

**UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO**

FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**“INFLUENCIA DE LA CAPACIDAD DE SOMBRA EN EL COMPORTAMIENTO
DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES DEL DISTRITO PARIAHUANCA,
2022”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTOR:

Br. RAMIREZ MANRIQUE, MAYRA YANELA

ASESOR:

Dr. HIDALGO CAMARENA, PRUDENCIO CELSO

Huaraz – Ancash - Perú

Setiembre, 2022





"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"

ACTA DE SUSTENTACIÓN Y DEFENSA DE TESIS

Los miembros del Jurado Evaluador de Tesis, en pleno que suscriben, reunidos a los seis días de diciembre del dos mil veintidós, en el Auditorium de la Facultad de Ciencias del Ambiente (FCAM) de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM), de conformidad a la normatividad vigente condujeron el acto académico público de sustentación y defensa de la tesis **"INFLUENCIA DE LA CAPACIDAD DE SOMBRA EN EL COMPORTAMIENTO DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES DEL DISTRITO PARIAHUANCA, 2022"** que presentó **RAMIREZ MANRIQUE MAYRA YANELA** para optar el **Título Profesional de Ingeniero Ambiental**.

Después de haber atendido la sustentación y defensa oral, y haber escuchado las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas, la declaramos:

Aprobado

Con el calificativo de: *Dieciseis* (*16*)

En consecuencia, **RAMIREZ MANRIQUE MAYRA YANELA**, queda expedito para que el Consejo de Facultad de la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" apruebe el otorgamiento de su **Título Profesional de Ingeniero Ambiental** de conformidad al Art. 113 numeral 113.9 del Reglamento General de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario N° 399-2015-UNASAM), el Art. 48° y 4ta. disposición complementaria del Reglamento General de Grados y Títulos de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario - Rector N° 761-2017-UNASAM), el Art. 160° del Reglamento de Gestión de la Programación, Ejecución y Control de las Actividades Académicas (Resolución de Consejo Universitario - Rector N° 232-2017-UNASAM).

Huaraz, 06 de diciembre 2022

Dr. CESAR MANUEL G. DAVILA PAREDES
Presidente
Jurado de sustentación

M.Sc. ROSARIO ADRIANA POLO SALAZAR
Primer miembro
Jurado de sustentación

M.Sc. VLADIMIR ALFONSO LEON MENACHO
Segundo miembro
Jurado de sustentación

Dr. PRUDENCIO CELSO HIDALGO CAMARENA
Asesor de tesista

DEDICATORIA

A mi madre quien constituye mi fuerza,
perseverancia y, además con palabras de
aliento hizo de mí una mejor persona.
Finalmente, a mi compañera fiel durante esta
travesía, gracias Canelita.

Mayra Yanela Ramírez Manrique

AGRADECIMIENTO

A mi alma mater, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, y mi querida Facultad de Ciencias del Ambiente, que con ayuda de todos sus docentes inculcaron en mí, sus sabios conocimientos para formar una profesional de bien. A mi asesor, Dr. Prudencio Celso Hidalgo Camarena, sin su paciencia y constancia este trabajo no lo hubiese logrado tan fácil. Sus consejos fueron siempre útiles cuando no salían de mi pensamiento las ideas claras para escribir lo que hoy he logrado. Usted formó parte importante con sus aportes profesionales que lo caracterizan. A las familias del distrito de Pariahuanca, que amablemente nos dieron acceso a sus terrenos para poder realizar el proyecto de investigación. A mis padres por el apoyo, la confianza, los valores y principios inculcados. Y a toda mi familia, en especial a mi padrino Jorge Ramírez Robles porque con sus consejos me impulsó a tener constancia.

RESUMEN

El estudio se desarrolló en el distrito de Pariahuanca y tuvo por objetivo determinar la influencia de la capacidad de sombra del componente forestal en el comportamiento de los cultivos agrícolas del sistema agroforestal (SAF). La investigación fue cuantitativa, correlacional, no experimental y transversal, para lo cual se aplicó una ficha de observación sobre los resultados de los análisis de laboratorio realizados. Las principales conclusiones a las que se arribaron, entre otras, son: El rendimiento del cultivo agrícola de la alfalfa y maíz fuera del sistema agroforestal (SAF) fue de 1.40kg/m² y 1.20kg/m² respectivamente, y en las áreas bajo uso agroforestal, el rendimiento de cultivo de alfalfa fue de 1.60kg/m² y del maíz 1.40kg/m², en ese sentido se ha obtenido un incremento del 14.00% en el rendimiento del cultivo bajo el sistema agroforestal. Asimismo, se obtuvo un resultado favorable en la cantidad de nitrógeno incorporado con un incremento de 12.00%; y del potasio con incremento del 9.00%. Ambos constituyen macronutrientes esenciales que requieren las plantas. También el estudio revela que, hubo variación en la cantidad de fósforo (P) y nitrógeno (N); y que dentro del sistema de producción agroforestal se ha registrado una menor cantidad de magnesio y calcio, con una disminución de 27.69% y 8.33% respectivamente, pero no ha perjudicado el desarrollo del cultivo. Estos últimos elementos se consideran nutrientes secundarios y por todo ello, en este estudio de investigación se pudo constatar que se ha mejorado el rendimiento de ambos cultivos mediante el reciclaje de nutrientes, en los que los árboles de sombra (paltos para el presente estudio) a través de sus hojas y ramas que se incorporan al suelo contribuyendo a la proliferación de microorganismos y ello aumenta el humus, los cuales aportan nutrientes favoreciendo a los cultivos dentro del sistema de producción agroforestal.

Palabras clave: Alfalfa, capacidad de sombra, sistema agroforestal.

ABSTRACT

The study was developed in Pariahuanca district and aimed to determine the influence of the shade capacity of the forestry component on the behavior of agricultural crops in the agroforestry system (SAF). The research was quantitative, correlational, non-experimental and cross-sectional, for which an observation sheet was applied to the results of the laboratory analyzes carried out. The main conclusions reached, among others, are: The yield of the agricultural crop of alfalfa and corn outside the agroforestry system (SAF) was 1.40 kg/m² and 1.20 kg/m² respectively, and in the areas under use agroforestry, the crop yield of alfalfa was 1.60 kg/m² and corn 1.40 kg/m², in that sense an increase of 14.00 % in crop yield under the agroforestry system has been obtained. Likewise, a favorable result was obtained in the amount of nitrogen incorporated with an increase of 12.00 %; and potassium with an increase of 9.00 %. Both constitute essential macronutrients that plants require. The study also reveals that there was variation in the amount of phosphorus (P) and nitrogen (N); and that within the agroforestry production system a lower amount of magnesium and calcium has been registered, with a decrease of 27.69% and 8.33% respectively, but it has not harmed the development of the crop. These last elements are considered nutrients and for all this, in this research study it was possible to verify that the yield of both crops has been improved through the recycling of nutrients, in which the shade trees (avocados for the present study) through of its leaves and branches that are incorporated into the soil forming microorganisms and this increases the humus, which provide nutrients favoring crops within the agroforestry production system.

Keywords: alfalfa, agroforestry system, shade capacity.

ÍNDICE

CONTENIDO	Pág.
CARÁTULA.....	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
LISTA DE TABLAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS.....	x
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Problema de investigación.....	3
1.2. Objetivos.....	3
1.3. Hipótesis.....	4
1.4. Variables.....	5
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Antecedentes.....	6
2.2. Bases teóricas.....	9
2.2.1. Los sistemas agroforestales.....	9
2.2.2. Monocultivo vs SAF.....	10
2.2.3. Capacidad de sombra del componente forestal.....	11
2.2.4. Efecto de los árboles de sombra.....	15
2.3. Definición de términos básicos.....	18
CAPÍTULO III	
METODOLOGÍA.....	20
3.1. Tipo de investigación.....	20
3.2. Diseño de investigación.....	20
3.3. Métodos o técnicas.....	21

3.4.	Población.....	22
3.5.	Muestra.....	22
3.6.	Instrumentos de recolección de datos.....	23
3.7.	Procesamiento de datos.....	23

CAPÍTULO IV

RESULTADOS.....	24	
4.1.	Rendimiento de los cultivos tradicionales o monocultivos sin sombra en el distrito Pariahuanca.....	24
4.2.	Evaluación de la influencia de la capacidad de sombra del componente forestal en el rendimiento de los cultivos agrícolas del sistema agroforestal en el distrito Pariahuanca.....	24
4.3.	Humedad del suelo fuera y dentro del sistema agroforestal del distrito Pariahuanca.....	28
4.4.	Describir el reciclaje de nutrientes en el sistema agroforestal bajo la influencia de la capacidad de sombra.....	31
4.5.	Describir el reciclaje de nutrientes en el sistema agroforestal bajo la influencia de la capacidad de sombra.....	34

CAPÍTULO V

DISCUSIONES.....	36
-------------------------	-----------

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	39	
6.1.	CONCLUSIONES.....	39
6.2.	RECOMENDACIONES.....	40
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41	

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	Apertura dosel de sombra	25
Tabla 2	Cálculo área de sombra	25
Tabla 3	Contenido de humedad Punto N°01	29
Tabla 4	Contenido de humedad Punto N°02	29
Tabla 5	Contenido de humedad Punto N°03	29
Tabla 6	Resumen de Contenido de Humedad en cada punto	29
Tabla 7	Análisis de nutrientes en suelo (Punto 1, dentro del SAF)	31
Tabla 8	Análisis de nutrientes en el suelo (Punto 2, dentro del SAF)	32
Tabla 9	Análisis de nutrientes en el suelo (Punto 3, fuera del SAF)	32

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1	Capacidad de sombra	11
Figura 2	Tipos de copas de los árboles	12
Figura 3	Estimación visual del porcentaje de oclusión de la copa	14
Figura 4	Procedimiento de investigación	20
Figura 5	Área de sombra en m ² de cada árbol	25
Figura 6	Cultivo de alfalfa fuera del área SAF	26
Figura 7	Cultivo de maíz fuera del área SAF	27
Figura 8	Cultivo de alfalfa dentro del área SAF	28
Figura 9	Cultivo de maíz dentro del área SAF	28
Figura 10	Resumen de la humedad del suelo	30

LISTA DE ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

SAF: Sistema Agroforestal

°C: Grados centígrados

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la variabilidad y el cambio climático ya son una realidad, teniendo un gran impacto en el sector agrícola, evidenciando daños sobre la producción de alimentos. Los extremos eventos por esta situación climática se presencian cada vez con mayor frecuencia (olas de calor, sequías, fuertes lluvias, entre otros). Se prevé, en países de Centroamérica que para el año 2030, se incrementará la temperatura anual media en un 1.40°C aproximadamente (Bouroncle et al., 2014) y para el 2050, la precipitación anual se reducirá 70 mm (Ovalle et al., 2015) esto ocasionará daños severos en la agricultura.

Por otro lado, se puede evidenciar la alta vulnerabilidad de los ecosistemas de bosques altoandinos de las vertientes de las cordilleras blanca y negra en el Callejón de Huaylas, esto incluye el fuerte impacto producido por las acciones humanas como son la deforestación, fragmentación, prácticas equivocadas en el manejo del suelo y demás recursos naturales, hacen suponer el aumento progresivo de la fragilidad de los ecosistemas productivos frente al peligro del cambio climático. Es por ello que los factores climáticos como la temperatura y precipitación representan tensión frente a esta situación y afecta el funcionamiento de los ecosistemas y su estructura.

En ese aspecto los sistemas agroforestales (SAF) se consideran sistemas sustentables de manejo de la tierra que tienen como finalidad incrementar de forma continua los rendimientos, combinando la productividad forestal (especies frutales y arbóreas) y también cultivos agrícolas y/o animales de forma secuencial o simultánea sobre la misma área de tierra; constituyendo una alternativa muy viable que reduce la vulnerabilidad y el impacto que generan las actividades

humanas sobre frágiles ecosistemas. La agroforestería beneficia a la producción de un agroecosistema parecido al ecosistema de bosque natural, ayuda a la conservación de los suelos frente a las fuertes precipitaciones, mantiene el ciclo hidrológico y contribuye en el flujo hidrológico de la cuenca, conserva la diversidad biológica, ayuda al mantenimiento de la fertilidad natural de los suelos, fortalece los controles naturales de enfermedades y plagas, por lo tanto, asegura una mayor sostenibilidad en comparación con sistemas de producción bajo monocultivos.

En los sistemas agroforestales, los árboles de sombra cooperan con la recuperación de biodiversidad en los ecosistemas y son una alternativa para aminorar la deforestación, restablecer las praderas degradadas y combatir la erosión de suelos; ya que representan una buena estrategia en la conservación de suelos y el mantenimiento de su fertilidad. Los SAF que son conformados por altas densidades de especies arbóreas aumentan el potencial de la fijación de carbono, resultando ser un recurso importante en la diversidad vegetal en ecosistemas silvestres (Anguiano et al., 2013), asimismo, ayuda en la retención del agua y mantiene su calidad (Beer et al., 2004).

Los árboles de sombra tienen efectos positivos sobre la fertilidad del suelo, también contribuyen a regular el clima dentro los SAF, beneficia el reciclaje de nutrientes y la cantidad de materia orgánica, fijación del carbono, reducen la evaporación del suelo y disminuyen la erosión. Sin embargo, algunos aspectos sobre los SAF y árboles de sombra son complejos y en algunas oportunidades contradictorios. Pero, en general, se han obtenido resultados beneficiosos sobre los árboles y los servicios de aprovisionamiento que superan por mucho a los aspectos negativos como el favorecimiento de la propagación de algunas plagas y patógenos, que generarían un menor rendimiento del cultivo (Villareyna et al., 2020).

Es por ello que el presente trabajo de investigación tiene como propósito ayudar a determinar la influencia de la capacidad de sombra en el comportamiento de los sistemas agroforestales del distrito Pariahuanca, ya que por lo mencionado anteriormente, se espera que los pequeños agricultores, desarrollen esta gestión adaptativa de ecosistemas y de sistemas productivos en

las capacidades y movilización de recursos en materia agroforestal para introducir cambios en el sistema productivo tradicional y contribuya de esta manera a mitigar los impactos que se derivan del cambio climático.

1.1. Problema de investigación

1.1.1. Problema general

¿Existe alguna influencia entre la capacidad de sombra del componente forestal y el comportamiento de los sistemas agroforestales del distrito de Pariahuanca?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Cómo es el comportamiento de los cultivos tradicionales o monocultivos sin sombra en el distrito Pariahuanca?
- ¿De qué manera influye la capacidad de sombra del componente forestal en la producción del componente agrícola del sistema agroforestal en el distrito Pariahuanca?
- ¿Cuál es el contenido de humedad del suelo fuera y dentro del sistema agroforestal del distrito Pariahuanca?
- ¿Cómo es el reciclaje de nutrientes en el sistema agroforestal bajo la influencia de la capacidad de sombra?

1.2. Objetivos

1.2.1. General

Determinar la influencia de la capacidad de sombra del componente forestal en el comportamiento de los cultivos agrícolas del sistema agroforestal del distrito de Pariahuanca.

1.2.2. Específicos

- Calcular el rendimiento de los cultivos tradicionales o monocultivos sin sombra en el distrito Pariahuanca.

- Evaluar la influencia de la capacidad de sombra del componente forestal en el rendimiento de los cultivos agrícolas del sistema agroforestal en el distrito Pariahuanca.
- Determinar la humedad del suelo fuera y dentro del sistema agroforestal del distrito Pariahuanca.
- Describir el reciclaje de nutrientes en el sistema agroforestal bajo la influencia de la capacidad de sombra.

1.3. Hipótesis

1.3.1. General

La capacidad de sombra del componente forestal en el distrito Pariahuanca tiene una influencia benéfica en el comportamiento del sistema agroforestal debido a la humedad y el reciclaje de nutrientes.

1.3.2. Específico

- El comportamiento de los cultivos tradicionales o monocultivos sin sombra en el distrito Pariahuanca sufren las consecuencias de la insolación y el frío.
- La capacidad de sombra del componente forestal en el rendimiento de los cultivos agrícolas del sistema agroforestal del distrito Pariahuanca influye de manera positiva.
- La humedad del suelo dentro del sistema agroforestal permanece por más tiempo que fuera del sistema agroforestal.
- El reciclaje de nutrientes en el sistema agroforestal bajo la influencia de la capacidad de sombra es más rápido que fuera de él.

1.4. Variables

1.4.1. Variable independiente

Capacidad de sombra: Capacidad que poseen la copa de los árboles para generar diferentes intensidades de sombra a favor y generando estabilidad en la parcela (Somarriba, 2002).

1.4.2. Variable dependiente

Comportamiento del Sistema Agroforestal: Es la manera de cómo funcionan los sistemas agroforestales en un momento determinado, según las circunstancias que lo afecten (Chappa et al., 2007).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Villareyna et al. (2020) realizaron un estudio titulado “Adaptación basada en ecosistemas: efecto de los árboles de sombra sobre servicios ecosistémicos en cafetales”, teniendo como finalidad determinar los efectos de los árboles en cafetales sobre servicios ecosistémicos de aprovisionamiento y regulación. Los autores señalaron que los árboles de sombra tuvieron un efecto sobre el rendimiento de café (*Coffea*) y lo atribuyeron a su influencia en la regulación de la carga fructífera. Los resultados positivos se deberían al manejo agroforestal adecuado, ya que los árboles regulan el clima dentro del cafetal (microclima) y también reducen las fluctuaciones bienales extremas de la producción de café. Además de los efectos positivos en la fertilidad del suelo, acumulación de materia orgánica, el reciclaje de nutrientes, reduciendo de este modo la evaporación del suelo y la erosión. En conclusión, se evidenció el efecto de los árboles de sombra sobre los servicios ecosistémicos. Pero estos resultados deben ser complementados con otros análisis de relaciones entre servicios y así identificar mejores prácticas agroforestales.

Villareyna (2016) realizó un estudio titulado: “Efecto de la sombra sobre las plagas y enfermedades, a través del microclima, fenología y estado fisiológico del cafeto, en la ciudad de Alemania”. La finalidad del estudio fue identificar el efecto que tuvo la sombra de los árboles de café sobre las diferentes plagas y enfermedades de los cafetales y la muestra fue constituida por cafetales en los sistemas agroforestales seleccionados.

El estudio fue de diseño no experimental, por método de la observación, toma de muestras y fichas. Obtuvo como resultados que la sombra contribuyo en el proceso de plagas la enfermedades e insectos, pero a su vez es perjudicial en otros procesos de las mismas enfermedades y plagas, dependiendo del factor climático. Los resultados son contradictorios poniendo en manifiesto que la sombra no beneficia totalmente a plagas principales y enfermedades que afectan a cafetales en la región centroamericana. Sin embargo, los beneficios que se encontraron son que la sombra reduce la carga fructífera, el estrés de la planta se reduce y también los desequilibrios fisiológicos. Otros efectos mayores que se obtuvieron son que la sombra disminuye la antracnosis y reduce los daños de la roya. La sombra también beneficia en un control eficiente de las malezas, reduce hospederos de la enfermedad en los cultivos, reduciendo en la producción y los costos.

Montagnini et al. (2015) realizaron un estudio titulado: “Sistemas Agroforestales. Funciones Productivas, Socioeconómicas y Ambientales. Costa Rica/Colombia”. En el estudio se describió a los Sistemas Agroforestales con sus funciones productivas, detallaron la relación entre los servicios ecosistémicos y la productividad, señalaron que los SAF son alternativas en las zonas rurales que tienen ambientes degradados para mejorar sus condiciones. La muestra que tomaron fue conformada por parcelas de SAF. El diseño del estudio fue descriptivo, pre-experimental, y aplicaron los métodos de la observación, ficha de notas y cuadros comparativos de acuerdo a la distribución elegida del SAF. Los resultados que obtuvieron fueron que la sombra mejora la calidad del café (*Coffea*), aunque este efecto puede variar dependiendo lugar y es aún sigue siendo objeto de estudio. También señalaron que árboles de sombra generalmente mejoran la fertilidad del suelo, pero usualmente se obtienen efectos contradictorios en las plagas, enfermedades y sus agentes que se emplean para el control biológico.

Durand (2014) realizó un estudio titulado: “Comportamiento productivo de Alfalfa (*Medicago Sativa* L.) en Cultivo Puro y Asociado con

Gramíneas Forrajeras en el Cip – Camacani en el Centro de Investigación y Producción Camacani, de la Facultad de Ciencias Agrarias perteneciente a la Universidad Nacional del Altiplano-Puno, en la campaña agrícola 2013-14, Perú”. El objetivo general del estudio fue determinar el número de plantas establecidas y la cobertura vegetal de las asociaciones forrajeras, determinar el rendimiento de materia seca, el contenido de proteína cruda y fibra detergente neutro y estimar los costos de producción y la rentabilidad. La muestra estuvo constituida por alfalfa (*Medicago Sativa* L.) y gramíneas (*Dactylis*) asociadas. El diseño que utilizó fue no experimental en un bloque completamente al azar con cuatro repeticiones. Los instrumentos que se usaron fueron las hojas de cálculo Microsoft Office Excel 2013 de acuerdo a la fórmula de obtención de densidad gramínea del área. Los resultados obtenidos se pueden manifestar que la densidad de plantas establecidas varía desde 180 hasta 220 plantas/m², que corresponden a los tratamientos alfalfa (*Medicago sativa* L.) pura y alfalfa (*Medicago sativa*) + Gramíneas (*Dactylis*) + trébol rojo quiñequeli (*Trifolium pratense*) respectivamente. La mejor cobertura vegetal fue 94.33% en el tratamiento alfalfa (*Medicago sativa*) + Gramíneas (*Dactylis*) + trébol rojo (*Trifolium pratense*); pero el tratamiento alfalfa (*Medicago sativa*) + trébol rojo (*Trifolium pratense*) + rye grass (*Lolium perenne*) + gramínea (*Festuca*), mostró la menor proporción con 80.00%. El rendimiento de materia seca en total de tres cortes, se encontró que el más alto fue en la asociación alfalfa (*Medicago sativa*) + Gramíneas (*Dactylis*) + trébol rojo (*Trifolium pratense*) con 8,474.10 kg/ha y la asociación alfalfa (*Medicago sativa*) + trébol rojo (*Trifolium pratense*) + rye grass (*Lolium perenne*) + gramínea (*Festuca*), mostró el rendimiento más bajo con 6,230.10 kg/ha. El valor de proteína cruda más alto fue en el tratamiento alfalfa (*Medicago sativa*) pura con 18.12%; el valor más bajo fue en el tratamiento alfalfa (*Medicago sativa*) + trébol rojo (*Trifolium pratense*) + rye grass (*Lolium perenne*) + gramínea (*Festuca*) con 13.83%.

Hidalgo (2015) realizó un estudio titulado: “Aporte de nutrientes de la biomasa vegetal de tres especies de árboles utilizados en sistemas agroforestales del Callejón de Huaylas, 2015, en la ciudad de Huaraz – Perú”. El objetivo general fue determinar el volumen anual y la tasa de

descomposición, así como la liberación de nutrientes de la biomasa incorporada en el suelo de tres especies nativas utilizados en sistemas agroforestales: aliso (*Alnus glutinosa*), pacaie (*Inga feuillee*) y lúcumo (*Pouteria lucuma*), así se caracterizó la estructura y funcionalidad, también se describió las condiciones ecológicas y edafológicas de los sistemas agroforestales estudiados los cuales facilitaron la descomposición de la biomasa vegetal. La muestra fue constituida en tres predios bajo manejo agroforestal de las provincias de Huaraz, Carhuaz y Yungay. Estos fueron escogidos con muestreo selectivo bajo el supuesto de que el aporte de nutrientes de las especies estudiadas confiere sostenibilidad a los ecosistemas agrícolas. Los instrumentos que se utilizaron fueron: el método Kjeldahl para el nitrógeno, el método colorimétrico para el fósforo, el método de espectrometría de absorción atómica para el potasio, calcio, magnesio, fierro, cobre, zinc y manganeso. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: el mayor aporte de biomasa seca se obtuvo en árboles de lúcumo (*Pouteria lucuma*) de cinco años (20.12 kg/árbol/año) al igual que el mayor aporte de nitrógeno (0.13), potasio (0.26), calcio (8.19×10^{-6}), magnesio (3.78×10^{-6}), fierro (1.33×10^{-3}) y cobre (4.75×10^{-4}); el pacaie (*Inga feuillee*) contribuyó con el mayor volumen de fósforo (0.05) y el aliso (*Alnus glutinosa*) con la mayor cantidad de zinc (2.35×10^{-4}) y manganeso (1.59×10^{-4}), todos expresados en kg/árbol/año.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Los sistemas agroforestales

Los sistemas agroforestales (SAF) son una gran alternativa ante la problemática de los monocultivos, ya que permiten desplazarlos debido a que son conformados por la combinación de árboles forestales con otros cultivos, con animales domésticos o ambos. De este modo, se puede optimizar la producción por unidad de área mientras que al mismo tiempo se respeta el principio de obtener rendimientos sostenibles (Mata et al., 2018).

Los SAF son definidos como la presencia de árboles en los límites externos e internos sobre parcelas de cultivo o en cualquier otro disponible nicho de tierra, estos pueden proporcionar beneficios tanto para la mitigación del cambio climático como los alimentos. Existen varios tipos de SAF con diferentes tasas de secuestro de carbono (C) sobre el suelo (Feliciano et al., 2018).

Por otro lado, los beneficios asociados con la agroforestería que incluyen el amortiguamiento del clima en el corto plazo, la emisión de CO₂ puede reducirse de manera más efectiva aumentando el área forestal. A esto se suma la importancia de incrementar y mantener los SAF tradicionales (mayor diversidad de árboles frutales y forestales) que ayudan a prevalecer la biodiversidad en paisajes donde el hábitat forestal está reduciéndose debido a las actividades humanas, conservando especies en peligro de extinción (Waheed et al., 2018).

2.2.2. Monocultivo vs SAF

Los sistemas productivos comerciales usualmente se caracterizan por la práctica del monocultivo y el establecimiento de cultivos conformados por amplias densidades en suelos desnudos y con escasa protección vegetal, excesivas labranzas, quema sistemática de los rastrojos, uso desmedido de químicos, erosión de los suelos y la extracción de la cosecha (Chappa et al., 2007). De este modo el terreno pierde su fertilidad en un periodo de tres a cuatro años y la mala hierba se presenta con agresividad (Mendieta y Rocha., 2007).

Por otro lado, tenemos los SAF que están relacionados con el alto nivel de biodiversidad que caracterizan a los agroecosistemas tradicionales, lo cual beneficia el funcionamiento de los agroecosistemas. En muchos casos, los agricultores suelen mantener la diversidad como seguro para enfrentar el cambio ambiental o futuras necesidades sociales y económicas (Altieri y Nicholls, 2009).

2.2.3. Capacidad de sombra del componente forestal

Figura 1

Capacidad de sombra.



La sombra cumple un rol importante en los cultivos agrícolas y su manejo, los efectos en los agroecosistemas varían de acuerdo con las especies y genotipos utilizados, así como con las características del ambiente. En espacios donde la época de seca es corta o casi no existe, el cultivo puede apartarse de la sombra; por el contrario, cuando el período se amplía, la sombra juega un papel importante como amortiguador de las condiciones climáticas adversas para los cultivos agrícolas (Somarriba, 2002).

La sombra o la radiación que capta la plantación deciden la tasa fotosintética de los cultivos agrícolas de los estratos inferiores, su desarrollo, necesidad de nutrientes y de agua, el dinamismo de las plagas y eventualmente la producción comercial. Es por eso que es importante poder contar con método rápido, barato y confiable para valorar la cantidad de sombra, evaluar el estado de las plantaciones y planificar así las acciones correctivas que sean necesarias (Somarriba, 2002).

El entramado formado por la disposición espacial de las hojas, ramas, ramillas y troncos de los vegetales superiores constituye lo que se conoce como cubierta o dosel vegetal; mientras que la disposición espacial (distribución y orientación), la superficie y la forma de los órganos aéreos de los árboles establecidos como sombrío en un cultivo se conoce como la estructura del dosel arbóreo. La estructura es dinámica y cambia a escalas de tiempo que pueden ir desde minutos hasta años, adicionalmente, son organizaciones espaciales de componentes biológicos, verticalmente complejas y horizontalmente heterogéneas (Farfán, 2019).

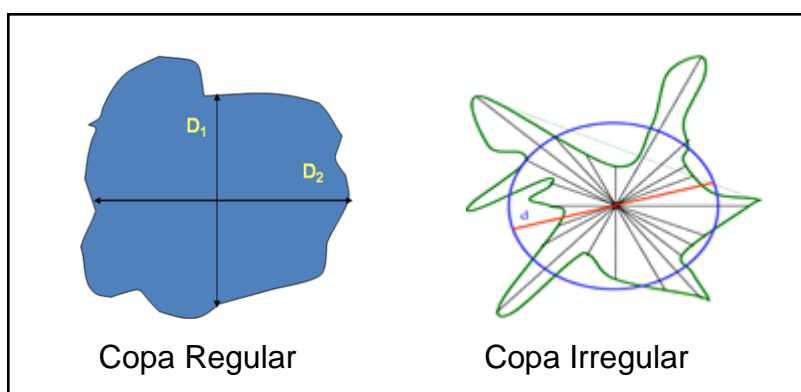
2.2.3.1. La estimación de la sombra

Para estimar visualmente la oclusión de una copa se presenta los siguientes pasos desde la perspectiva de Somarriba (2002):

- Se delinea el perímetro de la copa caminando varias veces por la periferia, se marca temporalmente en el suelo varias proyecciones del borde de la copa hasta visualizar la figura de la copa (la proyección plana de la copa sobre el suelo). A la vez que se delinea el perímetro, se pueden medir los ejes para estimar el diámetro promedio de la copa.

Figura 2

Tipo de copas de árboles. Fuente: Somarriba (2002).



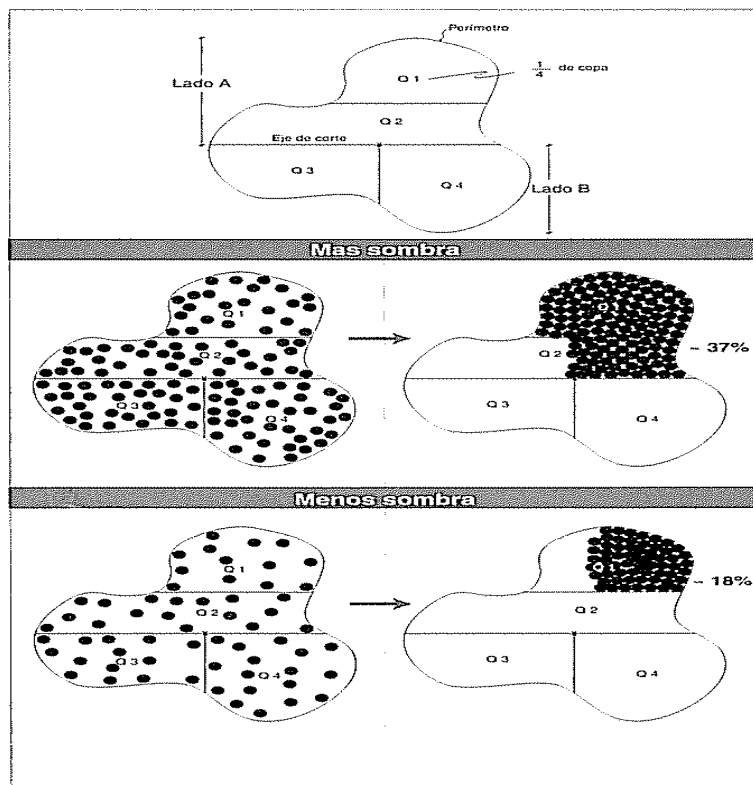
- Párese en la base del árbol, mire hacia arriba y observe la copa en todas las direcciones buscando seleccionar un eje de corte que la divide en dos mitades iguales (lados A y B). A veces, una copa puede partirse en mitades iguales tomando diferentes ejes de corte (figura 3). Las mitades se dividen en cuartos (Q1-Q4).
- Observe bien las dimensiones de las masas de follaje y de los huecos abiertos en cada mitad de copa. Habiendo cuantificado mentalmente el espacio bloqueado y el espacio abierto en cada mitad de la copa, mueva mentalmente el área bloqueada de una mitad a la otra y pregúntense si el mover lo tapado de A y B:
 - a) ¿Se tapa exactamente el lado B? En caso afirmativo, la oclusión de la copa sería 0.50 (o el 50.00 %).
 - b) ¿No se llena B? En caso afirmativo se sabrá que la oclusión es < 50.00 %, pero habrá que estimar cuánto menos. Para esto partimos la mitad B en cuartos y preguntamos:
 - ¿Se llena exactamente un cuarto? En caso afirmativo la oclusión es del 25.00%.
 - ¿Es más de un cuarto? ¿Cuánto? Para esto, dividimos el cuarto en octavos (un octavo equivale al 12.00% del área de la copa) y después de una rápida reflexión, al ojo hacemos una estimación final de la oclusión de la copa. Por ejemplo, si después de considerarlo decidimos que el exceso no llena un octavo, la estimación final de la oclusión varía entre 25.00% y el 37.00%.

- ¿Es menos de un cuarto? ¿Cuánto? Aplicamos el procedimiento reciente de escrito: dividimos el cuarto en octavos y estimamos al ojo.
- c) ¿Se excede B? En caso afirmativo sabremos que la oclusión es $> 50.00\%$. ¿Cuánto se excede? Aplicamos el mismo procedimiento descrito en el en el paso 2.

Figura 3

Estimación visual del porcentaje de oclusión de la copa.

Fuente: Somarriba (2002).



2.2.3.2. ¿Cómo estimar el porcentaje de sombra que recibe el cultivo?

Es necesario tomar cuatro medidas básicas: El área total de la plantación o parcelas de muestreo (at), el número de árboles (n) en at, el diámetro de copa

promedio (d) o los diámetros de la copa de cada árbol (d_i) y la oclusión promedio de las copas (o) o la oclusión de la copa de cada árbol (o_i).

Con el diámetro de copa (d o d_i) calculamos el área de proyección vertical de la copa (a o a_i) suponiendo una forma circular [$a = d^2 \cdot (\pi/4)$], se ajusta el área de proyección de copa con el factor de oclusión de la copa (o u o_i) para estimar el área tapada por el árbol (por ejemplo $a \cdot o$), se estima la superficie tapada en toda plantación o parcela de muestreo (b) expandiendo el área por árbol a la población arbórea ($b = n \cdot a \cdot o$), y se divide el área tapada b entre el área total de la plantación o parcela (a_t) y lo expresamos en porcentaje (por ejemplo [$100 \cdot (b/a_t)$] Somarriba (2002).

2.2.4. Efecto de los árboles de sombra

2.2.4.1. Efecto de los árboles de sombra sobre la humedad del suelo

El efecto de los árboles de sombra sobre la humedad del suelo de las plantaciones es complejo, pero relativamente bien documentado. Está comprobado que la transpiración total de la plantación es mayor en presencia de árboles de sombra. La sombra contribuye a la reducción de la evaporación del agua del suelo (Lin, 2010), debido a que intercepta la luz solar y la presencia del mantillo que protege el suelo (mantillo generado por los árboles), sin embargo, no ha sido correctamente evaluada aún la importancia de la evaporación comparada con la transpiración (Rapidel et al, 2015). También se sabe que el mantillo producido por los árboles permite incrementar la infiltración del agua de lluvia y reducir su escorrentía (Meylan, 2012). En general, se puede decir que los árboles de sombra transpiran más agua de la que

la sombra permite ahorrar por menor transpiración del cultivo agrícola o por menor evaporación del suelo (Van Kanten, y Vaast, 2006).

Según Dekalb (2014) por 1 kilogramo de materia seca de soja (*Glycine max*), se necesita 545 litros de agua para su uso como grano y 238 litros para su uso como forraje para desarrollarse, garantizar un rendimiento correcto y una calidad satisfactoria. Y todo ello, principalmente en época de floración, periodo en el que el agua contenida en los acuíferos está menos disponible y las precipitaciones son menos frecuentes.

2.2.4.2. Árboles de sombra y reciclaje de nutrientes del suelo

Es el paso de nutrientes como nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S) y micronutrientes, del suelo a la biomasa y su regreso al suelo mediante la descomposición de la hojarasca, raíces y resbalamiento del agua de lluvia por el tronco. (Alegre et al., 2015).

Los árboles absorben las reservas de nutrientes más profundas del suelo, recuperan los lixiviados y los depositan en la superficie aumentando el contenido de humus del suelo, a la vez aumentando la capacidad de intercambio de cationes. También se incrementa la actividad bajo el árbol ya que se aumenta la materia orgánica lo que favorece al abastecimiento de alimentos y la temperatura y humedad del suelo (Alegre et al., 2015).

Para el desarrollo vegetal existen 16 nutrimentos considerados esenciales, utilizándose en mayor cantidad el C, H, O, estos se obtienen principalmente del agua y el aire. Estos tienen formas químicas particulares de adsorción, algunas catiónicas (N, K, Ca, Mg, Mn, Zn, Cu y Fe) y otras aniónicas (N, P, S, B, Mo y Cl). La presencia

de las formas es importante ya que favorece el suelo, propiciando una buena adsorción, además de los mecanismos fisiológicos de la membrana que intervienen en la introducción de los nutrimentos del suelo a la raíz (Bertsch, 1995), de manera que los nutrientes sean provistos según la necesidad de los cultivos (Palm, 1995).

Usualmente, la selección de las especies de sombra afecta directamente a la mayor parte de los aspectos del ciclo de nutrientes, estas difieren en la producción de biomasa aérea, producción de raíces finas y porcentaje de descomposición de su biomasa (Palm, 1995). El aporte de nutrientes (especialmente hojas y ramas) y biomasa depende de las especies involucradas y de las condiciones climáticas constantes (Fassbender, 1992). En el ciclo de nutrientes, el manejo de sombra (especialmente poda) tiene un efecto crítico, dado que ayuda al mantenimiento del microclima de la superficie del suelo de los cultivos y provee una herramienta para manipular el tiempo y la cantidad de nutrientes transferidos del árbol al suelo (Beer et al., 1998).

Este beneficio de los árboles favorece a los sistemas agroforestales sobre otros sistemas de uso de la tierra, siempre y cuando las interacciones positivas sean más fuertes que las interacciones negativas como por ejemplo la competencia por nutrientes y por agua (Muschler 1999).

2.2.4.3. Reciclaje del nitrógeno

El nitrógeno se transfiere a la planta mediante la fijación biológica del nitrógeno e implica la combinación del nitrógeno atmosférico con hidrógeno, para producir amoníaco que se realiza por organismos bacterianos poseedores del complejo enzimático nitrogenasa.

Los organismos diazótrofos (fijadores de nitrógeno) incluyen bacterias aerobias, anaerobias facultativas y obligadas, fotosintéticas y endofíticas. Y realizan el proceso de fijación en la rizosfera de las plantas, en el rizoplano e incluso en el espacio intercelular de raíces y tallos de las plantas (Alegre et al., 2015).

2.2.4.4. Reciclaje del fósforo

El fósforo es un elemento difícil de conseguir en los ecosistemas terrestres (Cramer, 2010). El fósforo se presenta en el suelo principalmente en forma inorgánica insoluble o en forma orgánica integrada al humus del suelo (Illmer y Schinner, 1995).

El hongo del suelo (*Chaetomium globosum*) es eficiente en la absorción de P en sorgo (*Sorghum*) (Tarafdar y Gharu, 2006), relacionado con su alta actividad fosfatasa y fitasa.

Los hongos micorrícicos (*Mykos*=hongo, *Rhiza*=raíz) estudiados por Sylvia, Zambolim y Siquiera citados en Alegre et al. (2015) evidenciaron asociaciones simbióticas no antagónicas entre hongos del suelo y raíces de plantas donde ambos se beneficiaban.

2.3. Definición de términos básicos

Sistema agroforestal. - Es la interacción bioeconómica en una misma área de un componente leñoso y perenne con cultivo y/o animales asociados en forma simultánea o secuencial que incorporan cuatro características importantes: estructura, sostenibilidad, productividad, y adaptabilidad cultural y socioeconómica (Montenegro, 2005).

Agroforestería. - Es la combinación multidisciplinaria de diversas técnicas ecológicamente viables, que involucra el manejo de árboles o arbustos, cultivos alimenticios y/o animales de manera simultánea o secuencial, garantizando así una productividad aceptable a largo plazo y

aplicando prácticas de manejo acordes a las habituales de la población local (Musálem, 2001).

Capacidad de sombra. - Es la capacidad que tiene la copa una planta que se ubica a cierta altura sobre el suelo y posee características particulares de forma, tamaño, densidad (opacidad) y patrón fenológico (especialmente, la intensidad y cronología de la caducidad de las hojas) que determinan las características de la sombra que proyecta sobre los estratos inferiores del dosel (Somarriba, 2004).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación

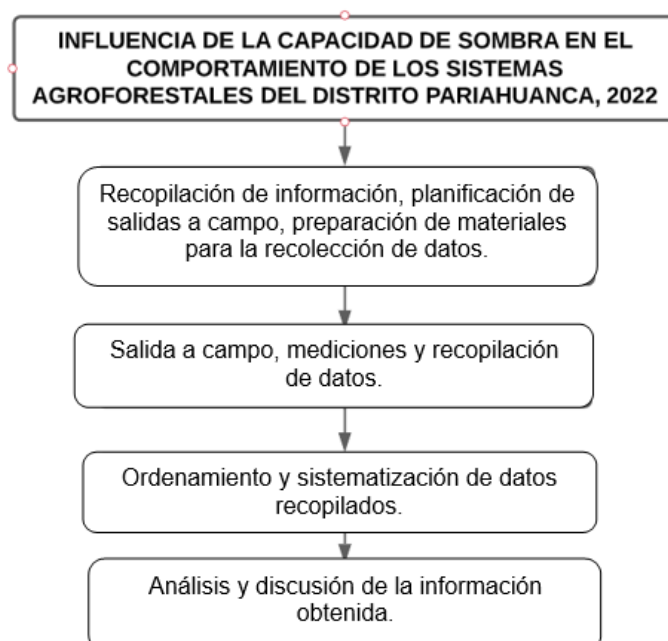
Una investigación fue cuantitativa dado que las variables fueron medidas en escala numérica (Hernández et al., 2018). En este caso la investigación fue de tipo cuantitativa.

3.2. Diseño de la investigación

El diseño no experimental, al no manipular ninguna de las variables (Hernández et al., 2018) y fue transversal ya que se tomaron datos en un momento determinado (Hernández et al., 2018).

Figura 4

Procedimiento de investigación.



3.3. Métodos o técnicas

En la primera etapa de la investigación se identificó el problema de estudio. Se determinó y redactó la problemática de estudio. Se delimitaron los objetivos e hipótesis. Se revisó toda la información teórica respecto a las variables y armó el marco teórico. Además, se identificaron y prepararon los materiales necesarios para recolectar datos.

Sobre la metodología utilizada en la salida a campo, para determinar el porcentaje de sombra que percibe un cultivo se estimó en base a la oclusión, el diámetro de copa y la densidad poblacional de las plantas de dosel de sombra. Este método midió la apertura del dosel de sombra (Giraldo, 2019).

Para determinar las muestras se utilizó la técnica del muestreo intencional o selectivo, las cuales tomaron en cuenta los predios de prácticas agroforestales y el predio de monocultivo (Giraldo, 2019), donde se seleccionó los árboles a ser evaluados (2 dentro del SAF y 1 fuera del SAF) a los cuales se les calculó la sombra.

Posteriormente para calcular la humedad se limpiaron las superficies (de 2 puntos bajo la sombra de los árboles dentro del SAF y 1 árbol fuera del SAF) debajo de la copa de los árboles para que cuando las hojas y otros materiales de árbol cayeran, se evite la mezcla con otro tipo de materia orgánica del suelo. Se separó la caída de las hojas en función al periodo de un año, luego se recolectó toda la biomasa acumulada y se tomó el peso fresco total. Posteriormente se tomó una submuestra y se determinó su peso fresco, llevándose luego la submuestra aproximadamente a 200 g a la estufa de aire caliente donde se obtuvo su peso seco colocando dicha submuestra debidamente etiquetada a la estufa a 110° por un periodo de 40 horas donde se obtuvo un peso seco constante (Giraldo, 2019).

Posteriormente, para calcular los nutrientes se consideraron los mismos 3 puntos mencionados anteriormente, donde una submuestra seca se molió y se envió al laboratorio para el análisis químico a fin de

determinar el contenido porcentual de N, P, K y otros nutrientes menores mediante los métodos descritos. Para el N se utilizó el método Kjeldahl, el fósforo se determinó por el método colorimétrico; el K, Ca, Mg, se determinó por espectrometría de absorción atómica. Las concentraciones de N, P, K, Ca y Mg, obtenidas por especie de árbol se multiplicarán por la biomasa correspondiente, para obtener el aporte (kg/ha) de cada nutriente por especie y parcela (Giraldo, 2019).

Luego se recopilaron los datos del trabajo de campo por medio de las fichas de observación y se sistematizaron los mismos de una forma rápida y práctica. Finalmente se analizaron los datos y realizaron las comparaciones según los autores evidenciados en los antecedentes logrando así establecer las discusiones y conclusiones de estudio.

3.4. Población

Una población es un conjunto de elementos medibles y con características similares (Hernández et al., 2018). La población estuvo conformada por los 3 puntos dentro de las tierras de uso agrícola tradicional y de uso agroforestal con cultivos de palto y alfalfa (2 dentro del SAF y 1 fuera del SAF), distribuidas en el ámbito del distrito de Pariahuanca de la provincia de Carhuaz de la región Ancash, donde el piso altitudinal está comprendido entre los 2,500 a 3,200 msnm.

3.5. Muestra

Siendo el método de estudio intencional o selectivo, se tomaron los datos de ubicaciones consideradas adecuadas para el estudio (Hernández et al., 2018) considerando las prácticas agroforestales y las asociaciones vegetales correspondientes. En ese sentido la muestra estuvo compuesta por 2 puntos dentro de una parcela agrícola con SAF y 1 punto en una parcela agrícola tradicional (Sin SAF) donde los 3 árboles que produjeron sombra fueron los paltos (*Persea americana Mill.*) y el monocultivo de alfalfa (*Medicago sativa*) y maíz (*Zea mays*).

3.6. Instrumentos de recolección de datos

La técnica de la observación permite el registro sistemático del comportamiento que se puede observar de un evento (Hernández et al., 2018). En este caso, este estudio usó la técnica de la observación. Por otro lado, la respectiva ficha de observación estará enmarcada a la determinación de los aportes de biomasa y nutrientes en el suelo, se utilizó fundamentalmente la observación en el análisis comparativo de las unidades de estudio, que luego se representó en gráficos y cuadros a fin de comparar, esquematizar e interpretar los resultados.

3.7. Procesamiento de datos

Para la extracción de muestras y ensayos in situ, se viajó al distrito de Pariahuanca, donde se eligió la parcela de unos agricultores para realizar el estudio de investigación y de esta manera proceder con la recolección de datos, para ello se hizo el requerimiento de servicios de un laboratorio de suelos. Se levantaron datos en 3 puntos específicos, 2 dentro del SAF y 1 fuera del SAF donde se calcularon la cantidad de sombra en dicho punto, además de la humedad y la cantidad de nutrientes para lo cual las muestras fueron sometidas a análisis de laboratorio. Finalmente, los resultados de laboratorio fueron ordenados y sistematizados a fin de poder agruparse y compararse. Con lo anteriormente mencionado se lograron generar discusiones, conclusiones y recomendaciones finales.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Rendimiento de los cultivos tradicionales o monocultivos sin sombra en el distrito Pariahuanca.

Cultivo de maíz

El maíz es uno de los cultivos que se producen casi en su totalidad destinado al mercado regional, otra pequeña parte es cultivado extensivamente en casi todos los distritos como autoconsumo. El rendimiento del cultivo de maíz en la zona de estudio fue de 1.20 kg/m².

Cultivo de alfalfa

La alfalfa es uno de los cultivos que producen la mayoría de agricultores, debido a que está relacionada a la actividad pecuaria, por la crianza de animales menores como el cuy y el conejo, otra parte de la producción está destinada para el mercado local. El rendimiento del cultivo de alfalfa en la zona de estudio fue de 1.40 kg/m².

4.2. Evaluación de la influencia de la capacidad de sombra del componente forestal en el rendimiento de los cultivos agrícolas del sistema agroforestal en el distrito Pariahuanca.

Para determinar la influencia en la capacidad de sombra del componente forestal, primero se realizó el cálculo del área de sombra, el cual se expone a continuación:

4.2.1. Área de Sombra

Mediante las visitas oculares se obtuvieron los datos de la oclusión del lugar en intervención, en el distrito Pariahuanca, en la Tabla 1 se muestra los porcentajes de oclusión en cada árbol.

Tabla 1

Apertura Dosel de Sombra.

Apertura Dosel de Sombra	Oclusión
A1	62.00%
A2	50.00%
A3	36.00%

Por lo cual, al tener el valor de los diámetros de cada copa de los árboles, se calcula el área de sombra de cada árbol.

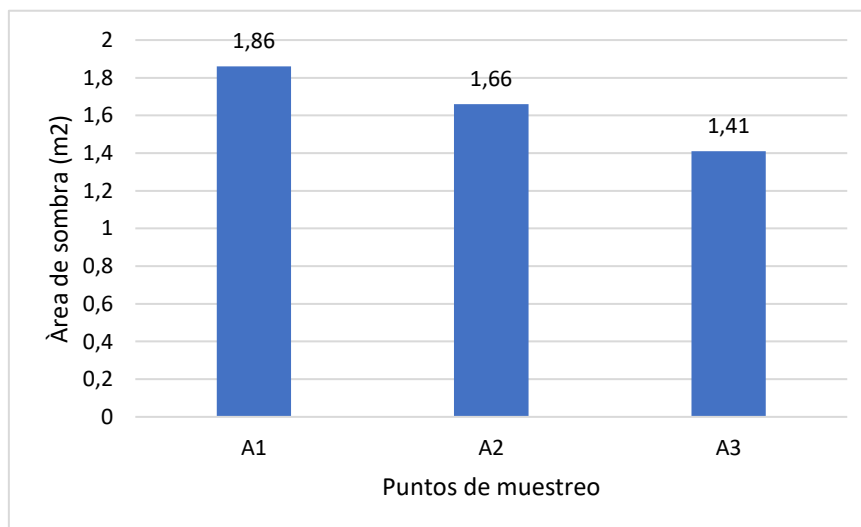
Tabla 2

Cálculo área de sombra.

Árbol	Oclusión	D1 (m)	D2 (m)	AR1 (m)	AR2 (m)	AP (m)	Área de Sombra (m ²)
A1	62.00%	1.83	2.07	2.63	3.37	2.99	1.86
A2	50.00%	1.90	2.20	2.84	3.80	3.32	1.66
A3	36.00%	2.30	2.17	4.16	3.69	3.93	1.41

Figura 5

Área de sombra en m² de cada árbol.



Se aprecia en el gráfico el área de sombra calculado, donde el árbol 1 (A1) presenta mayor cantidad de sombra con 1.86m^2 , y el árbol 3 (A3) presenta menor cantidad de sombra con 1.41m^2 .

4.2.2. Rendimiento de cultivo agrícola

4.2.2.1. Rendimiento de cultivo agrícola fuera del SAF

Para determinar el rendimiento de cultivo agrícola fuera del SAF, se hizo la delimitación en 1m^2 , extrayendo un muestreo.

Con la autorización, se realizó el cálculo del rendimiento del cultivo y se determinó el rendimiento en kg por cada m^2 .

Rendimiento de alfalfa = 1.40 kg/m^2

Rendimiento de maíz = 1.20 kg/m^2

Figura 6

Cultivo de alfalfa fuera del área SAF.



Figura 7

Cultivo de maíz fuera del área SAF.



4.2.2.2. Rendimiento de cultivo agrícola dentro del SAF

Para determinar el rendimiento de cultivo agrícola dentro del SAF se hizo la delimitación en 1m^2 , extrayendo un muestreo de la parte delantera del área en estudio.

Con la autorización, se realizó el cálculo del rendimiento del cultivo y se determinó el rendimiento en kg por cada m^2 .

Rendimiento de alfalfa = 1.60 kg/m^2

Rendimiento de maíz = 1.40 kg/m^2

Figura 8

Cultivo de alfalfa dentro del área SAF.



Figura 9

Cultivo de maíz dentro del área SAF.



4.3. Humedad del suelo fuera y dentro del sistema agroforestal del distrito Pariahuanca

Para realizar el análisis de humedad se realizó las extracciones de muestra de suelo en 3 puntos de muestreo (2 dentro del SAF y 1 fuera del SAF), de la zona de estudio; para ello se realizó mediante la NTP 339.127-1998.

Humedad por puntos

Se calculó la humedad de suelo pesando el suelo húmedo y luego el suelo seco, después de haberlo secado en el horno 110°C, por 40 horas.

Tabla 3*Contenido de humedad Punto N°01.*

Descripción		M - 1	M - 2
Peso suelo húmedo + contenedor	Mcws	164.15	210.23
Peso suelo seco + contenedor	Mcs	135.67	173.20
Peso contenedor	Mc	23.26	24.20
Peso suelo seco (Ms=Mcs-Mc)	Ms	112.41	149.00
Peso del agua (Mw=Mcws-Mcs)	Mw	28.48	37.03
Contenido de humedad (w=Mw/Ms)	w	25.30	24.60
Humedad promedio (%)		25.00	

Tabla 4*Contenido de humedad Punto N°02.*

Descripción		M - 1	M - 2
Peso suelo húmedo + contenedor	Mcws	224.22	236.63
Peso suelo seco + contenedor	Mcs	189.29	199.71
Peso contenedor	Mc	24.15	23.65
Peso suelo seco (Ms=Mcs-Mc)	Ms	165.14	176.06
Peso del agua (Mw=Mcws-Mcs)	Mw	34.93	36.92
Contenido de humedad (w=Mw/Ms)	w	21.20	21.00
Humedad promedio (%)		21.00	

Tabla 5*Contenido de humedad Punto N°03.*

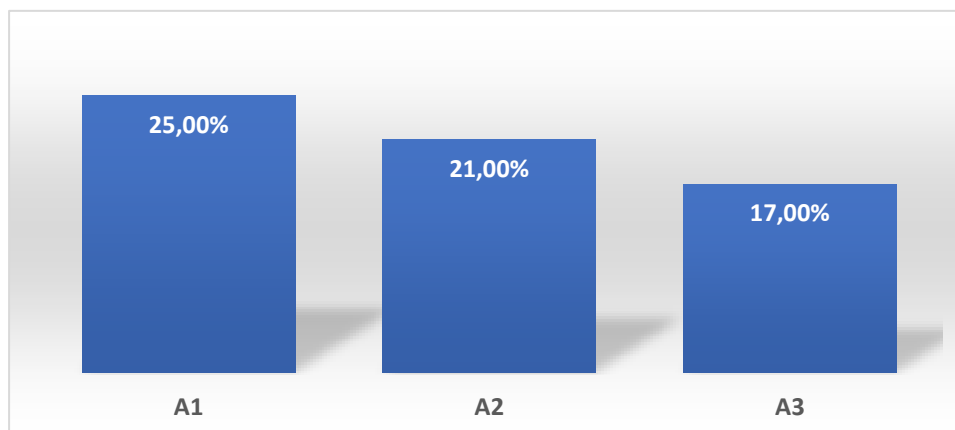
Descripción		M - 1	M - 2
Peso suelo húmedo + contenedor	Mcws	321.24	358.70
Peso suelo seco + contenedor	Mcs	280.78	310.52
Peso contenedor	Mc	30.69	32.43
Peso suelo seco (Ms=Mcs-Mc)	Ms	250.09	278.09
Peso del agua (Mw=Mcws-Mcs)	Mw	43.46	48.18
Contenido de humedad (w=Mw/Ms)	w	17.40	17.30
Humedad promedio (%)		17.00	

Tabla 6*Resumen de Contenido de Humedad en cada punto.*

Descripción	Medida	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Coordenadas con GPS Norte		8963713	8963706	8963707
Coordenadas con GPS Este	m	216173	216180	216176
Coordenadas con GPS Altura		2790	2791	2790
Punto N°		1	2	3
Humedad Contenida del Suelo	(%)	25.00	21.00	17.00

Figura 10

Resumen de la humedad del suelo.



En la Figura 10, se muestra la humedad contenida del suelo, para cada punto de muestra extraída del lugar en estudio, se indicó el contenido de humedad en porcentajes (%). El ensayo A₃ corresponde a la muestra extraída de una zona donde no corresponde a un Sistema Agroforestal (SAF), mientras que los ensayos A₁ y A₂ se obtuvieron de zonas donde se delimitó el SAF. Por lo que en los resultados se observa que, en el ensayo A₃ se tiene menor cantidad de humedad, ya que tenía sombra en menor proporción (prácticamente nula), es por ello que ocasionó la evaporación del agua del suelo.

En los ensayos A₁ y A₂ se observa que la cantidad de humedad es superior, siendo el ensayo A₁ que destaca con un 25.00% de humedad, ya que la muestra se extrajo de una zona con mayor exposición a la sombra, lo que evitó que el agua contenida en el suelo se evapore, pudiéndose mantener mejores condiciones. El ensayo A₂ tiene un resultado inferior, porque el lugar donde se extrajo tenía menos exposición a la sombra que el punto A₁, pues los rayos del sol ingresaron al suelo evaporando el agua contenida en el suelo.

4.4. Describir el reciclaje de nutrientes en el sistema agroforestal bajo la influencia de la capacidad de sombra.

Los árboles de sombra que en el presente estudio de investigación se analizaron fueron los paltos, por las raíces profundas que tienen estos árboles, y la sombra que otorgan contribuyen a regular el clima dentro SAF, además, tienen efectos en la cantidad de materia orgánica que se acumula en el suelo, que al descomponerse forma el compost orgánico, efectos en reciclaje de nutrientes, reducen la evaporación del suelo, disminuyen la erosión y secuestran carbono, todo ello impacta en las propiedades químicas del suelo donde se tienen los cultivos de maíz y alfalfa. En ese sentido se ha realizado los análisis químicos del suelo fuera y dentro del SAF.

4.4.1. Análisis químicos del suelo dentro y fuera del área de SAF

A continuación, tenemos los análisis de nutrientes del suelo, donde tenemos los resultados de cantidad de calcio, magnesio, potasio, nitrógeno y fósforo, que contienen en las 3 muestras de suelo (2 dentro del SAF y 1 fuera del SAF) en el presente año.

Tabla 7

Análisis de nutrientes en suelo (Punto 1, dentro del SAF).

Cód.	Parámetro	Unidad de medida	Método	Límite de detección	Muestra	
					Código del Cliente	M-01
					Fecha de muestreo	03/06/2022
					Hora muestreo	09:15
					Código del Laboratorio	CS220037
MS09	Calcio Total	mg/kg Ca	APHA 3500-Ca D	90.00		119940.00
MS18	Magnesio total	mg/kg Mg	APHA 3500.Mg E	50.00		64967.50
NUS02	Nitrógeno Total	mg/kg N	Digestión Koroleff	0.50		264367.80
NUS 05	Fósforo	%ms	Vanadomílibdato	10.00		0.06
MS25	Potasio Total	%ms	Kalignost turbidimetric	0.01		1.65

Tabla 8*Análisis de nutrientes en el suelo (Punto 2, dentro del SAF)*

Cód.	Parámetro	Unidad de medida	Método	Límite de detección	Muestra	
					Código del Cliente	M-02
					Fecha de muestreo	03/06/2022
					Hora muestreo	09:10
					Código del Laboratorio	CS220036
MS09	Calcio Total	mg/kg Ca	APHA 3500-Ca D	90.00		109945.00
MS18	Magnesio total	mg/kg N	APHA 3500.Mg E	50.00		46976.50
NUS02	Nitrógeno Total	mg/kg N	Digestión Koroleff	0.50		297351.30
NUS 05	Fósforo	%ms	Vanadomíldato	10.00		0.11
MS25	Potasio Total	%ms	Kalignost turbidimetric	0.01		1.8

Tabla 9*Análisis de nutrientes en el suelo (Punto 3, fuera del SAF)*

Cód.	Parámetro	Unidad de medida	Método	Límite de detección	Muestra	
					Código del Cliente	M-03
					Fecha de muestreo	03/06/2022
					Hora muestreo	09:15
					Código del Laboratorio	CS220037
MS09	Calcio Total	mg/kg Ca	APHA 3500-Ca D	90.00		55916.10
MS18	Magnesio total	mg/kg Mg	APHA 3500.Mg E	50.00		13799.30
NUS02	Nitrógeno Total	mg/kg N	Digestión Koroleff	0.50		8047.90
NUS 05	Fósforo	%ms	Vanadomíldato	10.00		0.03
MS25	Potasio Total	%ms	Kalignost turbidimetric	0.01		0.19

De los resultados de las tablas 9, 10 y 11, se evidencia las diferencias de retención de nutrientes en suelo dentro de la parcela con SAF y dentro de la parcela sin SAF, donde los resultados indican que la cantidad de metales es inferior para el suelo fuera del sistema agroforestal y se obtiene cantidades mayores dentro del SAF.

Para Calcio, los puntos dentro del SAF, A1=119940.00mg/kg y A2=109945.00mg/kg, mostraron valores que son más altos que A3=55916.10mg/kg, encontrado en el punto fuera del SAF. En ese sentido, la diferencia de cantidad de Ca en las muestras se atribuye

a que la sombra se presenta en diferente porcentaje, el cual ofrece la posibilidad de retener humedad al cultivo en diferentes niveles y poder aprovecharlos.

El Magnesio, en los puntos dentro del SAF, A1=64967.50mg/kg y A2=46976.50mg/kg, mostraron valores que son más altos que el punto fuera del SAF A3=13799.30mg/kg. Las cantidades de magnesio encontradas, estuvieron en relación de la cantidad de luz interceptada, que claramente variaron por el dosel de sombra.

Para Nitrógeno, los puntos dentro del SAF, A1=264367.80mg/kg y A2=297351.30mg/kg, mostraron valores más altos que A3=8047.90mg/kg, encontrado en el punto fuera del SAF. A2 presenta mayor cantidad de N que A1, en ese sentido, la diferencia de cantidad en las muestras se atribuye a que existen adiciones de nitrógeno derivado de residuos orgánicos, principalmente en la superficie proveniente de la poda.

El Fósforo, con puntos dentro del SAF A1=0.06%ms y A2=0.11%ms, mostraron valores más altos que A3=0.03%ms, encontrado en el punto fuera del SAF. En ese sentido A2 presenta mayor porcentaje de P que A1, caracterizando la diferencia por su buen desarrollo folicular, formación y floración de la semilla (alfalfa).

Por último, para Potasio, los puntos dentro del SAF, A1=1.65%ms y A2=1.80%ms, mostraron valores que son más altos que A3=0.19%ms, encontrado en el punto fuera del SAF. En ese sentido, la A2 presenta mayor porcentaje de K que A1, mostrando que la humedad del suelo es variable en ambos puntos bajo la sombra, no dejando de ser beneficiosa para el desarrollo óptimo pues el K es un elemento importante para la fotosíntesis.

4.5. Determinar la influencia de la capacidad de sombra del componente forestal en el comportamiento de los cultivos agrícolas del sistema agroforestal del distrito de Pariahuanca

4.5.1. Sombra y Humedad

Resultados obtenidos de humedad y sombra del suelo permitieron indagar cómo es que la humedad aumenta o disminuye con la asociación con los árboles de palto y alfalfa. El árbol al interceptar los rayos del sol, su radiación permitió crear la sombra en el suelo y a la vez la variabilidad de la temperatura crear un microclima apto para todo el desarrollo de las reacciones en el suelo. Determinando que la sombra y la humedad son directamente proporcional, en este tipo de especies y genotipos estudiados.

4.5.2. Sombra y Calcio

La sombra permitió conservar humedad dentro de la plantación, lo que con los resultados del Ca obtenidos conlleva a considerar que fueron los porcentajes adecuados para las especies del área de estudio, pues las cantidades dentro del sistema agroforestal no presentaron efecto perjudicial, pero si deficiencia en plantaciones que no presentan sombra. Determinando que la sombra y el calcio son directamente proporcional, en este tipo de especies y genotipos estudiados.

4.5.3. Sombra y Magnesio

La sombra brindada y el magnesio retenido en el suelo presentaron cantidades elevadas dentro del sistema agroforestal, teniendo en cuenta que el Mg es un elemento que se desarrolla perfectamente en función de la radiación solar interceptada por la sombra. Las variaciones que se presentaron con respecto a puntos con poca o nula sombra, indicaron que existió una mayor producción de Mg por influencia de la cantidad de sombra, permitiendo determinar que la sombra y el magnesio son directamente proporcional, en este tipo de especies y genotipos estudiados.

4.5.4. Sombra y Nitrógeno

El nitrógeno como elemento estudiado dentro del sistema agroforestal presenta variabilidades con respecto a la sombra. No solo el efecto de la sombra en el suelo determinó las cantidades de nitrógeno, sino también la materia orgánica proveniente de la poda y el fertilizante orgánico (excretas de cuy) producido por los propietarios del área de estudio, los cuales determinaron las variantes de N. Determinando que la sombra y el nitrógeno no son directamente proporcional, en este tipo de especies y genotipos estudiados.

4.5.5. Sombra y Fósforo

Los árboles de sombra propiamente dichos, proporcionaron al suelo de materia orgánica y nutrientes, generando el microclima necesario para el desarrollo. La temperatura y humedad regulada por la sombra fueron uno de los alcances importantes, pues ambas variables determinaron la cantidad existente de P en el área de estudio. Así mismo, también fue influenciada por la materia orgánica proveniente de la poda y el fertilizante orgánico (excretas de cuy), determinando que la sombra y el fósforo no son directamente proporcional, en este tipo de especies y genotipos estudiados.

4.5.6. Sombra y Potasio

La sombra permitió incrementar las condiciones de humedad dentro de la plantación, lo que con los resultados del K obtenidos conlleva a considerar que fueron los porcentajes adecuados para las especies del área de estudio, pues las cantidades dentro del sistema agroforestal no presentaron efecto perjudicial, pero si variaciones por las condiciones. Existe deficiencia de K en plantaciones que no presentan sombra. Determinando que la sombra y el potasio son directamente proporcional, en este tipo de especies y genotipos estudiados.

CAPÍTULO V

DISCUSIONES

- 5.1. Respecto al primer objetivo específico, se encontró que el rendimiento de cultivo agrícola de la alfalfa y maíz sin la aplicación del Sistema agroforestal es 1.40kg/m^2 y 1.20kg/m^2 respectivamente y como lo mencionan Chappa et al. (2007) los sistemas productivos comerciales usualmente se caracterizan por la práctica del monocultivo y el establecimiento de cultivos conformados por amplias densidades en suelos desnudos y con escasa protección vegetal; donde sin un refuerzo debido el terreno pierde su fertilidad en un periodo de tres a cuatro años (Mendieta y Rocha., 2007).
- 5.2. Respecto al segundo objetivo específico, se tuvo como resultado que el rendimiento de cultivo de alfalfa y maíz dentro del SAF (Afectado por la sombra de árboles) fueron de 1.60kg/m^2 y 1.40kg/m^2 respectivamente, lo que evidencia un aumento en comparación al rendimiento de dichos cultivos sin SAF, por lo que se podría decir que la influencia de las sombras producidas por los árboles es positiva para el cultivo. Similar fue lo encontrado por Noli et al. (2006) quien evaluó diferentes variedades de alfalfa, en cuyos resultados obtenidos el cultivo de alfalfa con mayor cantidad de rendimiento fue de 1.69kg/m^2 , mostrando así resultados similares a los obtenidos en esta investigación.
- 5.3. Respecto al tercer objetivo específico, la sombra del árbol ha permitido la presencia de mayor contenido de humedad en el suelo, por lo que ha favorecido al desarrollo de los cultivos, donde en el punto A₁ y A₂ dentro del SAF se encontraron porcentajes de humedad de 25.00% y 21.00% respectivamente, y en el punto A₃ fuera del SAF se encontró un porcentaje

de humedad de 17.00%. Por lo mencionado por Villareyna (2016), que la sombra que generan los árboles en un sistema SAF tienen un efecto sobre el rendimiento de café y lo atribuyen a su influencia que tiene en la regulación de la carga fructífera. Esto también se refuerza con lo mencionado por Lin (2010) quien sostiene que la sombra contribuye a la reducción de la evaporación del agua del suelo. Así mismo, Meylan (2012) también concluyó que la sombra producida por los árboles permite incrementar la infiltración del agua de lluvia y reducir su escorrentía de esta manera secuestrando agua en el suelo.

- 5.4. Respecto al cuarto objetivo específico, el reciclaje de nutrientes en el sistema agroforestal bajo la influencia de la capacidad de sombra favoreció en gran manera al desarrollo del cultivo, por el reciclaje de nutrientes, ya que en los puntos A₁ y A₂ (Dentro del SAF) se obtuvieron 119940.00 mg/kg y 109945.00 mg/kg respectivamente de Ca, valores que son más altos que los encontrados en el punto A₃ que fue de 55916.10 mg/kg de Ca. Del mismo modo respecto al magnesio, nitrógeno, fósforo y potasio se encontraron resultados más elevados de dichos nutrientes en los puntos A₁ y A₂ (con ligeras variaciones entre ambos puntos por influencia de su entorno, sombra y humedad), en comparación al punto A₃; por lo que se podría decir que por dichas comparaciones la sombra proyectada por los árboles dentro de un sistema SAF favorecería el reciclaje de nutrientes. En manera similar Hidalgo (2015) al realizar su investigación encontró que el mayor aporte de biomasa seca se obtuvo en árboles de lúcumo (*Pouteria lucuma*) de cinco años (20.12 kg/árbol/año) al igual que el mayor aporte de nitrógeno (0.13), potasio (0.26), calcio (8.19×10^{-6}), magnesio (3.78×10^{-6}), hierro (1.33×10^{-3}) y cobre (4.75×10^{-4}); el pacaé (*Inga feuillei*) contribuyó con el mayor volumen de fósforo (0.05) y el aliso (*Alnus glutinosa*) con la mayor cantidad de zinc (2.35×10^{-4}) y manganeso (1.59×10^{-4}), todos expresados en kg/árbol/año, con lo que evidencia que a pesar de no utilizar el mismo tipo de árbol para el sistema agroforestal, sirve como punto de comparación de cultivos con sistema agroforestal y sin sistema agroforestal.

5.5. Respecto al objetivo general, según lo hallado se encontró que existe una relación directamente proporcional entre la sombra recibida en el suelo con el porcentaje de humedad retenida en el mismo. Por otro lado, respecto a los nutrientes retenidos en el suelo, según los resultados y fichas de observación en campo, se determinó que existe una relación directamente proporcional entre sombra y calcio, sombra y magnesio y por último sombra y potasio, pero no se logró determinar una relación directa entre la sombra y nitrógeno, así como, entre la sombra y fósforo. Por lo que no se puede aseverar todas las relaciones del caso siempre se mantengan pues pueden variar al ser al menos uno diferente; y como lo menciona de manera similar Villareyna et al. (2020) quien evidenció el efecto positivo de la sombra de los árboles sobre los servicios ecosistémicos, aún se deben de realizar más estudios complementarios con otros análisis de relaciones entre servicios para ser más precisos.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- 6.1.1. El rendimiento de cultivo agrícola de la alfalfa y maíz sin la aplicación del sistema agroforestal fue de 1.40 kg/m² y 1.20 kg/m² respectivamente.
- 6.1.2. El rendimiento del cultivo de alfalfa y maíz aumenta dentro del sistema agroforestal, obteniendo rendimientos de 1.60 kg/m² y de 1.40 kg/m² respectivamente.
- 6.1.3. Los puntos A₁ y A₂ (dentro del SAF) con mayor incidencia de sombra, evidenciaron una mayor retención de humedad en el suelo con un 25.00% y 21.00%, y el punto A₃ (fuera del SAF) un 17.00% de humedad.
- 6.1.4. De los resultados obtenidos se tiene que, los puntos A₁ y A₂ (dentro del SAF) evidencian tener una mayor retención de nutrientes en el suelo a diferencia del punto A₃ (fuera del SAF).
- 6.1.5. Se concluye que existe influencia de la sombra en la cantidad de humedad retenida en el suelo, pero no se puede aseverar lo mismo respecto a los nutrientes retenidos en el suelo a efectos de la sombra, por lo que se requieren más estudios que ayuden a tener una mayor precisión.

6.2. RECOMENDACIONES

- 6.1. Se recomienda al Ministerio de Agricultura en coordinación con los pequeños productores de la zona, evaluar el comportamiento de los cultivos agrícolas del sistema agroforestal en otras regiones del Perú y analizar los rendimientos de cultivos para que sirvan como una referencia que pueda contribuir a la investigación.
- 6.2. Se recomienda realizar otros estudios y/o ensayos químicos en otras partes del país a fin de explicar el reciclaje de nutrientes en el sistema agroforestal bajo la influencia de la capacidad de sombra, pero en diferentes circunstancias.
- 6.3. Evaluar el comportamiento del cultivo tradicional a temperaturas ambiente dentro del sistema agroforestal, y desarrollar la investigación para conseguir identificar los niveles de sombra en relación al rendimiento de los cultivos y la humedad.
- 6.4. Es importante determinar las cantidades de calcio, magnesio, potasio y fósforo que se requieren en suelos para cultivo de alfalfa y maíz, de esta manera asegurar la producción y rendimiento de estos cultivos por lo que se sugiere al ente encargado del distrito brindar capacitación adecuada a los pequeños productores a fin de ampliar sus conocimientos respecto al tema.
- 6.5. Se recomienda realizar estudios de la calidad de agua de riego de la zona de estudio, y determinar si afecta al reciclaje de nutrientes dentro del suelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alegre, J.; García, S.; Vega, R.; Arévalo, Y. (2015). *Manual reciclaje de nutrientes en sistemas agroforestales*. Universidad Agraria la Molina. https://www.researchgate.net/publication/323839692_MANUAL_RECICLAJE_DE_NUTRIENTES_EN_SISTEMAS_AGROFORESTALES
- Altieri, M. A. y Nicholls, C. I. (2009). Cambio climático y agricultura campesina: impactos y respuestas adaptativas. *LEISA revista de agroecología*, 14(0), 5-8.
- Anguiano, J. M.; Aguirre, J. y Palma, J. M. (2013). Secuestro de carbono en la biomasa aérea de un sistema agrosilvopastoril de *Cocus nucifera*, *Leucaena leucocephala*, var. *cunnigham* y *Pennisetum purpureum* Cuba CT-115. *Revista Avances en Investigación Agropecuaria*, 17(1), 149-160.
- Beer, J.; Ibrahim, M.; Somarriba, E.; Barrance, A. y Leakey, R. (2004). *Establecimiento y manejo de árboles en sistemas agroforestales*. *Árboles de Centroamérica*. Centro Agronómico tropical de Investigación y Enseñanza.
- Beer, J, Muschler, R., Kass, D., & Somarriba, E. (1998). Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry systems*. 38(1): 139–164.
- Bertsch, F. (1995). *La Fertilidad de los Suelos y su Manejo*. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
- Bouroncle, C., Imbach, P., Laderach, P., Rodríguez, B., Medellín, C. y Fung, E. (2014). *La agricultura de Nicaragua y el cambio climático: ¿Dónde están las prioridades para la adaptación?* CGIAR. <https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/45944/PB%20Nicaragua.pdf>
- Chappa, C., Gallusser, J. y Tenorio, A. (2007). *Sistemas productivos en la región San Martín*. SEPIA XII. https://joseordinolaboyer.files.wordpress.com/2011/01/sistema_productivo_san_martin_c-chiappa-s-galluver-a-tenorio.pdf
- Cramer, M.D. (2010). Phosphate as a limiting resource: Introduction. *Plant and Soil* 334(1), 1-10.

- https://www.researchgate.net/publication/225360473_Phosphate_as_a_limiting_resource_Introduction
- Dekalb (8 de octubre del 2014). *Maíz y agua*. <https://www.dekalb.es/biblioteca-agronomia/manejo-del-cultivo-de-maiz/maiz-agua>
- Durand Aguilar, M. J. (2014). *Comportamiento productivo de Alfalfa (Medicago Sativa L.) en Cultivo Puro y Asociado con Gramíneas Forrajeras en el CIP - Camacani*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Altiplano]. http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/2054/Durand_Aguilar_Marcia_Jakeline.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Farfán, F. (2019). *Descripción de la estructura del dosel arbóreo al interior de un sistema agroforestal con café*. Fondo Nacional del Café. https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/1102/1/AVT_501.pdf
- Fassbender, H. (1992). *Modelos edafológicos de los sistemas de producción agroforestal*. Centro Agronómico tropical de Investigación y Enseñanza. <https://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/3162>
- Feliciano, D., Ledo, A., Hillier, J., & Nayak, D. R. (2018). Which agroforestry options give the greatest soil and above ground carbon benefits in different world regions?. *Agriculture, ecosystems & environment*, 254(1), 117-129. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880917305297>
- Giraldo Ramírez, W. P. (2019). *Aporte de nutrientes de la biomasa vegetal de dos especies de árboles utilizados en sistemas agroforestales en el distrito de Jangas para la sostenibilidad de los ecosistemas Agrícolas–2016*. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. http://www.repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/3605/T033_31637915_D.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Hernández Sampieri, R. y Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Editorial Mc Graw Hill Education.
- Hidalgo P., Tuya, E., Castillo, G., Ospina, Z. y Huamán, L. (2016). *Aporte de nutrientes de la biomasa vegetal de tres especies de árboles utilizados en sistemas agroforestales del Callejón de Huaylas, 2015*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo].

- Illmer, P. and Schinner, F. (1995). Solubilization of inorganic calcium phosphates – solubilization mechanisms. *Soil Biology & Biochem*, 27(3), 257-263. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/003807179400190C>
- Lin, B. (2010). The role of agroforestry in reducing water loss through soil evaporation and crop transpiration in coffee agroecosystems. *Agricultural and forest meteorology*, 150(4), 510-518. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168192309002755>
- Mata, A. D.; Rivero H. M. y Segovia M. E. (2018). Agroforestry systems with fine aroma cocoa cultivation: socio-economic and productive environment. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 6(1), 103-115. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2310-34692018000100103&lng=es&tlng=en.
- Mendieta López, M., y Rocha Molina, L. R. (2007). *Sistemas agroforestales*. Universidad Nacional Agraria. <https://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/2443>
- Meylan, L. (2012). *Design of cropping systems combining production and ecosystem services: developing a methodology combining numerical modeling and participation of farmers: Application to coffee-based agroforestry in Costa Rica*. [Tesis de doctorado, Montpellier Supagro]. https://agritrop.cirad.fr/569292/1/document_569292.pdf
- Montagnini, F, Somarriba, E, Murgueitio, E, Fassola, H y Eibl, B. (2015). *Sistemas Agroforestales: Funciones Productivas, Socioeconómicas y Ambientales*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. https://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/11554/7124/1/Sistemas_Agroforestales.pdf
- Montenegro, G. E. (2005). *Efecto del aporte de nutrientes de la biomasa de tres tipos de árboles de sombra en sistemas de manejo de café orgánico y convencional*. [Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza]. https://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/1474/Efecto_del_aporte_de_nutrientes.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Musálem, M. Á. (2002). Sistemas agrosilvopastoriles: una alternativa de desarrollo rural sustentable para el trópico mexicano. *Revista Chapingo*, 8(2), 91-100. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62980201>

- Muschler, R. (1999). *Árboles en cafetales*. Catie.
- Noli Hinostroza, E. C., Bojórquez Reyes, C. y Ordoñez Flores, J. H. (2006). *Caracterización del cultivo de alfalfa con dormancia 9 en época seca en la sierra central del Perú*. Instituto Nacional de Innovación Agraria. [https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/589#:~:text=Los%20res%20ultados%20muestran%20que%20las,%2Fcorte\)%20y%2030.18%25%20de](https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/589#:~:text=Los%20res%20ultados%20muestran%20que%20las,%2Fcorte)%20y%2030.18%25%20de)
- Ovalle Rivera, O., Läderach, P., Bunn, C., Obersteiner, M. & Schroth, G. (2015). Projected shifts in *Coffea arabica* suitability among major global producing regions due to climate change. *PLoS ONE* 10(4): 124-155. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25875230/>
- Palm, C. (1995). Contribution of agroforestry trees to nutrient requirements of intercropped plants. *Agroforestry Systems* 30(1): 105–124. <https://www.cabi.org/isc/abstract/19950613491>
- Rapidel B.; Allinne C.; Cerdan C.; Meylan L.; Virginio Filho E.D.M.; Avelino J. (2015). *Sistemas Agroforestales: Funciones Productivas, Socioeconómicas y Ambientales. Colombia*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Somarriba, E. (2002). Estimación visual de la sombra en cacaotales y cafetales. *Agroforestería en las Américas* 9(35), 86-94.
- Somarriba, E. (2004). ¿Cómo evaluar y mejorar el dosel de sombra en cacaotales? *Agroforestería en las Américas*, números 41(2004), 120-128
- Tarafdar J. C. & Gharu (2006). Mobilization of organic and poorly soluble phosphates by *Chaetomium globosum*. *Applied Soil Ecology*, 32(3), 273-283.
- Tonon de Toscano, G. (2011). La utilización del método comparativo en estudios cualitativos en Ciencia Política y Ciencias Sociales. *KAIROS*, 15(27), 1-12. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3702607>
- Van Kanten, R. y Vaast, P. (2006). Transpiration of arabica coffee and associated shade tree species in sub-optimal, low-altitude conditions of Costa Rica. *Agroforestry Systems*, 67(2), 187-202.
- Villarreyna, R., (2016). *Efecto de la sombra sobre las plagas y enfermedades, a través del microclima, fenología y estado fisiológico del cafeto*. Ministerio Federal del Medio Ambiente. Protección de la Naturaleza, Obras Públicas y

Seguridad

Nuclear.

https://agritrop.cirad.fr/581152/1/Reporte%201_Sombra%20y%20Plagas%20y%20E_RV_%20JA_BV_RV.pdf

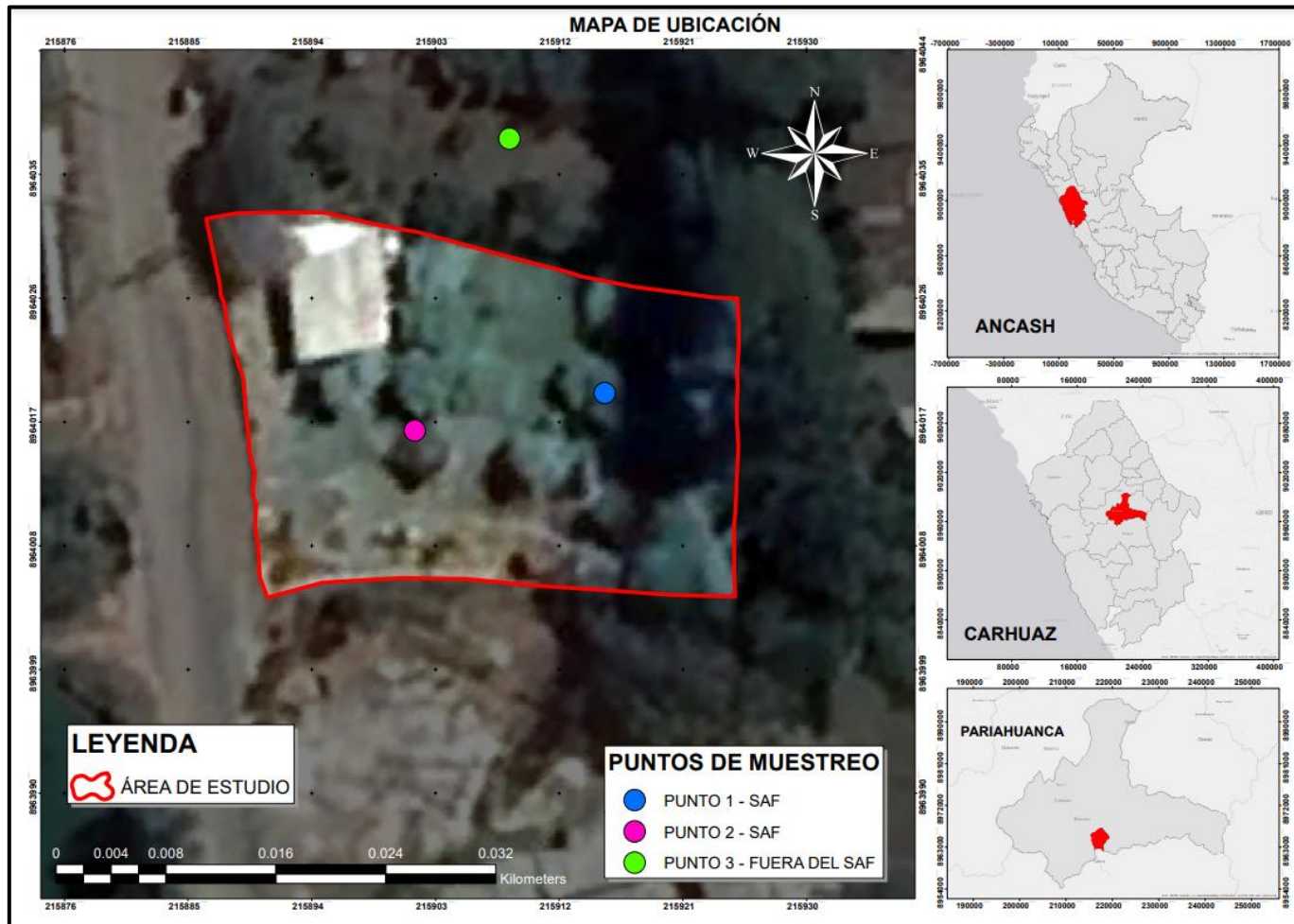
Villarreyana, R., Avelino, J., & Cerda, R. (2020). Ecosystem-based adaptation: effect of shade trees on ecosystem services in coffee plantations. *Agronomía Mesoamericana*, 31(2), 499-516.
<http://dx.doi.org/10.15517/am.v31i2.37591>

Waheed, R., Chang, D., Sarwar, S., & Chen, W. (2018). Forest, agriculture, renewable energy, and CO2 emission. *Journal of Cleaner Production*, 172(1), 4231-4238.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.287>

ANEXOS



Anexo A. Mapa de Ubicación del Área de estudio



Anexo B. Resultados de laboratorio



INFORME DE ENSAYO CS220018

CLIENTE Razón Social : Mayra Ramirez Manrique
 Dirección : Huaraz
 Atención : Mayra Ramirez Manrique

MUESTRA Producto declarado : Muestra de Suelo
 Matriz : Suelos
 Procedencia : Distrito de Pariahuanca
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC210011

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 03/Junio/2022
 Fecha de análisis : 03 de Junio - 10 de Junio/2022
 Cotización N° : CO220252

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	M - 01
					Fecha de muestreo	03/06/2022
					hora muestreo	09:10
					Código del Laboratorio	CS220036
MS	METALES EN SUELOS					
MS09	Calcio total	mg/Kg Ca	APHA 3500-Ca D	90.0		109945.0
MS18	Magnesio total	mg/Kg Mg	APHA 3500.Mg E	50.0		46976.5
NUS	ANÁLISIS DE NUTRIENTES EN SUELOS					
NUS02	Nitrógeno Total	mg/kg N	Digestión Koroleff,	0.5		297351.3
NUS 05	Fósforo	% ms	Vanadomolibdato	10		< 10
NUS 06	Potasio total	% ms	Kalinox turbidimétric	0.01		1.80

¹ Datos proporcionados por el cliente

Leyenda: APHA: Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 23 rd. Edition-2017

Huaraz, 10 de Junio de 2022

"Fin del Informe de Ensayo"



Mario Leyva Coñas
 MSc. Quím. Mario Leyva Coñas
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 CQP N° 804

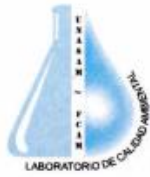
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental.

Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras drimientes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.

LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
 FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"
 Av. Centenario N°200-Huaraz- Ancash - Telef 043 640020 - Anexos 3602- 3501
 E-mail: dgca-lca-av@unacam.edu.pe

Página 1 de 1



INFORME DE ENSAYO CS22019

CLIENTE Razón Social : Mayra Ramirez Manrique
Dirección : Huaraz
Atención : Mayra Ramirez Manrique

MUESTRA Producto declarado : Muestra de Suelo
Matriz : Suelos
Procedencia : Distrito de Pariahuanca
Ref./Condición : Cadena de Custodia CC210011

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 03/Junio/2022
Fecha de análisis : 03 de Junio - 10 de Junio/2022
Cotización N° : CO220252

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	M - 02
					Fecha de recepción ¹	03/06/2022
					Hora muestra	09:15
					Código del Laboratorio	CS220037
MS	METALES EN SUELOS					
MS09	Calcio total	mg/Kg Ca	APHA 3500-Ca D	90.0		119940.0
MS18	Magnesio total	mg/Kg Mg	APHA 3500.Mg E	50.0		64967.5
NUS	ANÁLISIS DE NUTRIENTES EN SUELOS					
NUS02	Nitrógeno Total	mg/kg N	Digestión Koroleff,	0.5		264367.8
NUS 05	Fósforo	% ms	Vanadomolibdato	10		< 10
NUS 06	Potasio total	% ms	Kalqnost turbidimétric	0.01		1.65

¹ Datos proporcionados por el cliente

Leyenda: APHA: Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 23 rd. Edition-2017

Huaraz, 10 de Junio de 2022

"Fin del Informe de Ensayo"



Mario Leyva Collas
MSc. Quím. Mario Leyva Collas
Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental
FCAM - UNASAM
CQP N° 604

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental.

Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dirimentes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.

LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO"
Av. Centenario N°200-Huaraz-Ancash. Telef: 043 640020 - Anexos: 3602- 3501
E-mail: dgce-ica-av@unasam.edu.pe

Página 1 de 1





INFORME DE ENSAYO CS220014

CLIENTE Razón Social : INFLUENCIA DE LA CAPACIDAD DE SOMBRA EN EL COMPORTAMIENTO DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES DEL DISTRITO DE "PARIAHUANCA", 2022

Dirección : Pariahuanca
Atención : Mayra Ramirez Manrique

MUESTRA Producto declarado : Muestra de Suelo
Matriz : Suelo
Procedencia : Pariahuanca
Ref./Condición : Cadena de Custodia CC210007

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 18/Abril/2022
Fecha de análisis : 18 de Abril - 25 de Abril/2022
Cotización N° : 00220154

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código de muestra	MS - 01
					Fecha de muestra	17/04/2022
					Volumen muestra	15.00
					Código de Laboratorio	CS220032
MS	METALES EN SUELOS					
MS09	Calcio total	mg/Kg Ca	APHA 3500-Ca D	90.0		55916.1
MS18	Magnesio total	mg/Kg Mg	APHA 3500.Mg E	50.0		13779.3
MS25	Potasio total	mg/ Kg K	Kaliconet turbidimétric	30.0		1897.2
NUS	ANÁLISIS DE NUTRIENTES EN SUELOS					
NUS02	Nitrogeno Total	mg/kg N	Digestión Koroleff,	0.5		8047.9

¹ Datos proporcionados por el cliente

Leyenda: APHA: Standard Method for de Examination of Water and Wastewater, 23 rd. Edition-2017

Huancayo, 25 de Abril de 2022



Msc. Quím. Mario Leyva Colla
Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental
FCAM - UNASAM
COP N° 604

"Fin del Informe de Ensayo"

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental.

Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dicientes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perechibilidad.

LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"
Av. Centenario N°200-Huancayo - Ancash - Telef: 043 640020 - Anexos: 3602 - 3501
E-mail: dycie-ca-av@unasam.edu.pe

Página 1 de 1





INFORME DE ENSAYO CS220016

CLIENTE Razón Social : INFLUENCIA DE LA CAPACIDAD DE SOMBRA EN EL COMPORTAMIENTO DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES DEL DISTRITO DE "PARIAHUANCA", 2022
 Dirección : Huaraz
 Atención : Mayra Ramirez Mantique

MUESTRA Producto declarado : Muestra de Suelo
 Matriz : Suelos
 Procedencia : Parahuancas
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC210009

MUESTRO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 02 Mayo 2022
 Fecha de análisis : 02 de Mayo - 09 de Mayo 2022
 Cotización N° : CC220177

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código de cliente	Código de Laboratorio
					MS - 01	CS220034
					Fecha de muestra	02/05/2022
					Fecha de muestra	07:40
NUS ANALISIS DE NUTRIENTES EN SUELOS						
NUS 05	Fosforo	% ms	Vanadomolibdato	10		0.03

Datos proporcionados por el cliente

Leyenda: APHA; Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition-2017

Huaraz, 09 de Mayo de 2022

"Fin del Informe de Ensayo"



MSc. Quím. Mario Leyva Coñas
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 COP N° 604

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental.

Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dicientes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.

LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
 FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO"
 Av. Céntrica N°200-Huaraz-Ancash- Telef. 043 540200 - Anexas 3613- 2901
 E-mail: lqca-ica@unasm.edu.pe

Página 1 de 1





CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO
(NTP 339.127-1998(Revisada el 2019))

Solicitud N° S-013-2022

Tesis : Influencia de la Capacidad de Sombra en el Comportamiento de los Sistemas Agroforestales del Distrito de Pariahuanca 2022
Tesista : Ramirez Manrique Mayra Fecha : Abril 2022
Lugar : Pariahuanca-Huaraz-Ancash Muestreado por : H.L.A
Punto : N°3 Muestra : mab-1 Profundidad : 0.00 - 0.145 m

DESCRIPCION		M - 1	M - 2
Peso Suelo Húmedo + Contenedor	M _{ows}	164.15	210.23
Peso Suelo Seco + Contenedor	M _{cs}	135.67	173.20
Peso Contenedor	Mc	23.28	24.20
Peso Suelo Seco (M _s =M _{cs} -M _c)	M _s	112.41	149.00
Peso del Agua (M _w =M _{ows} -M _{cs})	M _w	28.48	37.03
Contenido de Humedad (w=M _w /M _s)	w	25.3	24.9

Humedad Promedio (%)	25
-----------------------------	-----------

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU

Elio Alejandro Villa Vergara
INGENIERO CIVIL
REG. CIP. N° 42832



CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO
(NTP 339.127-1998(Revisada el 2019))

Solicitud N° **S-013-2022**

Tesis	: Influencia de la Capacidad de Sombra en el Comportamiento de los Sistemas Agroforestales del Distrito de Pariahuanca 2022	Fecha	: Abril 2022
Tesista	: Ramirez Manrique Mayra	Muestreado por	: H.L.A
Lugar	: Pariahuanca-Huaraz-Ancash	Profundidad	: 0.00 - 0.14 m
Punto	: N°1	Muestra	: mab-1

DESCRIPCION		M - 1	M - 2
Peso Suelo Húmedo + Contenedor	M _{cs}	224.22	236.63
Peso Suelo Seco + Contenedor	M _s	189.29	199.71
Peso Contenedor	M _c	24.15	23.65
Peso Suelo Seco (M _s =M _s -M _c)	M _s	165.14	176.06
Peso del Agua (M _w =M _{cs} -M _s)	M _w	34.93	36.92
Contenido de Humedad (w=M _w /M _s)	w	21.2	21.0

Humedad Promedio (%)	21
-----------------------------	-----------


COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
Elio Alejandro Mila Vergara
INGENIERO CIVIL
REG. C.I.P. N° 42632



CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO
(NTP 339.127-1998(Revisada el 2019))

Solicitud N° S-013-2022

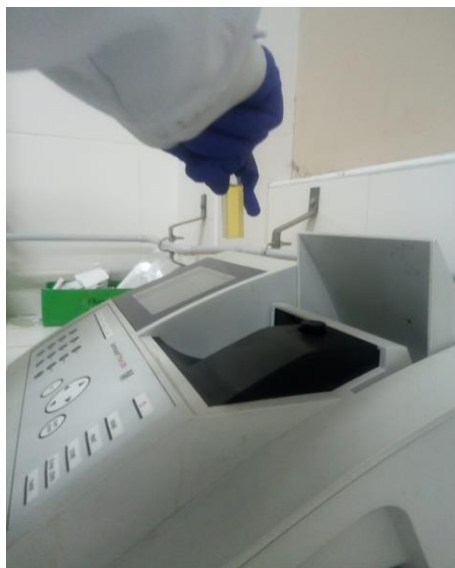
Tesis	: Influencia de la Capacidad de Sombra en el Comportamiento de los Sistemas Agroforestales del Distrito de Pariahuanca 2022	Fecha	: Abril 2022
Tesista	: Ramirez Manrique Mayra	Muestreado por	: H.L.A
Lugar	: Pariahuanca-Huaraz-Ancash	Profundidad	: 0.00 - 0.14 m
Punto	: N°2	Muestra	: mab-1

DESCRIPCION		M - 1	M - 2
Peso Suelo Húmedo + Contenedor	M _{cs}	324.24	358.70
Peso Suelo Seco + Contenedor	M _{cs}	280.78	310.52
Peso Contenedor	M _c	30.69	32.43
Peso Suelo Seco (M _s =M _{cs} -M _c)	M _s	250.09	278.09
Peso del Agua (M _w =M _{cs} -M _{cs})	M _w	43.46	48.18
Contenido de Humedad (w=M _w /M _s)	w	17.4	17.3

Humedad Promedio (%)	17
-----------------------------	-----------


COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
Elio Alejandro Mulla Vergara
INGENIERO CIVIL
REG. CIP. N° 42832

Anexo C. Evidencia fotográfica de laboratorio



Anexo D. Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional			
		Dimensiones	Indicadores	Unidad de Medida	Técnica instrumentos
Variable independiente Capacidad de sombra	Capacidad que poseen la copa de los árboles para generar diferentes intensidades de sombra a favor y generando estabilidad en la parcela.	Densidad de la copa de árboles.	Apertura del dosel de sombra.	Porcentaje	Estimación visual del porcentaje de oclusión de la copa.
		Altura	Distancia de la copa del árbol al suelo	Centímetro	Wincha
		Distribución del componente forestal.	Distancia entre árboles.	Centímetro	Wincha
Variable dependiente Comportamiento del Sistema Agroforestal	Es la manera de cómo funcionan los sistemas agroforestales en un momento determinado, según las circunstancias que lo afecten.	Rendimiento del cultivo agrícola.	Peso por hectárea	Kg/m ²	Balanza
		Modificación del microclima	Temperatura	Grados °C	Termómetro
		Reciclaje de nutrientes en el suelo.	Determinación de N, K, Ca, Mg y P	Kg/ha	Colorímetro y espectrómetro
		Humedad del suelo	Humedad	Porcentaje	Balanza y horno de secado

Anexo E. Recolección de datos y evidencia fotográfica de campo

a. Contenido de humedad del suelo

Punto N° 01 (Dentro del SAF)

Extracción de muestra del suelo del punto 01.



Datos del Punto N° 01 para calcular la humedad del suelo

Descripción	UND	Cantidad
Peso del suelo húmedo + recipiente	(gr)	3209.00
Peso del recipiente	(gr)	5.00
Peso del suelo húmedo (1)-(2)	(gr)	3204.00
Peso del cono + Arena	(gr)	9355.00
Peso del cono y la arena que queda	(gr)	4893.50
Peso de la arena del cono inferior	(gr)	1485.00

Punto N° 02 (Dentro del SAF)

Extracción de muestra del suelo del punto 02.



Datos del Punto N° 02 para calcular la humedad del suelo

Descripción	UND	Cantidad
Peso del suelo húmedo + recipiente	(gr)	2791.00
Peso del recipiente	(gr)	5.00
Peso del suelo húmedo (1)-(2)	(gr)	2786.00
Peso del cono + Arena	(gr)	9006.50
Peso del cono y la arena que queda	(gr)	5004.50
Peso de la arena del cono inferior	(gr)	1485.00

Punto N°03 (Fuera del SAF)

Extracción de muestra del suelo del punto 03.



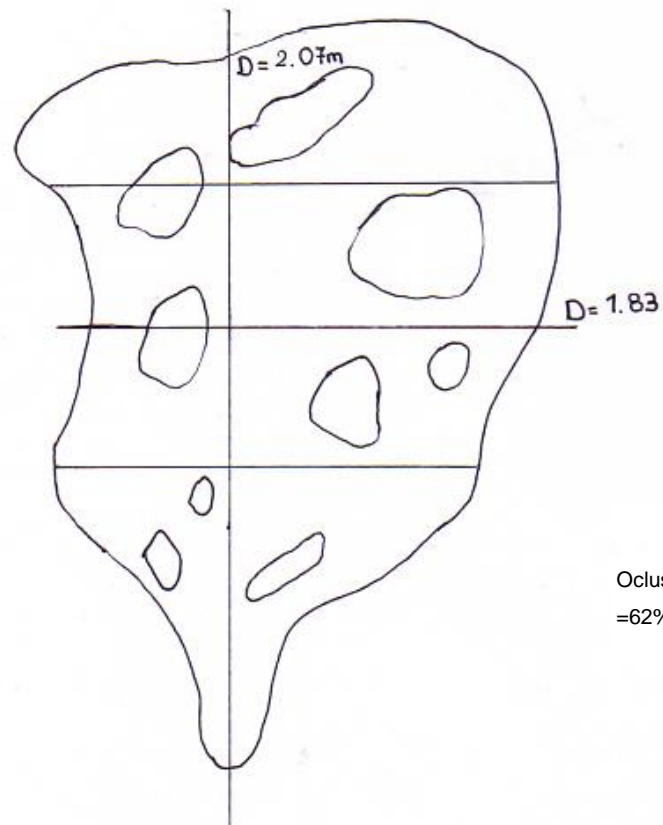
Datos del Punto N°03 para calcular la humedad del suelo

Descripción	UND	Cantidad
Peso del suelo húmedo + recipiente	(gr)	2461.00
Peso del recipiente	(gr)	4.00
Peso del suelo húmedo (1)-(2)	(gr)	2457.00
Peso del cono + Arena	(gr)	8736.00
Peso del cono y la arena que queda	(gr)	4707.50
Peso de la arena del cono inferior	(gr)	1485.00

Luego de extraer las muestras de suelo para determinar la humedad, también se extrajeron muestras de suelo para determinar la cantidad de nutrientes que tiene el suelo dentro del SAF y fuera del SAF.

b. Apertura del dosel de sombra

Resultado de oclusión y diámetros del árbol 1 (Punto 1).



A₁

Oclusión mayor a 50%
=62%

$$A_{11} = \pi(0.92)^2$$

$$A_{11} = 2.63$$

$$A_{12} = \pi(1.03)^2$$

$$A_{12} = 3.37$$

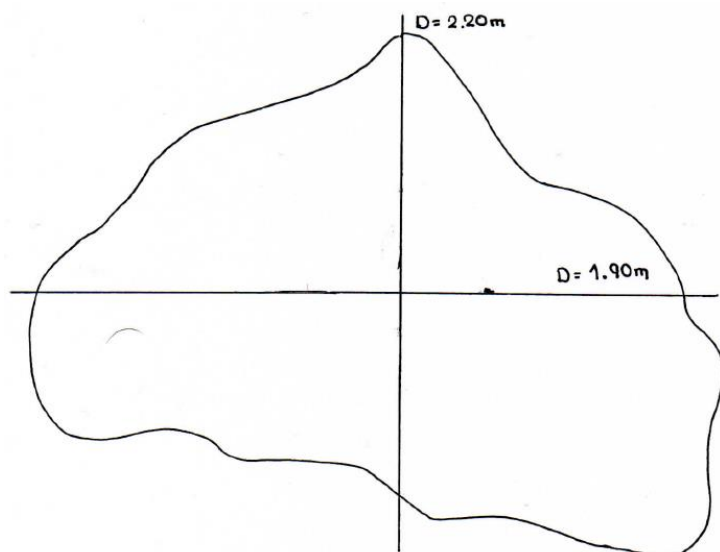
$$A_{p1} = \frac{2.63 + 3.37}{2}$$

$$A_{p1} = 2.99$$

$$A_{\text{sombra1}} = 2.99(62.00\%)$$

$$A_{\text{sombra1}} = 1.86$$

Resultado de oclusión y diámetros del árbol 2 (Punto 2).



A_2

Oclusión = 50%

$$A_{21} = \pi(0.95)^2$$

$$A_{21} = 2.84$$

$$A_{22} = \pi(1.10)^2$$

$$A_{22} = 3.80$$

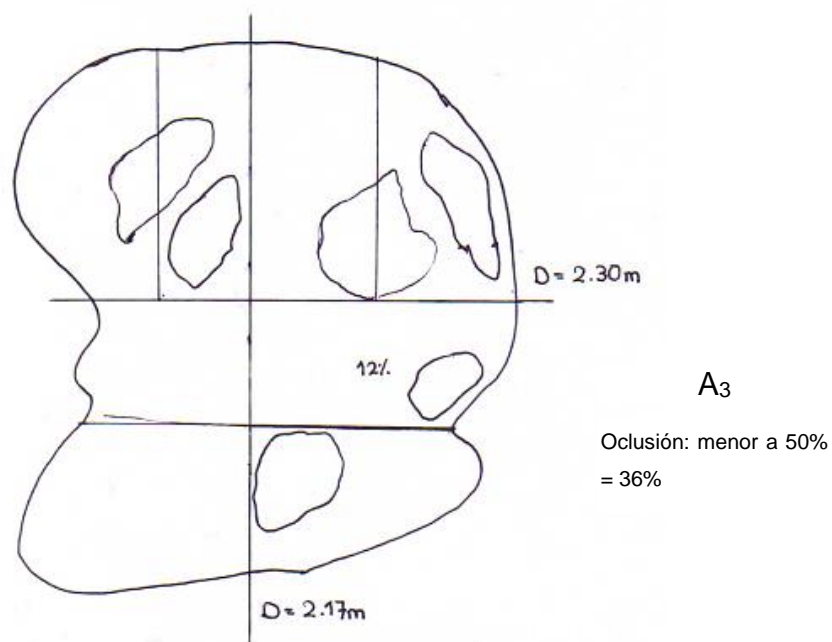
$$A_{p2} = \frac{2.84 + 3.80}{2}$$

$$A_{p2} = 3.32$$

$$A_{\text{sombra}2} = 3.32(50.00\%)$$

$$A_{\text{sombra}2} = 1.66$$

Resultado de oclusión y diámetros del árbol 3 (Punto 3).



$$A_{31} = \pi(1.15)^2$$

$$A_{31} = 4.16$$

$$A_{32} = \pi(1.08)^2$$

$$A_{32} = 3.69$$

$$A_{p3} = \frac{4.16 + 3.69}{2}$$

$$A_{p3} = 3.93$$

$$A_{\text{sombra}3} = 3.32(36.00\%)$$

$$A_{\text{sombra}3} = 1.41$$

En conclusión, los resultados de los tres puntos donde se levantaron datos y que se exponen en la siguiente tabla:

Resultados de oclusión, diámetros y áreas de cada árbol seleccionado

Árbol	Oclusión	D1 (m)	D2 (m)	AR1 (m)	AR2 (m)	AP (m)	Área de Sombra (m ²)
A1	62.00%	1.83	2.07	2.63	3.37	2.99	1.86
A2	50.00%	1.90	2.20	2.84	3.80	3.32	1.66
A3	36.00%	2.30	2.17	4.16	3.69	3.93	1.41