



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL  
ESCUELA DE POSTGRADO EN ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS  
MAESTRÍA EN AGRONEGOCIOS SOSTENIBLES**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO  
A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

**MAGÍSTER EN AGRONEGOCIOS SOSTENIBLES**

**TEMA:**

**BENEFICIOS DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS QUE BRINDA LA  
PRODUCCIÓN DE CACAO NACIONAL BAJO SISTEMAS AGROFORESTALES  
SUCESIONALES (SAF'S)**

**AUTORES:**

**STEEVEN ALEXANDER LEÓN ABARCA**

**DIRECTOR:**

**PhD. JORGE ANDRÉS RODRÍGUEZ**

**Guayaquil-Ecuador**

**Octubre 2024**

**Dedicatoria**

A mi hijo Einar, espero que en algún futuro puedas leer estas palabras y sepas que tu madre y yo siempre estaremos para darte todo nuestro amor. Ojalá algún día podamos trabajar juntos como colegas de ciencia; se libre de seguir a tu corazón.

A mi querida esposa, por su amor incondicional.

A mi madre y hermana, por su sabiduría y amor.

A la comunidad de científicos.

Steven Alexander León Abarca

**Reconocimiento**

Manifiesto mi más sincero y profundo agradecimiento a ESPAE y a todo el elenco de docentes comprometidos con formar agentes de cambio.

La institución me brindó la oportunidad de salir de mi zona de confort y enfrentar nuevos retos y desafíos.

A UNOCACE, Halba, GIZ, ECOTOP y FiBL, por darme la oportunidad de continuar con mi formación profesional.

A mi director de tesis por su guía y apoyo en esta etapa profesional de mi vida.

Steeven Alexander León Abarca

## Resumen

La Unión de Organizaciones Campesinas Cacaoteras (UNOCACE) es una organización de segundo nivel conformada por asociaciones de pequeños productores de cacao nacional fino de aroma, la cual impulsa un modelo de producción cacaotera bajo Sistemas Agroforestales Dinámicos (SAF's). Los SAF's resaltan los beneficios proporcionados por los servicios ecosistémicos que brinda la estructura de un bosque natural.

El trabajo actual plantea estudiar la comparación de los SAF's y monocultivos en términos de ahorro de agua y captura de carbono, analizando los efectos de los SAF's en el ahorro de agua y la captura de carbono, con la finalidad de demostrar sus ventajas sobre los monocultivos, para fomentar prácticas agrícolas más sostenibles y resilientes que optimizan los beneficios de los servicios ecosistémicos, mientras contribuyen a la mitigación del cambio climático.

El estudio proporciona información clave sobre la comparación de los SAF's y monocultivos, principalmente en un ahorro sustancial en costos asociados a la gestión del riego (\$5.051,08), debido a una menor frecuencia de irrigación producto del conjunto de prácticas culturales que promueven una distribución y conservación del agua. Además, se observa un potencial ingreso proveniente por la captación de emisiones de gases de efecto invernadero de 359 t CO<sup>2</sup> por hectárea, acumulado en un horizonte de 30 años, representando un Valor Neto Actual (VNA) de \$9.632,33 bajo un escenario hipotético, ya que bajo la ley ecuatoriana no se permite la comercialización de bonos de carbono.

La metodología propuesta en esta investigación fue adecuada, porque combinó análisis cuantitativos y cualitativos para evaluación integral de los SAF's y monocultivos. Se realizaron mediciones directas a la dinámica del agua en el suelo y su relación con el ahorro de costos de riego. Además, su enfoque de captura de carbono permitió modelar escenarios de captura de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a lo largo de un horizonte de 30 años. Esta investigación es relevante porque existe escasa información sobre los SAF's y permite comprender las ventajas que ofrecen para la adaptación de cultivos al cambio climático y la disponibilidad de agua para riego.

Por consiguiente, los SAF's presentaron una mejor resiliencia ante el cambio climático, incidiendo en un mejor uso del recurso hídrico y fijación de carbono atmosférico en su biomasa aérea y subterránea. En conclusión, los servicios ecosistémicos varían acorde con la gestión del sistema, por lo que se recomienda realizar más estudios para comprender mejor las interacciones que ocurren en la naturaleza en torno a la gestión eficiente de los recursos naturales.

**Palabras clave:** carbono, tensiómetro, agroforestería sucesional, resiliencia.

## **Abstract**

The Unión de Organizaciones Campesinas Cacaoteras UNOCACE is a second level organization formed by associations of small producers of national fine aroma cocoa, which promotes a cocoa production model under dynamic Agroforestry Systems (SAF's). SAF's highlight the benefits provided by the ecosystem services provided by a natural forest's structure.

The current work proposes to study the comparison of SAF's and monocultures in terms of water savings and carbon sequestration, analyzing the effects of SAF's on water savings and carbon sequestration, in order to demonstrate their advantages over monocultures, to promote more sustainable and resilient agricultural practices that optimize the benefits of ecosystem services, while contributing to climate change mitigation.

The purpose of this study provided key information on the comparison of SAF's and monocultures, mainly in a substantial savings in costs associated with irrigation management (\$5,051.08), due to a lower frequency of irrigation resulting from a set of cultural practices that promote water distribution and conservation, although field research did not show statistically strong results on water availability between the systems. In addition, there is a potential income from the capture of greenhouse gas emissions of 359 t CO<sub>2</sub> per hectare, accumulated over a 30-year horizon, representing a Net Present Value (NPV) of \$9,632.33 under a hypothetical scenario, since under Ecuadorian law the commercialization of carbon credits is not allowed.

The methodology proposed in this research was adequate, because it combined quantitative and qualitative analyses for the integral evaluation of the SAF's and monocultures. Direct measurements were made of water dynamics in the soil and its relationship with irrigation cost savings. In addition, its carbon sequestration approach allowed modeling Greenhouse Gas (GEI) sequestration scenarios over a 30-year horizon. Therefore, this methodology allowed us to focus on empirical data and hypothetical scenarios, which facilitated the identification of significant advantages of SAF's, despite the limitations in the statistical results. It should be noted that there is a lot of information on agroforestry systems, but very limited information on SAF's.

Consequently, the SAF's showed better resilience to climate change, resulting in better use of water resources and fixation of atmospheric carbon in their aerial and subterranean biomass. In conclusion, ecosystem services vary according to the management of the system, so it is recommended to continue promoting studies to better understand the interactions that occur in nature around the efficient management of natural resources.

**Keywords:** carbon, tensiometer, successional agroforestry, resilience.



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**  
**ESCUELA DE POSTGRADO EN ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS**

**ACTA DE GRADUACIÓN No. ESPAE-POST-1378**

APELLIDOS Y NOMBRES	LEON ABARCA STEEVEN ALEXANDER
IDENTIFICACIÓN	0919573154
PROGRAMA DE POSTGRADO	Maestría en Agronegocios Sostenibles
NIVEL DE FORMACIÓN	Maestría Profesional
CÓDIGO CES	1021-750413F01-S-0901
TÍTULO A OTORGAR	Magister en Agronegocios Sostenibles
TÍTULO DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN	BENEFICIOS DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS QUE BRINDA LA PRODUCCIÓN DE CACAO NACIONAL BAJO SISTEMAS AGROFORESTALES SUCESIONALES (SAF'S).
FECHA DEL ACTA DE GRADO	2024-11-12
MODALIDAD ESTUDIOS	SEMIPRESENCIAL
LUGAR DONDE REALIZÓ SUS ESTUDIOS	GUAYAQUIL
PROMEDIO DE LA CALIFICACIÓN DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN	( 8,75 ) OCHO CON SETENTA Y CINCO CENTÉSIMAS

En la ciudad de Guayaquil a los doce días del mes de Noviembre del año dos mil veinticuatro a las 11:54 horas, con sujeción a lo contemplado en el Reglamento de Graduación de la ESPOL, se reúne el Tribunal de Sustentación conformado por: RODRIGUEZ RODRIGUEZ JORGE ANDRES, Director del trabajo de Titulación y LASIO MORELLO MARIA VIRGINIA, Vocal; para calificar la presentación del trabajo final de graduación "BENEFICIOS DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS QUE BRINDA LA PRODUCCIÓN DE CACAO NACIONAL BAJO SISTEMAS AGROFORESTALES SUCESIONALES (SAF'S).", presentado por el estudiante LEON ABARCA STEEVEN ALEXANDER.

La calificación obtenida en función del contenido y la sustentación del trabajo final es de: 8,75/10,00, OCHO CON SETENTA Y CINCO CENTÉSIMAS sobre diez.

Para dejar constancia de lo actuado, suscriben la presente acta los señores miembros del Tribunal de Sustentación y el estudiante.

JORGE ANDRES  
RODRIGUEZ  
RODRIGUEZ

Digitally signed by JORGE  
ANDRES RODRIGUEZ RODRIGUEZ  
Date: 2024.11.12 13:28:34 -05'00'



MARIA VIRGINIA  
LASIO MORELLO

RODRIGUEZ RODRIGUEZ JORGE ANDRES  
DIRECTOR

LASIO MORELLO MARIA VIRGINIA  
EVALUADOR / PRIMER VOCAL

STEEVEN ALEXANDER Firmado digitalmente por STEEVEN  
LEON ABARCA ALEXANDER LEON ABARCA  
Fecha: 2024.11.12 16:21:59 -05'00'

LEON ABARCA STEEVEN ALEXANDER  
ESTUDIANTE

**TABLA DE CONTENIDOS**

Capítulo 1 – Introducción .....	1
Capítulo 2 – El sistema de producción de agroforestería sucesional .....	5
UNOCACE y los sistemas SAF's .....	6
Capítulo 3- Metodología de investigación .....	8
Localización del Proyecto.....	8
Caracterización de sistemas productivos .....	8
Análisis químico del suelo.....	8
Análisis de perfilografía .....	9
Diseño experimental .....	9
Tratamientos .....	9
Monitoreo del recurso hídrico en el sistema con tensiómetros .....	9
Cobertura del dosel.....	10
Estimación de agua de riego .....	11
Inventario de especies.....	11
Capítulo 4 – Discusión de resultados .....	13
Resultados de la comparación de suelos entre los sistemas monocultivo y SAF's .....	13
Resultados de la comparación de los sistemas monocultivos y SAF's y su gestión agrícola.....	13
Resultados del análisis de tensiometría del suelo en los sistemas monocultivo y SAF's en el lapso de un año.....	15
Resultados del análisis de tensiometría del suelo en los sistemas monocultivo y SAF's en los lapsos mensuales. ....	20
Capítulo 5 - Beneficios en términos de agua y carbono. ....	30
Capítulo 6 - Implicaciones y recomendaciones para agronegocios sostenibles .....	35
Bibliografía	36
Anexos	43

**ABREVIATURAS**

SAF's	Sistemas Agroforestales Sucesionales
ACP	Análisis de componentes principales
ANCOVA	Análisis de covarianza
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
FINCA	Forestería Integral con Cacao
GS4GG	Gold Standard for the Global Goals
GEI	Gases de Efecto Invernadero
UNOCACE	Unión de Organizaciones Campesinas Cacaoteras
CH <sub>4</sub>	Metano
N <sub>2</sub> O	Óxido nitroso
VNA	Valor Neto Actual
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FiBL	Research Institute of Organic Agriculture
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CFN	Corporación Financiera Nacional



**SIMBOLOGIAS**

pH	Potencial de hidrógeno
cm	Centímetros
cbar	Centibar
mbar	Milibar
hPa	Hectopascal
kPa	Kilopascal
Km	Kilometro
mm	Milímetros
mm/hg	Milímetros de mercurio
hr	Horas
W/m <sup>2</sup>	Vatios por metro cuadrado
C°	Grados Celsius
m <sup>3</sup>	Metros cúbicos
m <sup>2</sup>	Metros cuadrados
%	Porcentaje
#	Cantidad
<	Menor que
≥	Mayor o igual que
tCO <sup>2</sup>	Toneladas de dióxido de carbono
msnm	Metros sobre el nivel del mar
ha	Hectárea

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Distribución de sublotes dentro de la parcela.....	10
Figura 2.	Transecto utilizado para la evaluación de cobertura de dosel en SAF's.....	11
Figura 3.	Porcentaje de tensiones en función de la profundidad del suelo en SAF's. ..	17
Figura 4.	Porcentaje de tensiones en función de la profundidad del suelo en monocultivos. Letras diferentes indican niveles significativamente diferentes. ....	17
Figura 5.	Relación entre el riego y la alta tensión en el suelo.....	18
Figura 6.	Relación entre el riego y la tensión media del suelo. ....	19
Figura 7.	Relación entre el riego y la tensión baja en el suelo.....	19
Figura 8.	Visualización del ACP realizado con las variables activas (tensiometría según la profundidad del suelo, temperaturas de las estaciones meteorológicas, niveles de precipitaciones registrados y niveles de agua aportada al campo). Los sistemas están representados, pero se añadieron como variable adicional y no participaron en la construcción del ACP. Cada punto representa una parcela en un paso temporal determinado (mes). Los números del 1 al 12 (que faltan porque no hay datos o no son fiables) representan los meses (1= enero). Los rombos representan la posición media de la parcela para cada mes.....	20
Figura 9.	Visualización del ACP realizado para los sistemas monocultivo + SAF's con las variables activas (subcategorías de tensiones del suelo, temperaturas de la estación meteorológica y aportes de agua por precipitación y riego a escala mensual).....	21
Figura 10.	Visualización del ACP realizado para los sistemas monocultivo con las variables activas (subcategorías de tensiones del suelo, temperaturas de la estación meteorológica y aportes de agua por precipitación y riego a escala mensual).....	22
Figura 11.	Visualización del ACP realizado para los sistemas SAF's con las variables activas (subcategorías de tensiones del suelo, temperaturas de la estación meteorológica y aportes de agua por precipitación y riego a escala mensual).....	23
Figura 12.	Momentos de estrés registrados en el suelo según la profundidad, la categoría de estrés y los meses de 2022 estudiados. ....	27

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Diseño estándar de una parcela SAF's de UNOCACE. ....	6
Cuadro 2.	Ubicación geográfica de las parcelas bajo estudio. ....	8
Cuadro 3.	Sistemas productivos evaluados. ....	9
Cuadro 4.	Resultados de la prueba de <i>Fisher</i> . Los valores de las casillas indican la probabilidad estimada de diferencia entre monocultivos y SAF's. ....	13
Cuadro 5.	Composición de especies de los cuatro SAF's. ....	13
Cuadro 6.	Medias de las variables analizadas para la comparación entre monocultivos y SAF's.	14
Cuadro 7.	Resultado de los ANCOVAS realizados a los sistemas monocultivo y SAF's.	16
Cuadro 8.	Resultados del ANCOVA incluyendo los meses del año. ....	23
Cuadro 9.	Resultados del ANCOVA para los diferentes niveles de profundidad del suelo.	25
Cuadro 10.	Resultados de las pruebas post ANCOVA realizadas para cada una de las profundidades y sistemas estudiados. ....	26
Cuadro 11.	Fijación de CO <sup>2</sup> por hectárea en Sistemas Agroforestales Sucesionales. ....	31
Cuadro 12.	Comparación del costo por uso del riego en los sistemas monocultivo y SAF's	32
Cuadro 13.	Ahorro marginal del uso del riego en sistemas SAF's y monocultivos. ....	33

## Capítulo 1 – Introducción

En Ecuador se producen principalmente dos variedades de cacao, el cacao nacional fino de aroma y el CCN51, el primero reconocido por sus altos perfiles organolépticos y el segundo por su alta productividad en comparación con el cacao nacional fino de aroma (International Cocoa Germplasm Database, 2024), la cual ha presentado una mayor demanda por sus características esenciales como: aroma, sabor y textura (Mora *et al.*, 2022). Según (ITC, 2024), en la actualidad Ecuador es reconocido a nivel mundial como el tercer país productor y exportador de cacao. Al cierre del periodo 2022, el sector cacaotero logró exportar 414.644 toneladas de cacao. Comparando con el cierre del periodo 2021 y 2022, obtenemos un incremento del 14,95% en relación a las toneladas exportadas. Este aporte generó alrededor de \$1.080 millones de dólares que ingresaron a la economía ecuatoriana y contribuyó en la generación de fuentes de empleo a más de 400 mil personas. (ANECACAO, 2023).

Al sector cacaotero no se le ha hecho fácil alcanzar esta meta, pues tenía que atravesar adversidades asociadas a la producción y comercialización. Por citar algunos eventos, tenemos el alza de insumos agrícolas para la producción debido al conflicto entre Rusia y Ucrania (Japón Contento & Peñafiel Tandazo, 2023); afectaciones por la pandemia COVID-19 y su relación con la crisis de los contenedores (Zuñiga Olvera, 2022).

De acuerdo con Hütz-Adams, Feldt, & Mürlebanch (2016), los pequeños productores cacaoteros son caracterizados por manejar áreas menores de 20 ha, los productores mediados oscilan entre 20 y 50 ha y los grandes productores sobrepasan las 50 hectáreas; además, cabe resaltar que los pequeños productores son los responsables del 90% de la producción mundial. Según Somarriba & López Sampson (2018), en Ecuador el 20% de la superficie cultivada con cacao se maneja bajo sombra en agroforestería. Dentro de la cadena de valor del cacao, los pequeños productores juegan un rol importante al representar el 70% del gremio cacaotero; el 30% restante se distribuye entre medianos y grandes productores (EU REDD Facility, 2021). Según el ESPAC (2022) la superficie de cultivos permanentes a nivel país fue de 1,4 millones de hectáreas, en donde el cacao representa el 41,3%, posicionándolo como el cultivo con mayor superficie cultivable, desplazando a la palma africana, banano, plátano, caña de azúcar y otros cultivos permanentes. En las encuestas realizadas por ESPAC (2023) el cultivo de cacao a pesar de tener la mayor cantidad de superficie sembrada es el que menor porcentaje tiene en superficie con implementación de algún sistema de riego, cuenta con un 25,5%, aproximadamente 591 mil hectáreas de cultivo.

A diferencia de los medianos y grandes productores, los pequeños productores son más susceptibles a lidiar con suelos degradados por el uso de agrotóxicos, condiciones climáticas adversas, asistencia técnica, limitado financiamiento económico y en los últimos años la limitante disponibilidad del recurso hídrico ha jugado un rol importante en la producción, principalmente en la época de sequía (Veloz Cordero & Parada Gutiérrez, 2020). Según el informe realizado por UNESCO (2020), el sector agrícola extrae el 69% del agua dulce a nivel mundial y se espera que la producción de alimentos se vea limitada por los efectos del cambio climático, en el aumento de la temperatura y la falta de agua para cubrir la demanda del recurso hídrico.

En el país, la producción cacaotera basada en el monocultivo presenta desafíos importantes para lograr la sostenibilidad a largo plazo, enfocándose en maximizar la producción a corto plazo a coste de la degradación del suelo, pérdida de biodiversidad, sobre explotación de

recursos naturales y una alta demanda de insumos externos; todo lo contrario, con la producción basada en sistemas agroforestales (Altieri & Nicholls, 2007).

La creciente demanda por el recurso hídrico en los sistemas de producción pone en riesgo la productividad y en algunos casos la integridad del cultivo (Leiva-Rojas *et al.*, 2017). Ordoñez *et al.* (2020) demostraron que los sistemas agroforestales contribuyen en la reducción del estrés hídrico en el cultivo de cacao, al influenciar en las condiciones micro climáticas del sistema. Sin embargo, los sistemas de libre exposición solar (monocultivo) fueron los que presentaron mayores valores del potencial hídrico del suelo; esto se traduce en menor retención y disponibilidad de agua en el tiempo. Otras investigaciones realizadas por Opoku *et al.* (2023) demuestran la influencia de la sombra en cacaotales, principalmente sobre los procesos fisiológicos y rendimientos del cultivo, además de facilitar la retención de agua, producto de la reducción de la tasa de evapotranspiración del sistema bajo sombra.

Un potencial poco explorado es la captura de dióxido de carbono atmosférico (CO<sub>2</sub>), según Zavala *et al.* (2018), mientras mayor sea la edad del sistema, mejora su capacidad de almacenar carbono total (biomasa y suelo) a diferencia de los sistemas jóvenes. No obstante, la relación costo/beneficio es mayor en los sistemas jóvenes; esto se explica porque la tasa de crecimiento de las especies inicialmente es alta y disminuye con el tiempo. Para las organizaciones de pequeños productores como UNOCACE, que realizan proyectos de reducción de emisiones que cumplan con estándares internacionales, representa una gran oportunidad de aumentar la rentabilidad de las huertas cacaoteras bajo criterios de agroforestería a través de la comercialización de bonos carbono en los mercados voluntarios o regulados (CARBON NEUTRAL+, 2022).

Sobre este contexto los SAF's constituyen una herramienta fundamental para abarcar la mayor cantidad de servicios ecosistemas, mejorando la resiliencia de los sistemas productivos. Según Sharys *et al.* (2022), los SAF's aumentan los contenidos de materia orgánica en el suelo a través de la diversificación y densidad de especies. Regula parámetros ambientales; al manejar estratificaciones, la intensidad de los rayos solares se reduce y la temperatura ambiental mantiene niveles óptimos (Mantínez Hernández, 2020). Diversifica los ingresos económicos al no depender de un cultivo principal como los monocultivos y reduce el estrés de las plantas al poner a disponibilidad una gran cantidad de nutrientes y mejor disposición del recurso hídrico (Agudelo *et al.*, 2019).

UNOCACE es una organización de segundo nivel que agrupa 24 asociaciones de base distribuidas en 11 provincias del Ecuador. Tiene en asociatividad un grupo de aproximadamente dos mil pequeños productores de cacao nacional fino de aroma. Fomenta una cadena de comercialización directa con sus agricultores a través de las asociaciones. Los mercados potenciales que posee la institución son empresas europeas, principalmente la empresa Halba, la cual tiene una participación del 50% de las ventas anuales en grano seco, convirtiéndola en un socio clave dentro del modelo de negocios. Halba y los demás clientes cuya participación oscila entre 1 y 16% tienen necesidades similares. Ellos buscan confianza en los volúmenes solicitados y que cumpla con los estándares de calidad y perfil organoléptico propuestos en los contratos. Adicionalmente, que el producto ofertado provenga de pequeños productores bajo un esquema asociativo con estándares que certifiquen su producción orgánica y libre de residuos contaminantes, promoviendo estrategias productivas resilientes ante las adversidades climáticas.

En función de estos requerimientos, la institución maneja un modelo de comercialización asociativa con sus socios filiales (proveedores), asegurando la trazabilidad desde el productor-asociación-planta central. Los procesos post cosecha del grano de cacao se realizan en los mismos centros de acopio de sus proveedores y el excedente en la planta central, lugar donde se da el último filtro de calidad antes de su proceso de exportación. La modalidad de comercialización con el cliente final es a través de contratos anuales, en donde se fija un precio justo para el agricultor, parámetros de calidad y organolépticos del grano y otros requerimientos normativos (certificaciones sociales, ambientales y gestión). Los SAF's juegan un rol importante en la relación con los clientes porque, en conjunto con sus clientes estratégicos, se pueden canalizar recursos y fondos para su implementación y ejecución (Loor Loor & Mora, 2021).

Al eliminar la intermediación, se logran mejores precios para el agricultor, además de beneficiarse de otros servicios que ofrece la institución como el programa de certificaciones para producción orgánica (NOP, UE, Canada Organic, Biosuisse y Nacional); sociales (Fair Trade y SPP) y ambientales (Gold Estándar). Siendo la última relacionada con la captura de carbono vinculada al Proyecto FINCA plus, que impulsa la siembra y producción de cacao nacional bajo SAF's. La institución ha visto un potencial en crecimiento en la implementación de los SAF's; esto se refleja en la implementación de 694 hectáreas en los últimos 8 años y con un fuerte compromiso de renovar el 100% de las hectáreas de sus socios bajo estos criterios de producción. Este compromiso ambiental nace por la necesidad de sus socios comerciales que buscan resaltar su compromiso con el medio ambiente y crecer en conjunto con sus proveedores (UNOCACE, 2023).

El propósito del presente trabajo es evaluar los impactos ambientales y económicos provenientes de los servicios ecosistémicos brindados por dos modelos de producción (SAF's y monocultivo). Se profundizará en la dinámica del agua en el suelo y la capacidad de captura de CO<sup>2</sup>, así como sus costos e ingresos asociados al ahorro del agua y transacciones de bonos de carbono. Aunque la Constitución del Ecuador no permite la comercialización de bonos de carbono, se analiza el caso del Proyecto FINCA plus, el cual a través de la certificación Gold Standar puede beneficiarse de la captura de CO<sup>2</sup> de los SAF's. Adicionalmente se plantean diversos escenarios de ingresos económicos por hectárea por la transacción de bonos de carbono en el mercado internacional. Sobre el recurso hídrico se evaluaron parámetros físicos-químicos en las parcelas y se registraron las actividades de riego y gestión durante un año. Además, se realizó la comparación económica de costo por riego en los sistemas. Es importante visualizar los servicios económicos que presentan los SAF's como una herramienta para pequeños productores para garantizar una producción sostenible y resiliente ante el cambio climático. La presente investigación se llevó a cabo con productores de la organización UNOCACE ubicada en el Recinto El Deseo, provincia del Guayas-Ecuador.

El siguiente trabajo ofrece explorar el fascinante mundo de los SAF's, comenzando con una introducción que facilita al lector entender el contexto y la importancia del estudio. Luego, se profundizará sobre el sistema de producción SAF's y se describirá la metodología utilizada para llevar a cabo la investigación. A medida que avanzamos, la discusión de resultados nos revelará resultados interesantes sobre cómo se comparan los monocultivos y SAF's, centrándonos en aspectos de la gestión del agua y carbono. Finalmente se analizan los beneficios en términos de agua y carbono, ofreciendo recomendaciones que no solo

enriquecen el conocimiento académico, sino que también podrán transformar las prácticas en agronegocios sostenibles.

## Capítulo 2 – El sistema de producción de agroforestería sucesional

La agroforestería es un modelo de sistema productivo que data desde los primeros vestigios de la agricultura. Su estructura contempla la asociación de especies arbóreas y cultivos, aprovechando de forma eficiente el espacio y tiempo dentro de la misma unidad productiva. La dinámica en la sucesión de especies genera condiciones favorables para la siguiente especie. Es lo que en la naturaleza se conoce como sucesión ecológica. Los SAF's buscan replicar la sucesión natural de un bosque virgen a través de intervenciones antropogénicas que dinamicen los procesos ecológicos a beneficio del agricultor (Wilson & Lovell, 2016), sin afectar los principios de los servicios ecosistémicos (FAO & PNUMA, 2020).

La relación que existe entre los SAF's y los servicios ecosistémicos beneficia no solamente a los agricultores, sino a la comunidad alrededor, al potenciar los servicios de abastecimiento, regulación, soporte y culturales (Lima Abouhamad *et al.*, 2017). Estos servicios se ven vulnerados en los sistemas de producción de monocultivo que promueven prácticas de degradación de suelos y uso de pesticidas químicos que destruyen la diversidad de la agrobiodiversidad (Truitt, 2019). Tomando como referencia la dinámica del recurso hídrico, los SAF's presentan una ventaja superior al retener mayor cantidad de agua en la estructura del suelo; esto se debe principalmente por la materia orgánica integrada en el suelo (Hoffland *et al.*, 2020). Los servicios de regulación de los SAF's influyen positivamente en los factores abióticos y reducen la tasa de evapotranspiración del sistema (Allen *et al.*, 2006). Al manejar estratificaciones, los rayos solares no llegan directamente a la superficie del suelo como sucede en los monocultivos, generando una dependencia de un sistema de riego (Agudelo *et al.*, 2019).

Los sistemas de monocultivo basan su éxito en la intensificación de la productividad, logrando los mayores rendimientos por superficie y generando alta rentabilidad a corto plazo, aunque sacrificando los pilares socio-ambientales, en pocas palabras, algo insostenible (Rodríguez Echavarría & Prunier, 2020). Justifican su metodología en base a una necesidad insatisfecha de alimentos, aunque sabemos que el problema no es la producción sino la distribución (FAO, 2019). Considerando el crecimiento exponencial de la población, que se estima para el 2050 alcanzará cerca de los 9.700 millones (FAO, 2017), los sistemas monocultivos consideran una oportunidad que ningún otro sistema puede suplir, aunque en investigaciones realizadas por Niether *et al.*, (2020) analizaron que los rendimientos de cacao en SAF's fueron 25% menos comparados con los monocultivos. No obstante, la sumatoria de los rendimientos totales por productos asociados y servicios ecosistémicos de los SAF's fueron aproximadamente 10 veces superior sobre el monocultivo.

Otro beneficio de los servicios de regulación en los SAF's es su capacidad de almacenar grandes cantidades de carbono en su biomasa aérea y subterránea (Ameray *et al.*, 2021). Ante la problemática del cambio climático por la acumulación de GEI, nacen los mercados voluntarios y regulados de carbono (Ver, 2019). Existen proyectos que pueden generar créditos de carbono en los mercados voluntarios y comercializarlos bajo estándares o metodologías establecidas (Giraldo, 2019). Según el (MAATE, 2020) establece que dentro del marco de la Constitución de la República del Ecuador en su Art. 74 “No se pueden realizar operaciones de compra-venta de carbono forestal”. No obstante, organizaciones como UNCOACE, a través de su proyecto denominado FINCA plus, pueden certificarse ante



el estándar Gold Standard for the Global Goals (GS4GG) y beneficiarse del servicio de fijación de CO<sup>2</sup> (UNOCACE, 2023).

Los SAF's tienen una ventaja competitiva con la apertura de los mercados de carbono, porque son proyectos productivos que pueden generar certificados de carbono. Aunque en la actualidad no se puedan comercializar, no se descarta la posibilidad que a través del Programa Ecuador Carbono Cero se permita la compensación económica (El Mercurio, 2022). La valoración de los servicios ecosistémicos brinda la oportunidad de estimar un valor monetario a dicho servicio y poder visualizar ingresos, aunque no se perciben directamente. Están implícitos y se deben considerar a la hora de compararlo con un sistema que atenta contra dichos servicios (Contreras del Valle, 2022). Estudios realizados por Dueñas, Guevara, & Santacruz (2022) en el Bosque Protector Jatumpamba-Jorupe estimaron una remuneración económica por el servicio de secuestro de carbono por \$1.932,619 por hectárea y por el beneficio del recurso hídrico de \$5 el metro cúbico.

#### UNOCACE y los sistemas SAF's

UNOCACE ha impulsado un diseño SAF's estándar (ver cuadro 1) que se adapta según las circunstancias socio-geográficas. Los sistemas monocultivos son más simples; por lo general, la distancia de siembra es de 3 x 3 metros, dando un total de 1.111 plantas por hectárea.

Cuadro 1. Diseño estándar de una parcela SAF's de UNOCACE.

<b>Calculo para 1 hectárea de superficie (10.000 m<sup>2</sup>)</b>			
<b>ESPECIE</b>	<b>DENSIDAD (metros)</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>
Cacao	4 x 3	840	Plantas
Frutales	9x 8	140	Plantas
Forestales	9x 8	140	Plantas
Guabas	4 x 3	840	Plantas
Musáceas	4 x 3	840	Colinos
Palmeras	16 x 12	52	Plantas
Fréjol gandul	1 x 1	12	Semillas (kg)
Yuca	2 x 2	2500	Estacas
Ajonjolí	0.60 x 0.60	12	Semillas (kg)
Zapallo	6 x 8	4	Semillas (kg)
Maíz	0.30 x 0.50	12	Semillas (kg)
Camote	6 x 8	8	Semillas (kg)
Cúrcuma	0.50 x 0.50	1	Semillas (kg)
Jengibre	0.50 x 0.50	1	Semillas (kg)
Margarita	2 x 1	300	Estacas
Fréjol rojo	0.30 x 0.30	12	Semillas (kg)
Canavalia	0.50 x 0.50	6	Semillas (kg)

Se puede apreciar cómo los SAF's son sistemas más complejos y rompen el esquema tradicional de producción. La institución ha comenzado el proceso de transición de los sistemas de producción de sus productores a SAF's desde el 2016; actualmente el proyecto ha renovado 600 hectáreas distribuidas en 8 provincias. Los principales mercados que tiene UNOCACE son empresas europeas que buscan confianza en los cumplimientos de

volúmenes solicitados y con estándares de calidad y perfiles organolépticos propuestos en los contratos. Adicionalmente, que el producto ofertado provenga de pequeños productores bajo un esquema asociativo con estándares que certifiquen su producción orgánica y libre de residuos contaminantes (pesticidas), promoviendo estrategias productivas resilientes ante las adversidades climáticas; por esta razón los SAF's juegan un rol importante para garantizar esta confianza desde el productor hasta el consumidor final.

Empresas como UNOCACE han fomentado la implementación de SAF's con sus agricultores para mejorar y aumentar la rentabilidad de la producción de cacao nacional fino de aroma, adaptando diseños agroecológicos que integran diversos principios del bosque primario. Desde el 2016, han renovado más de 600 ha, ampliamente distribuidas en las principales zonas cacaoteras del país. Con ese enfoque, no solo asegura estándares de calidad para sus clientes, sino que también resalta la importancia de la investigación sobre los servicios ecosistémicos que brinda la producción de cacao en SAF's. En el siguiente capítulo, se describe la metodología de investigación empleada para visualizar la gestión del agua y fijación de CO<sub>2</sub> en parcelas SAF's que han sido implementadas por la institución y a las que actualmente continúa dando seguimiento en la zona de la provincia del Guayas.

## Capítulo 3- Metodología de investigación

El objetivo de este proyecto es: estudiar la comparación de los SAF's y monocultivos en términos de ahorro de agua y captura de carbono. Para evaluar la comparación de los SAF's y monocultivos, la metodología que utiliza el presente estudio consiste en implementar un diseño experimental en parcelas SAF's y monocultivos, donde se pudo realizar una valoración de los ahorros obtenidos por reducción en consumo de agua de riego y fijación de CO<sup>2</sup>.

A continuación se hará una introducción de donde se realizó el proyecto, detallando que abarcará la caracterización de los sistemas productivos, tratamientos aplicados, análisis químicos del suelo, la instalación de tensiómetros para el monitoreo del recurso hídrico, y el inventario de especies. Cada sección ofrece una visión clara de los métodos y herramientas utilizados.

### Localización del Proyecto

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo en un total de ocho parcelas, siendo la mitad parcelas SAF's, y la otra parte monocultivos. En el caso de los SAF's se seleccionaron parcelas de productores beneficiarios del Proyecto FINCA plus, que comenzaron su año de instalación en el 2016 o 2017, además de que el manejo del sistema cumpla con las características de los SAF's. Para los sistemas de monocultivo se dificultó encontrar en el sector parcelas con esa edad, por lo que se utilizaron parcelas de 12 años de edad. Con ubicación en el Recinto El Deseo, cantón Yaguachi, provincia del Guayas.

Cuadro 2. Ubicación geográfica de las parcelas bajo estudio.

Código	Latitud	Longitud	Elevación (msnm)
S1	2°11.8650'S	79°37.8350'O	49,4
S2	2°12.1520'S	79°35.4240'O	49,4
S3	2°10.8660'S	79°34.5780'O	19,1
S4	2°14.1460'S	79°37.2650' O	39,7
M1	2°11.9180'S	79°33.9500'O	27,8
M2	2°11.9230'S	79°33.9820'O	32,8
M3	2°12.3980'S	79°34.8150'O	47,5
M4	2°12.2980'S	79°34.8210'O	22,3

Los códigos cuya inicial empieza con "S" hacen referencia a las parcelas de los sistemas SAF's y los que empiezan con "M" hacen referencia a los sistemas monocultivo.

### Caracterización de sistemas productivos

#### Análisis químico del suelo

Se realizó un análisis químico a 15 cm de profundidad para determinar parámetros como el nivel de pH, porcentaje de materia orgánica, macro y micro elementos. La recolección de muestras consiste en tomar un promedio de 12 a 15 sub muestras por hectárea, con la finalidad de mezclar y homogenizar una muestra del área. Este procedimiento se realizó para las ocho parcelas a evaluar y el transecto de recolección es tipo Zig-Zag (Mendoza & Espinoza, 2017).

La muestra recolectada y señalizada se envió a un laboratorio acreditado a nivel nacional por Agrocidad, como el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), para su respectivo análisis.

### Análisis de perfilografía

Se realizó una calicata de aproximadamente 1,5 metros de profundidad en el centro de la parcela (una por parcela). La profundidad va a ir acorde a los horizontes del suelo.

Se realizó un análisis físico del suelo en cada horizonte para determinar la textura, presencia de materia orgánica, estructura, porosidad, pedregosidad y presencia de raíces. A través de una práctica que se conoce como calicata, la cual consiste en realizar un corte vertical del suelo para observar con detalle cómo se ha formado el suelo (horizontes).

### Diseño experimental

#### Tratamientos

Para el estudio se evaluaron ocho parcelas en las cuales la mitad correspondía a SAF's y los demás a sistemas monocultivos. En el cuadro 3 a continuación, se pueden apreciar las diferentes parcelas con su respectivo código de identificación, manejo y hectareaje.

Cuadro 3. Sistemas productivos evaluados.

Tipo de manejo	Hectareaje	Código
Agroforestal dinámico	0,4338	S1
Agroforestal dinámico	0,9062	S2
Agroforestal dinámico	0,4331	S3
Agroforestal dinámico	0,4274	S4
Monocultivo	0,4343	M1
Monocultivo	0,5614	M2
Monocultivo	0,8281	M3
Monocultivo	0,6604	M4

Cada parcela consta de 3 sub parcelas distribuidas de forma estratégica en el área total del sistema, donde se procederá a recolectar la data pertinente sobre el monitoreo del recurso hídrico y cobertura del dosel. En la selección de las sub parcelas se tuvieron en consideración los siguientes criterios:

- La sub parcela no puede estar cerca de los límites de la parcela. Para evitar el efecto borde, se debe aislar a una distancia mínima de cinco metros.
- Cada subparcela debe contener 10 plantas de cacao en forma de bloques rectangulares. En el caso de las parcelas SAF's en el interior, puede albergar otras plantas que forman parte del sistema, por ejemplo: musáceas, frutales, maderables, etc., por ser la dinámica del asocio.
- Las sub parcelas no pueden estar unidas o muy cercas, la separación mínima entre cada sub parcela es de 10 metros.
- El manejo a realizar en las subparcelas es el mismo que se viene realizando al sistema de forma general.
- La codificación interna de cada sublote estará concatenada con el código principal, por ejemplo: S1-1; S1-2 y S1-3.

### Monitoreo del recurso hídrico en el sistema con tensiómetros

Para la correcta instalación y funcionamiento de los tensiómetros se siguieron los protocolos establecidos por Grasso *et al.* (2022). En la medición del recurso hídrico en el suelo, se instalaron tensiómetros dentro de las sub parcelas a 15, 40 y 100 centímetros de profundidad.

- **Sub parcela 1:** Instalación de 3 tensiómetros (15, 40 y 100 cm de profundidad)
- **Sub parcela 2:** Instalación de 2 tensiómetros (15, 40 cm de profundidad)
- **Sub parcela 3:** Instalación de 2 tensiómetros (15, 40 cm de profundidad)

El instrumento a 100 cm de profundidad no se repitió en los demás sublotes debido a que la influencia de interés de la absorción del agua para los cultivos de interés (cacao) radica en los primeros centímetros del suelo, lugar donde se ubica hasta el 90 % de las raíces secundarias o laterales (Ramirez Silva, 2023).

La frecuencia de recolección de datos se realizó durante un ciclo productivo completo (un año) entre las 6:00-9:00 am los días lunes, miércoles y viernes (tres veces por semana). Durante la recolección de datos se dio el respectivo mantenimiento a los instrumentos, como rellenar de agua, extraer aire, limpiar objetos extraños que estén sobre los instrumentos (hojas, ramas).

Los instrumentos utilizados fueron dos tensiómetros de marcas diferentes:

- Marca IRROMETER SR: Tienen un rango de medición de 0 – 100 centibares (cbar) / kilopascales (kPa).
- Marca STELZNER: Tienen un rango de medición de 0 – 600 milibares (mbar) / hectopascales (hPa).

Para efectos de homogenizar una unidad de medida en los resultados, se va a trabajar con la unidad de medida cbar/kPa, por lo consiguiente. Las lecturas que se tomen con el tensiómetro de la marca STELZNER se deben transformar a las unidades del tensiómetro de la marca IRROMETER SR. El cálculo matemático a realizar es multiplicar la lectura por 10.

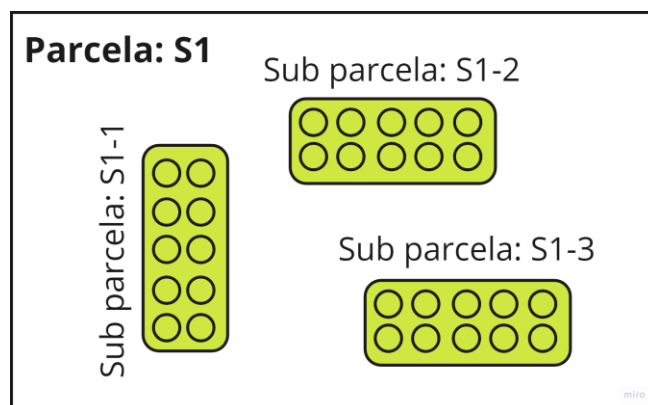


Figura 1. Distribución de sublotes dentro de la parcela.

#### Cobertura del dosel

Se determinó el porcentaje de luz que ingresó a la parcela con la ayuda de un instrumento llamado “Densitómetro GRX”. Tiene una vista hacia la superficie con un lente que se divide en cuatro secciones, cada una equivalente a un 25%. Así como se realizó en una investigación por Milz (2020).

Durante la recolección de datos se deben tomar en cuenta los siguientes criterios:

- De todas las especies presentes en el sistema, no se considera la copa del cacao como cobertura de dosel; en caso de existir una rama se debe retirar de la medición; por

esta razón este ejercicio no se realiza en los monocultivos porque tienen una exposición del 100% de luz.

- La recolección de datos se realizará siempre el mismo transecto (ver figura 2).
- La frecuencia del levantamiento de datos es mensual entre las primeras horas de la mañana, con un total de 18 puntos por subparcela.

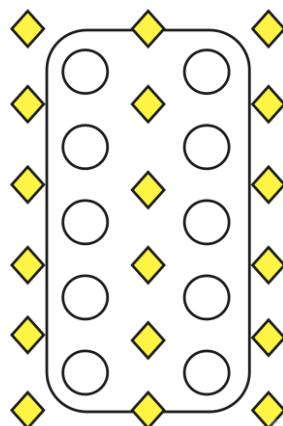


Figura 2. Transecto utilizado para la evaluación de cobertura de dosel en SAF's.

#### Estimación de agua de riego

Se determinó la cantidad de agua (m<sup>3</sup>) de forma general que ingresó al sistema por uso de sistema del riego a través de la siguiente fórmula:

Cantidad de agua (m<sup>3</sup>/ha) = # aspersores (ha) \* caudal del aspersor (m<sup>3</sup>/hr) \* horas de riego (hr)

#### Inventario de especies

Se contabilizó el total de las especies presentes en los sistemas de producción evaluados; se utilizará la plataforma KoboToolbox (2022) para el levantamiento y almacenamiento de datos. Se caracterizó la contabilidad por segmentos, siendo el primero del cacao, el segundo de árboles frutales, maderables y de regeneración natural; el tercero de palmeras y finalmente el de musáceas. A continuación, se detallan los parámetros considerados para el levantamiento de información:

- Se consideran dentro de la contabilidad aquellas que superan los 1,3 metros a la altura del pecho; aquellas por debajo se las excluye de la medición.
- Las especies que se encuentren en el lindero de la parcela forman parte de la contabilidad.
- No se consideran especies de ciclo corto o anuales en el inventario, por ejemplo: yuca, frejol gandul, etc.

Para estimar el índice de biodiversidad de las parcelas SAF's, trabajaremos con dos metodologías propuestas por diferentes autores, que determinan la dinámica de biodiversidad del sistema. Para el caso de los sistemas monocultivos, no se va a realizar esta operación porque solo posee cacao en su totalidad. Las metodologías propuestas son las siguientes:

**Shannon-Wiener:** Para el cálculo de este índice utilizaremos la siguiente operación matemática (Jost & González-Oreja, 2012) .

$$H = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$$

- **Simpson:** Para el cálculo de este índice utilizaremos la siguiente operación matemática (Jost L., 2018).

$$D = \frac{1}{\sum_{i=1}^s P_i^2}$$

### Estación meteorológica

En las instalaciones centrales de UNOCACE se instaló la estación meteorológica Vantage Pro2, para poder obtener información meteorológica del sector donde se desarrollará el estudio. Los parámetros que se medirán con el instrumento son los siguientes:

- Velocidad y dirección del viento (Km/hr)
- Temperatura (C°) y humedad interior y exterior (%)
- Lluvia (mm)
- Intensidad de la lluvia (mm/hr)
- Presión atmosférica actual (mm hg)
- Radiación solar (W/m<sup>2</sup>)

#### Capítulo 4 – Discusión de resultados

En el siguiente capítulo se detallan los resultados obtenidos acorde a la metodología propuesta para evaluar la dinámica del agua en el suelo a través de instrumentos agrícolas como son los tensiómetros. Entre las pruebas estadísticas utilizadas para evaluar los diferentes parámetros técnicos fueron Análisis de Componentes Principales (ACP), prueba Fisher, regresiones lineales, Análisis de Covarianza (ANCOVA) y test Honestly-significant-difference (HSD) de Tukey.

#### Resultados de la comparación de suelos entre los sistemas monocultivo y SAF's

Se presentan a continuación los resultados obtenidos en la comparación de los parámetros físicos a diferentes profundidades del suelo (15, 40 y 100 cm) entre los sistemas monocultivos y SAF's, realizados a través de la prueba *Fisher*.

Cuadro 4. Resultados de la prueba de *Fisher*. Los valores de las casillas indican la probabilidad estimada de diferencia entre monocultivos y SAF's.

Parámetros físicos	15 cm	40 cm	100 cm
Textura	1*	0.999	0.999
Porosidad	1*	0.429	0.429
Abundancia de raíces	1*	0.999	0.486
Tasa (%) de materia orgánica	0.957		

\* No se ha probado porque todas las modalidades son idénticas.

Como podemos observar en el cuadro 6, los resultados de las pruebas de hipótesis señalan que no existe una diferencia significativa al ningún valor ser mayor a 0,05 (Cumming, 2014). Por lo cual, podemos inferir que los parámetros físicos del suelo en los sistemas estudiados no son muy diferentes entre sí. Se espera que el comportamiento de la disponibilidad de agua en los sistemas no se vea influenciado estos parámetros si no por factores ambientales o prácticas culturales (Aguilar-García & Ortega-Guerrero, 2017).

#### Resultados de la comparación de los sistemas monocultivos y SAF's y su gestión agrícola.

El cuadro a continuación muestra la comparación entre los sistemas SAF's en relación a la densidad y diversificación de especies. Para determinar la distribución de especies en términos de abundancia y riqueza, se evaluó y promedió la diversidad de los cuatro SAF's, bajo la metodología de Shannon-Wiener y Simpson. No se realizó análisis estadístico para comparar la composición entre ambos sistemas, debido a que los monocultivos solo se componen principalmente de una especie predominante.

Cuadro 5. Composición de especies de los cuatro SAF's.

	Promedio	Desviación estándar
Densidad de cacao (#/ha)	916	196
Densidad de otros árboles "reales" (#/ha) *	379	109
Densidad de palmeras (#/ha)	2	-
Densidad de musáceas (#/ha)	374	103
Índice de Shannon-Wiener de la comunidad de árboles	1,534	0,090
Índice Simpson de la comunidad de árboles	2,759	0,261



\*Otros árboles “reales” hacen referencia a especies de biomasa, frutales y maderables.

Los siguientes resultados nos proporcionan información sobre las densidades y diversidades de las poblaciones de los SAF's analizados. Podemos observar que tenemos cierta similitud de densidades entre los “otros árboles reales” y “musáceas”; inclusive la desviación estándar está un poco por encima del 25%. La densidad de las plantas de cacao tiene el mismo patrón, aunque con una desviación estándar menor de 25% (poco significativa). La densidad de palmeras dentro de los sistemas es poco significativa y algo preocupante porque esta especie forma parte del consorcio de plantas emergentes y contribuye a los principios de los servicios ambientales que brinda el bosque (Muscarella *et al.*, 2020).

El promedio del índice de Shannon-Wiener nos indica que existe una diversidad moderada en los cuatro sistemas; esto tiene lógica porque los grupos de poblaciones evaluados tienen una riqueza y uniformidad de poblaciones heterogéneas (Somarriba, 1999). No obstante, el promedio del índice de Simpson sugiere que el sistema tiene una baja diversidad debido a que en los grupos evaluados existe alguno que predomina en el sistema y limita a los demás. Esto no necesariamente es malo porque el sistema es funcional y promueve la eficiencia del cultivo de cacao (Martínez Arévalo, 2022).

A continuación, se muestran en el (cuadro 8) las variables evaluadas entre los sistemas de producción. Para este análisis se realizó la comparación mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. En vista que el valor p es  $<0,05$ , se procedió a realizar la prueba de comparaciones múltiples por pares de Dunn para determinar que variables son estadísticamente significativas (IBM, 2023).

Cuadro 6. Medias de las variables analizadas para la comparación entre monocultivos y SAF's.

Variables	Valor p	Monocultivo		SAF's	
Densidad de cacao (#/ha)	0,014	1600	a	916	b
Media del área basal de un árbol de cacao (m <sup>2</sup> )	0,021	0,012	a	0,005	b
Superficie basal de cacao (m <sup>2</sup> /ha)	0,021	18,8	a	4,7	b
Área basal total árboles (m <sup>2</sup> /ha)	0,021	18,8	a	10,7	b
Área basal total árboles + musáceas (m <sup>2</sup> /ha)	0,149	18,8		16,4	
Número de riegos en 2022	0,019	21,5	a	7,8	b
Cantidad (m <sup>3</sup> ) de agua de riego en el año 2022	0,019	4125	a	2024	b
Cantidad (m <sup>3</sup> ) de agua de riego en el año 2023 por m <sup>2</sup> de área basal cacao	0,248	231		511	
Cantidad (m <sup>3</sup> ) de agua de riego en el año 2023 por m <sup>2</sup> de área basal todos árboles	0,248	231		193	
Cantidad (m <sup>3</sup> ) de agua de riego en el año 2023 por m <sup>2</sup> de área basal: todos árboles y musáceas	0,083	231		125	

\* Los valores seguidos de una letra indican una diferencia significativa entre los sistemas.

Por definición, los sistemas monocultivos tienden a maximizar la producción incrementando el número de plantas por superficie, como lo podemos observar, es casi el doble en relación a los SAF's. Es importante resaltar que los cacaos del sistema monocultivo tienen mayor la media del área basal en relación a los cacaos en SAF's; esto se debe a que los SAF's

evaluados aún son jóvenes en relación a los de monocultivo. Este dato se confirma porque el área basal del total de los árboles también es baja. Las musáceas presentaron un mejor desarrollo vegetativo; esto se explica porque al ser un cultivo anual-perenne y tener un sistema radicular superficial, tiende a absorber más agua y limita este recurso a las demás especies, por lo consiguiente su mejor desarrollo en relación a las demás plantas del sistema (Murcillo *et al.*, 2020).

Los sistemas monocultivos tuvieron una frecuencia de riego tres veces mayor en relación a los SAF's; podemos adjudicar este comportamiento tentativamente basándonos en el área basal del cultivo de cacao que es superior a los SAF's. Aunque considerando la superficie significativa de las musáceas en los SAF's podemos suponer que estos sistemas tuvieron una demanda insatisfecha del recurso hídrico. Para profundizar en el análisis, se consultó a los agricultores cual era el criterio técnico bajo el cual procedían a realizar riego en sus plantaciones y la respuesta principal fue la decisión unánime “*Cuando yo veo que la primera capa del suelo está seca y comienza a agrietarse o ponerse polvosa*”. Con este argumento, damos respuesta porque los monocultivos tuvieron mayor frecuencia de riego.

Por manejo técnico, los SAF's emplean prácticas culturales que promueven la cobertura del suelo, ya sea con plantas o abundantes capas de materia orgánica, además de evitar que los rayos solares caigan directamente al suelo al fraccionarse en los diferentes estratos arbóreos (Urrutia Triviño & Gonzáles Osorio, 2022). De esta forma se reduce la presión del sistema y la erosión hídrica. Esta situación no ocurre en los monocultivos debido a su arquitectura. La principal cobertura del suelo son los restos de poda del cultivo de cacao, y sumando las prácticas culturales negativas como los “rollos o lagartos” en medio de las carreras, juntando toda la materia orgánica, dejando expuesta gran parte del suelo a los rayos solares (Velásquez Vaca, 2020).

#### Resultados del análisis de tensiometría del suelo en los sistemas monocultivo y SAF's en el lapso de un año.

Durante un primer análisis de los valores obtenidos por los tensiómetros nos percatamos que existió una saturación de datos a 60 y 100 mbar/hPa en los diferentes niveles de profundidad, producto de haber utilizado dos marcas de tensiómetros con rangos de medición diferentes. Para facilitar la interpretación de datos se subcategorizo por concentración de saturaciones de la siguiente forma.

- Tensiones bajas: < 30 cbar/ kPa del suelo
- Tensiones medias: [30 – 60] cbar/ kPa del suelo
- Tensiones altas:  $\geq$  60 cbar/ kPa del suelo

Se realizó esta categorización basándonos en las recomendaciones del manual de referencia y la propia marca del tensiómetro (IRRROMETER, 2023). En términos generales, las tensiones bajas indican que el suelo puede proveer agua sin que la planta realice mucho esfuerzo; a medida que la tensión aumenta, la planta tiene que hacer mayor esfuerzo para extraer el agua del suelo debido a su baja disponibilidad.

El primer modelo se construyó para evaluar la influencia del agua suministrada por riego en el año ( $m^3$ ), sobre las tensiones a diferentes profundidades en el suelo en los sistemas productivos. Para este modelo se realizó un análisis ANCOVA bajo estos parámetros y los resultados se muestran en el cuadro a continuación.

Cuadro 7. Resultado de los ANCOVAS realizados a los sistemas monocultivo y SAF's.

		%Tensiones en monocultivo			% Tensiones en SAF's		
		< 30 cbar/kPa del suelo	[30-60] cbar/kPa del suelo	$\geq$ 60 cbar/kPa del suelo	< 30 cbar/kPa del suelo	[30-60] cbar/kPa del suelo	$\geq$ 60 cbar/kPa del suelo
R <sup>2</sup>		0,587	0,400	0,980	0,394	0,869	0,468
F		1,704	0,800	57,681	0,780	7,939	1,055
Pr > F		0,267	0,588	0,000	0,598	0,013	0,465
Cantidad (m <sup>3</sup> ) de agua de riego en el año 2022	F	7,513	0,589	171,591	1,236	0,660	0,365
	Pr > F	0,034	0,472	0,000	0,309	0,448	0,568
Profundidad	F	0,060	0,473	12,395	1,009	9,488	0,447
	Pr > F	0,942	0,645	0,007	0,419	0,014	0,659
Cantidad (m <sup>3</sup> ) de agua de riego en el año 2022*Profundidad	F	0,136	0,811	23,305	0,965	5,499	0,104
	Pr > F	0,876	0,488	0,001	0,433	0,044	0,903

Los resultados estadísticos en los sistemas monocultivo (R<sup>2</sup>, F y Pr > F) muestran que el rango de tensiones altas tiene una mayor significancia estadística sobre las tensiones bajas y medias. Tenemos un efecto significativo sobre la cantidad de agua de riego en las tensiones altas y bajas (Pr > F; 0,00 y 0,034). No obstante, la profundidad solo influye en las tensiones altas (Pr > F; 0,007). Finalmente se aprecia que hay una interacción entre la cantidad de agua de riego y la profundidad (Pr > F; 0,001) en tensiones altas.

En los SAF's no parece existir un efecto directo sobre la cantidad de agua de riego sobre las tensiones, el valor (Pr > F) en ninguna de las tensiones es menor del nivel de significancia (0,05). Los resultados estadísticos en los sistemas SAF's (R<sup>2</sup>, F y Pr > F) indican que la profundidad influye sobre el rango de las tensiones medias (Pr > F; 0,014). Por último, se aprecia que hay una interacción entre la cantidad de agua de riego y la profundidad (Pr > F; 0,044).

Para comprender mejor estos resultados se realizó un gráfico de barras con el resumen de los promedios de los diferentes grados de saturación de las tensiones en las diferentes profundidades del suelo, que se detallan a continuación.

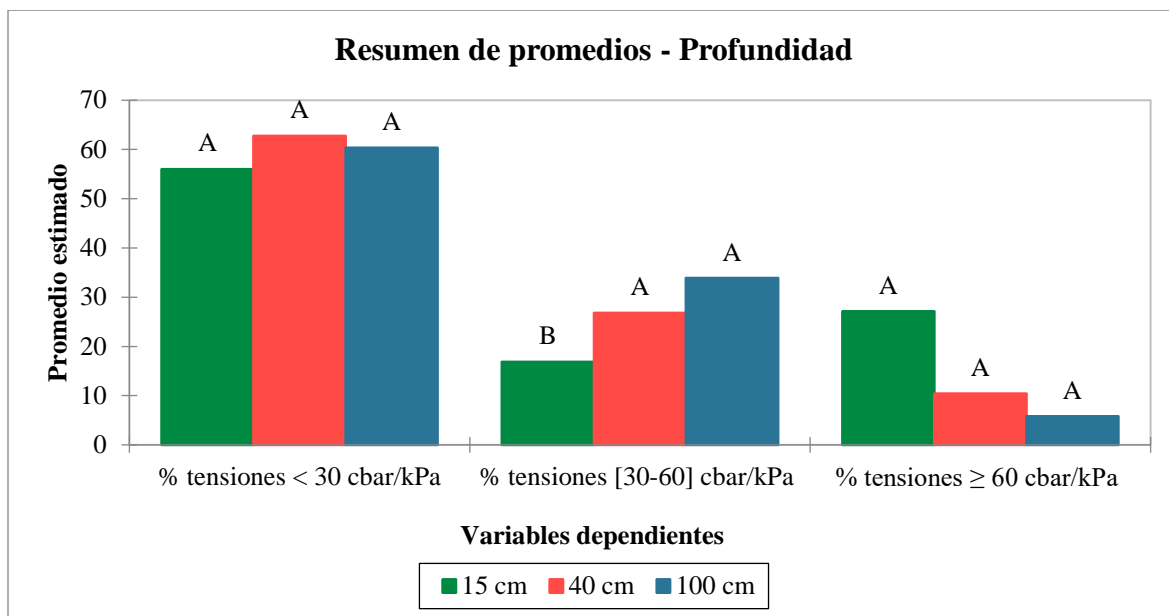


Figura 3. Porcentaje de tensiones en función de la profundidad del suelo en SAF's.

Letras diferentes indican niveles significativamente diferentes.

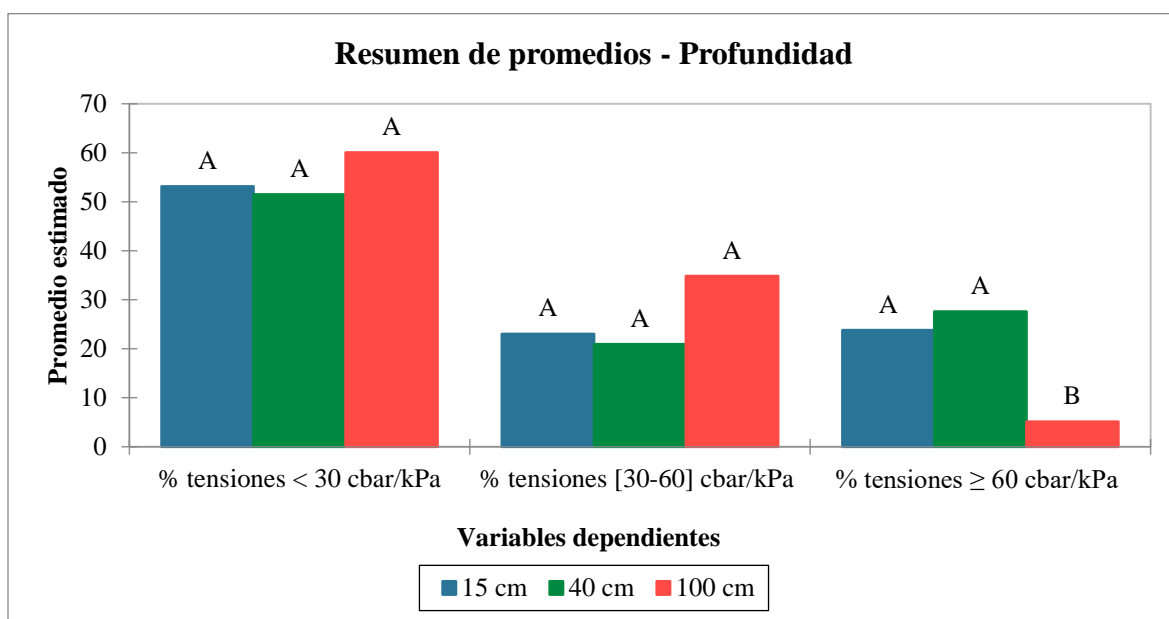


Figura 4. Porcentaje de tensiones en función de la profundidad del suelo en monocultivos.

Letras diferentes indican niveles significativamente diferentes.

Como se puede visualizar en la (figura 3 y 4), los sistemas monocultivo y SAF's presentaron la mayor acumulación de tensiones bajas en más de la mitad de los datos recolectados. Por lo consiguiente, podemos asumir que al menos en la mitad de los meses que duró en ensayo, los sistemas no presentaron síntomas de estrés hídrico y con acuerdo con las épocas de invierno o lluvias del país que oscilan la mitad del año (Varela & Ron, 2018).

En la (figura 4), estadísticamente, los sistemas monocultivos tienen mayor concentración de tensiones altas a 15 y 40 cm que a 100 cm de profundidad, lo cual tiene lógica porque a mayor profundidad la actividad biológica y la influencia de los aspectos ambientales

disminuyen, por ende, es menor la tasa de evaporación (Campos *et al.*, 2020). En los sistemas SAF's (figura 3) ocurre de manera diferente; se obtuvo mayor concentración de tensiones medias a profundidades de 40 y 100 cm que a 15 cm. Este fenómeno puede ser explicado por la cobertura del suelo y la estratificación del sistema; para sustentar este planteamiento se necesitan otros criterios que no se tomaron en cuenta en este ensayo para poder afirmar esta hipótesis. Con la información actual se puede apreciar que la presión generada en el suelo por el recurso hídrico en los monocultivos se centra en los primeros horizontes (0-40 cm), mientras que en los SAF's en los horizontes más profundos (40 a 100 cm).

Con el afán de mejorar la interpretación de los datos se procedió a graficar mediante regresiones las interacciones que existen entre las tensiones y la cantidad de agua de riego suministrada al sistema, como se ilustra a continuación.

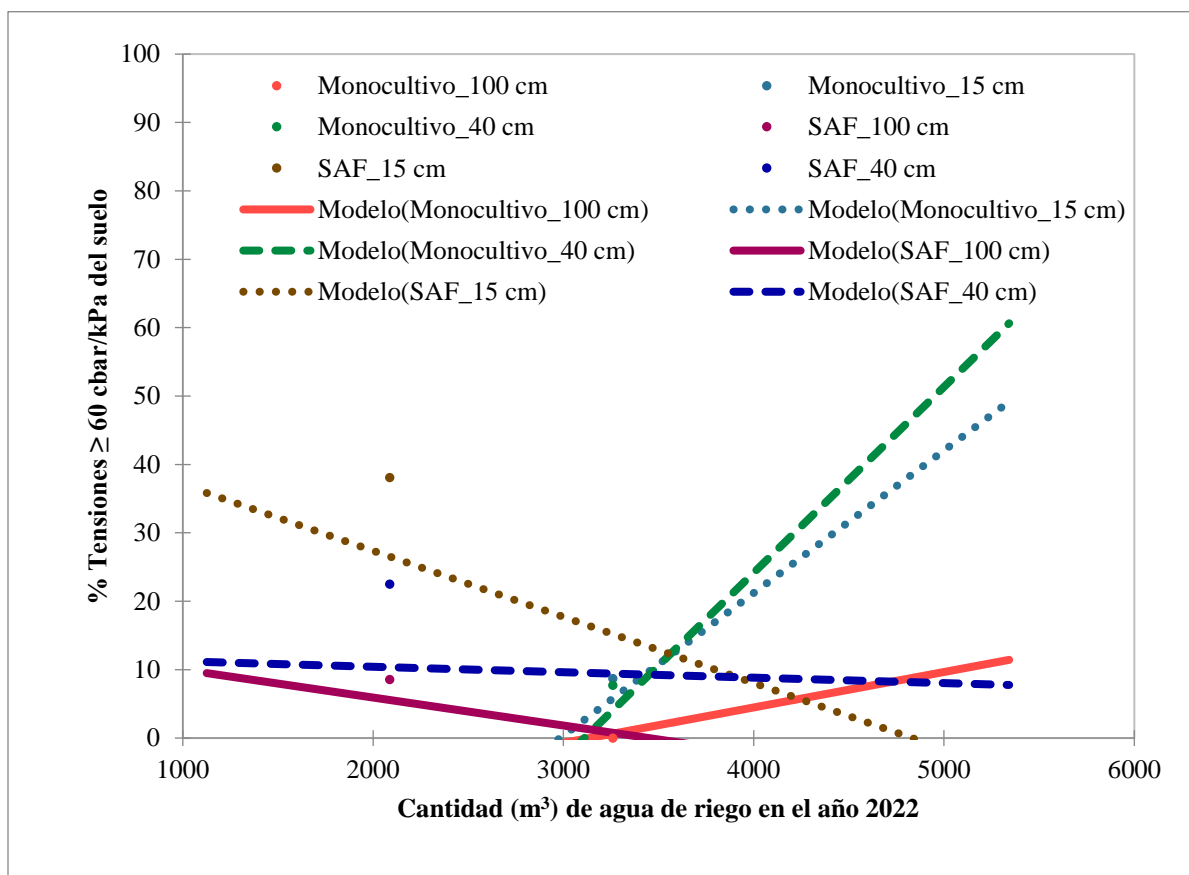


Figura 5. Relación entre el riego y la alta tensión en el suelo.

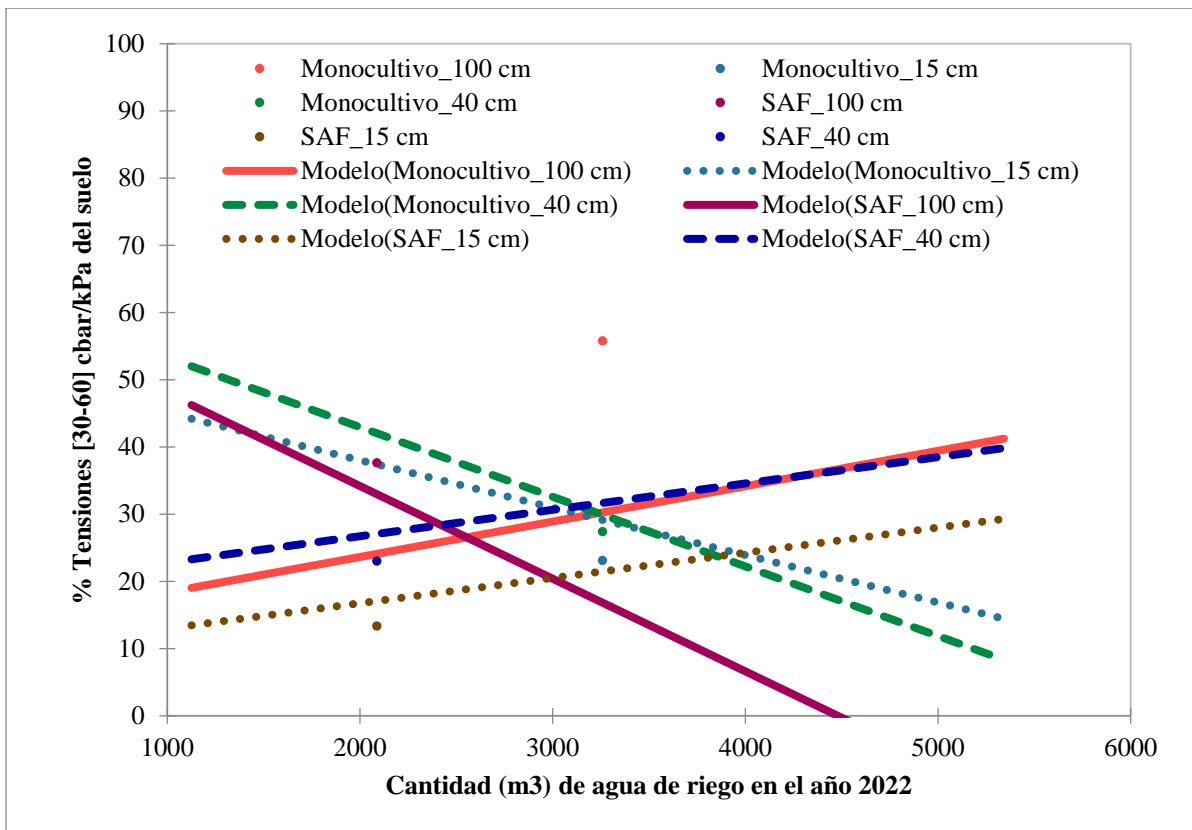


Figura 6. Relación entre el riego y la tensión media del suelo.

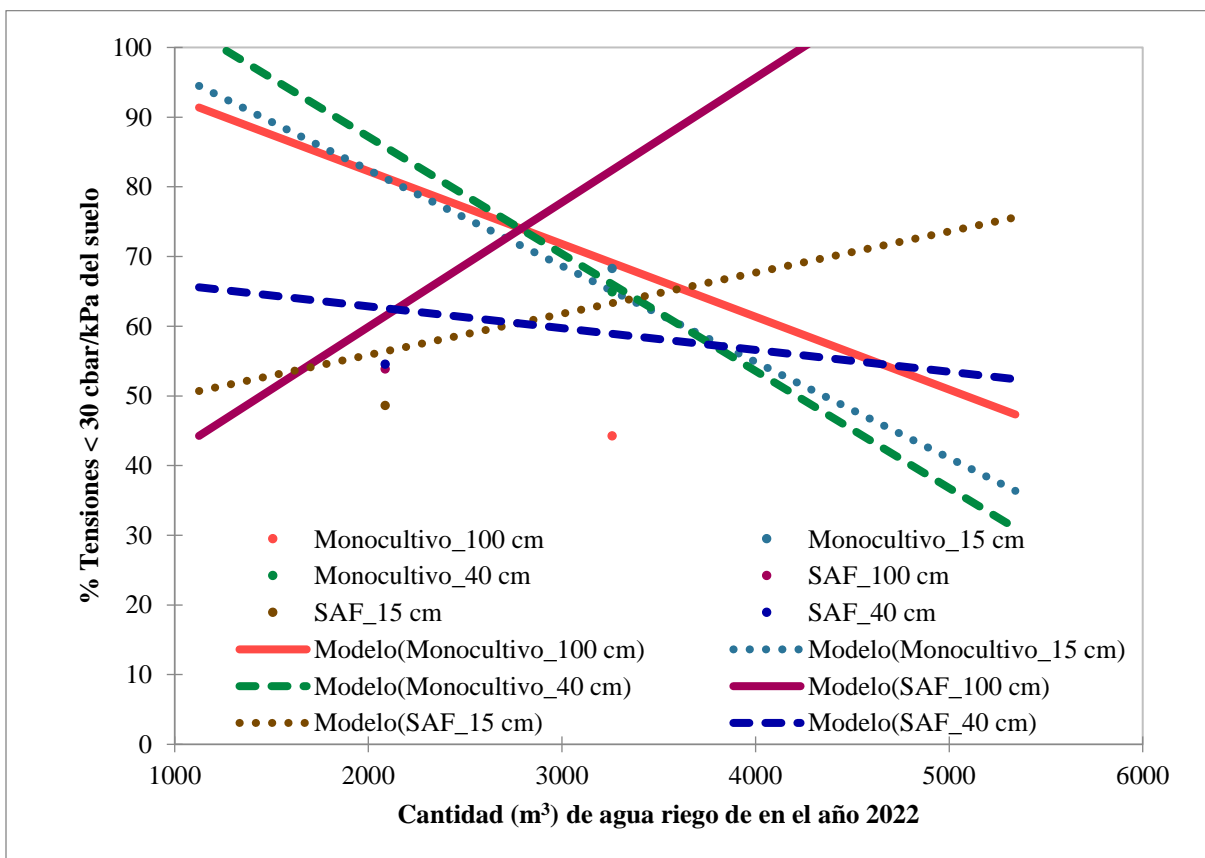


Figura 7. Relación entre el riego y la tensión baja en el suelo.

Claramente, se puede ver en la (figura 5) que existe una interacción proporcional a la cantidad de agua de riego suministrada y la profundidad (15 y 40 cm) para el caso de los sistemas monocultivos en tensiones altas. En los SAF's (figura 6) evidentemente, la interacción proporcional de la cantidad de agua de riego se da en tensiones medias con mayor influencia a 40 y 100 cm de profundidad. En las demás interacciones no se observa una diferencia estadística significativa entre las tensiones, cantidad de riego y profundidad que se deba resaltar.

#### Resultados del análisis de tensiometría del suelo en los sistemas monocultivo y SAF's en los lapsos mensuales.

Se realizó un ACP, basándonos en el coeficiente de correlación de Pearson. Las variables activas que contempla el modelo son las siguientes.

- Las tres subcategorizaciones de las tensiones del suelo
- Promedio de temperaturas (C°) del día y noche
- Registros de precipitación "lluvia" (mm)
- Cantidad (m<sup>3</sup>) de agua de riego al sistema

El resultado del primer ACP de los datos de forma mensual se presenta en la siguiente figura.

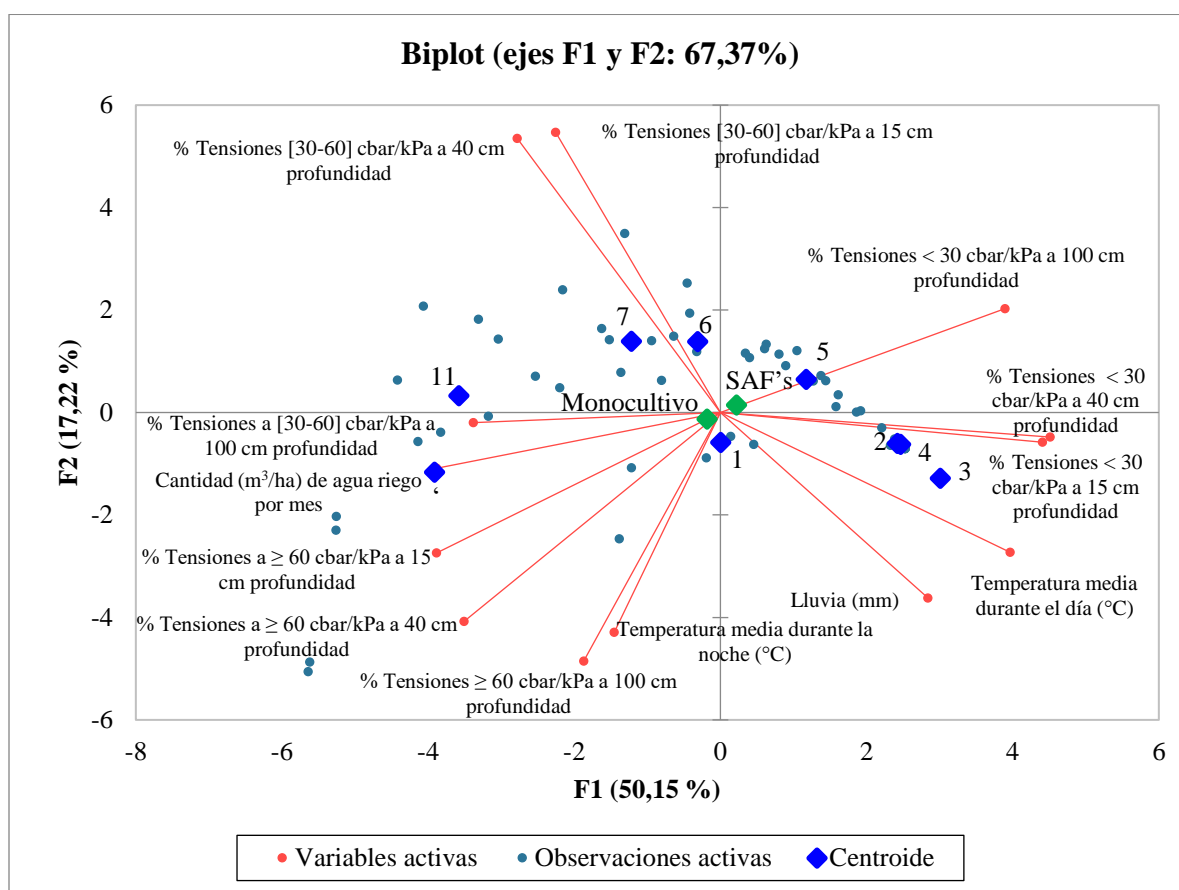


Figura 8. Visualización del ACP realizado con las variables activas (tensiometría según la profundidad del suelo, temperaturas de las estaciones meteorológicas, niveles de precipitaciones registrados y niveles de agua aportada al campo). Los sistemas están representados, pero se añadieron como variable adicional y no participaron en la construcción del ACP. Cada punto representa una parcela en un paso temporal determinado (mes). Los números del 1 al 12 (que faltan porque no hay datos o no

son fiables) representan los meses (1= enero). Los rombos representan la posición media de la parcela para cada mes.

En la figura 8, podemos ver que los ejes F1 y F2 representan un porcentaje aceptable (67,37%) de explicación de la variabilidad. Se puede observar que las tensiones medias y altas están relacionadas con los aportes de agua por riego al sistema y estos aportes de agua tienen una compensación negativa parcial con las precipitaciones. Esto demuestra que la información proporcionada por la estación meteorológica (Vantage Pro2) es coherente con los valores de las diferentes subcategorías de las tensiones del suelo.

Con el propósito de profundizar en el análisis, se procedió a realizar los ACP de forma individual para cada tipo de sistema; los resultados se muestran a continuación.

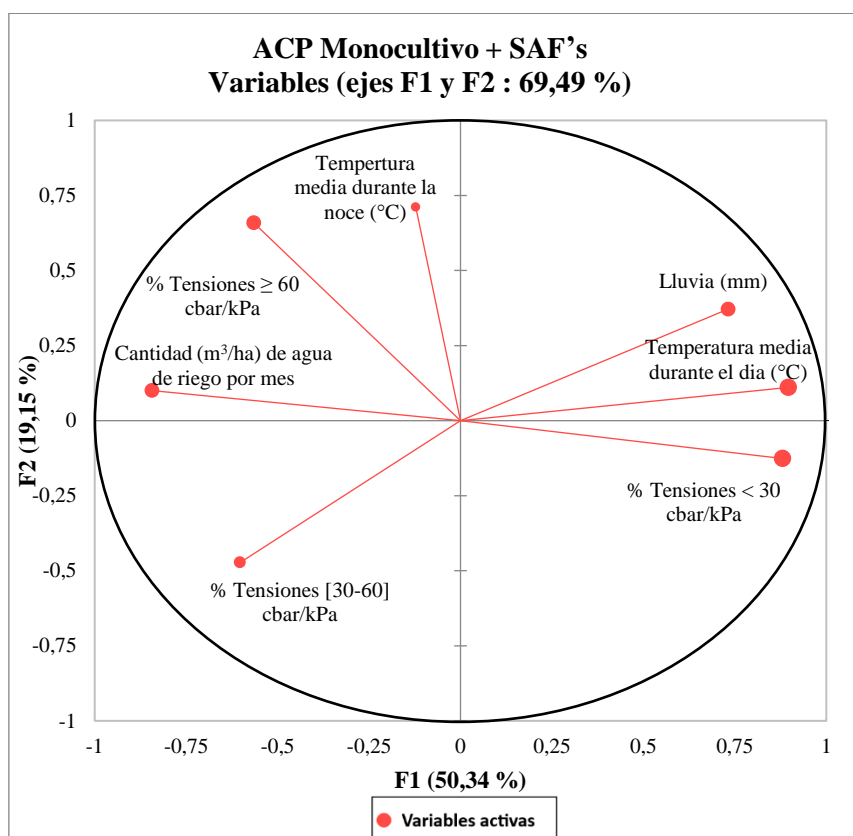


Figura 9. Visualización del ACP realizado para los sistemas monocultivo + SAF's con las variables activas (subcategorías de tensiones del suelo, temperaturas de la estación meteorológica y aportes de agua por precipitación y riego a escala mensual).

Podemos interpretar que el ACP total de los sistemas tiene un buen nivel de representación de las variables en torno al 70%. Es evidente que las tensiones bajas y medias se oponen a las altas tensiones; además, parece haber conexiones limitadas entre las tensiones medias y altas, así como las temperaturas diurnas y nocturnas. Además, se puede notar que el grupo de las variables de precipitación y las temperaturas diurnas se correlacionan positivamente con las tensiones bajas, los grupos de variables como los aportes de agua por riego y las temperaturas nocturnas están asociados a las tensiones medias y altas.



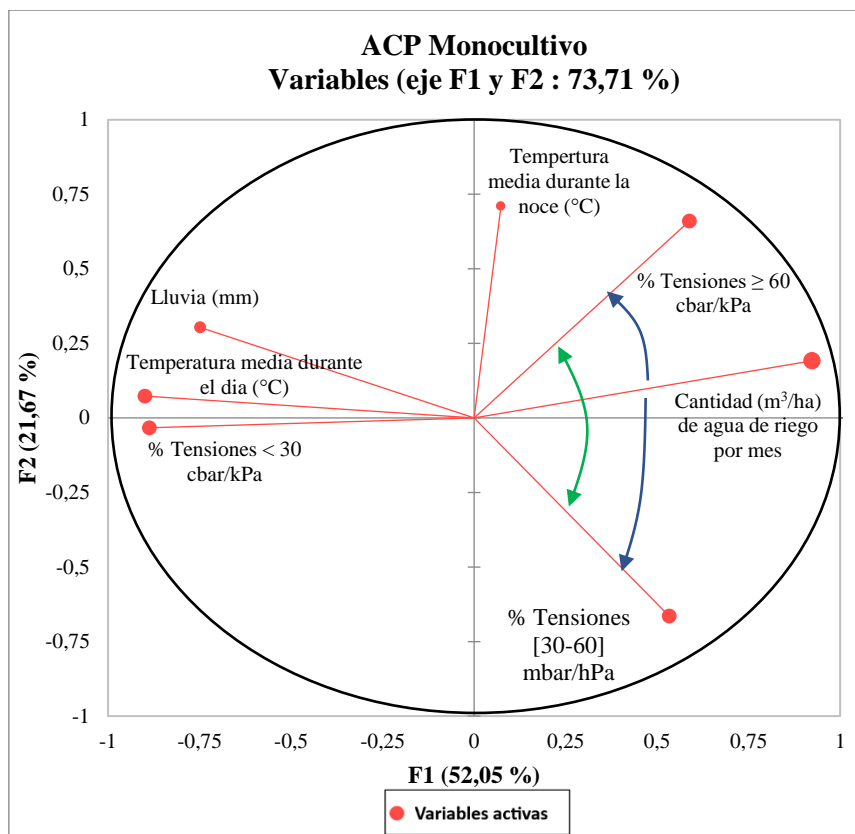


Figura 10. Visualización del ACP realizado para los sistemas monocultivo con las variables activas (subcategorías de tensiones del suelo, temperaturas de la estación meteorológica y aportes de agua por precipitación y riego a escala mensual).

El ACP para los sistemas monocultivos tienen el mayor nivel de explicación de la variabilidad (73,71%). Al igual que en ACP total, se observa una relación opuesta de las tensiones medias y altas con las bajas. Se aprecia una compensación positiva del suministro de agua por riego con las tensiones altas y medias, e inversamente con las tensiones bajas, las cuales son más influenciadas por las precipitaciones naturales. Si nos enfocamos en el cuadrante derecho, podemos deducir que no existe una relación directa entre las tensiones altas y medias, lo cual es representado por la distancia abierta entre los dos vectores que forman un ángulo recto. En el cuadrante izquierdo podemos apreciar que las tensiones bajas están muy correlacionadas con las precipitaciones y temperaturas diurnas, por el ángulo corto entre las variables.

El suministro de agua por riego parece tener cierta influencia sobre las tensiones altas, aunque no con la suficiente fuerza debido a la gran abertura del ángulo entre las dos variables. Se puede plantear que el suministro de riego no es eficiente, porque no responde de forma sincronizada a tensiones altas o medias. Esto se demuestra por el ángulo bastante abierto entre las tensiones y el riego.

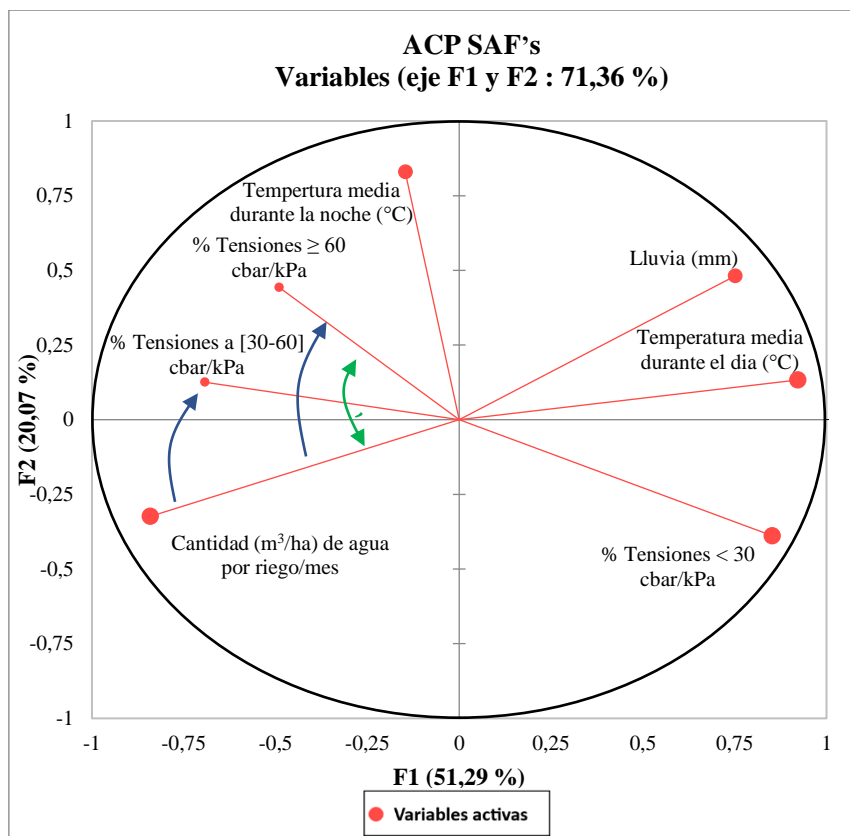


Figura 11. Visualización del ACP realizado para los sistemas SAF's con las variables activas (subcategorías de tensiones del suelo, temperaturas de la estación meteorológica y aportes de agua por precipitación y riego a escala mensual).

El ACP para los sistemas SAF's tiene un buen nivel de explicación de la variabilidad (71,36%), en el cuadrante izquierdo. A diferencia del suministro del riego en los monocultivos, los SAF's tienen mayor relación sobre las tensiones medias y un poco menos a las tensiones altas, en una manera muy diferente que los monocultivos. De igual forma, se visualiza una correlación negativa con las tensiones bajas, las cuales siguen asociadas de forma positiva con las precipitaciones y temperaturas diurnas, aunque con un ángulo más abierto en relación al monocultivo.

Por lo consiguiente, podemos concluir que el periodo en el cual se suministra el riego no es el idóneo o la cantidad no es la suficiente para influir de forma directa sobre las tensiones altas o medias en ambos sistemas. Es posible que el suministro de riego afecte la capacidad de retención de humedad de horizontes más profundos del suelo y no los más superficiales, siendo estos más influenciados por la evaporación, escorrentía u otros factores físicos del suelo (Silva Julca, 2020). Esto aborda varios cuestionamientos que bajo la metodología actual del estudio no pueden ser explicados, pero generan indicios claves a investigar en futuros trabajos.

En el siguiente cuadro se muestra los resultados del ANCOVA que incorpora la estacionalidad mensual, los mismos fueron analizados mediante las pruebas de Tukey HSD y SNK.

Cuadro 8. Resultados del ANCOVA incluyendo los meses del año.

		% Tensiones < 30 cbar/kPa	% Tensiones [30-60] cbar/kPa	% Tensiones ≥ 60 cbar/kPa
R <sup>2</sup>		0,79599093	0,69022332	0,78135039
F		7,17920669	4,09976289	6,57529039
Pr > F		<0,0001	<0,0001	<0,0001
Cantidad (m <sup>3</sup> /mes/ha) de agua riego	F	8,34623262	0,1645016	17,9399845
	Pr > F	0,004	0,686	<0,0001
tipo de sistema	F	47,952006	2,86668175	122,137528
	Pr > F	<0,0001	0,092	<0,0001
Mes del año 2022 (numero)	F	10,8563861	7,07282252	7,50171859
	Pr > F	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Profundidad del suelo	F	1,60277434	1,78579815	10,315033
	Pr > F	0,204	0,171	<0,0001
Cantidad (m <sup>3</sup> /mes/ha) de agua de riego*tipo de sistema	F	29,7275694	3,14723154	85,591486
	Pr > F	<0,0001	0,078	<0,0001
Cantidad (m <sup>3</sup> /mes/ha) de agua riego*Mes del año 2022 (número)	F	1,43950857	0,78295539	2,01877333
	Pr > F	0,202	0,584	0,065
Cantidad (m <sup>3</sup> /mes/ha) de agua de riego*Profundidad del suelo	F	2,77907864	0,22811794	6,59435434
	Pr > F	0,065	0,796	0,002
Tipo de sistema*Mes del año 2022 (número)	F	5,84051063	0,70126617	14,1829362
	Pr > F	<0,0001	0,707	<0,0001
Tipo de sistema*Profundidad del suelo	F	0,6764545	13,2275553	19,7741063
	Pr > F	0,510	<0,0001	<0,0001
Mes del año 2022 (número)*Profundidad del suelo	F	0,42496791	1,15418301	2,36068667
	Pr > F	0,986	0,299	0,001
Cantidad (m <sup>3</sup> /mes/ha) de agua riego*tipo de sistema*mes del año 2022 (número)	F	4,98191499	1,48186134	10,2915314
	Pr > F	<0,0001	0,134	<0,0001
Cantidad (m <sup>3</sup> /mes/ha) de agua de riego*tipo de sistema*Profundidad del suelo	F	8,36391285	5,96524023	31,3923221
	Pr > F	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Cantidad (m <sup>3</sup> /mes/ha) de agua de riego*mes del año 2022 (número)*Profundidad del suelo	F	0,32100522	1,53733979	3,19058096
	Pr > F	0,985	0,114	0,000
Tipo de sistema*mes del año 2022 (número)*Profundidad del suelo	F	0,13868326	1,49251815	2,18843582
	Pr > F	1,000	0,081	0,003

Los resultados muestran diferencias significativas entre las variables analizadas similares al ANCOVA anual; sin embargo, se descubren cuatro hallazgos importantes. El primero es que la capa superficial del suelo (15 cm) acumula la mayor concentración de tensiones altas (25,48%), seguido de la profundidad a 40 cm (19%) y 100 cm (5,38%), y durante el tiempo estudiado, los SAF's pasan ligeramente menos tiempo con periodos de alta tensión frente a los monocultivos (14,58 %; 18,84%). La segunda es que la fuerza de tensión varía según los meses de estación (cambios climáticos) (Pr > F = <0,0001). Como tercer punto, tenemos una acumulación de tensiones bajas que oscila entre el 54 y 60 % y no existe una diferencia estadística entre los diferentes niveles de profundidad del suelo y finalmente, aunque las tensiones medias presentan su mayor acumulación a los 100 cm de profundidad (34,23%),

seguido de 40 cm (23,88%) y 15 cm (19,94%) entre los sistemas, no existe una diferencia significativa; ambos rondan entre el 25 y 26 % del tiempo.

En vista del gran número de interacciones entre las variables, se procedió a construir un modelo ANCOVA para las diferentes profundidades del suelo considerando las siguientes variables.

- Suministro de riego mensual por hectárea
- La combinación de los meses x tipo de sistema (Monocultivo y SAF's)

Como podemos visualizar en el cuadro 11, los resultados muestran diferencias significativas según las pruebas estadísticas de Tukey HSD y Student-Newman-Keuls (SNK). Los valores de F y  $Pr > F$  en la mayoría de las variables para los tres niveles de profundidad son estadísticamente significantes ( $< 0,0001$ ). Demostrando que la variabilidad en las tensiones en el suelo se ven influenciadas por la estacionalidad de los meses y el suministro del riego teniendo en cuenta los diferentes niveles de profundidad del suelo.

Cuadro 9. Resultados del ANCOVA para los diferentes niveles de profundidad del suelo.

		% Tensiones a 15 cm			% Tensiones a 40 cm			% Tensiones a 100 cm		
		< 30 cbar/k Pa	[30-60] cbar/k Pa	≥ 60 cbar/k Pa	< 30 cbar/k Pa	[30-60] cbar/k Pa	≥ 60 cbar/k Pa	< 30 cbar/k Pa	[30-60] cbar/k Pa	≥ 60 cbar/k Pa
R <sup>2</sup>		0,8273 5144	0,66085 493	0,77749 031	0,90070 385	0,83036 993	0,86510 615	0,73419 333	0,66930 13	0,51833 959
F		7,8537 408	3,19352 37	5,72658 323	14,8661 701	8,02265 806	10,5105 817	4,29665 106	3,14828 981	1,67401 352
Pr > F		<0,000 1	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,041
Cantidad (m3/mes/ha) de agua riego	F	4,8890 7519	0,44968 013	7,23112 027	30,7795 197	8,02910 472	66,0045 911	0,37887 729	0,41247 986	0,01315 754
	Pr > F	0,031	0,505	0,009	<0,0001	0,006	<0,0001	0,541	0,523	0,909
Sistema * mes (número)	F	4,0207 8608	2,52945 687	4,57490 199	5,05255 89	6,31159 55	7,50423 734	2,95098 092	1,65240 235	0,95159 353
	Pr > F	<0,000 1	0,003	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,001	0,072	0,53
Cantidad (m3/mes/ha) de agua de riego*Sistema * mes (número)	F	2,4538 7182	1,92545 044	5,53873 259	3,10552 535	4,07416 76	8,79275 152	1,77458 697	1,31113 388	1,58698 315
	Pr > F	0,011	0,049	<0,0001	0,002	0	<0,0001	0,075	0,238	0,122

\*Valores <0,05 demuestran una diferencia estadística.

Sin embargo, para evitar los errores experimentales de la comparación de las múltiples variables se procedió a realizar pruebas post hoc, con las pruebas de comparaciones múltiples de Tukey. Los resultados se muestran a continuación en el cuadro 12 y la figura 12 a continuación.

Cuadro 10. Resultados de las pruebas post ANCOVA realizadas para cada una de las profundidades y sistemas estudiados.

Mes	Sistema	% Tensiones a 15 cm			% Tensiones a 40 cm			% Tensiones a 100 cm		
		< 30 cbar/kPa	[30-60] cbar/kPa	≥ 60 cbar/kPa	< 30 cbar/kPa	[30-60] cbar/kPa	≥ 60 cbar/kPa	< 30 cbar/kPa	[30-60] cbar/kPa	≥ 60 cbar/kPa
01	Monocultivo	57,051 abcde	25,000 ab	17,949 bc	54,487 bcdef	13,141 cde	32,372 abcde	36,795 ab	45,897 abc	17,308 a
	SAF's	61,305 abcde	17,774 ab	20,921 bc	59,615 bcde	25,641 abcde	14,744 bcde	34,615 ab	46,154 abc	19,231 a
02	Monocultivo	100,000 a	0,000 b	0,000 c	100,000 a	0,000 e	0,000 e	97,917 a	2,083 c	0,000 a
	SAF's	100,000 a	0,000 b	0,000 c	99,306 a	0,694 e	0,000 e	100,000 a	0,000 c	0,000 a
03	Monocultivo	100,000 a	0,000 b	0,000 c	100,000 a	0,000 e	0,000 e	100,000 a	0,000 c	0,000 a
	SAF's	100,000 a	0,000 b	0,000 c	100,000 a	0,000 e	0,000 e	100,000 a	0,000 c	0,000 a
04	Monocultivo	93,910 ab	6,090 ab	0,000 c	100,000 a	0,000 e	0,000 e	100,000 a	0,000 c	0,000 a
	SAF's	100,000 a	0,000 b	0,000 c	100,000 a	0,000 e	0,000 e	100,000 a	0,000 c	0,000 a
05	Monocultivo	72,436 abcd	24,359 ab	3,205 bc	80,128 abc	15,064 bcde	4,808 de	98,077 a	1,923 c	0,000 a
	SAF's	80,769 abc	14,103 ab	5,128 bc	92,308 ab	6,410 de	1,282 de	100,000 a	0,000 c	0,000 a
06	Monocultivo	43,130 bcdef	43,709 a	13,161 bc	44,872 cdefg	36,859 abcd	18,269 bcde	92,308 a	3,846 bc	3,846 a
	SAF's	56,218 abcde	16,026 ab	27,756 abc	76,022 abc	13,301 cde	10,677 de	90,385 a	9,615 abc	0,000 a
07	Monocultivo	29,487 cdef	44,872 a	25,641 bc	21,795 efg	51,603 a	26,603 abcde	57,692 ab	42,308 abc	0,000 a
	SAF's	58,938 abcde	7,738 ab	33,324 abc	61,630 abcd	29,084 abcde	9,286 de	75,000 ab	25,000 abc	0,000 a
08	Monocultivo	34,869 cdef	31,173 ab	33,958 abc	31,882 defg	29,130 abcde	38,988 abcd	33,929 ab	66,071 abc	0,000 a
	SAF's	32,999 cdef	30,916 ab	36,084 abc	44,803 cdefg	49,129 a	6,069 de	39,286 ab	60,714 abc	0,000 a
09	Monocultivo	28,711 cdef	30,870 ab	40,418 abc	20,833 fg	28,846 abcde	50,321 abc	23,077 ab	76,923 abc	0,000 a
	SAF's	43,828 bcdef	25,982 ab	30,190 abc	42,568 cdefg	44,491 abc	12,941 cde	21,154 ab	63,462 abc	15,385 a
10	Monocultivo	21,439 def	30,342 ab	48,219 abc	19,551 fg	22,453 abcde	57,996 a	28,846 ab	71,154 abc	0,000 a
	SAF's	24,679 def	33,654 ab	41,667 abc	32,051 defg	47,051 ab	20,897 abcde	28,205 ab	38,462 abc	33,333 a
11	Monocultivo	31,593 cdef	20,430 ab	47,976 abc	22,723 efg	27,277 abcde	50,000 abc	25,000 ab	75,000 abc	0,000 a
	SAF's	10,860 ef	37,651 ab	51,489 abc	32,692 defg	51,282 a	16,026 bcde	0,000 b	94,872 ab	5,128 a
12	Monocultivo	25,160 def	19,551 ab	55,288 ab	21,474 efg	26,923 abcde	51,603 ab	26,923 ab	32,692 abc	40,385 a
	SAF's	2,564 f	18,269 ab	79,167 a	12,293 g	54,751 a	32,956 abcde	2,564 b	97,436 a	0,000 a

\*Letras diferentes indican diferencia estadística significativa.

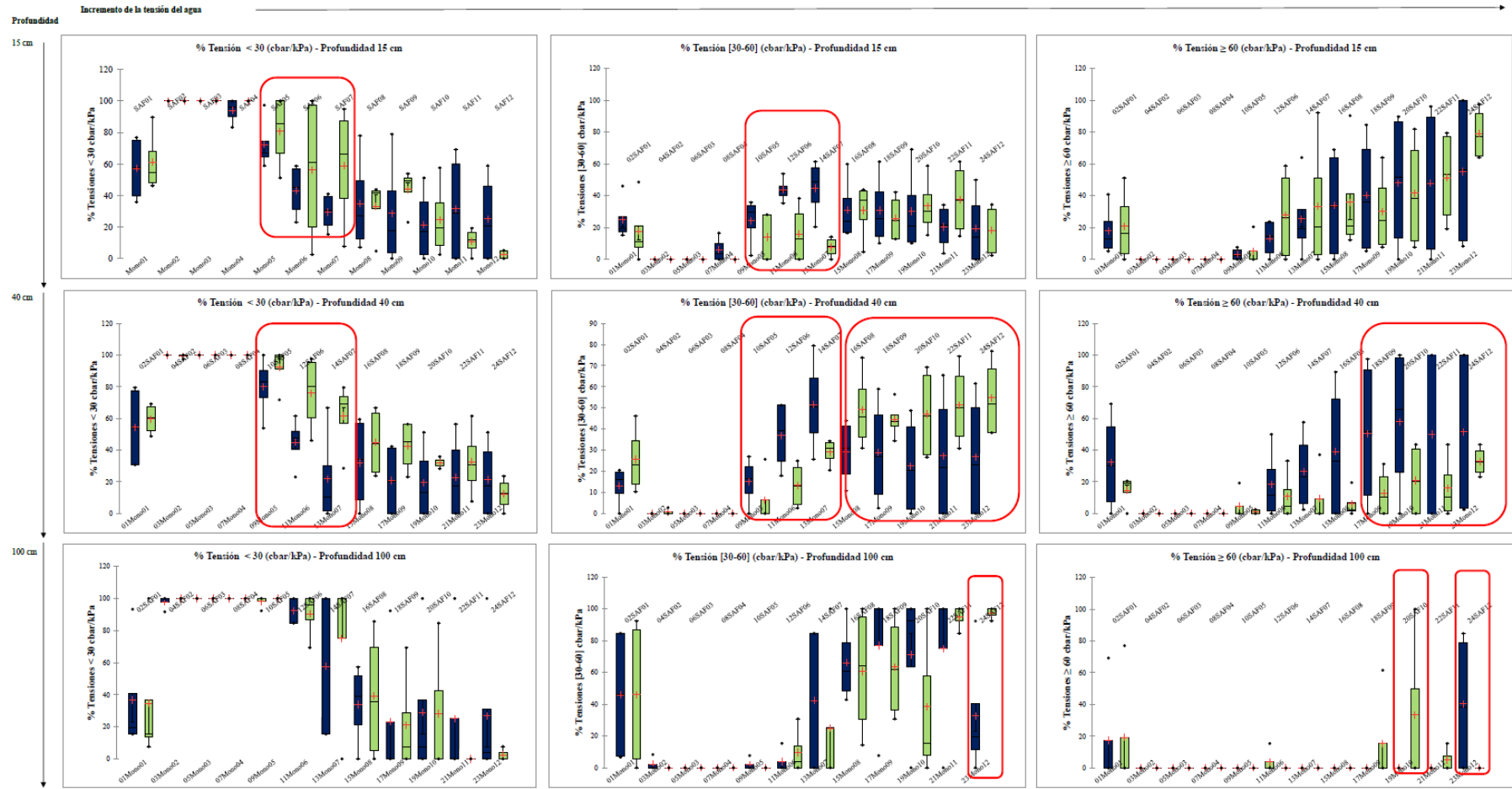


Figura 12. Momentos de estrés registrados en el suelo según la profundidad, la categoría de estrés y los meses de 2022 estudiados.

Los monocultivos se muestran en azul. Los números del 1 al 12 (que faltan porque no hay datos o no son fiables) representan los meses (1= enero). Los rombos representan la posición media de la parcela para cada mes.

Se puede constatar en el Cuadro 12 que los resultados de las pruebas post hoc, no son nada alentadores, porque los resultados previos daban por hecho que existía una diferencia significativa entre los sistemas. En relación a la variabilidad de las tensiones a diferentes profundidades influenciadas por el suministro de agua por riego y la estacionalidad de los meses, como se visualiza en las figuras de los ACP realizados por cada sistema (Figura 9,10,11). Por lo que podemos concluir, a priori la tensión del suelo está relacionada con la estacionalidad de los meses. Aunque visualmente en la (figura 12) se observen diferencias, en valores estadísticos no es el caso. Aunque no tenemos diferencias estadísticas fuertes, tenemos tendencias que las podemos visualizar. De forma general, los SAF's pasan ligeramente menos tiempo bajo tensiones altas en relación a los monocultivos. El suelo de las parcelas en las tres profundidades ha pasado alrededor del 50% del estudio con tensiones bajas; en horizonte más profundo se presentan solo dos casos atípicos de tensiones medias o altas, en los meses de octubre y diciembre. Donde se observan los mayores periodos de estrés alto en la primera capa del suelo (15 cm) y representa entre el 15 y 20 % del tiempo (2-3 meses).

El comportamiento de los sistemas en las tensiones medias es variante y los SAF's parecen tener que pasar un mayor tiempo en tensiones medias entre 15 y 40 cm de profundidad y con mayor énfasis en el mes de diciembre a 100 cm del suelo. Se puede constatar que el efecto del suministro del riego tiene mayor afinidad por las tensiones altas en los monocultivos. Sin embargo, en los SAF's parece ser más proporcional a las tensiones medias. Incluso el efecto biomasa es algo que afectó a los resultados de forma considerable, porque los sistemas monocultivos presentan mayores promedios de área basal y, por lo consiguiente, a fortiori edades, demostrando la complejidad de comparar las parcelas actuales.

Con la información actual no podemos afirmar que las cantidades de agua suministradas por riego satisfacen al 100% las necesidades hídricas de los dos sistemas; inclusive, la gestión del riego es algo a trabajar por los agricultores con indicadores más robustos y nos damos cuenta que no existe un buen manejo por el efecto sobre las tensiones medias y altas que no es el adecuado. Incluso es muy probable que exista un efecto "biomasa" sobre los resultados o sea un efecto real del sistema; esto no lo sabemos debido a las múltiples interacciones que se presentan en el campo y la cantidad actual de parcelas bajo estudio que impiden tener una imagen más clara sobre las variables que influyen en los resultados.

En función de estos resultados preliminares, se recomienda realizar un rediseño a la metodología actual. Enfocándonos en la reducción del periodo de evaluación de tensiones; incrementar el número de tratamientos que sean comparables, considerando el efecto biomasa y la estacionalidad de verano; aspectos físicos del suelo como la capacidad de campo, porcentaje de materia orgánica y carbono. Estas nuevas investigaciones contribuirán a explorar las diferencias entre sistemas, y determinar qué variables son claves para adicionar o mejorar en la gestión integral del sistema sobre el ciclo del agua.

A nivel institucional, los SAF's son un eje transversal en el modelo de negocio de UNOCACE, generan una relación de confianza con sus clientes y juntos promueven una cultura de producción que asegura la soberanía alimentaria en sus agricultores. Es importante reconocer que los SAF's presentan atributos de mayor resiliencia en comparación a los monocultivos. Se puede ver reflejado en la investigación realizada que concluye que el comportamiento de la tensión del agua en los SAF's y los monocultivos difieren en las

primeras profundidades, producto de muchas interacciones y la cantidad limitada de parcelas evaluadas. Además, se puede apreciar que el riego no está siendo utilizado de manera eficiente, al menos en los SAF's. Aún se desconoce si las cantidades suministradas compensan las necesidades totales de agua de los sistemas. Esto es algo que se debe profundizar en otros estudios. La tensión del agua en el suelo está bastante relacionada con la estacionalidad. A pesar de no existir diferencias estadísticas contundentes en los cuadros, se pueden apreciar de forma visual en la **figura 12**.

Se recomienda en futuros estudios analizar otros posibles factores que influyen en la dinámica del agua en el suelo. Se sugiere trabajar la gestión del sistema, biomasa del sistema, contenidos de almacenamiento de carbono y otros factores hidrofísicos. Aunque los SAF's presentan potencial de fijación de CO<sup>2</sup>, aún existe poca información, por lo que valen los esfuerzos en complementar esta información, realizando ensayos donde se evalúe la influencia de la gestión del sistema en la tasa de fijación de CO<sup>2</sup> en el suelo y biomasa aérea.

En síntesis, los resultados indican que, a pesar de las diferencias visuales en la tensión del agua en el suelo entre los SAF's y monocultivos, no se muestran diferencias estadísticas significativas. Aunque la tensión del agua está relacionada con la estacionalidad (clima), los SAF's pasaron menos tiempo bajo tensiones altas. Si bien ambos sistemas enfrentaron desafíos en la gestión del riego, los monocultivos tienden a pasar más tiempo en tensiones debido a un suministro de agua menos eficiente. Finalmente, se destaca la resiliencia de los SAF's en comparación con los monocultivos y sus implicaciones en continuar generando más investigación en cómo la gestión de los sistemas productivos puede influir en los servicios ecosistémicos.



## Capítulo 5- Beneficios en términos de agua y carbono.

El siguiente capítulo, la metodología empleada para la cuantificación de ingresos económicos provenientes de las parcelas SAF's por la captura de CO<sup>2</sup>, consistió en armar diferentes escenarios de precios internacionales de la tCO<sup>2</sup>. En esta evaluación se construyeron tres escenarios: pesimista, ideal y optimista; los valores monetarios por tCO<sup>2</sup> se tomaron como referencia de otro trabajo realizado por Vélez Posada (2023), además de analizar las fluctuaciones del mercado internacional de carbono (THE WORLD BANK, 2023) e informes del GRUPO BANCO MUNDIAL (2023). Y siendo conservadores, se consideró una tasa de descuento del 12% en función a estudios de viabilidad de proyectos en finanzas sostenibles presentados por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y Corporación Financiera Nacional (CFN) de Ecuador. A partir de esto se construyó un flujo de caja para evaluar el potencial económico que tienen los SAF's.

A continuación una breve introducción que aborda el impacto de los GEI en el cambio climático y cómo los SAF's proponen una estrategia de compensación económica para las empresas a través de proyectos de reforestación sostenible. Además, se comparan los costos de riego entre los SAF's y monocultivos.

Los GEI son componentes gaseosos que contribuyen al efecto invernadero que afecta al planeta. Dentro de los principales gases se incluyen el CO<sup>2</sup>, el metano (CH<sub>4</sub>), el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y los gases fluorados. La acumulación de estos gases genera un aumento progresivo de la temperatura en la atmósfera, lo que contribuye al calentamiento global y al cambio climático. Los efectos más notables en la última década fueron los aumentos de sequías, tormentas más potentes, aumento de temperatura, incremento del nivel de los océanos, extinción de especies, escases de alimentos, aumento de enfermedades, pobreza y desplazamiento (Villanueva *et al.*, 2019).

A nivel mundial, durante el periodo de 1850 y 2021, se estima la emisión de 2,5 billones de toneladas de CO<sup>2</sup> a la atmósfera, provenientes principalmente de la quema de combustibles fósiles, deforestación y el uso de tierra. Los principales países que más han contribuido con GEI son EE.UU. (20%), China (11%), Rusia (7%), Brasil (5%) e Indonesia (4%) (BBC New Mundo, 2021).

Si comparamos, las emisiones totales que aporta Ecuador frente a estos países son poco significativas. En Ecuador, los sectores con una contribución alta de GEI son la agricultura y ganadería, principalmente por la deforestación para implementación de sistemas de producción intensivos, ya sea para el sector agrícola o ganadero. Por lo cual, se vuelve crucial la medición y gestión de los GEI para abordar los desafíos sobre el cambio climático, la sostenibilidad ambiental y generar estrategias que estén encaminadas a lograr una producción sostenible (Sánchez & Barrezueta, 2023).

Los SAF's forman parte de las estrategias de compensación para que las empresas puedan limpiar su huella ambiental a través de proyectos de reforestación sostenible. A pesar que las leyes ecuatorianas no permiten la comercialización de ningún tipo de bien de los servicios ecosistémicos (MAATE, 2020). UNOCACE puede alcanzar la certificación ante el estándar GS4GG, demostrando y cuantificando los impactos positivos que ofrecen los SAF's. Sin la necesidad de emitir Reducciones de Emisiones Verificadas (GS VER). Esto es posible gracias a la cooperación de actores clave como South Pole, Halba, COOP y el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE).

En el reporte final sobre el estudio de viabilidad del proyecto FINCA plus, el equipo técnico de South Pole estimó el potencial de captura de carbono, el cual se puede apreciar en el cuadro a continuación.

Cuadro 11. Fijación de CO<sup>2</sup> por hectárea en Sistemas Agroforestales Sucesionales.

Años	Línea base	Ganancia neta de carbono (tCO <sub>2</sub> /ha)	Ganancia anual (tCO <sub>2</sub> /ha)	Escenarios de ingresos monetarios por créditos de carbono		
				Pesimista (\$10 USD/tCO <sub>2</sub> )	Ideal (\$80 USD/tCO <sub>2</sub> )	Optimista (\$130 USD/tCO <sub>2</sub> )
1	-49	-49	0	\$ -	\$ -	\$ -
2		-31	0	\$ -	\$ -	\$ -
3		-13	0	\$ -	\$ -	\$ -
4		5	5	\$50,00	\$400,00	\$650,00
5		23	18	\$180,00	\$1.440,00	\$2.340,00
6		41	18	\$180,00	\$1.440,00	\$2.340,00
7		60	19	\$190,00	\$1.520,00	\$2.470,00
8		78	18	\$180,00	\$1.440,00	\$2.340,00
9		96	18	\$180,00	\$1.440,00	\$2.340,00
10		112	16	\$160,00	\$1.280,00	\$2.080,00
11		128	16	\$160,00	\$1.280,00	\$2.080,00
12		144	16	\$160,00	\$1.280,00	\$2.080,00
13		160	16	\$160,00	\$1.280,00	\$2.080,00
14		176	16	\$160,00	\$1.280,00	\$2.080,00
15		192	16	\$160,00	\$1.280,00	\$2.080,00
16		209	17	\$170,00	\$1.360,00	\$2.210,00
17		222	13	\$130,00	\$1.040,00	\$1.690,00
18		235	13	\$130,00	\$1.040,00	\$1.690,00
19		249	14	\$140,00	\$1.120,00	\$1.820,00
20		262	13	\$130,00	\$1.040,00	\$1.690,00
21		275	13	\$130,00	\$1.040,00	\$1.690,00
22		289	14	\$140,00	\$1.120,00	\$1.820,00
23		302	13	\$130,00	\$1.040,00	\$1.690,00
24		315	13	\$130,00	\$1.040,00	\$1.690,00
25		328	13	\$130,00	\$1.040,00	\$1.690,00
26		342	14	\$140,00	\$1.120,00	\$1.820,00
27		355	13	\$130,00	\$1.040,00	\$1.690,00
28		368	13	\$130,00	\$1.040,00	\$1.690,00
29		381	13	\$130,00	\$1.040,00	\$1.690,00
30		395	14	\$140,00	\$1.120,00	\$1.820,00
<b>Total</b>				<b>\$3.950,00</b>	<b>\$31.600,00</b>	<b>\$51.350,00</b>

<b>VNA</b>	<b>\$1.204,04</b>	<b>\$9.632,33</b>	<b>\$15.652,53</b>
------------	-------------------	-------------------	--------------------

Como podemos observar para el caso de los productores que maneja UNOCACE, la tasa de descuento inicial por cambio de uso de suelo se estima en 49 tCO<sup>2</sup>/ ha; esto debido a que principalmente la renovación se realiza en plantaciones viejas e improductivas de cacao nacional y se conservan las especies arbustivas y maderables del paisaje.

Las ganancias netas de tCO<sup>2</sup> fijado por hectárea son de 395 tCO<sup>2</sup> en un horizonte de 30 años de vida útil del SAF's, con tasas anuales promedio de fijación de 18 tCO<sup>2</sup> en las etapas juveniles del sistema, llegando a estandarizarse en un 14 tCO<sup>2</sup> en su etapa de madurez. En investigaciones donde han comparado el potencial de fijación de tCO<sup>2</sup> de los SAF's y bosques secundarios no encontraron diferencias estadísticas significativas y hace referencia a que mientras la arquitectura y diseño de los SAF's se asemeje a la de un bosque en sucesión natural, el servicio ecosistémico de fijación y almacenamiento de carbono será mayor en comparación a otros sistemas que no poseen todos estos componentes del ecosistema. La tendencia de fijación de tCO<sup>2</sup> en sistemas jóvenes será mayor y disminuirá con el tiempo, aumentando el almacenamiento de carbono en su biomasa aérea y subterránea (Mena-Mosquera & Andrade, 2021).

A pesar que la constitución de Ecuador no permite la comercialización de bonos de carbono, vamos a realizar una simulación de cuáles serían los ingresos por la transacción de estos bonos que fijaría un productor por hectárea renovada bajo la metodología de SAF's. Cabe resaltar que son ingresos brutos, no incluye gastos operativos y de gestión para la obtención del certificado. Para estimar el precio de oferta en dólares americanos por tonelada de CO<sup>2</sup>, hemos simulado tres escenarios (pesimista, probable y alentador) basados en investigaciones realizadas por Vélez Posada (2023) y estadísticas de fluctuación del mercado internacional de carbono (THE WORLD BANK, 2023). En el informe del GRUPO BANCO MUNDIAL (2023) el precio internacional del carbono deberá aumentar a \$100 /tCO<sup>2</sup> con la finalidad de mantener el compromiso de los países de mantener el calentamiento global por debajo de los 2°C. Por lo consiguiente, siendo conservadores, se trabajó con un valor de \$80. Con un escenario ideal, una hectárea SAF's podría generar \$31.600,00 por la transacción de 395 tCO<sup>2</sup> fijadas. Si calculamos cuántos sería ese flujo de ingresos futuros, con una tasa del 12%, su VNA sería \$9.632,33.

De manera similar, los beneficios obtenidos en ahorro económico en la utilización de riego son notables en la comparación de estos sistemas. A continuación, se presenta un cuadro donde se detallan los costos por riego que tiene que asumir un agricultor a razón del sistema productivo. Los valores referenciales como la cantidad de jornales por riego, costo por jornal e insumos fueron obtenidos en mesas de trabajo con los agricultores propietarios de los sistemas.

Cuadro 12. Comparación del costo por uso del riego en los sistemas monocultivo y SAF's

<b>Periodo 2022</b>	<b>Monocultivo</b>	<b>SAF's</b>
Cantidad de riegos	21,5	7,8
Jornales por riego	1	1
Precio jornal	\$ 20,00	\$ 20,00
Costo riego	\$430,00	\$156,00
Insumos	\$ 215,00	\$ 78,00
Costo total del agua	\$ 645,00	\$234,00

Cantidad (m <sup>3</sup> ) de agua de riego en el año 2022	4125	2024
Costo por m <sup>3</sup> de agua	\$ 0,16	\$ 0,12

Podemos apreciar que, durante el periodo 2022, los sistemas monocultivos regaron un promedio de tres veces más que los SAF's. Los costos anuales promedio que un agricultor gasta en riego son \$645 si maneja sistemas monocultivo y en SAF's con un costo por año \$234. El costo equivalente por m<sup>3</sup> de agua utilizado es de \$0,16 para los sistemas monocultivo y \$0,12 en los SAF's. Es importante resaltar que, a pesar de la etapa juvenil del sistema, pueden comenzar a verse los efectos proporcionados por los servicios ecosistémicos (Azero, 2018), demostrándose ser una herramienta útil en manos de agricultores campesinos.

El cuadro a continuación muestra la comparación entre los sistemas SAF's en relación al costo por el uso del recurso hídrico para el riego en un horizonte de 30 años. En ambos escenarios partimos con la misma cantidad de riegos que equivalen a dos riegos semanales durante 6 meses (periodo de sequía), en total 48 riegos/año.

Para determinar el costo del riego anual se multiplicó el número de riegos por el valor del jornal de trabajo (\$20). Se asume un jornal por riego debido a que todos los sistemas cuentan con riego tecnificado (riego por aspersión). Adicionalmente se suma el costo por insumos menores (\$10) por el número de riego; estos insumos pueden ser gasolina, aceite, acoples, entre otros.

En el caso de los SAF's, el porcentaje de números de riego va disminuyendo conforme a los resultados obtenidos en el periodo de levantamiento del año 2022, hasta llegar a los 7,8 riegos en el año 6. A partir de este año trabajaremos bajo el supuesto que se reducirá en un 50% el número de riego conforme pasan los años hasta llegar a un punto en el cual el sistema ya no demanda agua de riego.

En el caso de los monocultivos, el porcentaje de riego disminuye de igual forma hasta equiparar con la información recopilada que son los 21,5 riegos al año 9. A partir de este año se trabajará con el supuesto que la demanda de agua de riego se mantiene constante.

Cuadro 13. Ahorro marginal del uso del riego en sistemas SAF's y monocultivos.

Año	SAF's		Monocultivo	
	Cantidad de riegos	Costo riego anual	Cantidad de riegos	Costo riego anual
1	48,0	\$1.440,00	48	\$1.440,00
2	38,4	\$1.152,00	48	\$1.440,00
3	28,8	\$864,00	48	\$1.440,00
4	20,2	\$604,80	48	\$1.440,00
5	13,1	\$393,12	48	\$1.440,00
6	7,8	\$235,50	43,2	\$1.296,00
7	3,9	\$117,75	36,7	\$1.101,60
8	2,0	\$58,87	29,4	\$881,28
9	1,0	\$29,44	21,5	\$645,10
10	0,5	\$14,72	21,5	\$645,10
11	0,2	\$7,36	21,5	\$645,10
12	0,1	\$3,68	21,5	\$645,10

13	0,1	\$1,84	21,5	\$645,10
14	0,0	\$0,00	21,5	\$645,10
15	0,0	\$0,00	21,5	\$645,10
16	0,0	\$0,00	21,5	\$645,10
17	0,0	\$0,00	21,5	\$645,10
18	0,0	\$0,00	21,5	\$645,10
19	0,0	\$0,00	21,5	\$645,10
20	0,0	\$0,00	21,5	\$645,10
21	0,0	\$0,00	21,5	\$645,10
22	0,0	\$0,00	21,5	\$645,10
23	0,0	\$0,00	21,5	\$645,10
24	0,0	\$0,00	21,5	\$645,10
25	0,0	\$0,00	21,5	\$645,10
26	0,0	\$0,00	21,5	\$645,10
27	0,0	\$0,00	21,5	\$645,10
28	0,0	\$0,00	21,5	\$645,10
29	0,0	\$0,00	21,5	\$645,10
30	0,0	\$0,00	21,5	\$645,10
<b>Total</b>		<b>\$4.923,08</b>		<b>\$24.671,01</b>
<b>VNA</b>		<b>\$3.641,68</b>		<b>\$8.693,48</b>
<b>Ahorro marginal</b>			<b>\$5.051,80</b>	

Como podemos observar, a pesar que la investigación en campo con los tensiómetros no mostró una diferencia estadística fuerte en relación a las tensiones del suelo, lo podemos ver reflejado en el costo por el uso del riego en el horizonte del tiempo. El ahorro marginal proyectado en los SAF's muestra un ahorro significativo frente a los monocultivos por un valor de \$5.051,80. Por lo consiguiente, los SAF's presentan mayor rentabilidad y viabilidad en ahorro del recurso hídrico.

Bajo este supuesto, los SAF's a partir del año 10 ya no realizan ni siquiera un riego completo, siendo completamente innecesario el riego a partir del año 14, mientras que los sistemas monocultivo mantienen una constante de 21,5 riegos/año que tentativamente puede aumentar por el calentamiento global. Esta hipótesis se valida con experiencias de otras empresas dedicadas a la agroforestería dinámica con años de experiencia como ECOTOP, cuyo mentor es Ernst Götsch, padre fundador de la agricultura sintrópica. Sus trabajos a nivel mundial resaltan su compromiso con una agricultura sostenible.

En síntesis, se propone a los SAF's como una estrategia de compensación a través de proyectos de reforestación sostenible, que puede fijar CO<sub>2</sub> y generar ingresos económicos mediante los bonos de carbono. Además, la comparación realizada de los costos de riego entre SAF's y monocultivos, evidencia que los SAF's son más eficientes y rentables en el uso del recurso hídrico, lo que resalta su potencial para promover prácticas agrícolas sostenibles en Ecuador.

## Capítulo 6- Implicaciones y recomendaciones para agronegocios sostenibles

Los agronegocios sostenibles tienen importantes implicaciones clave para promover sostenibilidad en la agricultura y en la cadena de suministro de alimentos. El desarrollo sostenible de la comunidad necesita que los agronegocios sean sostenibles, porque de esta forma contribuyen a la seguridad alimentaria, al crecimiento económico, social y del medio ambiente. Además, desempeñan un rol fundamental en la mitigación del cambio climático mediante la adopción de prácticas que impulsan una producción sostenible y resiliente. Los SAF's pueden formar parte fundamental del modelo de negocio de una empresa, como lo es para UNCOACE, con la cual genera relación de confianza con sus clientes y juntos promueven una cultura de producción que asegura la soberanía alimentaria en sus agricultores y consumidores.

A pesar que la investigación actual no se enfocó en obtener todos los costos implícitos en la implementación y mantenimiento de los sistemas SAF's y monocultivos, es importante reconocer que los SAF's presentan atributos de mayor resiliencia en comparación a los monocultivos. Se puede ver reflejado en la investigación realizada, que concluye que a pesar de no existir una diferencia estadística fuerte en las tensiones del suelo, se refleja un ahorro económico significativo en jornales, insumos, mano de obra y consumo de agua para riego. Sin mencionar la fijación y almacenamiento de CO<sup>2</sup> en el suelo y la biomasa aérea del sistema, con el pasar del tiempo a nivel país se podrá acceder a la comercialización de bonos de carbono. Los sistemas monocultivos podrán tener a simple vista una mejor retribución económica por la maximización de la producción; no obstante, la pregunta importante es: ¿A qué costo? Debemos considerar cuáles son los impactos negativos que promueve una producción insostenible, que siempre va a demandar de insumos externos, afectando la salud del suelo, los agricultores y consumidores.

Es fundamental que los agronegocios enfocados en la producción cacaotera, para que alcancen la sostenibilidad deben adoptar prácticas de producción como sistemas agroforestales, diversificación de especies, uso eficiente de recursos naturales (agua, suelo), entre otras labores culturales que contribuyen a la salud del suelo. Las inversiones nacionales e internacionales en investigación y desarrollo realizadas al sector cacaotero en conjunto con actores públicos (gobiernos, comunidades) y privados (empresas) son esenciales para alcanzar la sostenibilidad económica, social y ambiental para las futuras generaciones.

## Bibliografía

- Agudelo, C., Bustos, S., Cortes, Y., & Moreno, C. (2019). Lo que sabemos y no sabemos sobre los sistemas agroforestales tropicales y la provisión de múltiples servicios ecosistémicos. *Ecosistemas*, 26-35. Obtenido de <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/1697>
- Aguilar-García, R., & Ortega-Guerrero, M. (2017). Análisis de la dinámica del agua en la zona no saturada en un suelo sujeto a prácticas de conservación: implicaciones en la gestión de acuíferos y adaptación al cambio climático. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 91-104. Obtenido de [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1026-87742017000200091](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1026-87742017000200091)
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). Estudio FAO riego y drenaje 56. *Evapotranspiración del cultivo (Guías para la determinación de riego de los requerimientos de agua de los cultivos)*. Obtenido de <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.htm>
- Altieri, M., & Nicholls, C. (2007). Conversión agroecológica de sistemas convencionales de producción: teoría, estrategias y evaluación. *REVISTA CIENTIFICA DE ECOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE*, 3-12. Obtenido de <https://revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/133>
- Ameray, A., Bergeron, Y., Valeria, O., Girona, M., & Cavard, X. (2021). Gestión del carbono forestal: una revisión de las prácticas silvícolas y las estrategias de gestión en los bosques boreales, templados y tropicales. *Representante forestal de Curr.* Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s40725-021-00151-w>
- ANECACAO. (junio de 2023). Mil millones de sonrisas. *CHOKAO*, 48. Obtenido de <https://anecacao.com/wp-content/uploads/2023/07/26.-REVISTA-ANECACAO-junio-2023.pdf>
- Azero, M. (2018). Evaluación de sistemas agroforestales dinámicos en el semiárido de Cochabamba. *Universidad Católica Boliviana San Pablo*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Mauricio-Azero/publication/345648591\\_Evaluacion\\_de\\_sistemas\\_agroforestales\\_dinamicos\\_en\\_el\\_semiarido\\_de\\_Cochabamba\\_Diez\\_estudios\\_de\\_caso\\_de\\_las\\_comunidades\\_de\\_Rodeo\\_Sacaba\\_La\\_Maica\\_Tarata\\_Aramasi\\_Tapacari\\_y\\_Combuyo\\_y\\_P](https://www.researchgate.net/profile/Mauricio-Azero/publication/345648591_Evaluacion_de_sistemas_agroforestales_dinamicos_en_el_semiarido_de_Cochabamba_Diez_estudios_de_caso_de_las_comunidades_de_Rodeo_Sacaba_La_Maica_Tarata_Aramasi_Tapacari_y_Combuyo_y_P)
- BBC New Mundo. (28 de octubre de 2021). Cambio climático: los 5 países que más han contribuido históricamente al calentamiento global. *BBC News Mundo*. Obtenido de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-59074490#:~:text=Estados%20Unidos%20primero%2C%20seguido%20a,los%20mayores%20contaminadores%20del%20mundo>
- Campos, M., Lazo, G., Robaina, F., & Seijas, T. (2020). Curvas tensión humedad y función conductividad hidráulica en suelos pardos. *Ingeniería Agrícola*. Obtenido de <https://ojs.edicionescervantes.com/index.php/IAgric/article/view/1241>



- CARBON NEUTRAL+. (6 de octubre de 2022). *Qué son los bonos de carbono y qué tipos existen?* Obtenido de <https://www.carbonneutralplus.com/proyectos-de-bonos-de-carbono-cuales-son-que-tipos-hay/>
- Carvajal Cajas, C. (2018). Implementación de la metodología CANVAS en el desarrollo de la pequeña industria de la ciudad de Quito–Provincia de Pichincha. *Master's thesis, Universidad Andina Simón Bolívar*. Obtenido de <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/6393/1/T2735-MBA-Carvajal-Implementacion.pdf>
- Chaguay, L., Flores, J., Bayas, T., & Zapata, R. (2019). El modelo de negocio: metodología canvas como innovación estratégica para el diseño de proyectos empresariales. *Journal of science and research*, 87-99. Obtenido de <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/786>
- Clemente-Arenas, E. (2021). Captura de carbono en sistemas agroforestales en el Perú. *Revista Forestal del Perú*, 180-196. Obtenido de <https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/rfp/article/view/1797>
- Contreras del Valle, M. (2022). Valoración de servicios ecosistémicos: herramienta para la toma de decisiones en proyectos de Soluciones basadas en la Naturaleza. *EUROCLIMA+*. Obtenido de <https://www.euroclima.org/en/seccion-publicaciones/tipo-de-documentos/boletines/valoracion-de-servicios-ecosistemicos-herramienta-para-la-toma-de-decisiones-en-proyectos-de-soluciones-basadas-en-la-naturaleza>
- Cumming, G. (2014). Las nuevas estadísticas: por qué y cómo. *Ciencia Psicológica. Sage Journals*, 7-29. doi:<https://doi.org/10.1177/0956797613504966>
- de Lima Abouhamad, S., Ramírez, M., Ramírez, J., Céspedes, K., & Alpizar, A. (2017). Servicios ecosistémicos de regulación que benefician a la sociedad y su relación con la restauración ecológica. *Biocenosis*, 31(1-2). Obtenido de <https://revistas.uned.ac.cr/index.php/biocenosis/article/view/1731>
- Dueñas, D., Guevara, O., & Santacruz, S. (2022). Valoración económica de los bienes y servicios ecosistémicos del bosque protector Jatumpamba-Jorupe. *Revista Geoespacial*, 12-32. Obtenido de <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/revista-geoespacial/article/view/2816>
- El Mercurio. (5 de junio de 2022). *Diario el Mercurio Cuenca*. Obtenido de <https://elmercurio.com.ec/2022/06/05/el-potencial-de-los-bonos-de-carbono-en-ecuador/>
- ESPAC. (2022). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua*. Ecuador: INEC. Obtenido de [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_agropecuarias/espac/espac\\_2022/PPT\\_%20ESPAC\\_%202022\\_04.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2022/PPT_%20ESPAC_%202022_04.pdf)
- ESPAC. (2023). *Módulo de Información Ambiental y Tecnificación Agropecuaria*. Ecuador: INEC. Obtenido de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web->



inec/Encuestas\_Ambientales/Modulo\_Ambiental\_2022/PPT\_MOD\_AMB\_ESPAC\_2022\_04.pdf

- EU REDD Facility. (noviembre de 2021). Diagnóstico de la cadena de valor del cacao, y mapeo de los indicadores y sistemas de información existentes. Obtenido de [https://euredd.efi.int/wp-content/uploads/2022/09/Informe-1\\_Diagnostico-cadena-Cacao\\_Ecuador.pdf](https://euredd.efi.int/wp-content/uploads/2022/09/Informe-1_Diagnostico-cadena-Cacao_Ecuador.pdf)
- FAO. (2017). El futuro de la alimentación y la agricultura. Tendencias y desafíos. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de <https://www.fao.org/3/i6881s/i6881s.pdf>
- FAO. (2019). El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Progresos en la lucha contra la pérdida y el desperdicio de alimentos. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de <https://www.fao.org/3/ca6030es/ca6030es.pdf>
- FAO, & PNUMA. (2020). El estado de los bosques del mundo 2020. *Los bosques, la biodiversidad y las personas*. doi:<https://doi.org/10.4060/ca8642es>
- Giraldo, V. (2019). Conducta e incentivos de las empresas desarrolladoras y comercializadoras de proyectos para la generación de bonos de carbono en los mercados voluntarios de carbono. (*Doctoral dissertation, Universidad EAFIT*). Obtenido de <https://repository.eafit.edu.co/server/api/core/bitstreams/959f162c-7a5f-4f96-afec-6aadd080289e/content>
- Grasso, A., Berrueta, A., Giménez, A., Alzugaray, T., & Grande, I. (2022). Manejo del riego con tensiómetros en cultivos hortícolas protegidos. *INIA*, 78-81. Obtenido de <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/16541/1/Revista-INIA-69-Junio-2022-15.pdf>
- GRUPO BANCO MUNDIAL. (2023). INFORME SOBRE CLIMA Y DESARROLLO DEL PAÍS. Obtenido de <https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/d025fec0-ff90-4d3e-b49f-f57ce74a79ad/content>
- Hoffland, E., Kuyper, T., Comans, R., & Creamer, R. (2020). Eco-functionality of organic matter in soils. *Plant Soil*, 455: 1-22. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-020-04651-9>
- Hütz-Adams, F., Feldt, H., & Mürlebanch, M. (2016). Study on the establishment of a Cocoa Sustainability Fund. *SÜDWIND eV-Institut für Ökonomie und Ökumene*. Obtenido de [https://www.icco.org/?media\\_dl=2528](https://www.icco.org/?media_dl=2528)
- IBM. (2023). GLM:Comparaciones post hoc. *SPSS Statistics Subscription*. Recuperado el 4 de enero de 2024, de <https://www.ibm.com/docs/es/spss-statistics/saas?topic=analysis-glm-post-hoc-comparisons>
- International Cocoa Germplasm Database. (3 de Enero de 2024). Obtenido de <https://www.icgd.reading.ac.uk/>

- IRROMETER. (2023). *IRROMETER SOIL WATER MANAGEMENT SINCE 1951*. Recuperado el 6 de enero de 2024, de <https://www.irrometer.com/pdf/714.pdf>
- ITC. (3 de enero de 2024). *Trade Map*. Obtenido de [https://www.trademap.org/Country\\_SelProduct\\_TS.aspx?nvpm=3%7c%7c%7c%7c%7c1801%7c%7c%7c4%7c1%7c1%7c2%7c2%7c1%7c2%7c1%7c1%7c1](https://www.trademap.org/Country_SelProduct_TS.aspx?nvpm=3%7c%7c%7c%7c%7c1801%7c%7c%7c4%7c1%7c1%7c2%7c2%7c1%7c2%7c1%7c1%7c1)
- Japón Contento, L., & Peñafiel Tandazo, V. (2023). Impacto de la guerra entre Rusia y Ucrania en el comercio exterior ecuatoriano. *Bachelor's thesis*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24783>
- Jost, L. (2018). ¿Qué entendemos por diversidad. El camino hacia la cuantificación. *Mètode Science Studies Journal*, 39-45. Obtenido de <https://metode.es/wp-content/uploads/2018/07/98ES-MONO-1-jost-diversidad-cuantificacion.pdf>
- Jost, L., & González-Oreja, J. (2012). Midiendo la diversidad biológica: más allá del índice de Shannon. *Acta Zoologica Lilloana*, 3-14. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Jose-Gonzalez-Oreja/publication/230634099\\_Midiendo\\_la\\_diversidad\\_biologica\\_mas\\_alla\\_del\\_indice\\_de\\_Shannon/links/09e4150a0c87396835000000/Midiendo-la-diversidad-biologica-mas-alla-del-indice-de-Shannon.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jose-Gonzalez-Oreja/publication/230634099_Midiendo_la_diversidad_biologica_mas_alla_del_indice_de_Shannon/links/09e4150a0c87396835000000/Midiendo-la-diversidad-biologica-mas-alla-del-indice-de-Shannon.pdf)
- Leiva-Rojas, E., Sigindioy, L., & Ramirez-Pizco, R. (noviembre de 2017). DINÁMICA HÍDRICA DEL CACAO (*Theobroma cacao* L.). *International Symposium on Cocoa Research (ISCR)*, 13-17. Obtenido de <https://www.icco.org/wp-content/uploads/T2.237.DINAMICA-HIDRICA-DEL-CACAO-Theobroma-cacao-L..pdf>
- Loor Loor, J., & Mora, V. N. (2021). Modelo canvas: análisis de herramienta para fortalecer emprendimientos en el centro de la ciudad de Guayaquil. *Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil*. Obtenido de <https://repositorio.ug.edu.ec/items/0c8a7970-5e48-4d48-94e2-116427a0abcf>
- MAATE. (18 de noviembre de 2020). *Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica*. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/comunicado-27/#:~:text=18%20de%20noviembre%20de%202020&text=Mediante%20este%20comunicado%2C%20aclaramos%20que,del%20Ecuador%20en%20su%20Art>
- Mantínez Hernández, D. (2020). Conservación de los servicios ecosistémicos mediante sistemas agroforestales en el matorral espinoso. (*Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León*). Obtenido de [https://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:GQWOMRf1npEJ:scholar.google.com/+Conservaci%C3%B3n+de+los+servicios+ecosist%C3%A9micos+mediante+sistemas+agroforestales+en+el+matorral+espinoso&hl=es&as\\_sdt=0,5](https://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:GQWOMRf1npEJ:scholar.google.com/+Conservaci%C3%B3n+de+los+servicios+ecosist%C3%A9micos+mediante+sistemas+agroforestales+en+el+matorral+espinoso&hl=es&as_sdt=0,5)
- Martínez Arévalo, J. (2022). El cálculo de diversidad biológica. Parte I: Diversidad biológica alfa. *Universidad de San Carlos de Guatemala*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Jose-Vicente-Martinez-Arevalo/publication/372854379\\_El\\_calculo\\_de\\_diversidad\\_biologica\\_Parte\\_I\\_Diversidad\\_biologica\\_alfa/links/64ca8f3c91fb036ba6bfa747/El-calculo-de-diversidad-biologica-Parte-I-Diversidad-biologica-al](https://www.researchgate.net/profile/Jose-Vicente-Martinez-Arevalo/publication/372854379_El_calculo_de_diversidad_biologica_Parte_I_Diversidad_biologica_alfa/links/64ca8f3c91fb036ba6bfa747/El-calculo-de-diversidad-biologica-Parte-I-Diversidad-biologica-al)










- Mena-Mosquera, V., & Andrade, H. (2021). Potencial de reducción de emisiones y captura de carbono en bosques y sistemas agroforestales con cacao en el Pacífico colombiano. *Revista de Biología Tropical*, 1252-1263. Obtenido de [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-77442021000401252](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442021000401252)
- Mendoza, R., & Espinoza, A. (2017). Guía técnica para muestreo de suelos. *Universidad Nacional Agraria*. Obtenido de <https://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/3613>
- Milz, J. (2020). Effects of shade tree pruning on cocoa yields in dynamic agroforestry systems in Alto Beni, Bolivia. *University of Kassel*. Obtenido de <https://systems-comparison.fibl.org/results/capacity-development/theses-and-internship-reports.html>
- Mora, F., Torres, L., Barzallo, A., & Quintanilla, M. (2022). Índices de calidad en la comercialización del cacao (*Theobroma cacao* L.) en Ecuador. *Journal of Science and Research: Revista Científica e Investigación*, 42. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8808261>
- Murcillo, J., Gentili, J., & Cara, R. (2020). Uso agrícola del suelo y demanda de agua para riego en la cuenca del río Vinces (Ecuador) durante el período 1990–2014. *Investigaciones Geográficas*. Obtenido de <https://revistahistoriaindigena.uchile.cl/index.php/IG/article/view/56958>
- Muscarella, R., Emilio, T., Phillips, O., & et al. (2020). The global abundance of tree palms. *Global Ecol Biogeogr*, 1495-1514. doi:<https://doi.org/10.1111/geb.13123>
- Niether, W., Jacobi, J., Blaser, W., Andres, C., & Armengot, L. (2020). Cocoa agroforestry systems versus monocultures: a multi-dimensional meta - analysis. *Environmental Research*, 10. Obtenido de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/abb053/meta>
- Opoku, E., Ræbild, A., Asare, R., Amoatey, C., Markussen, B., Owusu, K., . . . Vaast, P. (julio de 2023). Combined effects of shade and drought on physiology, growth, and yield of mature cocoa trees. (E. Paoletti, Ed.) *Science of Total Environment*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969723042808?via%3Dihub>
- Ordoñez-Espinoza, C.-M., Suárez-Salazar, J.-C., Rangel-Churio, J.-O., & Saavedra-Mora, D. (2020). Los sistemas agroforestales y la incidencia sobre el estatus hídrico en árboles de cacao. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 256-267. Obtenido de <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/1623>
- Ramirez Silva, S. (2023). Necesidades hídricas del *Theobroma cacao* L. (cacao) en la etapa de producción, finca Miraflores, Nuevo Bambamarca-Toache. *Universidad Nacional Agraria de la Selva*. Obtenido de [https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/2589/TS\\_SBRS\\_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/2589/TS_SBRS_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Rodríguez Echavarría, T., & Prunier, D. (2020). Extrativismo agrícola, frontera y fuerza de trabajo migrante: *Frontera norte*. Obtenido de [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-73722020000100105&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-73722020000100105&script=sci_arttext)
- Sánchez, P., & Barrezueta, L. (2023). <Centros de datos verdes en Ecuador: Una estrategia para disminuir la emisión de CO2 en los Centros de Datos ecuatorianos. *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, 1-18. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8955428>
- Sharys, S., Stevani, R., & Galarco, S. (2022). *Clasificación de los SAF*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). Obtenido de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/132087>
- Silva Julca, R. (2020). Capacidad de retención del agua disponible en suelos agrícolas de acuerdo a la textura y al contenido de materia orgánica, transecto Huaura-Mazo. *Universidad Católica Sedes Sapientiae*. Obtenido de <https://repositorio.ucss.edu.pe/handle/20.500.14095/837>
- Somarriba, E. (1999). Diversidad Shannon. *Agroforestería en las Américas*, 23. Obtenido de <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6079>
- Somarriba, E., & López Sampson, A. (2018). Coffe and Cocoa Agroforestry Systems: Pathways to Deforestation, Reforestation, and Tree Cover Change. Obtenido de <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/9035>
- THE WORLD BANK. (2023). *Panel de precios del carbono*. Recuperado el noviembre de 2023, de [https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/map\\_data](https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/map_data)
- Truitt, G. (2019). Monocultivos: la amenaza de los "desiertos verdes" de hoy para la producción alimentaria de mañana. *The Nature Conservancy*. Obtenido de <https://www.nature.org/es-us/que-hacemos/nuestra-vision/perspectivas/monocultivos-amenaza-desiertos-verdes-produccion-alimentaria/>
- UNESCO. (2020). *AGUA Y CAMBIO CLIMÁTICO. ECUADOR: UN WATER*. Obtenido de [https://www.pseau.org/outils/ouvrages/unesco\\_informe\\_mundial\\_de\\_las\\_naciones\\_unidas\\_sobre\\_el\\_desarrollo\\_de\\_los\\_recursos\\_hidricos\\_2020\\_agua\\_y\\_cambio\\_climatico\\_datos\\_y\\_cifras\\_2020.pdf](https://www.pseau.org/outils/ouvrages/unesco_informe_mundial_de_las_naciones_unidas_sobre_el_desarrollo_de_los_recursos_hidricos_2020_agua_y_cambio_climatico_datos_y_cifras_2020.pdf)
- UNOCACE. (3 de enero de 2023). *Unión de organizaciones Campesinas Cacaoteras*. Obtenido de <https://new.unocace.com/>
- Urrutia Triviño, K., & Gonzáles Osorio, B. (2022). Indicadores ambientales y económicos en la producción de cacao (theobroma cacao l.) ccn-51 en el cantón Quinsaloma. *Universidad Técnica Estatal de Quevedo*. Obtenido de <https://repositorio.uteq.edu.ec/items/da9341dc-c700-4db9-bd60-ac40a961314a>
- Varela, L., & Ron, S. (2018). Geografía y clima del Ecuador. *Ponificia Universidad Católica del Ecuador - Anfibios del Ecuador*. Obtenido de <https://bioweb.bio/faunaweb/amphibiaweb/GeografiaClima/>

- Velásquez Vaca, J. (2020). Sustentabilidad de Fincas Productoras de Cacao Nacional y CCN51 en la Provincia de Los Ríos en los cantones (Babahoyo, Montalvo, Ventanas). *Universidad Técnica de Babahoyo*. Obtenido de <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/8222>
- Vélez Posada, M. (2023). Estudio de prefactibilidad para la oferta de bonos de carbono en cultivos y de reforestación de terrenos baldíos en Colombia. *Universidad EAFIT*. Obtenido de <https://repository.eafit.edu.co/items/85b709a7-ff58-4d20-b345-df7d6a47c2eb>
- Veloz Cordero, R. L., & Parada Gutiérrez, O. (2020). ANÁLISIS SOCIOECONOMICOS DE LOS PEQUEÑOS PRODUCTORES DE CACAO DEL RECINTO EL GUABITO, CANTÓN MOCACHE, PROVINCIA DE LOS RÍOS, ECUADOR. *TEORÍAS, ENFOQUES Y APLICACIONES EN LAS CIENCIAS SOCIALES*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7770765>
- Ver, C. (2019). Carbon markets 101. The ultimate guide to global offsetting mechanisms. *Carbon Market Watch*, 7. Obtenido de <https://carbonmarketwatch.org/wp/wp-content/uploads/2019/06/CMW-CARBON-MARKETS-101-THE-ULTIMATE-GUIDE-TO-MARKET-BASED-CLIMATE-MECHANISMS-WEB-FINAL-SINGLE.pdf>
- Villanueva, B., Salvador, M., & Huelgas, R. (2019). Cambio climático y salud. *Revista Clínica Española*, 260-265. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rce.2019.01.004>.
- Wilson, M., & Lovell, S. (2016). Agroforestry - The next step in Sustainable and Resilient Agriculture. *Sustainability*, 574. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/su8060574>
- Zavala, W., Merino, E., & Pélaez, P. (2018). Influencia de tres sistemas agroforestales del cultivo de cacao en la captura y almacenamiento de carbono. *Scientia Agropecuaria*, 493-501. Obtenido de <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.04>
- Zuñiga Olvera, F. (2022). Impacto del Covid-19 en la fluidez de contenedores en el Ecuador. *Bachelor's thesis*. Obtenido de <https://repositorio.ecotec.edu.ec/handle/123456789/533>

Anexos

Anexo 1. Modelo de negocios UNOCACE (CANVAS) - Ultima actualización el 12/07/2023.

<p><b>Socios Claves</b> </p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Asociaciones de base:</b> 25 asociaciones de base ubicadas en las provincias de: Guayas, Los Ríos, El Oro, Santa Elena, Cañar, Manabí, Esmeraldas, Chimborazo, Sucumbios, Cotopaxi, y Bolívar</li> </ul> <p><b>Halba:</b> Parte del grupo COOP que procesa alimentos procesados; posee un alto compromiso con la sostenibilidad y apoya proyectos de cacao en 6 países (Fica Plus, 3 años más, AINatura, tableta de chocolate).</p> <p><b>Alter Eco:</b> Cliente de Chocolats Halba desde hace 10 años/ gran parte del Cacao que compran es de UNOCACE; apoya productos CO2 neutral.</p> <p><b>Rausch:</b> Expansión del mercado para comercio justo</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Organismos no gubernamentales</b> Mantiene relaciones con varias instituciones que apoyan a UNOCACE por varios años en proyectos de apoyo organizativo y comercial: GIZ, , South Pole, FONDAGUA, Heifer, TNC, Rikolto, CODESPA, COAPADE, Plan Internacional, F. Waapl, Trias, JICA</li> <li><b>Ministerios MAG, MAATE, MPCEIP:</b> Organismos del estado que apoyan a la cadena de valor de cacao</li> <li><b>GAD locales: Guayas y El Oro</b></li> <li><b>Comercio Justo:</b> socios estratégicos con los que mantiene convenios son: CLAC, CECI, Organizaciones certificadas FT de Ecuador (alianzas estratégicas para mercados JRDS)</li> </ul>	<p><b>Actividades Claves</b> </p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Capacitación, asistencia técnica y servicio a organizaciones productores asociadas (producción, centros de acopio y temas financieros)</li> <li>Manejo del Sistema Gestión Interno para todas las certificaciones ambientales, sociales y de calidad (orgánica, comercio justo, entre otras en relación con el cliente)</li> <li>Implementación de trazabilidad y sistemas de Debita Diligencia para LDD</li> <li>Cosecha y postcosecha de cacao y productos asociados a través de su red</li> <li>Acopio y comercialización asociativa de cacao y productos asociados y con valor agregado</li> <li>Fomento del sistema de agroforestería dinámica y CO2 neutral.</li> <li>Articulación con instituciones para desarrollo de proyectos y actividades productivas</li> <li>Inclusión de jóvenes y equidad de género de manera transversal</li> <li>Fomento a la gobernanza y representación de pequeños productores</li> <li>Investigación e innovación para desarrollo de prácticas productivas y de comercialización</li> </ul> <p><b>Recursos Claves</b> </p> <p><b>Personal:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Directiva: 8 (5 consejos de administración y 3 de c. de vigilancia)</li> <li>Área técnica: 29 personas</li> <li>Área de producción: 15 personas</li> <li>Área de calidad: 2 personas</li> <li>Área administrativa: 6 personas</li> <li>Área comercial: 2 personas</li> </ul> <p><b>Financiamiento:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Capital propio</li> <li>Financiamiento externo (Fair Capital, Banco ProCREDIT)</li> <li>Financiamiento clientes de 60 a 80%</li> <li>Financiamiento de organismos de apoyo</li> </ul> <p><b>Infraestructura central:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Centro de acopio central 19.300 m2 y centros locales (14)</li> <li>Área administrativa y bodega 1700 m2</li> <li>3 secadores industriales y 1 clasificadora</li> <li>Maquinaria para operación de procesos industriales</li> <li>Cuarto frío (contenedor de 40 pies)</li> <li>2 empacadora de oritos</li> <li>Bines (60) y módulo de fermentación (36)</li> <li>Laboratorio de calidad</li> <li>Planta para bio insumos (100.000 litros de bio)</li> <li>7 vehículos y maquinaria industrial</li> </ul>	<p><b>Propuesta de Valor</b> </p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1960 agricultores de Cacao pertenecientes a 25 organizaciones de base articulados a UNOCACE (965 certificados).</li> <li>Oferta de 2.000 TM de cacao cultivado por pequeños productores bajo un sistema de comercialización asociativo y justo (75% nacional).</li> <li>1200 Tm Cacao nacional de alta calidad que cuenta con certificación orgánica y de comercio justo.</li> <li>694 has de cacao cultivado en sistemas agroforestales y con principios de agroforestería dinámica</li> <li>Oferta de productos libre deforestación con base al reglamento EUDR</li> <li>Oferta de productos de calidad manejados con adecuados procesos de cosecha, postcosecha y trazabilidad</li> <li>Fomento de prácticas responsables con el medio ambiente y generación de servicios ecosistémicos cuantificados (captura de CO2, protección de RRRN, retención agua, biodiversidad, restauración paisajes)</li> <li>Capacitación y asistencia técnica a productores para mejorar productividad y calidad integral.</li> <li>Oferta de semielaborados de cacao, chocolates y frutales asociados a los sistemas productivos, principalmente: plátano dominico, barraganete y yuca, banano, orito, limón sutil</li> <li>Generación de bienes y servicios para los productores asociados (AT, Bioinsumos, comercialización asociativa, Apoyo en la Certificación)</li> <li>Buenas relaciones con compradores basadas en un servicio personalizado, eficiente y de calidad.</li> <li>Generación y acceso a indicadores y datos socio -económicos y productivos relevantes de los productores (Living Income).</li> <li>Cooperación en generación de información y estudios a nivel productivo, social y comercial de productores.</li> </ul>	<p><b>Relaciones con el Cliente</b> </p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Los pedidos se formalizan con acuerdos de compra, contratos anuales y requerimientos de calidad.</li> <li>Los compradores solicitan el producto, la cantidad y la calidad requerida, en la transacción se solicitan anticipos.</li> <li>Se fija precio de compra con los clientes en base a la calidad y otros requerimientos (certificaciones)</li> <li>Se cuenta con convenios y alianzas estratégicas con clientes para apoyo de proyectos.</li> <li>Las asociaciones proveen las cantidades requeridas por UNOCACE</li> </ul> <p><b>Canales</b> </p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Los productores entregan el cacao a los centros de acopio de sus asociaciones.</li> <li>El 60% del cacao su proceso de postcosecha realizado en los centros de acopio las organizaciones asociadas</li> <li>Los volúmenes reunidos son transportados al centro de acopio principal de UNOCACE (El Deseo)</li> <li>El producto es acopiado, clasificado y evaluado por UNOCACE antes de su comercialización.</li> <li>Se maneja un base de datos con la trazabilidad de los productos y la cantidad entregada por los productores.</li> <li>Las ventas son del 5% para mercado local y del 95% para exportación</li> <li>UNOCACE realiza proceso de exportación a sus clientes</li> </ul>	<p><b>Segmentos de Clientes</b> </p> <p><b>Necesidades del cliente:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Oferta de cacao y productos asociados con certificación orgánica, comercio justo, entre otras</li> <li>Productos libres de residuos químicos, bajos niveles de metales pesados y libre de deforestación</li> <li>Que los volúmenes solicitados cumplan parámetros de calidad, y que se mantenga el perfil sensorial ofrecido</li> <li>Aplicación del modelo de agroforestería dinámica para mejorar la calidad de vida de los productores.</li> <li>Incorporación de estrategias para cuantificar servicios ambientales como la compensación de CO2</li> <li>Información sobre el origen incluyendo procesos de visualización, trazabilidad y debida diligencia (indicadores)</li> </ul> <p><b>Clientes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Las ventas estimadas de cacao a clientes actuales y su participación es:             <table border="1" data-bbox="1489 710 1724 949"> <tr><td>Halba</td><td>50%</td></tr> <tr><td>Berrrain</td><td>5%</td></tr> <tr><td>Rausch</td><td>4%</td></tr> <tr><td>JRDS</td><td>16%</td></tr> <tr><td>Ethiquable</td><td>8%</td></tr> <tr><td>Altromercato</td><td>3%</td></tr> <tr><td>Sumnerbird</td><td>3%</td></tr> <tr><td>EDC</td><td>1%</td></tr> <tr><td>Conexion</td><td>1%</td></tr> <tr><td>Chocolayenda</td><td>1%</td></tr> <tr><td>Latalal</td><td>3%</td></tr> <tr><td>Mercado de China y otros</td><td>3%</td></tr> </table> </li> <li>Otros productos             <ul style="list-style-type: none"> <li>Merakgro (plátano)</li> <li>Diana Food (banano)</li> <li>Planhoha (limón)</li> <li>AgroApoyo (plátano)</li> <li>Daily harvest (semi elaborados de cacao)</li> </ul> </li> </ul> <p><small>Nota: El cacao es el 98% de la facturación, pero en volumen solo el 80%, siendo los otros productos el 20% en volumen y solo 2% en facturación</small></p>	Halba	50%	Berrrain	5%	Rausch	4%	JRDS	16%	Ethiquable	8%	Altromercato	3%	Sumnerbird	3%	EDC	1%	Conexion	1%	Chocolayenda	1%	Latalal	3%	Mercado de China y otros	3%
Halba	50%																											
Berrrain	5%																											
Rausch	4%																											
JRDS	16%																											
Ethiquable	8%																											
Altromercato	3%																											
Sumnerbird	3%																											
EDC	1%																											
Conexion	1%																											
Chocolayenda	1%																											
Latalal	3%																											
Mercado de China y otros	3%																											
<p><b>Beneficios del modelo de negocios</b> </p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>SOCIALES:</b> (1) Comercialización asociativa de cacao y otros productos de la finca a precios competitivos y superiores al promedio local; peso justo para sus proveedores; (2) seguridad y soberanía alimentaria para los socios</li> <li><b>AMBIENTALES:</b> (1) Se promueve la diversidad en las fincas a través del establecimiento de sistemas agroforestales y principios de agroforestería dinámica. (2) se mantiene la diversidad (3) generación de servicios ecosistémicos: protección de los recursos naturales agua y suelo, Captación de CO2</li> <li><b>PRODUCTIVOS:</b> (1) Implementación de parcelas DAF, (2) Desarrollo y comercialización de cadenas productivas (3) Brigadas de Podas, (4) Asistencia técnica (5), seguro</li> </ul>		<p><b>Flujos de Ingresos</b> </p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>UNOCACE:</b> Recibe anticipos, gestiona créditos y administra los recursos para la compra de cacao y productos asociados; gestiona recursos para la implementación de proyectos productivos y de fortalecimiento asociativo; Maneja los recursos financieros y anticipos para la comercialización</li> <li><b>Asociaciones:</b> Administran y pagan a productores que entregan cacao; a través de asambleas y reuniones técnicas coordinan con UNOCACE los requerimientos de volumen y calidad para cada producto solicitado.</li> <li><b>Productores:</b> Los productores asociados entregan cacao y obtienen un precio final superior al mercado local; el pago es en efectivo y contra entrega de materia prima.</li> </ul>																										

**Anexo 2. Descripción de la calicata realizada a los sistemas SAF's y monocultivo.**

Sistema	Horizonte	Prof. (cm)	Color en Húmedo	Manchas de Color	Reacción de Peróxido	Textura	Estructura			Consistencia	Poros		Pedregosidad	Raíces		Límites
							Grado	Tipo	Clase		Abundancia	Diámetro (ml)		Abundancia	Tamaño (ml)	
(S1)	1	0 - 15	HUE 5 YR 3/1	No	Si reacciona	Franco Arcilloso	Alto	Granulado	Fino medio	Húmedo	Alto	1 - 7	No	Alto	1 - 7	Ondulado
	2	15 - 20	HUE 10 YR 4/2	No	Si reacciona	Franco Arcilloso	Alto	Granulado	Fino medio	Húmedo	Alto	1 - 3	No	Alto	1 - 5	Ondulado
	3	20 - 74	HUE 10 YR 6/3	Si, manchas rojizas HUE 5 YR 6/6	Si reacciona	Franco Arenoso	Alto	Granulado	Fino medio	Húmedo	Alto	1 - 3	No	Alto	1 - 3	Ondulado
	4	74 - 120	HUE 10 YR 6/3	Si, manchas rojizas HUE 5 YR 6/6	No reacciona	Arenoso	Alto	Granulado	Fino medio	Húmedo	Leve	1 - 3	No	Leve	1 - 3	Ondulado
(S2)	1	0-25	HUE 7,5 YR 4/2	No	Si reacciona	Franco Arcilloso	Alto	Bloques subangulares	Fino medio	Húmedo	Alto	1 - 5	No	Alto	1 - 5	Ondulado
	2	25-35	HUE 7,5 YR 5/3	Si, manchas rojizas HUE 5 YR 6/6	Si reacciona	Franco Arenoso	Alto	Bloques subangulares	Fino medio	Húmedo	Alto	1 - 3	No	Alto	1 - 3	Ondulado
	3	35-72	HUE 7,5 YR 5/4	Si, manchas rojizas HUE 5 YR 6/6	Si reacciona	Arenoso	Alto	Granulado	Moderado	Húmedo	Leve	1 - 3	No	Medio	1 - 5	Ondulado
	4	72-120	HUE 7,5 YR 4/3	Si, manchas rojizas HUE 5 YR 6/6	Si reacciona	Arenoso	Alto	Granulado	Moderado	Húmedo	Leve	0 - 1	No	Leve	1 - 3	Ondulado
(S3)	1	0-23	HUE 10 YR 4/3	No	Si reacciona	Franco Arcilloso	Alto	Bloques subangulares	Fino medio	Húmedo	Alto	1 - 2	No	Alto	0,2 - 0,6	Ondulado
	2	23-36	HUE 10 YR 5/6	No	Si reacciona	Franco Arcilloso	Alto	Granulado	Fino medio	Húmedo	Alto	1 - 2	No	Alto	0,2 - 0,6	Ondulado
	3	36-120	HUE 10 YR 7/4	Si, manchas rojizas HUE 5 YR 7/5	Si reacciona	Franco Arenoso	Alto	Bloques subangulares	Fino medio	Húmedo	Alto	0 - 1	No	Leve	1	Ondulado
(S4)	1	0-20	7,5 YR 3/2	No	Si reacciona	Franco Arenoso	Alto	Bloques subangulares	Fino medio	Seco	Alto	0 - 1	No	Alto	0,2 - 0,6	Ondulado
	2	20-37	7,5 YR 7/3	Si, manchas rojizas HUE 2,5 YR 6/8	Si reacciona	Franco Arenoso	Medio	Bloques subangulares	Fino medio	Húmedo	Medio	0 - 1	No	Alto	0,2 - 0,6	Recto
	3	37-87	HUE 10 YR 7/4	Si, manchas rojizas HUE 2,5 YR 6/8	Si reacciona	Franco Arenoso	Medio	Bloques subangulares	Fino medio	Húmedo	Leve	0 - 1	No	Medio	0,2 - 0,6	Recto
	4	87-120	HUE 5 YR 7/6	No	Si reacciona	Arenoso	Alto	Bloques subangulares	Fino medio	Húmedo	Leve	0 - 1	No	Ausencia	0	Recto
(M1)	1	0 - 22	HUE 10 YR 4/2	No	Si reacciona	Franco Arenoso	Alto	Bloques subangulares	Fino medio	Húmedo	Alto	1 - 2	No	Alto	1 - 3	Ondulado
	2	22 - 31	HUE 10 YR 5/4	No	No reacciona	Franco Arenoso	Alto	Granulado	Fino medio	Húmedo	Alto	1 - 2	No	Alto	1 - 3	Ondulado

	3	31 - 120	HUE 10 YR 5/4	No	No reacciono	Arenoso	Alto	Granulado	Fino medio	Húmedo	Leve	0 - 1	No	Medio	1 - 3	Ondulado
(M2)	1	0 - 16	HUE 7,5 YR 5/3	No	Si reacciono	Franco Arcilloso	Alto	Bloques subangulares	Fino medio	Húmedo	Alto	1 - 2	No	Alto	1 - 2	Ondulado
	2	16 - 27	HUE 7,5 YR 6/4	Si, manchas rojizas HUE 5 YR 6/6	Si reacciono	Franco Arenoso	Alto	Granulado	Fino medio	Húmedo	Alto	1 - 2	No	Alto	1 - 2	Ondulado
	3	27 - 65	HUE 7,5 YR 7/	Si, manchas rojizas HUE 5 YR 6/6	No reacciono	Franco Arenoso	Alto	Granulado	Fino medio	Húmedo	Alto	1 - 2	No	Alto	1 - 2	Ondulado
	4	65 - 85	HUE 10 YR 4/3	No	Si reacciono	Franco Arcilloso	Alto	Granulado	Fino medio	Húmedo	Medio	1 - 2	No	Medio	1 - 2	Ondulado
	5	85 - 120	HUE 7,5 YR 7/6	Si, manchas rojizas HUE 5 YR 6/6	Si reacciono	Arenoso	Alto	Granulado	Fino medio	Húmedo	Ausencia	0	No	Ausencia	0	Ondulado
(M3)	1	0 - 17	HUE 7,5 YR 5/3	No	Si reacciono	Franco Arcilloso	Alto	Bloques subangulares	Fino medio	Húmedo	Alto	1 - 2	No	Alto	1 - 3	Ondulado
	2	17 - 39	HUE 10 YR 6/4	No	Si reacciono	Franco Arenoso	Alto	Granulado	Fino medio	Húmedo	Leve	0 - 1	No	Medio	1 - 2	Ondulado
	3	39 - 50	HUE 10 YR 4/4	Si, manchas rojizas HUE 5 YR 6/6	Si reacciono	Franco Arcilloso	Alto	Granulado	Fino medio	Húmedo	Alto	1 - 2	No	Leve	0 - 1	Ondulado
	4	50 - 72	HUE 10 YR 4/2	Si, manchas rojizas HUE 5 YR 6/6	Si reacciono	Franco Arcilloso	Alto	Granulado	Fino medio	Húmedo	Alto	1 - 2	No	Medio	0 - 1	Ondulado
	5	72 - 84	HUE 10 YR 5/4	Si, manchas rojizas HUE 5 YR 6/6	Si reacciono	Franco Arcilloso	Alto	Granulado	Fino medio	Húmedo	Medio	1 - 2	No	Leve	0 - 1	Ondulado
	6	84 - 120	HUE 10 YR 6/3	Si, manchas rojizas HUE 5 YR 6/6	No reacciono	Arenoso	Alto	Granulado	Fino medio	Húmedo	Ausencia	0	No	Ausencia	0	Ondulado
(M4)	1	0 - 17	HUE 10 YR 6/4	No	Si reacciono	Franco Arcilloso	Alto	Bloques subangulares	Fino medio	Húmedo	Alto	1 - 2	No	Alto	1 - 4	Ondulado
	2	17 - 29	HUE 10 YR 6/3	No	Si reacciono	Franco Arenoso	Alto	Bloques subangulares	Fino medio	Húmedo	Alto	1 - 2	No	Alto	1 - 3	Ondulado
	3	29 - 58	HUE 7,5 YR 5/4	Si, manchas rojizas HUE 5 YR 6/6	Si reacciono	Franco Arcilloso	Alto	Granulado	Fino medio	Húmedo	Alto	1 - 2	No	Medio	1 - 2	Ondulado
	4	58 - 68	HUE 10 YR 4/3	Si, manchas rojizas HUE 5 YR 6/6	Si reacciono	Franco Arcilloso	Alto	Granulado	Fino medio	Húmedo	Alto	0 - 1	No	Leve	0 - 1	Ondulado
	5	68 - 120	HUE 10 YR 7/3	Si, manchas rojizas HUE 5 YR 6/6	No reacciono	Franco Arenoso	Alto	Granulado	Fino medio	Húmedo	Leve	0 - 1	No	Leve	0 - 1	Ondulado



### Anexo 3. Evidencia fotográfica de actividades en campo.

a) Calicata en una parcela SAF's



b) Instalación de tensiómetros en campo



c) Manómetro del tensiómetro marca IRROMETER



d) Manómetro del tensiómetro marca STELZNER

