incluyen registro de volúmenes de agua (Cuestionario,2020)
	Tratamiento de aguas residuales	33% Cuentan con sistemas de saneamiento de aguas residuales domésticas SADA (2020)
	Realizan análisis de los suelos de su finca	16% de los productores hacen análisis de suelos (Cuestionario,2020)
	Conocen e implementan medidas de adaptación al cambio climático	16% de los productores conocen e implementan medidas de adaptación al cambio climático (SADA,2020)
	Residuos ordinarios y peligrosos	El 60% de los productores disponen residuos ordinarios y peligrosos - entregan RESPEL a gestores autorizados (SADA,2020)
	Manejo paisaje	100% Realizan acciones de protección de cuencas y se distancian de cuerpos de agua
	Concesión de aguas	0% cuentan con permisos de concesión de agua en sus fincas (Cuestionarios,2020)
Tecnológicos	Acceso a equipos y maquinaria liviana	100% tienen acceso a herramientas manuales, equipos, maquinaria liviana y suministro eléctrico y/o de combustibles fósiles (SADA,2020)
	Manejo de fertilizantes	0% llevan registros de las cantidades y tasas aplicadas de fertilizantes nitrogenados (Cuestionarios,2020)
	Manejo Integrado de Plagas	16% Implementan Manejo Integrado de Plagas y enfermedades – MIP (Cuestionarios,2020)
	Riego	16% Cuentan con sistema de riego en sus fincas (Cuestionarios,2020)
	Áreas con producción orgánica	0% de Producción orgánica total en la unidad productiva (Cuestionarios,2020)
Económicos	Ingresos	100% Cuentan con ingresos suficientes para mantener a sus familias (Cuestionarios,2020)
	Comercialización y mercado	0% Cuentan con compradores fijos o compra de cosechas a futuro
Sociales	Acceso a Servicios	El 100% cuenta con acceso a servicios de salud a través de EPS o Sisben (SADA,2020) 100% Viviendas con acceso a servicios domiciliarios agua y energía, telefonía e internet (%)(SADA,2020) (DANE,2020)
	Alfabetismo	El 93,3% de la población censada en el páramo sabe leer y escribir (DANE,2020)

	Participación social	100% pertenecen a alguna organización como Fedepapa o las JAC
	Acceso a la tierra	Tabio, el municipio también es mayoritariamente rural y de pequeños propietarios, y el porcentaje de predios rurales es del 70,49% (TerriData, s.f.)
Institucionales	Acceso crédito	1.9% Han tenido acceso formal a créditos a través de Bancos (SADA, 2020).
	Nivel de organización y gestión institucional	83% de los productores del área de estudio manifiestan tener conocimiento sobre algunas de las instancias y mecanismos de participación ciudadana (derecho de petición, quejas, denuncia, acción de tutela acción popular, acción de cumplimiento), lo que les permite elevar de manera formal solicitudes ante el Estado, para exigir solucionar a necesidades colectivas relacionadas con sus sistema productivo, como arreglo de vías, electrificación, acueducto, saneamiento básico, salud, asistencia técnica entre otros. (SADA, 2020).
	Acceden de manera colectiva al servicio de extensión rural a través de asistencia técnica	80% cuentan servicio colectivo de extensión rural (SADA, 2020)
	Cuentan con un seguro de protección de su producción para su cultivo	16% de los productores cuenta con un seguro de protección para su cultivo (Cuestionarios,2020)

Fuente: Elaboración propia con información de encuestas y secundaria.

Anexo 3. Análisis y tratamiento estadístico

Indicadores de Sustentabilidad: Fueron utilizados estadísticos descriptivos de los datos y se realizó la prueba de Shapiro-Wilk para examinar la distribución normal de los datos (p valor $> 0,05$) y posteriormente se adelantó la prueba de Friedman para datos no paramétricos utilizando el complemento Real Statistics para Excel. Posteriormente, se aplica una prueba estadística de correlación elaborado en el programa PAST (Hammer, Harper, & Ryan, 2001), con el propósito de identificar qué grado de influencia que existe entre localización, los enfoques de aplicación de herramientas de evaluación y los factores que determinan la sustentabilidad agrícola.

Estadísticos Utilizados:

Prueba de Shapiro-Wilk para examinar la distribución normal de los datos (p valor $> 0,05$)

Shapiro-Wilk Test					
	Ecológicos	Sociales	Económicos	Institucionales	Tecnológicos
W-stat	0,412	0,622	0,634	0,441	0,511
p-value	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
alpha	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
normal	no	no	no	no	no
d'Agostino-Pearson					
DA-stat	29,183	4760,256	964,104	23,654	12,745
p-value	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002
alpha	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
normal	no	no	no	no	no

Teniendo en cuenta que los análisis no son normales, se aplicó la prueba de Friedman para datos no paramétricos:

Friedman's Test

Alpha

Dimensiones utilizadas

0,05

Q-stat	18,61538462	Q*-stat	11,20793951
df	2	df1	2
p-value	9,07E-05	df2	98
		p-value	4,14E-05

Friedman's Test		Enfoques de aplicación	
Alpha	0,05		
Q-stat	6,768292683	Q*-stat	1,131004367
df	6	df1	6
p-value	0,342808	df2	294
		p-value	0,344164103

Friedman's Test		Indicadores identificados	
Alpha	0,05		
Q-stat	82,25742574	Q*-stat	34,23242516
df	4	df1	4
p-value	5,78902E-17	df2	196
		p-value	1,16563E-21

Resultados: El análisis estadístico de correlación multivariada se muestra en la tabla 1 entre la localización geográfica de la investigación contra factores de la agricultura sostenible y posteriormente frente a los enfoques de aplicación de herramientas de sustentabilidad agrícola.

Tabla 1. Coeficientes de correlación localización de la investigación vs Factores y enfoques en la Evaluación de sustentabilidad de sistemas Agrícolas.

	Resto del mundo	América Latina	Norteamérica	Europa	
Factores	Ecológicos	0,182	0,147	0,201	
	Sociales	0,307	0,125	0,223	
	Económicos		0,071		0,516
	Institucionales	0,224	0,176	0,266	
	Tecnológicos	0,021		0,066	
Enfoques	Sistemas Sostenibles	0,168			0,113
	Uso de Suelos y Tierras		0,088		0,421
	Servicios				0,086
	Ecosistémicos	0,070	0,070		
	Gestión del agua	0,261	0,170		
	Otros Enfoques				0,368
	Impacto Ambiental		0,126	0,191	
Cambio Climático	0,080		0,212		

Fuente: Elaboración Propia.

Fuente: Autor.

Al respecto al analizar los coeficientes de correlación obtenidos, se pueden definir las relaciones a partir de los coeficientes de correlación con el valor más alto y se encuentra que existe una recurrencia, entre la incidencia de los factores ecológicos, sociales e institucionales en relación con la localización geográfica de la investigación sobre herramientas de sustentabilidad agrícola a nivel internacional, los cuales fueron de valor positivo en tres de las cuatro regiones del análisis internacional geográfico realizado.

De manera específica, los factores ecológicos inciden de manera superior en Norteamérica (0,201) seguido en Resto del Mundo (0,182); en cuanto a los factores sociales presentan mayor incidencia en Resto del Mundo (0,307), en el caso de los institucionales en Norteamérica (0,266). En cuanto a los factores tecnológicos, estos presentaron coeficientes de correlación bajos, pero se evidencia incidencia en la investigación de sustentabilidad agrícola en Norteamérica (0,066). Finalmente, cabe destacar la alta incidencia entre los factores económicos en las herramientas utilizadas en el continente europeo con un coeficiente de correlación de (0,516), siendo el más alto encontrado en el análisis de correlación entre factores y localización de la investigación, seguido en menor medida en las investigaciones que se desarrollan en Latinoamérica lo cual se visualiza en la Figura 1.

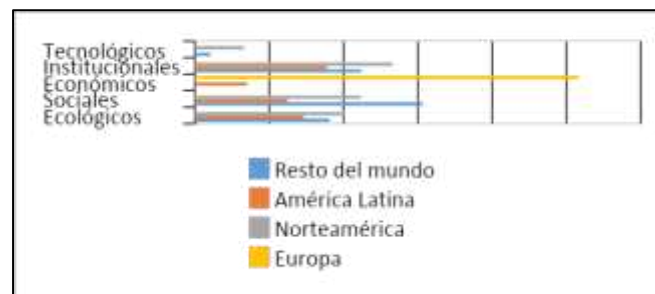


Figura 1. Localización geográfica de factores utilizados en las herramientas de evaluación de sustentabilidad agrícola en ecosistemas vulnerables.

De manera similar, en cuanto al análisis estadístico de correlación multivariada entre enfoques y la localización de la investigación, se encontró que el enfoque que predomina es el de servicios ecosistémicos presentando coeficientes de correlación positivos en tres (Resto del Mundo, América Latina y Europa) de las cuatro regiones del análisis internacional realizado. El resto de enfoques presentan coeficientes de correlación en dos regiones, como en el caso de gestión del agua, Resto del mundo (0,261) y como segunda región Latinoamérica (0,170). Se resalta que el mayor coeficiente de correlación del análisis se encontró al analizar el enfoque de uso de suelos y tierras (0,421) en las herramientas de evaluación de sustentabilidad agrícola en Europa, reportadas en la literatura científica, lo cual se visualiza en la Figura 2.

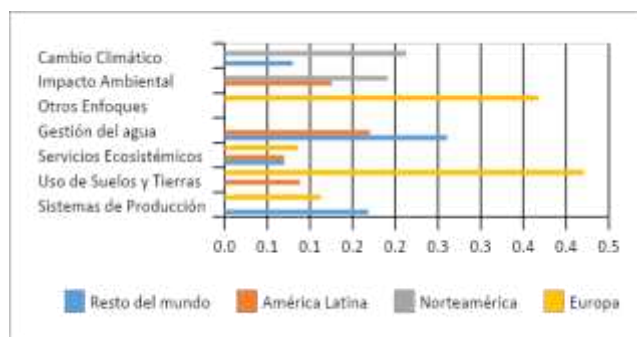


Figura 2. Localización geográfica de enfoques utilizados en las herramientas de evaluación de sustentabilidad agrícola en ecosistemas vulnerables

Asimismo, se realizó la correlación entre los factores que determinan la sustentabilidad agrícola y los diferentes enfoques encontrándose los coeficientes respectivos, para lo cual se visualizan los valores más altos encontrados Figura 3. Al respecto, en el caso de herramientas de sustentabilidad agrícola con enfoque de cambio climático, los factores tecnológicos, institucionales y ecológicos como los de mayor incidencia. Los coeficientes de más alto valor encontrados corresponden a las herramientas de sustentabilidad agrícola con énfasis en gestión del agua (ej. huella hídrica) y su

alta incidencia con los factores ecológicos (0,43), otros enfoques y los factores institucionales con valor similar. En las herramientas con enfoque impacto ambiental (0,42) los factores que se incluyen mayormente son los sociales.

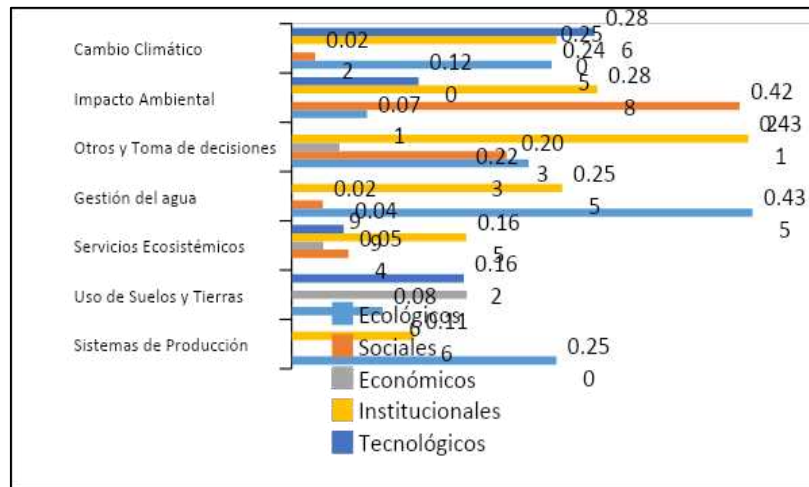


Figura 3. Coeficientes de correlación entre Factores y Enfoques de aplicación de herramientas de evaluación de sustentabilidad Agrícola.

Resultados: Los análisis estadísticos de correlación muestran que los factores ecológicos, sociales e institucionales predominan en la investigación internacional, y presentan coeficientes que indican incidencia en tres (América Latina, Norteamérica y Resto del mundo) de las cuatro regiones del mundo donde se hace uso de herramientas para evaluación de la sustentabilidad agrícola. Los análisis de correlación también permiten reconocer la menor influencia los factores institucionales (Resto del mundo y Norteamérica) y económicos (América Latina y Europa, en relación con los ecológicos, sociales e institucionales, razón por la cual son valores de coeficientes positivos en dos de las cuatro regiones del mundo del análisis internacional realizado.

Anexo 4. Indicadores y porcentaje de inclusión en herramientas de evaluación de sustentabilidad

<i>ECOLOGICOS</i>	%
Consumo de agua subterránea / superficial (huella hídrica en cultivos)	56
Grado de calidad y/o degradación del Suelo (erosión, salinización, desertificación, compactación).	52
Estado de la Biodiversidad (composición, estructura, coberturas variedad de especies arbóreas y arbustivas en granja)	41
Grado de manejo y estabilidad del paisaje (Restricciones de uso en franjas de protección y áreas sensibles).	26
Cambio climático (Emisiones totales a nivel granja)	26
Calidad del agua (lixiviación, vertimientos o escorrentía de compuestos nitrogenados)	19
Nivel de consumo de energía en la granja	15
Gestión Integral de residuos (ordinarios y peligrosos)	15
Nivel de educación ambiental de los productores.	11
Número de Iniciativas de gestión relacionadas con la vida silvestre	7
Índice de Calidad del aire en finca	7
Nivel de riesgo (Inundaciones y/o Incendios)	7
<i>TECNOLOGICOS</i>	
Uso eficiente de Fertilizantes químicos u orgánicos (cantidad, tasas de aplicación)	44
Grado de implementación de prácticas sostenibles de conservación de suelos (Labranza de conservación y rotación de cultivos)	33

Grado de implementación de manejo integrado de plagas y enfermedades (Minimización en el uso de plaguicidas)	26
Área agrícola con Riego / Área total de la finca	26
Nivel de Intensidad de Siembra (área efectiva de siembra / área total de la finca)	15
Áreas en agricultura orgánica / Área total de la finca	7
Porcentaje de uso de energía renovables en finca / uso total de energía	4
Capacidad de Almacenamiento de agua (Reservorios o estanques disponibles en finca) / Consumo total de agua en finca	4
<i>SOCIALES</i>	
Número de empleos generados en finca	30
Estabilidad laboral, Calidad del empleo (esperanza futura de empleo, familias y jóvenes beneficiados, Equidad Intergeneracional)	30
Nivel de acceso a servicios: salud, saneamiento, vivienda rural, electricidad, radio, TV, internet en las zonas rurales.	30
Nivel de Educación de los miembros de la Unidad productiva (capacidades, conocimiento técnico, formación en temas agrícolas).	26
Nivel de acceso a la tierra (régimen de tenencia)	19
Nivel de Participación social en programas proyectos y decisiones políticas	19
Nivel de Producción y suficiencia alimentaria y nutricional	19
Número de habitantes por predio (densidad poblacional en el área rural)	11
Número de empleos de un día creados (jornales)	11
Nivel de salud ocupacional en el trabajo (reducción de riesgos)	11
Grado de dependencia de la familia campesina de la producción agrícola (riesgos ante desempleo)	11

Grado de Bienestar humano (pobreza multidimensional, vs calidad de vida)	11
Nivel de trabajo infantil (estructura de edad en la agricultura)	7
Nivel de dependencia de mano de obra de trabajadores migrantes	7
ECONOMICOS	
Ingresos totales provenientes de la actividad agrícola	56
Rendimiento Agrícola (productividad laboral y de la tierra)	22
Nivel de orientación de la producción hacia mercados (acceso a sistemas de comercialización)	15
Nivel de reinversión en agricultura (% de reinversión en próxima cosecha)	15
Grado de diversidad para la generación de ingresos (fuera de actividad agrícola)	15
Subvenciones o subsidios para reconversión de agricultura convencional a sostenible (para sustitución de insumos, fertilizantes, plaguicidas o para proyectos de agricultura de conservación)	15
Nivel de Estabilidad de ingresos y rendimientos (resistencia a estrés financiero)	11
Total Costos de producción, cosecha, transporte y comercialización	7
INSTITUCIONALES	
Grado de acceso a Seguros de Cosecha	19
Grado de acceso al crédito	15
Nivel de acceso a servicios de extensión rural	15
Nivel de organización y asociatividad de productores local y regional	11
Grado de conectividad (accesibilidad y disponibilidad de transporte carreteras y senderos establecidos)	7

Fuente: Elaboración propia.

Nivel de Estabilidad de ingresos y rendimientos (resistencia a estrés financiero)									
Total Costos de producción, cosecha, transporte y comercialización									
INSTITUCIONALES	ALTA	MEDIA	BAJA	ALTA	MEDIA	BAJA	ALTA	MEDIA	BAJA
Grado de acceso a Seguros de Cosecha									
Grado de acceso al crédito									
Nivel de acceso a servicios de extensión rural									
Nivel de organización y asociatividad de productores local y regional									
Grado de conectividad (accesibilidad y disponibilidad de transporte carreteras y senderos establecidos)									

Fuente: Elaboración propia.

Número de empleos generados en finca	5,00	3,67	3,67	5,00	3,67	4,33	4,22	1
Estabilidad laboral, Calidad del empleo (esperanza futura de empleo, familias y jóvenes beneficiados, Equidad Intergeneracional)	5,00	2,33	3,67	3,00	4,33	4,33	3,78	1
Nivel de acceso a servicios: salud, saneamiento, vivienda rural, electricidad, radio, TV, internet	5,00	3,00	2,33	2,33	2,33	4,33	3,22	
Nivel de Educación de los miembros de la Unidad productiva (capacidades, conocimiento técnico, formación en temas agrícolas).	5,00	3,00	2,33	3,00	2,33	2,33	3,00	
Nivel de acceso a la tierra (régimen de tenencia)	5,00	3,00	2,33	3,67	1,00	1,00	2,67	
Nivel de Participación social en programas proyectos y decisiones políticas	5,00	1,67	2,33	3,00	1,67	1,00	2,44	
Nivel de Producción y suficiencia alimentaria y nutricional	5,00	2,33	3,67	3,67	3,67	4,33	3,78	1
Número de habitantes por predio (densidad poblacional en el área rural)	5,00	3,00	3,00	5,00	2,33	1,67	3,33	
Número de empleos de un día creados (jornales)	5,00	3,00	3,00	3,67	3,67	1,67	3,33	
Nivel de salud ocupacional en el trabajo (reducción de riesgos)	5,00	1,67	3,00	3,00	1,67	1,67	2,67	
Grado de dependencia de la familia campesina de la producción agrícola (riesgos ante desempleo)	5,00	3,00	3,00	4,33	3,00	2,33	3,44	1
Grado de Bienestar humano (pobreza multidimensional, vs calidad de vida)	5,00	2,33	3,00	3,67	4,33	5,00	3,89	1
Nivel de trabajo infantil (estructura de edad en la agricultura)	4,33	2,33	3,00	3,67	2,33	1,67	2,89	
Nivel de dependencia de mano de obra de trabajadores migrantes	5,00	3,67	3,67	1,67	1,00	1,00	2,67	
ECONOMICOS								
Ingresos totales provenientes de la actividad agrícola	5,00	3,67	3,00	3,00	3,00	4,33	3,67	1
Rendimiento Agrícola (productividad laboral y de la tierra)	5,00	4,33	4,33	3,67	5,00	5,00	4,56	1
Nivel de orientación de la producción hacia mercados (acceso a sistemas de comercialización)	5,00	3,00	3,00	3,00	1,67	4,33	3,33	
Nivel de reinversión en agricultura (% de reinversión en próxima cosecha)	5,00	1,67	3,67	1,67	3,67	3,67	3,22	
Grado de diversidad para la generación de ingresos (fuera de actividad agrícola)	5,00	1,67	3,00	1,67	3,00	2,33	2,78	
Subvenciones o subsidios para reconversión de agricultura convencional a sostenible	3,00	2,33	2,33	2,33	3,00	3,00	2,67	
Total Costos de producción, cosecha, transporte y comercialización	5,00	3,00	2,33	4,33	3,67	3,67	3,67	1
INSTITUCIONALES								
Grado de acceso a Seguros de Cosecha	4,33	1,67	2,33	3,00	3,00	4,33	3,11	
Grado de acceso al crédito	4,33	3,00	2,33	4,33	3,67	5,00	3,78	1
Nivel de acceso a servicios de extensión rural	4,33	3,67	2,33	4,33	3,00	3,67	3,56	1
Nivel de organización y asociatividad de productores local y regional	4,33	3,00	2,33	4,33	2,33	1,67	3,00	
Grado de conectividad (accesibilidad y disponibilidad de transporte carreteras y senderos establecidos)	3,67	3,00	2,33	5,00	2,33	4,33	3,44	1

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 7. Indicadores priorizados evaluación sustentabilidad agrícola en ecosistemas vulnerables.

Factor	Indicador	Descripción
Ecológico	Consumo de agua	Se refiere al volumen de agua utilizado en la finca, registrado en un programa de ahorro y uso eficiente.
Ecológico	Calidad del agua (tratamiento de aguas residuales)	Se refiere a la calidad del agua para uso agrícola, y es uno de los requisitos básicos para la sustentabilidad (Valizadeh et al., 2020; D'Ambrosio et al., 2018) y el tratamiento de vertimientos.
Ecológico	Análisis del Suelo	El suelo es uno de los mayores determinantes ecológicos para la sustentabilidad agrícola (Bijani et al., 2017) y el análisis de suelos fundamental para determinar su vocación.
Ecológico	Cambio climático	En relación con adaptación al impacto global de cambio climático, que puede mejorarse a través el entrenamiento y asistencia de los agricultores (vanLoon et al., 2005).
Ecológico	Manejo de residuos	Gestión Integral de residuos ordinarios y disposición adecuada de residuos peligrosos.
Tecnológico	Prácticas de conservación de suelos	Aplicación de labranza de conservación y prácticas como la rotación de cultivos, siembra con curvas de nivel y manejo adecuado de maquinaria.
Económico	Costos de producción	Gastos por preparación , adecuación, siembra, cosecha, transporte y comercialización
Económico	Dependencia familiar de la agricultura	Se refiere a la diversidad de ingresos fuera de la producción agrícola y la capacidad de resiliencia ante el riesgo de desempleo)
Económico	Ingresos totales	Rentas totales obtenidas de la actividad agrícola por ciclo productivo. La sostenibilidad económica es uno de los pilares de la sustentabilidad agrícola (Talukder et al., 2018).
Económico	Percepción de Ingreso	Percepción de productores sobre suficiencia de ingresos para sostener a la familia.
Económico	Número de empleos	Cantidad de empleos familiares o externos generados por unidad productiva.
Económico	Costos de producción	Costos de producción por hectárea (\$)
Económico	Rendimiento Agrícola	Se refiere a la productividad laboral y de la tierra. Producción promedio (Ton/hectárea)
Institucional	Acceso al crédito	Capacidad de endeudamiento y acceso a recursos financieros por parte del agricultor.
Institucional	Conectividad	En referencia a la accesibilidad y disponibilidad de transporte carreteras y senderos establecidos.
Institucional	Capacidad organización y gestión institucional	Productores con conocimiento de mecanismos participación para gestionar soluciones a necesidades colectivas relacionadas con su sistema productivo, como arreglo de vías, electrificación, acueducto, entre otros (%)
Institucional	Extensión rural	Disponibilidad y acceso a servicios de asistencia, entrenamiento y capacitación.
Social	Nivel de participación	Pertenecía a colectivos y organizaciones como juntas o asociaciones.
Social	Acceso a servicios	Productores con acceso a salud y protección social., agua, energía telefonía e internet (%)
Social	Educación	Se refiere al nivel de educación de los agricultores y de sus hijos (vanLoon et al., 2005).
Social	Estabilidad laboral	Se refiere al empleo formal con contratos de acuerdo con la legislación nacional vigente y la seguridad social (FAO, 2013).
Social	Acceso a la tierra	Nivel de acceso a tierra - régimen de tenencia.
Tecnológico	Acceso a Riego	Regadío total en la unidad productiva (Área agrícola con Riego / Área total de la finca)
Tecnológico	Almacenamiento de agua	Capacidad de abastecimiento de agua en tiempos de escasez.

Tecnológico	Áreas en agricultura orgánica	Producción orgánica total en la unidad productiva y comprende subindicadores de estado de la biodiversidad, la conectividad y es considerado esencial la integridad de los agro ecosistemas (vanLoon et al., 2005).
Tecnológico	Prácticas de Conservación de Suelos	Nivel de implementación prácticas como: labranza de conservación, rotación de cultivos, siembra y surcos en contorno a partir de curvas de nivel, obras biomecánicas de control de erosión, barreras y cercas vivas, ente otros FAO, M. (2018)
Tecnológico	Manejo integrado de plagas	En referencia a control de plagas y enfermedades y la minimización en el uso de plaguicidas, para prevenir los problemas de contaminación que pueden generar pesticidas o herbicidas.
Tecnológico	Uso eficiente de Fertilizantes	Se refiere a la cantidad y tasas de aplicación de fertilizantes químicos u orgánicos

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 8. Ecuaciones del modelo dinámico.

(01) acceso a riego=

0.16

Units: { % }

16% tiene acceso a riego (SADA 2020)

(02) acceso a seguros de cultivo=

0.16

Units: { % }

16% de los productores cuenta con un seguro de protección para su cultivo (Cuestionarios,2020)

(03) acceso a servicios =

1

Units: { % }

El 100% cuenta con acceso a servicios de salud a través de EPS o Sisben (SADA,2020) 100% Viviendas con acceso a servicios domiciliarios agua y energía (telefonía e internet (%)(SADA,2020) (DANE,2020)

(04) acceso al crédito=

0.019

Units: { % }

El 1.9% de los productores tiene acceso a crédito (SADA,2020)

(05) acceso tierra=

0.7049

Units: { % }

En lo que se refiere a Tabio, el municipio también es

mayoritariamente rural y de pequeños propietarios, y el porcentaje de predios rurales es del 70,49% (TerriData, s.f.)

(06) análisis de suelos=

0.16

Units: { % }

16% de los productores hacen análisis de suelos (SADA,2020)

(07) áreas en agricultura orgánica=

0

Units: { % }

Producción orgánica total en la unidad productiva, esencial

para la integridad de los agroecosistemas (vanLoon et al., 2005)

(Cuestionarios,2020)

(08) Biodiversidad=

Suelo/124.6

Units: { % }

Pérdida de Biodiversidad como suelos transformados 124.6 Ha

Área de Protección susceptible al cambio por expansión de cultivo de papa,

(09) cambio climático=

0.16

Units: **undefined**

16% de los productores conocen e implementan medidas de

adaptación al cambio climático (SADA,2020)

(10) capacidad organización y gestión institucional=

0.83

Units: **undefined**

83% de los productores del área de estudio manifiestan tener

conocimiento sobre algunas de las instancias y mecanismos de participación ciudadana (derecho de petición, quejas, denuncia, acción de tutela acción popular, acción de cumplimiento), lo que les permite elevar de manera formal solicitudes ante el Estado, para exigir solucionar a necesidades colectivas relacionadas con su sistema productivo, como arreglo de vías, electrificación, acueducto, saneamiento básico, salud, asistencia técnica entre otros. (SADA, 2020).

(11) consumo de agua=

0.16

Units: **undefined**

16% de productores cuentan con programas de ahorro y uso

eficiente sus fincas que incluyen registro de volúmenes de agua (Cuestionario,2020)

(12) costos de producción=

$1.8507e+007$ *requerimiento de suelo para cultivos*2

Units: Pesos/año

Costos de producción de papa por una hectárea \$18507000

Fedepapa (2020)

- (13) demanda de papa=
 $(0.061 * \text{Población Tabio})$
 Units: ton/año
 Consumo de papa percapita en Colombia 0.061 Ton papa/hab-año
 Fedepapa (2020)
- (14) educación=
 0.25
 Units: { % }
 25% asiste a algún preescolar, escuela, colegio o universidad,
 de forma presencial o virtual DANE (2020)
- (15) estabilidad laboral=
 1
 Units: { % }
 El 100% manifestaron que la mano de obra empleada de tiempo
 completo (sea familiar o externa) es remunerada y está
 vinculada formalmente mediante un contrato (SADA, 2020)
- (16) extensión rural=
 0.8
 Units: { % }
 El 80% cuentan servicio colectivo de extensión rural (SADA, 2020)
- (17) Factores ecológicos=
 $((\text{análisis de suelos} + \text{manejo de residuos} + \text{cambio climático} + \text{consumo de agua}$
 $+ \text{Biodiversidad})) / 5$
 Units: **undefined**

- (18) Factores económicos=

$$\frac{((1 - (\text{costos de producción} / \text{Ingresos de cultivo})) + (\text{subsídios a producción}) + (\text{percepción de ingreso}))}{3}$$
Units: porcentaje
Indice Económico
- (19) Factores institucionales=
(acceso al crédito+acceso a seguros de cultivo+capacidad organización y gestión institucional
+extensión rural)/4
Units: Porcentaje de Hab
Indice institucional
- (20) Factores sociales=
(estabilidad laboral+acceso a servicios+educación+participación+acceso tierra
)/5
Units: **undefined**
Indice Social
- (21) Factores tecnológicos=
(áreas en agricultura orgánica+prácticas conservación de suelos+uso fertilizantes
+MIP+áreas en agricultura orgánica+acceso a riego)/5
Units: **undefined**
Indice tecnológico
- (22) FINAL TIME = 2090
Units: Year
The final time for the simulation.

(23) Ingresos de cultivo=

requerimiento de suelo para cultivos*22.72*910000*2

Units: Pesos/año

Rendimiento 22.77 ton/ha (Fedepapa 2020) Precio nacional

promedio de una tonelada papa entre 2014 a 2020

\$910.000(Fedepapa 2020) 100% Cuentan con ingresos suficientes

para mantener a sus familias 2 ciclos de cultivo (entrevistas)

(24) INITIAL TIME = 2021

Units: Year

The initial time for the simulation.

(25) manejo de residuos=

0.6

Units: { % }

El 60% de los productores disponen residuos ordinarios y

peligrosos - entregan RESPEL a gestores autorizados (SADA,2020)

(26) mercado= INTEG (

IF THEN ELSE(oferta de papa-demanda de papa>0 , 0 , requerimiento de suelo para cultivos

),

2891.79)

Units: ton/año

Suelo sembrado en papa en el área de estudio 63.5 Ha SADA(2020)

Rendimiento 22,77 ton/Ha Fedepapa (2020) 2 ciclos de produccion

anuales Entrevistas (2021)

(27) MIP=

0.16

Units: { % }

16% aplica Manejo integrado de Plagas MIP y lleva registros de
aplicación de fertilizantes y plaguicidas SADA (2020)

(28) muertes=

Población Tabio*tasa de muertes

Units: hab

(29) nacimientos=

Población Tabio*tasa nacimientos

Units: hab

(30) oferta de papa=

$63.5 * 22.77 * 2$

Units: ton/año

Suelo sembrado en papa en el área de estudio 63.5 Ha SADA(2020)

Rendimiento 22,77 ton/Ha Fedepapa (2020) 2 ciclos de producción
anuales Entrevistas (2021) 2891,8 Ton papa producidas anualmente
en área de estudio.

(31) participación=

1

Units: { % }

100% pertenecen a alguna organización como Fedepapa o las JAC

(32) percepción de ingreso=

1

Units: **undefined**

100% Cuentan con ingresos suficientes para mantener a sus familias.

- (33) Población Tabio= INTEG (nacimientos-muertes, 24206)

Units: hab

Población Tabio Terridata (2020)

- (34) practicas conservación de suelos = 0

Units: **undefined**

0% Aplican labranza de conservación y prácticas como la rotación de cultivos, siembra con curvas de nivel y manejo adecuado de maquinaria SADA (2020)

- (35) requerimiento de suelo para cultivos= mercado/22.77

Units: ha/año

Rendimiento 22,77 ton/Ha Fedepapa (2020)

- (36) SAVEPER = TIME STEP

Units: Year [0,?]

The frequency with which output is stored.

(37) subsidios a produccion=

0

Units: **undefined**

0% Cuentan con algún subsidio o descuento del gobierno para la
producción o comercialización de la papa Cuestionarios (2021)

(38) Suelo = INTEG (

suelo de protección-requerimiento de suelo para cultivos,
124.6)

Units: ha

Suelo: Hace referencia al suelo susceptible a la transformación
por la expansión ilegal de cultivos de papa al interior del
páramo. 124.6. Ha. es el área inicial de suelos, bajo presión
de ampliación de la frontera agrícola (SADA 2020)

(39) suelo de protección=

124.6

Units: ha

Suelo de áreas de protección 124.6 Ha (SADA,2020)

(40) sustentabilidad territorial=

Factores institucionales+Factores tecnologicos+Factores sociales+Factores
ecológicos

+Factores económicos

Units: adimensional

(41) tasa de muertes=

0.00258

Units: **undefined**

Tasa de mortalidad de 2.58/1000 hab (Terridata, 2021)

(42) tasa nacimientos=

0.0246

Units: hab/yr [-1,1]

Tasa de crecimiento Tabio DANE (2014)

(43) TIME STEP = 1

Units: Year [0,?]

The time step for the simulation.

(44) uso fertilizantes=

0

Units: **undefined**

0% de los Productores cuentan con registro de aplicación de

fertilizantes, según las necesidades del suelo (%) Cuestionario

(2021)