



UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”

ESCUELA DE POSTGRADO

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LA HUMEDAD DEL SUELO
EN POLICULTIVOS Y MONOCULTIVOS EN LA
COMUNIDAD CAMPESINA DE SHUPLUY (YUNGAY-
ANCASH) 2017-2018.**

Tesis para optar el grado de maestro
en Ciencias e Ingeniería
Mención en Ingeniería de Recursos hídricos

ADAN ALBERTO DAMIAN GAMARRA

Asesor: **Dr. ABELARDO DIAZ SALAS**

Huaraz – Ancash - Perú

2020

Registro N° T0736



**FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TESIS Y TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN,
 PARA OPTAR GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES EN EL
 REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL - UNASAM**

Conforme al Reglamento del Repositorio Nacional de Trabajos de Investigación – RENATI.
 Resolución del Consejo Directivo de SUNEDU N° 033-2016-SUNEDU/CD

1. Datos del Autor:

Apellidos y Nombres:.....

Código de alumno:.....Teléfono:.....

Correo electrónico:.....DNI o Extranjería:.....

2. Modalidad de trabajo de investigación:

Trabajo de investigación

Trabajo académico

Trabajo de suficiencia profesional

Tesis

3. Título profesional o grado académico:

Bachiller

Título

Segunda especialidad

Licenciado

Magister

Doctor

4. Título del trabajo de investigación:

5. Facultad de:.....

6. Escuela, Carrera o Programa:.....

7. Asesor:

Apellidos y Nombres:.....Teléfono:.....

Correo electrónico:.....DNI o Extranjería:.....

A través de este medio autorizo a la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, publicar el trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional Digital, Repositorio Nacional Digital de Acceso Libre (ALICIA) y el Registro Nacional de Trabajos de Investigación (RENATI).

Asimismo, por la presente dejo constancia que los documentos entregados a la UNASAM, versión impresa y digital, son las versiones finales del trabajo sustentado y aprobado por el jurado y son de autoría del suscrito en estricto respeto de la legislación en materia de propiedad intelectual.

Firma:

D.N.I.:

FECHA:

MIEMBROS DEL JURADO

Doctor Pedro Colonia Cerna

Presidente

Doctor Guillermo Castillo Romero

Secretario

Doctor Abelardo Diaz Salas

Vocal

ASESOR

Doctor Abelardo Diaz Salas

AGRADECIMIENTO

- A Dios

Porque la sabiduría viene de él.

- A Marita Mercedes Abendaño Rodriguez

Por su cariño, apoyo y comprensión.

- Al Dr. Abelardo Diaz Salas

Por la continua orientación y contribución en esta investigación.

A Mama María, a Mamá Mari y a mis seres queridos

INDICE

Resumen	xi
Abstract.....	xii
I. INTRODUCCION.....	1
Objetivos.....	5
Hipótesis.....	5
Variables.....	6
II. MARCO TEÓRICO	10
2.1. Antecedentes	10
2.2. Bases teóricas.....	15
2.2.1. Movimiento del agua en el suelo.....	15
2.2.2. Relaciones hídricas	28
2.2.3. Eficiencia del uso del terreno agrícola.	32
2.2.4. Aporte de biomasa.....	33
2.2.5. Descriptivos estadísticos	38
2.3. Definición de términos.....	46
III. METODOLOGIA.....	48
3.1. Tipo y diseño de Investigación.....	48
3.2. Plan de recolección de la información y/o diseño estadístico.	49
Población	53
Muestra.....	53
3.3. Instrumentos de recolección de datos.....	55
3.4. Plan de procesamiento y análisis estadístico de datos.....	57
IV. RESULTADOS	59
4.1. Comportamiento de la Humedad del suelo.....	59
4.2. Uso equivalente del terreno	67
4.3. Aporte de biomasa por cada parcela	69
V. DISCUSIÓN	75
VI. CONCLUSIONES.....	84
VII.RECOMENDACIONES	85
VIII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86
ANEXOS	95

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de variables.....	6
Tabla 2: Análisis de varianza (ANVA) para DBCA en un arreglo factorial con dos factores.	44
Tabla 3: Detalle de tratamientos	49
Tabla 4: Análisis de varianza (ANVA) para DBCA en un arreglo factorial con dos factores.	58
Tabla 5: Descriptivos estadísticos para el comportamiento de la humedad del suelo.	60
Tabla 6: Análisis de varianza Noviembre: Humedad (%) & Bloque, Tratamientos, Profundidad (Cm).	61
Tabla 7: Comparaciones de Medias de Tukey para noviembre.	61
Tabla 8: Análisis de varianza Diciembre, Humedad (%) & Bloque, Tratamientos, Profundidad (Cm).	61
Tabla 9: Comparaciones de Medias de Tukey para diciembre.	62
Tabla 10: Análisis de varianza Enero, Humedad (%) & Bloque, Tratamientos, Profundidad (Cm).	62
Tabla 11: Comparaciones de Medias de Tukey para Enero 2018.....	63
Tabla 12: Análisis de varianza Febrero, Humedad (%) & Bloque, Tratamientos, Profundidad (Cm).	63
Tabla 13: Comparaciones de Medias de Tukey para febrero 2018.....	63
Tabla 14: Análisis de varianza Marzo, Humedad (%) & Bloque, Tratamientos, Profundidad (Cm).	64
Tabla 15: Comparaciones de Medias de Tukey para marzo 2018.	64
Tabla 16: Análisis de varianza Abril, Humedad (%) & Bloque, Tratamientos, Profundidad (Cm).	65
Tabla 17: Comparaciones de Medias de Tukey para abril 2018.....	65
Tabla 18: Descriptivos estadísticos para índices de uso equivalente de terreno...	67
Tabla 19: Análisis de varianza para índices de uso equivalente de terreno	67

Tabla 20: Análisis de medias de Tukey para Índices de Uso equivalente de terreno	68
Tabla 21: Descriptivos estadísticos para aporte de biomasa.	69
Tabla 22: Análisis de varianza para promedios de aporte de biomasa	70
Tabla 23: Análisis de medias de Tukey para aporte de biomasa	70
Tabla 24: Correlación de Pearson	71
Tabla 25: Análisis de regresión de la Humedad del suelo Vs otras variables.....	73
Tabla 26: Análisis de regresión del uso equivalente de terreno Vs otras variables.	73
Tabla 27: Análisis de regresión de la producción de biomasa Vs otras variables.	74
Tabla 28: Promedios finales de variables en estudio.	74

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Balance de agua en el suelo de la zona radicular.	25
Figura 2: Kc para cultivos estudiados en condiciones de Shupluy, Yungay Ancash	28
Figura 3: Características del tratamiento T1.	51
Figura 4: Características del tratamiento T2.	51
Figura 5: Características del tratamiento T3.	52
Figura 6: Comportamiento de los coeficientes de varianza	59
Figura 7: Promedios finales de humedad del suelo de los tratamientos.	66
Figura 8: Comportamiento de la humedad del suelo.	66
Figura 9: Valores de índices de uso equivalente de terreno.	69
Figura 10: Promedios de aporte de biomasa en kg por tratamientos.	71
Figura 11: Matriz de correlación de variables en estudio.	72

INDICE DE ANEXOS

Anexo A: Matriz de consistencia lógica de investigación.	95
Anexo B: Características de las parcelas de los tratamientos.	96
Anexo C: Valores de K_y para varios cultivos según la FAO.	97
Anexo D: Datos meteorológicos.	98
Anexo E: Datos de (%) humedad de suelo recogidos en campo.	98
Anexo F: Ficha Técnica de Hidrómetro Eurotech PMS - 710.	101
Anexo G: Características de suelo luego de análisis en laboratorio.	102
Anexo H: Calculo de variables climáticas para Evapotranspiración	103
Anexo I: Promedios de promedios de bloques de índices de uso equivalente de terreno.	105
Anexo J: Promedios de Producción de biomasa de los tratamientos.	106
Anexo K: Índices tabulados de k_c para cultivos según días de instalación.	107
Anexo L: Mosaico de fotografías.	108

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Balance del agua en el suelo.	25
Ecuación 2: Evapotranspiración de los cultivos.....	27
Ecuación 3: Uso Equivalente de Terreno.....	33
Ecuación 4: Calculo de producción de Biomasa.....	34
Ecuación 5: Coeficiente de Variación.....	38
Ecuación 6: Análisis de Regresión.....	39
Ecuación 7: Ampliación de Variables de la regresión múltiple.....	40
Ecuación 8: Regresión Múltiple para una variable	40
Ecuación 9: Regresión Múltiple para dos variables	40
Ecuación 10: Regresión múltiple por Mínimos cuadrados	40
Ecuación 11: Error Estándar de la Regresión Múltiple.....	40
Ecuación 12: El coeficiente de determinación múltiple.....	41
Ecuación 13: correlaciones y regresiones múltiples humedad del suelo a 10 cm. 41	
Ecuación 14: Correlaciones y regresiones múltiples humedad a 20 cm	42
Ecuación 15: Correlaciones y regresiones múltiples biomasa	42
Ecuación 16: Correlaciones y regresiones múltiples uso equivalente	42
Ecuación 17: Modelo aditivo lineal	44

RESUMEN

La investigación “Estudio comparativo de la humedad del suelo en policultivos y monocultivos en la Comunidad Campesina de Shupluy (Yungay-Ancash) 2017-2018” se realizó durante la campaña agrícola 2017-2018 a 2558 msnm.

Esta investigación fue de tipo aplicada a un nivel explicativo, por su método fue hipotético-deductivo de naturaleza experimental en el que se evaluó a) el comportamiento de la Humedad del suelo en cada parcela de los tratamientos, b) el uso equivalente del terreno y c) el aporte de biomasa. Para estos objetivos el procesamiento de datos se realizó bajo el enfoque de un diseño experimental de Bloques Completos al Azar (BCA) en arreglo factorial con 2 factores a un nivel de significancia del 95%.

El estudio comparativo de la humedad del suelo estuvo conformado por dos factores: a) policultivos y b) monocultivos y un tratamiento testigo en el que no se instaló ningún cultivo generándose trece tratamientos con tres repeticiones cada uno.

Durante el estudio no se encontraron diferencias significativas estadísticamente al 95% entre los tratamientos con respecto al comportamiento de la humedad del suelo; sin embargo, se pudo hallar diferencias para el Uso Equivalente del Suelo siendo los tratamientos con policultivos los que tuvieron mejores índices. Se recomienda realizar este tipo de investigaciones a mayores periodos de evaluación ya que se pudo evidenciar ligeras diferencias matemáticas en los promedios de los tratamientos.

Palabras clave: Humedad del suelo, policultivos, uso equivalente de terreno.

ABSTRACT

The research "Comparative study of soil moisture in polycultures and monocultures in the Shupluy's Peasant community (Yungay-Ancash) 2017-2018" was carried out during the agricultural campaign 2017-2018 at 2558 masl.

This research was of the type applied at an explanatory level, by its method was hypothetical deductive due to of experimental nature in which it was evaluated a) the behavior of the soil moisture in each plot of the treatments was evaluated, b) the equivalent use of the land and c) the contribution of biomass. For these purposes the data processing was carried out under the approach of an experimental design of Complete Blocks at Chance (BCA) in factorial arrangement with 2 factors at a level of significance of 95%.

The comparative study of soil moisture was made up of two factors: a) polycultures and b) monocultures and a control treatment in which no crop was installed generating thirteen treatments with three replications each.

During the study no significant differences were found statistically at 95% between the treatments with respect to the behavior of the soil moisture, however differences could be found for the equivalent use of the soil being the treatments with polycultures those that had better indices. It is recommended to carry out this research to longer periods of evaluation since it was possible to show slight mathematical differences of the averages of the treatments.

Key Words: soil moisture, polycultures, equivalent use of land.

I. INTRODUCCION.

La investigación “Estudio comparativo de la humedad del suelo en policultivos y monocultivos en la Comunidad Campesina de Shupluy (Yungay-Ancash) 2017-2018” se realizó durante la campaña agrícola 2017-2018 a 2558 msnm se contextualiza en el marco de la maestría en la mención de ingeniería de recursos hídricos de la universidad nacional Santiago Antúnez de Mayolo.

En un contexto actual en el que el agua para la agricultura se ha reducido en 14 -18 %; y que la población tiene un crecimiento exponencial proyectada a nueve mil millones de habitantes para el 2050 (UNESCO 2015) se evidencia que los precios mundiales de los alimentos en los últimos 2 años han tenido un incremento de 8%, esto hará más vulnerable la soberanía alimentaria de muchas regiones sobre todo en las que la disponibilidad del agua para la producción de alimentos es escasa.

Por otro lado la FAO estima que cerca del 95% de las áreas cultivadas del planeta presentan algún grado de degradación, lo que vuelve urgente su manejo adecuado y la aplicación de una serie de métodos y prácticas que permitan recuperarlos y preservarlos para las generaciones actuales y futuras; es su mayoría, esos métodos y prácticas se encuentran desarrollándose empíricamente por la agricultura familiar de estas poblaciones vulnerables, como son el uso de los policultivos, uso de principios de alelopatías y sinergismos de especies, controles orgánicos de plagas y enfermedades a partir de biocidas, adaptaciones de la topografía del terreno como usos de andenes, agroforestería, etc.

Dentro de la agricultura familiar realizada por las comunidades campesinas de nuestra región andina es indudable evidenciar empíricamente el uso de policultivos

(asociación de especies vegetales sobre parcela) ya que a simple criterio de percepción de los comuneros se aprovecha mejor el agua del suelo, ¿qué tan cierto podría ser esto? ¿Existirán diferencias significativas en el uso de los policultivos como una técnica que mejore el aprovechamiento del agua? Sobre todo, si reflexionamos en la actual invasión de un método masivo de producción de alimentos a partir de los monocultivos con dependencias de insumos externos que hacen que se pierda su soberanía a nivel familiar, regional y nacional no solo en volúmenes de alimento producido sino también a nivel de su calidad ya que en este tipo de agricultura incide cada vez más el uso de agro tóxicos generando problemas serios de salud a nivel mundial en distintos niveles anatómicos y fisiológicos.

Existen algunas investigaciones que mencionan que los policultivos ofrecen una mejor oportunidad en la administración eficiente de la humedad del suelo favoreciendo la productividad agrícola a partir de principios biológicos y ecosistémicos, en el contexto regional de la agricultura andina desarrollándose en el callejos de Huaylas (Ancash-Perú) ¿será posible evidenciar esta mejor oportunidad de administración de la humedad del suelo?, con esta investigación se pretende fortalecer estas teorías.

En el Perú y el departamento de Ancash no se evidencian estudios que estimen el consumo del agua o la eficiencia de la humedad del suelo en sistemas de policultivos y monocultivos, los pocos estudios en el Perú que estudian esta variable son de índole productivo. Es por eso que esta investigación merece especial atención teniendo en cuenta la dinámica de una comunidad campesina en un entorno de reducción continua

del agua para una agricultura familiar, el calentamiento global y mecanismo de adaptación al cambio climático.

Esta investigación permitirá evidenciar o rechazar científicamente las diferencias significativas en el aprovechamiento optimizado de la humedad del suelo en policultivos frente a monocultivos, con el único fin de orientar principios y políticas gubernamentales para alcanzar seguridad y soberanía alimentaria para las comunidades campesinas y la región andina rural.

Planteamiento y formulación del problema.

Planteamiento del problema.

a) Identificación de problema.

Existe una continua reducción del agua para la producción de alimentos. Los Policultivos pueden aumentar la eficiencia del agua de riego frente a los monocultivos que utilizan el recurso hídrico con pérdidas significativas.

¿El uso eficiente del agua que tan significativamente se comporta con el uso equivalente del terreno?

El uso eficiente del agua que tan significativamente se comporta con la producción de biomasa como fuente de energía en la alimentación local.

b) Contextualización del problema.

Es contundente la reducción mundial del agua para la agricultura este contexto no escapa de las características productivas de nuestro país y nuestra región local.

La investigación se realizó en la comunidad campesina de Shupluy en el callejón de Huaylas que es una de las principales cuencas del departamento de Ancash donde evidencia una preferencia considerable por los monocultivos frente a sistemas ancestrales de asociatividad de cultivos (policultivos) a una altura de 2587 msnm durante siete meses de la campaña agrícola del año 2017-2018.

Formulación de problema.

a) Formulación general

Existirán diferencias significativas en el estudio comparativo de la humedad del suelo en policultivos y monocultivos en la comunidad campesina de Shupluy (Yungay-Ancash) 2018.

b) Formulaciones específicas

¿Existirán diferencias significativas en la humedad del suelo bajo la influencia de los policultivos y monocultivos?

¿La influencia de los policultivos y monocultivos con las mismas condiciones de agua de riego evidenciaran diferencias significativas en el uso equivalente de terreno?

¿Existirán diferencias significativas en la producción de biomasa de las parcelas con policultivos y monocultivos?

Objetivos.

Objetivo general

Determinar el estudio comparativo de la humedad suelo bajo la influencia de policultivos y los monocultivos en condiciones de una parcela convencional de producción agrícola en la comunidad campesina de Shupluy (Yungay -Ancash) 2018.

Objetivos específicos.

- a) Determinar el comportamiento de la Humedad del suelo en cada parcela de los tratamientos.
- b) Determinar el uso equivalente del terreno por parcela.
- c) Determinar el aporte de biomasa por cada parcela.

Hipótesis.

Existen diferencias significativas en la humedad del suelo bajo la influencia de los policultivos y los monocultivos en la comunidad campesina de Shupluy (Yungay- Ancash).

Variables

Variables independientes

1.- Tratamientos de Monocultivos.

Instalación de una sola especie cultivable sobre unidad de terreno con fines de producción agrícola.

2.- Tratamiento de Policultivos.

Instalación de varias especies vegetales cultivables sobre unidad de terreno con fines de producción agrícola.

Variable dependiente

Humedad del suelo. Es la cantidad de agua en el suelo.

Operacionalización de variables

Tabla 1: Operacionalización de variables

Variables	Sub variables	Indicadores o dimensiones	Instrumentos de Recolección de datos	Fuentes
Monocultivos	- Comportamiento de la Humedad del suelo.	- % humedad disponible.	- Hidrómetro PMH 110	Datos de campo.
	- Unidad Efectiva de Terreno	- Índices de UET.	- Análisis de Datos de	Datos de campo.
	- Biomasa producida por parcela.	- Peso de MO/parcela.	- Producción efectiva. - Balanza.	Datos de campo.
Policultivos	- Comportamiento de la Humedad del suelo.	- % humedad disponible.	- Hidrómetro PMH 110	Datos de campo.
	- Unidad Efectiva de Terreno	- Índices de UET.	- Análisis de Datos de	Datos de campo.
	- Biomasa producida por parcela.	- Peso de MO/parcela.	- Producción efectiva. - Balanza.	Datos de campo.
Humedad del suelo.	Comportamiento de la humedad del suelo	% de humedad del suelo durante la campaña agrícola.	- Hidrómetro PMH 110	Datos de campo.

Fuente: Elaboración propia.

Justificación.

Clavijo Palacios & Cuvi (2017) mencionan que el agua para la agricultura se ha reducido en 14 -18 %; y que la población tiene un crecimiento exponencial proyectada a nueve mil millones de habitantes para el 2050 (UNESCO 2015) siendo así los precios mundiales de los alimentos en los últimos 2 años han tenido un incremento de 8%.

FAO (2016) estima que cerca del 95% de las áreas cultivadas del planeta presentan algún grado de degradación, lo que vuelve urgente su manejo adecuado y la aplicación de una serie de métodos y prácticas que permitan recuperarlos y preservarlos para las generaciones actuales y futuras.

Es indudable evidenciar empíricamente que los policultivos (asociación de especies vegetales sobre parcela) aprovechan mejor el agua del suelo frente a los monocultivos (una sola especie en producción sobre parcela) (Balarezo, 2011).

Liebman (2002) menciona que los policultivos ofrecen una oportunidad en la administración eficiente de la humedad del suelo favoreciendo la productividad agrícola a partir de principios biológicos y eco-sistémicos.

Los policultivos no solo optimizan mejor el aprovechamiento de la humedad del suelo debido a que albergan un conjunto de sinergias entre especies cultivadas, sino que también conservan la fertilidad y biología del suelo (Liebman, 2012).

Frente a esto, el reto para la alimentación mundial si queremos alcanzar una seguridad y soberanía alimentaria es la gestión sostenible del agua de riego siendo los policultivos una alternativa de mejor uso de la humedad del suelo.

La situación en América Latina confirma el rol del campesinado como proveedores esenciales de seguridad alimentaria. 17 millones de pequeñas unidades productivas de un tamaño promedio de 1.8 hectáreas, ocupando solo el 34% del total de la tierra cultivada (60,5 millones de hectáreas) produce 51% del maíz, 77% de los frijoles y 61% de las papas de consumo doméstico (Altieri, 2008).

En el Perú y el departamento de Ancash no se evidencian estudios que estimen el consumo del agua o la eficiencia de la humedad del suelo en sistema de policultivos y monocultivos, los pocos estudios en el Perú que estudian esta variable son de índole productivo.

En el contexto de una agricultura familiar en la región andina y la comunidad campesina de Shupluy en el departamento de Ancash (Perú) existen policultivos que deben ser estudiados, especial atención merece estudiar el comportamiento de la humedad de los suelos en un entorno de reducción continua del agua disponible, el calentamiento global y mecanismo de adaptación al cambio climático.

Esta investigación permitirá evidenciar o rechazar científicamente las diferencias significativas en el aprovechamiento optimizado de la humedad del suelo en policultivos frente a monocultivos, con el único fin de orientar

principios y políticas gubernamentales para alcanzar seguridad y soberanía alimentaria para las comunidades campesinas y la región andina rural.

Delimitación.

La presente investigación se enmarca a los alcances de una maestría en ingeniería de recursos hídricos para un profesional de agronomía ya que permitirá optimizar el uso del agua en la agricultura.

Por la ubicación geográfica durante la conducción del experimento puede inferirse a contextos similares de la agricultura rural donde el empleo de policultivos es la principal forma de producción de alimentos y para esta investigación los cultivos evaluados son delimitados a cultivos convencionales.

Por el uso de recursos puede inferirse también en contextos similares donde se evidencia la reducción del agua de riego.

Por otro lado, es factible su ejecución guardando relación con los cronogramas de una campaña agrícola convencional por lo que garantiza y delimita su tiempo de realización.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Shuter & Richer (2012) en la publicación de la ONU “la Pobreza y la Alimentación”, menciona que “*los monocultivos (como métodos de producción no sostenibles convencionales) aceleran el agotamiento de las reservas del agua, incrementan el efecto del cambio climático y degradan los suelos*”. Si esta forma de producir alimentos tiene desventajas ¿Por qué es el modelo productivo vigente?

El uso de policultivos tiene su inicio en una producción de supervivencia, conocida como agricultura de subsistencia. Es implementado para aprovechar al máximo el terreno y es muy difundido entre los campesinos de escasos recursos naturales y económicos por todo el mundo. La utilización de policultivos tiene raíces muy antiguas, empezando con el mismo inicio de la agricultura en poblaciones indígenas. Actualmente constituyen alrededor del 80% de área cultivada en África Occidental, en Latino América más de un 40% de la yuca, 60% del maíz y 80% del frijol se cultivan en asociación entre sí o con otros cultivos (Leihner, 1983).

Con una densidad total de siembra mayor en policultivos que en monocultivos, los primeros pueden interceptar más luz en las etapas tempranas de desarrollo. A su vez el aumento de cobertura del área producida por los policultivos puede aumentar la infiltración del agua de lluvia en el suelo y disminuir la erosión. Los policultivos compuestos por especies que tienen patrones complementarios y temporales de crecimiento radicular y absorción de nutrientes, pueden

capturar más nutrientes. También hay reducción de plagas debido a la diversidad de cultivos y al equilibrio biológico entre plaga y enemigo natural y menor espacio de desarrollo y cantidad de luz para desarrollo de malezas (Altieri M. A., 1994).

Actualmente, con crecimientos de poblaciones por todo el mundo, los rendimientos en campo tienen que ser mayores que los actuales, pero a su vez más amigables con el medio ambiente. Una de las alternativas para aumentar los rendimientos por área, son los policultivos (Brotons & Augusto, 2011).

La comparación entre los monocultivos y policultivos se hace por una comparación relativa llamada Uso Equivalente de Terreno (UET) el cual expresa los rendimientos de un policultivo contrastándolo con un ratio o porción contra lo que produce un monocultivo (Gliessman, 2002). Un valor mayor a uno indica que para una producción dada en una parcela de policultivo, se ocuparía más que esa cantidad de terreno para producir lo mismo en monocultivo. Esa es una de las principales razones por la cual los agricultores a nivel mundial optan por este tipo de sistema, porque pueden obtener un mejor rendimiento de un área sembrada con policultivo, de la misma área sembrada con monocultivo.

La producción de alimentos implementada con los principios de la revolución verde de los años 50 ganó muchos adeptos en el mundo por su agresiva producción especializada en sistemas de monocultivos, sin embargo a la fecha tenemos problemas serios de desnutrición, hambre y agotamiento de recursos; esto fue porque este modelo no tomó en cuenta la reducción del agua, el

encarecimiento de los fertilizantes o la posibilidad de un calentamiento global y un cambio climático (Altieri M. , 2002).

Khan (2015) Menciona que los policultivos aprovechan sostenidamente el agua del suelo siendo urgente reorientar los enfoques de la agricultura convencional desde el punto de la conservación del agua y de los suelos.

Una de las principales razones por la cual los agricultores a nivel mundial adoptan policultivos, es que frecuentemente se puede obtener un mayor rendimiento en la siembra de una determinada área sembrada como policultivo que de un área equivalente, pero sembrada en forma de monocultivo o aislada. Este aumento en el aprovechamiento de la tierra es especialmente importante en aquellos lugares del mundo donde los predios son pequeños debido a las condiciones socioeconómicas y donde la producción de los distintos cultivos está sujeta a la cantidad de tierra que se pueda limpiar, preparar y desmalezar (generalmente en forma manual) en un tiempo limitado (Liebman, 2012).

Robio (2015) especifica que el suelo sufre pérdidas considerables del agua debido a la influencia de los monocultivos porque estos la exponen a fuertes actividades antropogénicas, actividades bruscas de laboreo y a mayor exposición de áreas a precipitaciones, viento y sol; por eso urge implementar sistemas de producción que permitan protegerla de estos eventos.

La producción de monocultivos atenta contra la seguridad alimentaria y los recursos naturales, especialmente el suelo y el agua; rompe el equilibrio ecosistémico y genera dependencias de insumos externos; en las comunidades campesinas donde la agricultura es familiar existen muchos policultivos que

están siendo desplazados por este modelo bajo el enfoque de cadenas productivas o cadenas de valor, generando impactos negativos en la sostenibilidad alimentaria de estas poblaciones, cuyos índices de ingresos económicos percapita familiar es menor paralelamente a la pérdida de la fertilidad de los suelos y el aumento índices de migración rural.

Los policultivos exhiben una mayor estabilidad y menos declinaciones de la productividad durante una sequía que en el caso de monocultivos (Willey, 1986).

En un trabajo realizado en México se evaluó policultivos y monocultivos “en todos los casos, los rendimientos de grano en policultivos fueron superiores a los obtenidos en monocultivos, con diferencias significativas entre ellos, además pudo observarse condiciones más favorables en el uso del agua por los policultivos, frente a los monocultivos que favorecen la evaporación del agua del suelo” (Cruz Ruiz, 2010).

Willey en 1986 examinó el efecto de la sequía en producciones con policultivos mediante tratamientos del stress hídrico con cultivos intercalados de sorgo (*Sorghum bicolor*) maní (*Arachis spp.*) y mijo (*Panicum spp.*). Todos los policultivos mostraron sobreproducción constante en cinco niveles de disponibilidad de humedad, en un rango desde 297 a 584 milímetros de agua aplicados en la época de siembra. Sorprendentemente, la tasa de sobreproducción se vio actualmente incrementada con stress hídrico, tal que las diferencias relativas en productividad entre los monocultivos y policultivos se acentuaron más a medida que el stress incrementaba. Los policultivos

exhibieron una mayor estabilidad y menos declinaciones de la productividad durante la sequía. Estos tipos de estudios ecológicos sugieren que comunidades más diversas de plantas son más resistentes al disturbio y más resilientes a las perturbaciones ambientales (Altieri M. , 2002).

Norman (1980) estudió los sistemas de cultivos en el norte de Nigeria y encontró que cuando tomaba en cuenta en sus análisis el costo de mano de obra, la utilidad era de un 42% a un 149% mayor para los policultivos que para los monocultivos.

Hernández y otros en el 2006, en la Habana (Cuba) monitorearon durante cuatro años el comportamiento de diferentes indicadores de sostenibilidad relacionados con la diversidad biológica de los sistemas, su productividad, eficiencia energética, manejo de nutrientes y economía de la finca. Los resultados del estudio de las propiedades de los suelos muestran que, a pesar de que estos sistemas han sido sometidos a un alto nivel de intensidad, las principales características de la fertilidad de estos suelos se mantienen en rangos considerados medios a altos. Altas tasas de reciclaje de nutrientes vía reutilización de estiércoles, incorporación al suelo de residuos de cosecha, prácticas de laboreo adecuadas, rotaciones de cultivos con leguminosas y el manejo del suelo con cultivos y pastos por más de 70 años muestran que es posible alcanzar altos rendimientos sobre la base de una utilización eficiente de la energía y los nutrientes disponibles, donde la biodiversidad establecida juega un papel importante.

Hernández (2006) menciona que la diversificación de los sistemas integrados permitió producir mayores cantidades de biomasa distribuida a través del año, lo que amortiguó las fluctuaciones estacionales en el clima e incorporó mayores cantidades de biomasa al suelo. Por ejemplo, las reservas de carbono en el suelo de la finca Remedio fueron de 89 t/ha en los primeros 50 cm de suelo y 26 t/ha de 50 a 100 cm. Los niveles de materia orgánica excedieron 5% en todos los subsistemas, excepto en el subsistema de cultivos que no fue rotado con ganadería, donde fue de 4,8%, aún alto para el suelo ferralítico en el que las fincas están situadas. Los valores observados sugieren una reducción de solo 30-40% comparado con lo esperado en condiciones naturales de referencia (Hernandez, Morell, Ascanio, Borges, Morales, & Yong, 2006). Ello representó un mínimo de pérdida de carbono en áreas de cultivo.

2.2. Bases teóricas.

2.2.1. Movimiento del agua en el suelo

Es evidente que el movimiento del agua en el suelo es transitorio, es influenciada principalmente por flujos de oferta de agua (agua de riego y precipitación natural) el agua una vez ingresada a la parcela se evapora desde el suelo por efecto del viento y el sol, se transpira por la respiración de la plantas, se percola o infiltra a capas más profundas por influencia de la gravedad y una pequeña parte es almacenada en los poros del suelo sirviendo como agua disponible para la fisiología de las plantas; Entender el comportamiento

transitorio y la influencia de la asociación de varios cultivos en el uso del agua de riego es importante.

Fisiológicamente el movimiento del agua se da debido a las diferencias de los potenciales hídricos entre diferentes sistemas, por lo general el agua se mueve desde un potencial hídrico más negativo otro menos negativos debido a que la tensión hídrica puede exceder el componente gravitacional y el agua puede moverse en sentido vertical de arriba y hacia abajo o permanecer sin movimiento, cuando el gradiente de tensión balancea la fuerza de gravedad (Buchanan, Gruijssem, & Jones, 2000).

Es importante entender este comportamiento; y en esta investigación se enfoca principalmente estudiar el comportamiento del agua almacenada en el suelo a unos 20 cm de profundidad ya que los cultivos que estudiaremos (hortalizas) tienen el 90% de sus raíces dentro de esta.

¿Qué tanto puede incidir un policultivo en el uso eficiente del agua? ¿Por qué? ¿Cuál es el mecanismo de incidencia?; tentativamente podemos inferenciar que al instalarse diferentes especies, existe un mejor uso eficiente del agua ya que se protege mejor el suelo de factores de evaporación de suelo, es posible que las interacciones biológicas entre especies busquen un equilibrio y consigan sinergias a partir de la segregación de sustancias que a nivel foliar favorezca una mayor eficiencia del comportamiento de los estomas o que a nivel radicular favorezcan mejores condiciones de absorción del potencial hídrico edáfico; es posible que exista una regulación térmica que favorezca el uso de menores

energías para la fisiología de la planta o simplemente exista la necesidad de menores cantidades de agua para su transpiración.

2.2.1.1. Movimiento del agua en el interior de los suelos

El agua que penetra en el suelo proviene de irrigación, lluvia, inundación o filtración de canales de agua. Algunas veces, toda la superficie del suelo esta mojada y, otras, sólo parte de ella está en contacto con el agua. Si toda la superficie esta mojada el movimiento será en una sola dirección: vertical hacia abajo; por el contrario, si el suelo está muy seco, el movimiento lateral puede ser, por cierto tiempo, tan grande como el movimiento hacia abajo (Buchanan, Gruissem, & Jones, 2000).

Cuando el agua se infiltra en el suelo, llena el reservorio de humedad hasta rebasarlo en cada intervalo sucesivo de profundidad, por lo tanto, la cantidad de agua que entra en un suelo dado, en cierto tiempo depende de la cantidad de agua que ese suelo pueda almacenar y de la velocidad con que el exceso de agua se transmite a través del suelo húmedo (Palmer & Troeh, 1989).

2.2.1.2. Movimiento capilar del agua.

El movimiento capilar del agua se presenta como respuesta a un gradiente de tensión. La tensión es producto de la atracción que experimentan las moléculas de agua hacia la superficie de las partículas del suelo (adhesión) y hacia las mismas (cohesión). La fuerza involucrada se conoce como tensión de humedad del suelo (Palmer & Troeh, 1989). También se define como la presión

hidrostática negativa o la tensión de succión que ejerce la planta para lograr el equilibrio hidráulico (Taiz & Zeiger, 2002).

Cuanto más delgada sea la capa de agua alrededor de las partículas de suelo y más pequeños los poros llenos de agua, más elevada será la tensión de humedad del suelo. Si existe diferencia en la tensión de humedad del suelo entre dos lugares próximos, el agua tenderá a moverse lentamente (movimiento capilar o flujo no saturado) del lugar de menor hacia el de mayor tensión y ayudará a la raíz del suelo a obtener la humedad necesaria para satisfacer sus necesidades (Palmer & Troeh, 1989).

Al ser más elevada la tensión de humedad puede generar efectos no deseables en las plantaciones forestales o frutales. El rendimiento de fruta de *Cucumis melo* es inversamente proporcional a la tensión de humedad; a tensiones de -10 bares se presenta el mejor rendimiento, mientras que a -45 bares el rendimiento disminuye hasta 20% (Pérez, Cigales, Orozco, & Castro, 2004).

Un tensiómetro mide la fuerza con la cual es adherida el agua por las partículas del suelo. Esta fuerza se refiere a la tensión de succión, indicando que tan fuerte es sujeta el agua por el suelo y cuanta energía debe ser ejercida por las raíces de la planta para remover y usar esta agua. Los componentes básicos del tensiómetro incluyen una copa de cerámica, un tubo plástico y un medidor de vacío. Este instrumento es llenado con agua e insertado en el suelo, el agua se mueve adentro y afuera del tensiómetro, entre más seco el suelo, el agua sale del tensiómetro y crea un vacío, que indica la medida (Soilmoisture, 2004).

2.2.1.3. Relaciones suelo - aire – suelo

La composición (por volumen) de un suelo de textura media es de 35% de materia mineral, 15% de materia orgánica, 25% de agua y 25% de aire. Los poros ocupados por aire o agua se clasifican de acuerdo a su tamaño, entre los cuales están macroporos, mesoporos y microporos (Singer & Munns, 1999).

La atmósfera interna del suelo constituye un factor básico para el crecimiento de las plantas, al tener relación íntima con la textura y la estructura, determinada por una parte con la penetración y extensión del sistema radical y por otra con el flujo de la humedad y los cambios que la acompañan (Montengro & Malagón, 1990).

La capacidad del aire del suelo se define como el contenido que presenta un suelo en aire después de ser saturado con agua y dejado drenar durante 24 horas. Puede relacionarse con el punto de capacidad de campo ya que en este punto la gravedad ha obrado sobre los macroporos disminuyendo su contenido de humedad, mientras que en los microporos el agua continúa almacenada, por lo tanto, la capacidad de aire está asociada con la macro porosidad de la cual depende la aireación del suelo (Montengro & Malagón, 1990).

Texturas finas retienen humedad en mayor proporción presentando una capacidad de aire reducidas, mientras que texturas arenosas retienen humedad en menor proporción, pero tienen mayor capacidad de aire. De manera general, se afirma que el grosor de las raíces determina su requerimiento en presión de O₂, esto significa que raíces más grandes y gruesas necesitan mayores concentraciones de O que las más delgadas. Cuando el contenido de O

disminuye al menos del 10 %, los cultivos se ven limitados en su crecimiento (Montengro & Malagón, 1990).

2.2.1.4. Potencial hídrico y sus componentes

El movimiento y la disponibilidad de agua para la planta están dirigidos por un gradiente de potencial hídrico (ψ_w) que es una expresión de un estado de energía libre del agua para realizar un trabajo. El movimiento se da de potenciales menos negativos a potenciales más negativos. Dicho potencial resulta de la suma de 4 componentes: el potencial osmótico ψ_s (concentración de solutos) la presión hidrostática ψ_p (tensión por succión) el potencial mátrico ψ_m y la gravedad ψ_g . El movimiento del agua a través del continuo suelo – planta – atmósfera se da por un diferencial de gradientes, siendo de más negativo a menos negativo (Lambers, Chapin III, & Pons, 1998) (Taiz & Zeiger, 2002).

La concentración de solutos y la presión hidrostática son los principales factores que afectan el potencial hídrico en la planta, mientras que el efecto de la gravedad depende de la altura de la planta. El potencial mátrico es el componente más importante en suelos no saturados, y es equivalente a una gran tensión (Singer & Munns, 1999).

2.2.1.5. Transporte y translocación de agua y solutos

En la primera fase el potencial hídrico del suelo está en función del potencial osmótico y de la presión hidrostática negativa causada por adhesión y tensión

superficial. Los pelos radicales hacen un contacto íntimo con las partículas de suelo y amplían el área superficial necesaria para la absorción de agua por la planta (Taiz & Zeiger, 2002).

Posteriormente el agua atraviesa de la endodermis a la epidermis de la raíz (cortex) se da vía apoplasto, incluyendo camino transmembranal y vía simplasto (entre las células) hasta llegar al xilema. En muchas plantas el xilema, las traqueidas y los miembros del vaso (tejido muerto) debido a su anatomía especializada permite el transporte de grandes cantidades de agua con gran eficiencia. La falta de membranas celulares en las traqueidas y perforaciones en las paredes de los miembros del vaso permite que el agua se mueva a través de los capilares en respuesta a gradiente de tensión (Lambers, Chapin III, & Pons, 1998) (Taiz & Zeiger, 2002).

El agua para llegar al punto más alto del árbol, desarrolla una gran tensión (presión hidrostática negativa) y esta tensión jala el agua hacia lo más alto de la columna de agua en el xilema, sin embargo por la noche cuando la transpiración es baja la tensión en el xilema decrece y el vapor de agua y los gases pueden regresar a la solución del xilema y a los espacios libres. Por último el movimiento de vapor de agua en la hoja hacia la atmósfera se da por difusión a través de los estomas, siendo la fuerza que dirige esta pérdida de agua un gradiente de concentración de vapor de agua (Lambers, Chapin III, & Pons, 1998) (Taiz & Zeiger, 2002).

Fases de la ruta de transporte

Existen 4 fases de la ruta de transporte a través del continuo suelo-planta-atmósfera: 1) Transporte de agua y solutos desde el suelo hasta la raíz 2) Transporte de agua y solutos hasta el xilema de a raíz 3) Transporte de agua y solutos desde el xilema de la raíz hasta el tallo 4) Transporte de agua y solutos desde el tallo (intercambio de gases) hasta el mesofilo de la hoja y posteriormente hacia la atmósfera (Taiz & Zeiger, 2002).

2.2.1.6. Movimiento del agua en suelos saturados

El flujo en suelos saturados se da cuando la presión hidrostática es positiva y el potencial mátrico equivale a cero. En estos suelos aproximadamente el 95 % de los poros está lleno de agua y el 5 % está lleno de aire (Soil survey division staff, 2005), El término almacenamiento permanece constante y la velocidad del flujo es directamente proporcional a la fuerza impulsora (Buchanan, Grussem, & Jones, 2000).

La primera ley del flujo de la humedad (ley de Darcy) dice que en suelo saturado el agua se mueve en dirección de la disminución de presión hidráulica, con una velocidad proporcional a la diferencia de presión hidráulica entre dos puntos, y la conductividad del suelo al agua, e inversamente a la distancia entre los dos puntos (Buchanan, Grussem, & Jones, 2000).

2.2.1.7. Movimiento del agua en suelos no saturados

El total del agua que entra en un suelo dado es mayor cuando el suelo está seco que cuando está mojado; sin embargo, la velocidad con que el agua avanza a

través del suelo es menor cuando el suelo está seco. El agua puede moverse a través del suelo en fase líquida o gaseosa (Taiz & Zeiger, 2002) (Soil survey division staff, 2005). En general, la proporción del movimiento del agua en fase gaseosa aumenta a medida que la película del agua se hace más delgada como resultado del secamiento del suelo. Los cambios térmicos y osmóticos participan del mecanismo de conducción del agua, creando gradientes de viscosidad del agua y gradientes de difusividad de vapor de agua (Buchanan, Gruissem, & Jones, 2000).

La segunda ley del flujo de humedad se refiere al estado de los suelos no saturados y puede enunciarse de la siguiente forma: “el agua fluirá a través de una interface aire-agua solamente cuando la presión hidráulica sea suficientemente mayor que la presión atmosférica para que venza la tensión superficial del fluido”. De esta forma, los macroporos se llenarán de aire y restringirán el flujo, por lo tanto, prevalecerá el flujo a través de los microporos dando lugar al flujo capilar (Singer & Munns, 1999).

2.2.1.8. Agua en el suelo y su almacenamiento

La disponibilidad de agua en el suelo para las plantas depende fundamentalmente de la cantidad de agua almacenada en el suelo y de sus relaciones con el potencial hídrico (Wang, Zhang, & Wang, 2005). La matriz del suelo retiene agua por las fuerzas adsorptivas de las propiedades del agua como los puentes de hidrógeno y la bipolaridad; estas propiedades producen a las moléculas de agua adhesión y cohesión a la superficie.

El agua en el suelo forma una película de adherencia en la superficie de las partículas del suelo y se llenan los canales existentes entre esas partículas, sin embargo, la capacidad de almacenamiento depende del tipo de suelo. (Taiz & Zeiger, 2002) (Singer & Munns, 1999), Por ejemplo, en suelos arcillosos en que hay mayor cantidad de microporos, el agua es retenida fuertemente, en contraste con los macroporos donde es más difícil de ser retenida y drena después de la lluvia (Lambers, Chapin III, & Pons, 1998). Algunas plantas pueden extraer el 70% del contenido de agua en suelos antes de un estado ligeramente marchito pudiendo ser sensibles a la sequía (Tyree, Vargas, Engelbrecht, & Kusar, 2002), Sin embargo los efectos del goteo causan estrés hídrico, reduciendo el crecimiento, diámetro y el área foliar (Ogbonnaya, Marcellus, & Nwaigbo, 1992).

2.2.1.9. Balance de agua en el suelo

El balance hídrico es la valoración del agua del suelo a través del año, se estima por los aportes, pérdidas y retenciones. El agua retenida es la diferencia entre el agua recibida por precipitaciones (mm) y el agua pérdida por evapotranspiración (mm) y escorrentía (Dorronsoso, 2005).

El método consiste en evaluar los flujos de agua que entran y salen de la zona radicular del cultivo dentro de un determinado periodo de tiempo (Figura 1). El riego (R) y la precipitación (P) proporcionan agua a la zona radicular. Parte de R y P pueden perderse por escurrimiento superficial (ES) y percolación profunda (D) la cual eventualmente recargará la capa freática. El agua también

puede ser transportada hacia la superficie mediante capilaridad (C) desde la capa freática sub-superficial hacia la zona de raíces o ser incluso transferida horizontalmente por flujo sub-superficial hacia dentro (FSin) o fuera (FSout) de la zona radicular (FS). Sin embargo, excepto bajo condiciones de pendientes pronunciadas, normalmente los valores de FSin y FSout son mínimos y pueden no ser considerados (FAO, 2010) conforme a la formula (1).

$$\Delta SW = R + P - ES - D + C \pm \Delta FS - ET \quad \dots\dots\dots(1)$$

Dónde:

ΔSW = Volumen de agua en el suelo, R = agua de riego, P = Precipitación, ES = Escurrimiento superficial, D = percolación profunda, C = El agua también puede ser transportada hacia la superficie mediante capilaridad, ΔFS = Flujo sub superficial y ET = Evapotranspiración.

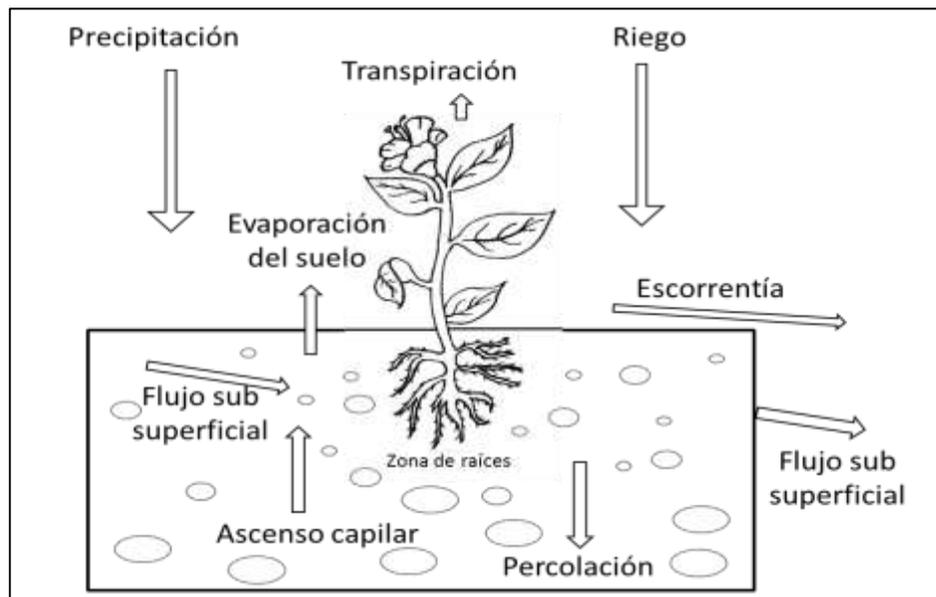


Figura 1: Balance de agua en el suelo de la zona radicular.
Fuente: Elaboración propia a partir de principios de FAO 2010.

Algunos flujos como el flujo sub-superficial, la percolación profunda y la capilaridad desde la capa freática son difíciles de medir y pueden no considerarse en periodos cortos de tiempo. El método del balance de agua en el suelo generalmente solo puede dar estimaciones de ET para periodos largos de tiempo del orden de una semana o diez días (FAO, 2010).

El balance hídrico se realiza partiendo de los datos climáticos mensuales de precipitación y temperatura. A partir de las temperaturas se calculan las evapotranspiraciones potenciales (cantidad de agua que se podría perder considerando las características climáticas) y reales (cantidad de agua que realmente se pierde teniendo en cuenta la que hay en el suelo en cada momento). Luego se calcula la reserva de agua en el suelo (agua útil por profundidad de enraizamiento por la densidad aparente) para saber la cantidad de agua que puede almacenar el suelo (reserva de agua para los meses secos) y posteriormente se mide como varía la reserva a lo largo del año (Dorronsoso, 2005).

2.2.1.10. Evapotranspiración de los cultivos

La evapotranspiración es la suma de dos fenómenos que tiene lugar en la relación cultivo-suelo, la transpiración del cultivo y la evaporación del suelo, la misma constituye la pérdida fundamental de agua, a partir de la cual se calcula la necesidad de agua de los cultivos.

La Evapotranspiración de los cultivos (ETc) se determina multiplicando la evapotranspiración de referencia (ETo) por el coeficiente del cultivo (Kc) que depende de la etapa de desarrollo de la planta, altura de la planta y la superficie

foliar, la ET_c representa las demandas netas de agua de los cultivos; cantidad de agua necesaria para reponer las pérdidas de agua por evapotranspiración y mantener el equilibrio hidrobiológico del sistema suelo-planta, de no reponerse el agua pérdida por evapotranspiración la planta se marchita y muere (Obando, 2015).

La evapotranspiración real o evapotranspiración de los cultivos de acuerdo a la FAO se define como la fórmula (2).

$$ET_c = ET_o * k_c \quad \dots\dots\dots(2)$$

Dónde:

ET_c = Evapotranspiración real del cultivo (mm día-1)

ET_o = Evapotranspiración de referencia (mm día-1)

Es una tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia que ocurre sin restricciones de agua, la condición de referencia se refiere a una superficie hipotética de pasto de al menos ½ Ha de pasto que cubre completamente el suelo y tiene ciertas características específicas 12 cm, expresa el poder evaporante de la atmosfera en un localidad y época del año específica y no considera ni las características del cultivo ni los factores del suelo (FAO, 2010).

$$ET_o = \text{Factores de clima} \times \text{Cultivo de referencia (pasto)}$$

k_c = Coeficiente del cultivo.

Es un coeficiente de cultivo adimensional que varía con cultivo y su desarrollo vegetativo, describe las variaciones de la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que se van desarrollando.

A continuación, se exponen los índices de kc para cultivos estudiados.

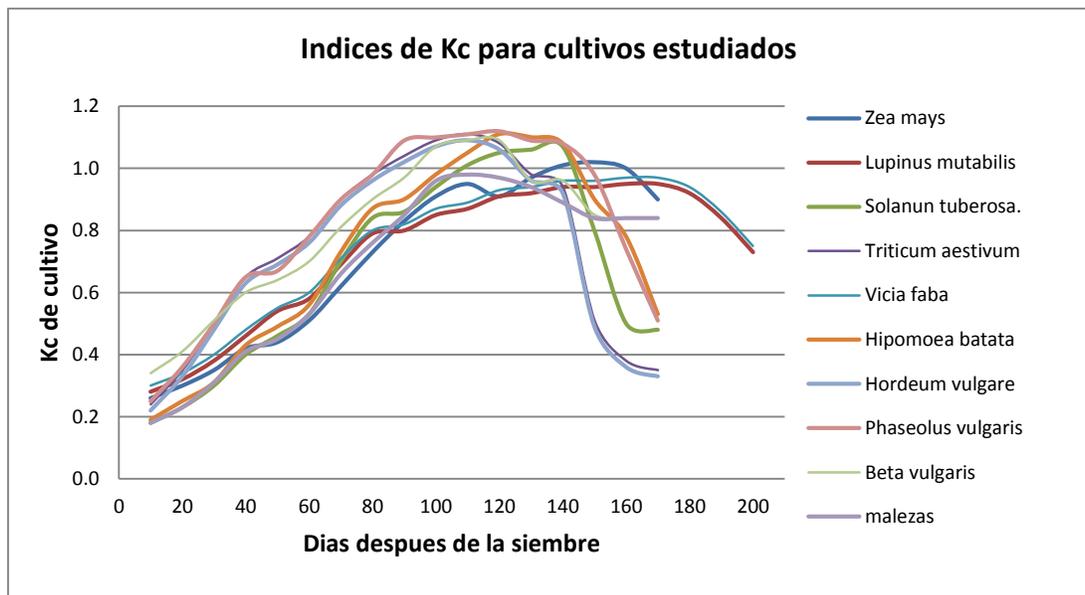


Figura 2: Kc para cultivos estudiados en condiciones de Shupluy, Yungay Ancash
Fuente: Elaboración Propia (los datos tabulados se consignan en el anexo K)

2.2.2. Relaciones hídricas

2.2.2.1. Capacidad de campo, agua capilar e higroscópica

La capacidad de campo es el contenido de agua que se retiene en un suelo después de ser saturado con agua (Lambers, Chapin III, & Pons, 1998). El agua capilar se encuentra en los tubos capilares del suelo, se distingue de la absorbible, que se encuentra en los tubos capilares de 0.2 – 8 micras y la no absorbible, que se encuentra en los tubos capilares menores a 0.2 micras. El agua higroscópica se presenta como una fina película alrededor de las partículas

del suelo, probablemente de sólo tres capas de moléculas de agua de espesor, no está sometida a movimiento y no es asimilable para las plantas (Dorronsos, 2005).

En el caso de suelos no salinos, el potencial hídrico a capacidad de campo varía entre -0.1 a -0.3 bares. El contenido de agua es mayor a capacidad de campo en texturas finas con altos contenidos de arcilla y materia orgánica (Lambers, Chapin III, & Pons, 1998). Un suelo mineral saturado puede tener entre 25 y el 60% de humedad gravimétrica dependiendo de la densidad aparente. Mientras que los suelos arenosos saturados tienen del 40 al 50% de humedad volumétrica, los suelos de textura media se aproximan al 50% y los suelos arcillosos tienen más del 50% (Buchanan, Gruissem, & Jones, 2000).

En cuanto al índice grado de saturación, el cual se refiere a que tanto del volumen poroso es ocupado por agua los valores varían de 0 para suelos secos a 100% para suelos completamente saturados (Brase, 2004). Aunque este dato no suele ser exacto para suelos expandibles ya que la porosidad cambia con el contenido de humedad.

2.2.2.2. Punto de marchitez permanente

Por el contrario, a la capacidad de campo, el Punto de Marchitez Permanente (PMP) es el potencial hídrico del suelo más negativo al cual las hojas de las plantas no recobran su turgencia. En efecto, el valor del PMP depende de las condiciones climáticas del suelo y de la conductividad hidráulica (Singer & Munns, 1999). Sykes en 1969 (Landon, 1984) encuentra variación entre las

especies de -7 a -39 bares, sin embargo el PMP es cercano a los -15 bares, aunque depende del tipo de planta (Lambers, Chapin III, & Pons, 1998) (Taiz & Zeiger, 2002) (Singer & Munns, 1999).

2.2.2.3. Estados de marchitez

Se menciona a continuación los estados de marchitez: (1) Ligeramente marchita: Hojas verdes, pero con un ángulo ligeramente torcido. (2) Marchita: Hojas verdes con un ángulo de 45°, sus extremos comienzan a plegarse y hay necrosis limitada. (3) Severamente marchita: Hojas verdes con el ángulo de 90°, con un excesivo pliegue y la necrosis es más extensiva. (4) Cercana a la muerte: Muchas de las hojas necróticas, extensivo pliegue en las hojas. (5) Muerte: Todas las hojas necróticas, hojas frágiles que se caen (Tyree, M; Vargas, G; Engelbrecht, B; Kusar, T, 2003)

2.2.2.4. Porcentaje de humedad del suelo

Existen métodos directos e indirectos de medir la humedad del suelo, desde aspersores de neutrones, medidores de humedad rápida como Hidrómetros, entre otros (Céspedes, 2016) sin embargo en la mayoría de casos es determinada por la cantidad de agua existente en el suelo expresada como porcentaje del peso del suelo seco a la estufa (Dorronsoso, 2005). En el laboratorio el método para determinar el contenido de humedad es el gravimétrico, donde la muestra de suelo es pesada inicialmente (P) y secada en

estufa a 105°C por 24 horas y pesada otra vez (P21). La fórmula para hallar el contenido de agua es: $((P - P2) / P2) \times 100$ (Singer & Munns, 1999).

Conociendo las características del suelo, la evapotranspiración de los cultivos y el contenido de humedad de agua en el suelo existen varias aproximaciones para determinar los requerimientos hídricos de cultivos (Jara & Valenzuela, 1998) donde el suministro de agua (frecuencia de riego) debe incluir adicionalmente a las necesidades netas de la planta, el agua que se pierde por escorrentía, evaporación, arrastre del viento, entre otros, estos aspectos (Castro, 2009).

2.2.2.5. Curvas de retención de humedad

Las curvas de retención de humedad definen la relación entre el contenido de agua desde capacidad de campo hasta punto de marchitez permanente y el potencial mátrico del suelo, que son importantes para estudiar el flujo del agua en suelos no saturados (Wang, Zhang, & Wang, 2005). La curva de retención de humedad del suelo es la representación gráfica del porcentaje de humedad del suelo en el eje Y versus la tensión de humedad en el eje X (en bares).

Asumiendo que un suelo arenoso tiene un porcentaje de humedad de 39%, un suelo franco 50% y un suelo arcilloso 55% a una tensión de humedad de cero bares, el agua disponible para el suelo arenoso es 6%, el franco 29% y el arcilloso 20%, mientras

que el agua que drena es para el suelo arenoso 29%, franco 12% y el arcilloso 6%, la diferencia es el valor residual o agua no disponible que en el caso de las arcillas es muy alto (Singer & Munns, 1999).

2.2.3. Eficiencia del uso del terreno agrícola.

Para aprovechar mejor el área de suelo disponible existen varias alternativas, de las cuales el sistema de policultivos, mejorar el aprovechamiento de áreas cultivables justifica la investigación en estos sistemas (Enciso & Espinoza, 2010). Enciso & Espinoza en el 2010 en Honduras realizaron estudios de uso equivalente de terreno en sistemas de policultivos de maíz dulce, habichuela y pepino evidenciándose rendimientos superiores en un 125% con respecto a los policultivos.

En el año 2012 se estudiaron sistemas de policultivos maíz-frijol-calabaza en la Frailesca, Chiapas, México, evidenciándose un aumento en el aprovechamiento de la tierra en donde los campesinos poseen predios pequeños debido a sus condiciones socioeconómicas y donde la producción de los distintos cultivos está sujeta a la cantidad de tierra que pueden limpiar, preparar, desmalezar y cosechar en forma manual en un tiempo limitado; es así que con el sistema de policultivo maíz-frijol-calabaza se han obtenido sobre-rendimientos de 218% de producción por hectárea, lo que significa en utilidades de 1013% más rentable que el monocultivo maíz (Gutiérrez, Aguilar, Galdámez, & Mendoza, 2012)

El Usos equivalente de Terreno (UET) es el cálculo del rendimiento obtenido en un policultivo comparado con el rendimiento comercial de cada uno de sus cultivos. Fórmula de UET [1] (Mead & Willey, 1980). Un UET mayor a uno, indica que en una hectárea se ha logrado producir más que su equivalente de comida si ha sido producido en monocultivos (Gliessman, 2002) conforme a la ecuación (3).

$$UET = L_A + L_B = \frac{M_A}{S_A} + \frac{M_B}{S_B} \dots\dots\dots (3)$$

Dónde:

LA y LB = rendimientos relativos para cultivos individuales

MA y MB = rendimientos de los cultivos componentes en policultivos

SA y SB= rendimientos de los cultivos solos

2.2.4. Aporte de biomasa.

La biomasa es la cantidad de materia acumulada en un individuo, un nivel trófico, una población o un ecosistema, según el Diccionario de la lengua española de la Real Academia Española, tiene dos acepciones: 1) f. Biol. Materia total de los seres que viven en un lugar determinado, expresada en peso por unidad de área o de volumen y 2) f. Biol. Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía (Real Academia Española & Asociación de Academias de la Lengua Española, 2014).

La primera acepción se utiliza habitualmente en ecología. La segunda acepción, más restringida, se refiere a la biomasa “útil” en términos energéticos formales: las plantas transforman la energía radiante del Sol en energía química a través de la fotosíntesis, y parte de esa energía química queda almacenada en forma de materia orgánica; la energía química de la biomasa puede recuperarse quemándola directamente o transformándola en combustible (Margalef, 1980).

La biomasa, como recurso energético, puede clasificarse en biomasa natural (la que se produce en la naturaleza sin intervención humana) residual (rastros de agricultura y ganadería) y los cultivos energéticos (aquellos que están destinados a la producción de biocombustibles) (Castells & Cadavid, 2005).

En esta investigación su principal relación es con el uso del agua, entendemos que la producción de biomasa como fuente de alimentos es importante sin embargo ¿Qué tan eficiente es esta producción a partir del uso de agua?, la cantidad de biomasa producida por unidad de terreno está relacionada directamente en la capacidad de alimentar a las poblaciones locales, sobre todo en hortalizas donde la principal fuente de alimentos son las hojas o los tallos.

El cálculo de producción de biomasa se realiza bajo el siguiente criterio (Espósito, Culasso, & Balboa, 2007) como se expone en la ecuación (4).

$$BMR = \frac{RI}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n RI} \dots\dots\dots (4)$$

Dónde:

BMR: es la biomasa de tallo, hojas y panojas, relativa al promedio de plantas evaluadas.

BI: es la biomasa de tallo, hojas y panojas, de cada planta.

La producción de biomasa de los cultivos tiene una relación directa con el tipo de cultivo debido a las diferencias en albedo, altura del cultivo, propiedades aerodinámicas, así como características de los estomas y hojas de las plantas (FAO, 2010).

Los espaciamientos estrechos y la altura entre plantas, rugosidad de la superficie, producen K_c mayores a 1,0; por otra parte, algunos cultivos pueden cerrar sus estomas durante el día obteniendo valores menores de K_c . Sin embargo, en la mayoría de las especies se abren los estomas en respuesta al aumento de la radiación solar. Además de la respuesta de los estomas a las condiciones ambientales, la posición y número de estomas y la resistencia de la cutícula a la transferencia de vapor de agua determinan la pérdida de agua del cultivo (FAO, 2010).

El agua es importante en todos los procesos fisiológicos de la planta, especialmente la fotosíntesis, debido a que la molécula se debe romper por fotólisis, a fin de obtener electrones para generar el poder reductor, liberando oxígeno como producto de desecho. Además, da turgencia a la célula vegetal, facilita el transporte de metabolitos a través de la célula, y disuelve iones,

aminoácidos y proteínas, para las múltiples reacciones metabólicas (Kovalsky, 2004).

El estrés hídrico se da cuando la disponibilidad de agua se reduce o aumenta excesivamente, causando un efecto adverso sobre el crecimiento, desarrollo o productividad de la planta, factores tales como las sequías, altas concentraciones de sal en el suelo y bajas temperaturas disminuyen la cantidad de agua disponible para la planta (Buchanan, Grissem, & Jones, 2000).

En dado caso que la transpiración exceda la absorción de agua y se tenga buen suministro de esta, la planta se podrá mantener turgente. Sin embargo, cuando la pérdida por transpiración no se pueda balancear con una absorción adecuada de agua, el potencial hídrico de la planta se hace más negativo y el déficit de agua se convierte en estrés hídrico (Taiz & Zeiger, 2002).

La forma como responden las plantas a distintas situaciones de estrés hídrico va ser diferente según la especie. Existen plantas que no resisten el estrés hídrico mientras que hay otras que tienen estrategias bien elaboradas, tanto a nivel fisiológico, como molecular y genético para soportarlo. Cuando hay carencia de agua, se presenta disminución aguda en la presión interna de la célula, lo que se manifiesta en una pérdida de turgencia (Buchanan, Grissem, & Jones, 2000).

Si hay pérdida de turgencia la planta comienza a mostrar síntomas de marchitamiento; una célula plasmolisada no está en condiciones óptimas para continuar con el ciclo celular y concluir con la mitosis. En el tabaco el ácido jasmónico y el ácido abscísico previenen la replicación del DNA y mantienen las células en fase G1 (Swiatek, Azmi, Witters, & Oncklen, 2003). Además,

ocurre cierre de estomas, aunque si este se prolonga compromete la tasa fotosintética (Taiz & Zeiger 2002).

El estrés hídrico tiene efecto sobre la biomasa y rendimiento total de la planta, además de reducir tanto el crecimiento del tallo como el de las raíces (Turner, 1997).

Las plantas cultivadas en estrés hídrico acumulan osmolitos compatibles como prolina, glicina betaina y azúcares. La prolina actúa como un osmoprotector de enzimas citosólicas y mantiene la integridad de la membrana durante el estrés sin interferir con las reacciones bioquímicas o la estructura celular (Girousse, Bournoville, & Bonnemain, 1996) (Yoshu, Tomohiro, Kazuo, & Kazuko, 1997).

La concentración de prolina en hortalizas se incrementa cuando el contenido hídrico relativo (CHR) disminuye a un 65% (Szente, Tuba, Nagy, & Csintalan, 1993) sin embargo las plantas que acumulan más prolina en periodos cortos de tiempo tienen una mayor capacidad de recuperación ante condiciones de estrés que aquellas que lo hacen en periodos más prolongados (Ferrarotto, 2003).

Durante una condición de estrés hídrico también se limita el intercambio de gases con implicaciones sobre parámetros morfológicos como el área foliar, el crecimiento, la distribución de biomasa y la relación vástago/raíz. La reducción del área foliar puede causar pérdida de biomasa y rendimiento a través de la disminución de la fotosíntesis; el aumento en la relación raíz /vástago puede ser consecuencia de una mayor reducción del vástago respecto a la raíz, o a un aumento del sistema radical asociado a una reducción del vástago; esto último

se puede relacionar con una incorporación activa de agua a la planta, mientras que el primero podría relacionarse con un efecto diferencial de la tasa de crecimiento (Bohnert & Sheveleva, 1998) (Hong, Li, Cheruth, & Chang, 2008). Como resultado de la deficiencia de humedad, las plantas desarrollan una amplia variedad de mecanismos de tolerancia a la sequía que se manifiestan tanto a nivel fisiológico como morfológico (Blum, 1997).

La diversidad de especies existentes asociada a la gran variación de condiciones ambientales hace pensar en la existencia de una amplia gama de respuestas morfológicas y fisiológicas, dado que la floración es la fase más sensible a la sequía en las plantas anuales cultivadas con una alta correlación con productividad (Muñoz, 1980).

2.2.5. Descriptivos estadísticos

2.2.5.1. Coeficiente de variación

En estadística, cuando se desea hacer referencia a la relación entre el tamaño de la media y la variabilidad de la variable, se utiliza el coeficiente de variación.

Su fórmula expresa la desviación estándar como porcentaje de la media aritmética, mostrando una mejor interpretación porcentual del grado de variabilidad que la desviación típica o estándar como se muestra en la ecuación (5).

$$C.V = \frac{\sqrt{CMe}}{\bar{X}} \times 100 \% \quad \dots\dots\dots(5)$$

Dónde:

C.V : Coeficiente de Variación.

C Me : Cuadrado Medio del error.

\bar{X} : Media de la población de las respectivas fuentes de variación.

2.2.5.2. Correlación de variables

La Correlación es una técnica estadística usada para determinar la relación entre dos o más variables para esta investigación es la relación entre la humedad del suelo, el índice de uso equivalente de terreno y la producción de biomasa de los tratamientos. Esta correlación puede involucrar al menos dos variables o una variable dependiente y dos o más variables independientes, denominada correlación múltiple.

Coeficiente de correlación es un valor cuantitativo de la relación entre dos o más variables que desde -1.00 hasta 1.00 pudiendo ser positiva o negativa. No existe relación entre las variables cuando el coeficiente es de 0.00. (Ramón, 2000).

2.2.5.3. Análisis de Regresión Múltiple

Conforme a la ecuación (6) Dispone de dos variables independientes adicionales.

$$Y' = a' + b_1x_1 + b_2x_2 \dots\dots\dots (6)$$

Se puede ampliar para cualquier número "m" de variables independientes con la ecuación (7).

$$Y' = a' + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \dots + b_mx_m \quad \dots (7)$$

Para poder resolver y obtener a, b₁ y b₂ en una ecuación de regresión múltiple el cálculo se presenta muy tediosa porque se tiene atender 3 ecuaciones que se generan por el método de mínimo de cuadrados conforme a las ecuaciones (8), (9) y (10).

$$\sum Y = na + b_1 \sum x_1 + b_2 \sum x_2 \quad \dots (8)$$

$$\sum x_1Y = a \sum x_1 + b_1 \sum x_1^2 + b_2 \sum x_1x_2 \quad \dots (9)$$

$$\sum x_2Y = a \sum x_2 + b_1 \sum x_1x_2 + b_2 \sum x_2^2 \quad \dots (10)$$

Para poder resolver se puede utilizar programas informáticos como AD+, SPSS y Minitab y Excel.

El error estándar de la regresión múltiple (S_{xy}); Es una medida de dispersión la estimación se hace más precisa conforme el grado de dispersión alrededor del plano de regresión se hace más pequeño, Para medirla se utiliza la fórmula (11):

$$S_{xy} = \sqrt{\frac{\sum(Y-Y')^2}{n-m-1}} \quad \dots (11)$$

Dónde:

Y: Valores observados en la muestra

Y': Valores estimados a partir a partir de la ecuación de regresión

n : Número de datos

m : Número de variables independientes

El coeficiente de determinación múltiple (r^2), mide la tasa porcentual de los cambios de Y que pueden ser explicados por X_1 , X_2 y X_3 simultáneamente con la ecuación (12).

$$r^2 = \frac{SC\ regresion}{SC\ total} \dots\dots\dots (12)$$

En esta investigación se realiza las correlaciones y regresiones múltiples para todas las variables del tratamiento teniendo las ecuaciones (13) (14) (15) y (16).

$$\text{Humedad del suelo a 10} = a + HS-20 X_1 + Bm X_2 + UET X_3 \dots\dots\dots (13)$$

Dónde:

Humedad del suelo a 10 = Función dependiente de Humedad del suelo a 10 cm

a = Constante de regresión.

HS-20 = Humedad del suelo a 20 cm

Bm = Promedios de biomasa de los tratamientos.

UET = Promedios de Uso equivalente de terreno de los tratamientos

X_1 , X_2 , X_3 = Factores de regresión que influncian sobre las variables independientes

$$\text{Humedad del suelo a 20} = a + \text{HS-10 } X_1 + \text{Bm } X_2 + \text{UET } X_3 \dots\dots\dots (14)$$

Dónde:

Humedad del suelo a 10 = Función dependiente de Humedad del suelo a 10 cm

a = Constante de regresión.

HS-10 = Humedad del suelo a 10 cm

Bm = Promedios de biomasa de los tratamientos.

UET = Promedios de Uso equivalente de terreno de los tratamientos

X_1, X_2, X_3 = Factores de regresión que influncian sobre las variables independientes

$$\text{Bm} = a + \text{HS-10 } X_1 + \text{HS-20 } X_2 + \text{UET } X_3 \dots\dots\dots (15)$$

Dónde:

Bm = Función dependiente de Biomasa.

a = Constante de regresión.

HS-10 = Humedad del suelo a 10 cm

HS-20 = Humedad del suelo a 20 cm

UET = Promedios de Uso equivalente de terreno de los tratamientos

X_1, X_2, X_3 = Factores de regresión que influncian sobre las variables independientes

$$\text{UET} = a + \text{HS-10 } X_1 + \text{HS-20 } X_2 + \text{Bm } X_3 \dots\dots\dots (16)$$

Dónde:

UET = Promedios de Uso equivalente de terreno de los tratamientos

a = Constante de regresión.

HS-10 = Humedad del suelo a 10 cm

HS-20 = Humedad del suelo a 20 cm

Bm = Función dependiente de Biomasa.

X_1, X_2, X_3 = Factores de regresión que influyen sobre las variables independientes

Las regresiones son evaluadas en distintas funciones: lineal, cuadrática y cúbica; solamente se considera cuyas funciones tengan mayor correlación, asumiendo una función lineal se expone la siguiente función matemática.

2.2.5.4. Diseño estadístico DBCA (diseño de bloques completos al azar)

El DBCA es una herramienta que se aplica cuando el material es heterogéneo.

Las unidades experimentales homogéneas se agrupan formando grupos homogéneos llamados bloques y las fuentes de variación son los bloques, los tratamientos (respuestas de humedad del suelo, Uso equivalente de terreno y biomasa) y el error experimental.

a) Modelo aditivo lineal:

Para esta investigación se aplica a la ecuación (17)

$$Y_{ijk} = U + X_i + B_j + (XB)_{ji} \dots\dots\dots(17)$$

Dónde:

$U =$ Efecto de la media general.

$X_i =$ Efecto i esimo tratamiento.

$B_j =$ Efecto del j esimo bloque o repeticion.

$E_{ijk} =$ Efecto del error experimental.

b) Análisis de varianza (ANVA)

Tabla 2: Análisis de varianza (ANVA) para DBCA en un arreglo factorial con dos factores.

Fuentes de Variación (F.V.)	Grados de Libertad (G.L.)	Suma de Cuadrados (S.C.)	Cuadrados Medios (C.M.)	F ₀
Bloques	b-1	ASS	$MSA = \frac{SSr}{a-1}$	$F_0 = \frac{MSr}{MSE}$
Tratamientos	1-a	ASS	$MSA = \frac{SSA}{a-1}$	$F_0 = \frac{MSA}{MSE}$
Error	ab(n-1)	ESS	$MSE = \frac{SSE}{ab(n-1)}$	
Total	abn-1	TSS		

Fuente: (Badii, Castillo, Rodríguez, & Wong, 2007)

2.2.5.5. Análisis de medias de Tukey

El método de Tukey se utiliza en Análisis de varianzas para crear intervalos de confianza para todas las diferencias en parejas entre las medias de los niveles de los factores mientras controla la tasa de error por familia en un nivel especificado. Es recomendable cuando se tienen menos de 50 valores a comparar.

2.2.5.6. Coeficiente de correlación (r) de Pearson

Evalúa si dos variables continuas están linealmente relacionadas. El coeficiente se ubicará entre -1 y +1. Mientras más cercana a 1 se encuentre la correlación absoluta, más cercanos entre sí estarán los puntos de datos en una línea. Una correlación cercana a 0 indica que no existe una relación lineal.

Consideraciones importantes:

- La correlación no necesariamente implica causalidad. Sólo los experimentos controlados le permiten determinar la causalidad. Por ejemplo, mientras el consumo de helados y el número de casos de gripe pueden estar negativamente correlacionados, no significa que el incremento en el consumo de helados ocasione una disminución en la tasa de gripe. Más bien, es probable que haya una variable de confusión, tal como la temperatura, en el trabajo.
- Un valor extremo individual puede afectar en gran medida al coeficiente. Busque valores atípicos y considere su efecto.
- Para determinar en qué grado un modelo se ajusta a los datos, puede calcular el porcentaje de la varianza reflejada (R^2) elevando al cuadrado el coeficiente de correlación y multiplicándolo por 100.

2.3. Definición de términos.

Antropogénico

Según la Real Academia Española (2014) “a veces llamado antrópico, se refiere a los efectos, procesos o materiales que son el resultado de actividades humanas (...) normalmente se usa para describir contaminaciones ambientales en forma de desechos físicos, químicos o biológicos como consecuencia de las actividades económicas, tales como basureros, escombreras o la producción de dióxido de carbono por consumo de combustibles fósiles”.

Policultivos

Según Salas (2000) es aquel tipo de agricultura que usa cosechas múltiples sobre la misma superficie, imitando hasta cierto punto la diversidad de ecosistemas naturales de plantas herbáceas, y evitando las grandes cargas sobre el suelo agrícola de las cosechas únicas.

Los Sistemas de Policultivos son sistemas de cultivos múltiples en los que dos o más especies o cultivares crecen juntos en la misma superficie de tierra durante todo su ciclo o parte del mismo de acuerdo a diferentes diseños (franjas, surcos, etc.) y arreglos espaciales y/o temporales (Mainardi Grellet, 2005).

Capacidad de campo - se refiere a la cantidad relativamente constante de agua que contiene un suelo saturado después de 48 horas de drenaje. El concepto de Capacidad de Campo se aplica únicamente a suelos bien estructurados donde el drenaje del exceso de agua es relativamente rápido; si el drenaje ocurre en suelos pobremente estructurados, por lo general continuará durante varias

semanas y este tipo de suelos de estructura tan pobre raramente tiene una Capacidad de Campo claramente definida. La Capacidad de Campo se determina mejor en el campo saturando el suelo y midiendo su contenido de agua después de 48 horas de drenaje. El suelo a capacidad de campo se siente muy húmedo en contacto con las manos.

Punto permanente de marchitez - se refiere al contenido de agua de un suelo que ha perdido toda su agua a causa del cultivo y, por lo tanto, el agua que permanece en el suelo no está disponible para el mismo. En esas condiciones, el cultivo está permanentemente marchito y no puede revivir cuando se le coloca en un ambiente saturado de agua. Al contacto manual, el suelo se siente casi seco o muy ligeramente húmedo.

Saturación - se refiere al contenido de agua del suelo cuando prácticamente todos los espacios están llenos de agua. En los suelos bien drenados es un estado temporal ya que el exceso de agua drena de los poros grandes por influencia de la gravedad para ser reemplazada por aire.

III. METODOLOGIA

El trabajo de campo fue realizado en la comunidad campesina de Shupluy, provincia de Yungay-Ancash, a 3100 msnm, cuyas condiciones de temperatura fluctúan entre los 5° a 24° C a una localización UTM 265817.49 m E, 8887931.28 m S Zona 18L, durante siete meses de instalado el experimento.

3.1. Tipo y diseño de Investigación.

Tipo de investigación.

Es aplicada por que se interesa en la aplicación de los conocimientos a la solución de un problema práctico e inmediato (Bunge, 1980).

Nivel de la Investigación.

Es explicativa porque permitirá explicar el efecto de las variables independientes sobre una variable dependiente (Morin, 2001).

Método de investigación.

Es inductivo, ya que consiste en la verificación o contrastación de hipótesis a través de recopilación de datos producto de mediciones experimentales que permitirán concluir si la hipótesis debe ser aceptada o rechazada (Morín, 2001).

Diseño de investigación.

Será experimental con un Diseño de Bloques Completos al Azar (BCA) en arreglo factorial con 3 niveles para los Policultivos y 9 niveles para monocultivos, además se agregará un testigo, generándose 13 tratamientos. Ver anexo B características del campo experimental, formación de tratamiento a partir de los niveles de los factores.

Tabla 3: Detalle de tratamientos

Tratamientos	Factores	Especies
Tratamiento 1	Policultivo 1	<i>Zea mays, Lupinus mutabilis y Solanum tuberosa.</i>
Tratamiento 2	Policultivo 2	<i>Triticum aestivum, Vicia faba y Hipomoea batatas</i>
Tratamiento 3	Policultivo 3	<i>Hordeum vulgare, Phaseolus vulgaris y Beta vulgaris</i>
Tratamiento 4	Monocultivo 1	<i>Zea mays</i>
Tratamiento 5	Monocultivo 2	<i>Lupinus mutabilis</i>
Tratamiento 6	Monocultivo 3	<i>Solanum tuberosa.</i>
Tratamiento 7	Monocultivo 4	<i>Triticum aestivum</i>
Tratamiento 8	Monocultivo 5	<i>Vicia faba</i>
Tratamiento 9	Monocultivo 6	<i>Hipomoea batatas,</i>
Tratamiento 10	Monocultivo 7	<i>Hordeum vulgare</i>
Tratamiento 11	Monocultivo 8	<i>Phaseolus vulgaris</i>
Tratamiento 12	Monocultivo 9	<i>Beta vulgaris,</i>
Tratamiento 13	Sin ningún	

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Plan de recolección de la información y/o diseño estadístico.

Para Comportamiento de la humedad del suelo.

El registro del porcentaje de humedad se realizó en cada tratamiento con el medidor de humedad PMH110 de procedencia alemana (utilizado en estudios de suelos en Australia y Colombia) cada cinco días desde la instalación de los cultivos hasta el último estadio fisiológico, durante un periodo de siete meses para todo el experimento.

La toma de medidas de humedad se realizó a 10 y 20 cm de profundidad entre las 12 y 13 horas de los días de evaluación.

Para uso equivalente del terreno

El registro de datos para determinar el Uso Equivalente del Terreno se realizó al momento de la madures fisiológica de los rendimientos comerciables de los tratamientos instalados. El uso equivalente de terreno se estimó en índices EUT para cada tratamiento.

Para el aporte de biomasa.

El registro de aporte de biomasa de los tratamientos se realizó al momento de la madures fisiológica considerándose la parte aérea y radicular de los cultivos instalados. El aporte de biomasa se expresó en promedio de peso en kilogramos por tratamiento.

Conducción del experimento.

A continuación, se muestra un Flujograma de las etapas de la conducción de la investigación.

La instalación de las parcelas fue manualmente en un sistema convencional de aspectos agronómicos similares a las del callejón de Huaylas, durante todo el proceso no se aplicó ningún fertilizante, ni insecticida, ni se suministró riego.

A continuación, detallamos los aspectos más relevantes de cada tratamiento:

Tratamiento 1: (*Zea mays*, *Lupinus mutabilis* y *Solanum tuberosa*) se instaló 13 surcos, 5 surcos de *Zea mays* (13 golpes por surco haciendo un total de 65 golpes, 2 plantas por golpe) 4 surcos de *Lupinus mutabilis* (10 golpes por surco haciendo un total de 40 golpes, 1-2 plantas por golpes) y 4 surcos de *Solanum tuberosa* (11 plantas por surco haciendo un total de 44 plantas por parcela).

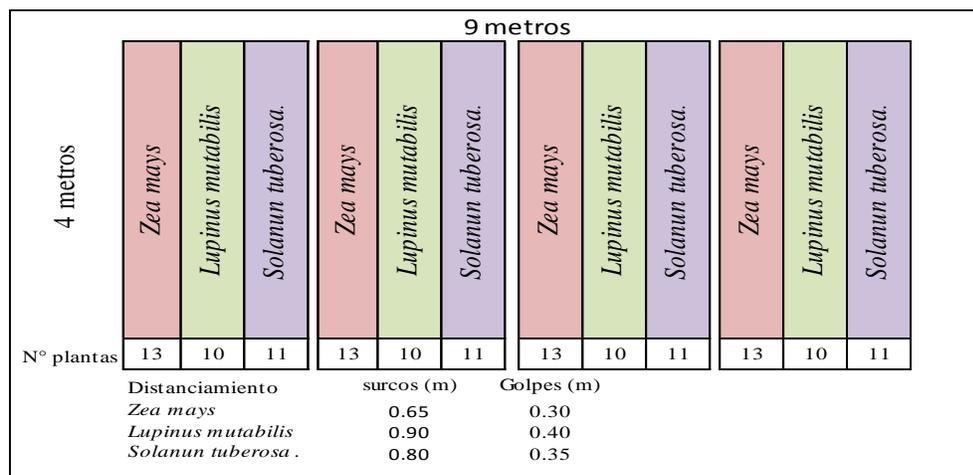


Figura 3: Características del tratamiento T1.

Fuente: Elaboración propia.

Tratamiento 2 (*Triticum aestivum*, *Vicia faba* y *Hipomoea batatas*) se instaló 21 surcos, 7 surcos de *Triticum aestivum* (en línea continua) 7 surcos de *Vicia faba* (20 golpes por surco haciendo un total de 140 golpes, 3-4 plantas por golpe) y 7 surcos de *Hipomoea batatas* (13 matas por surco haciendo un total de 91 plantas por parcela).

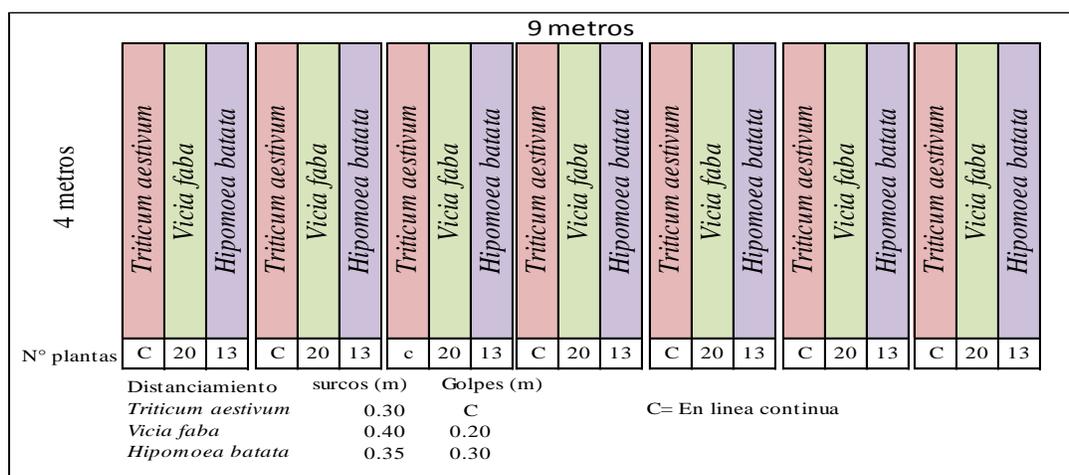


Figura 4: Características del tratamiento T2.

Fuente: Elaboración propia.

Tratamiento 3 (*Hordeum vulgare*, *Phaseolus vulgaris* y *Beta vulgaris*) se instaló 21 surcos, 7 surcos de *Hordeum vulgare* (en línea continua) 7 surcos de *Phaseolus vulgaris* (11 golpes por surco haciendo un total de 77 golpes, 2-3 plantas por golpe) y 7 surcos de *Beta vulgaris* (13 plantas por surco haciendo un total de 91 plantas por parcela).

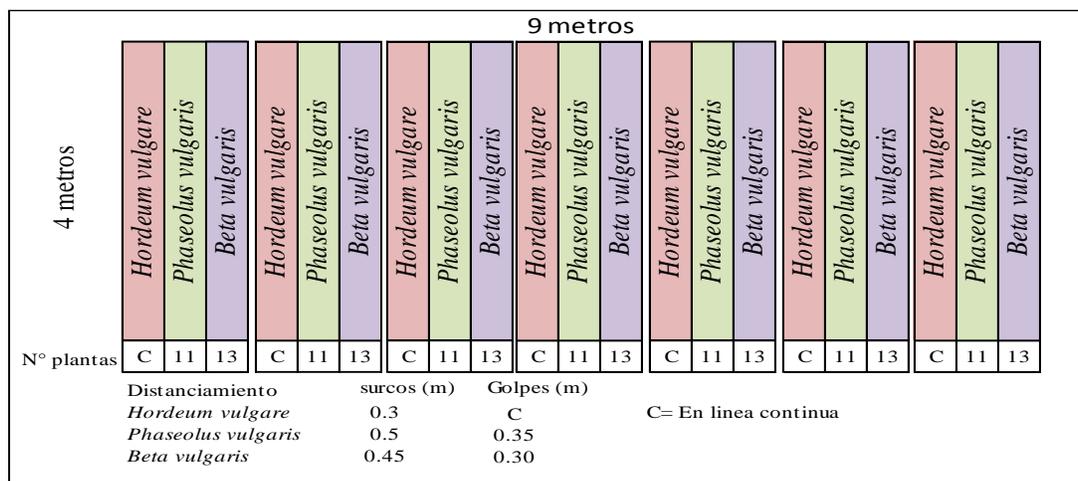


Figura 5: Características del tratamiento T3.

Fuente: Elaboración propia.

Tratamiento 4 (*Zea mays*) se instaló 13 surcos a un distanciamiento de 0.3 m entre plantas y 0.7 m entre surcos haciendo un total de 169 golpes por parcela.

Tratamiento 5 (*Lupinus mutabilis*) se instaló 9 surcos a un distanciamiento de 0.4 m entre plantas y 1 m entre surcos haciendo un total de 90 golpes por parcela.

Tratamiento 6 (*Solanum tuberosa*) se instaló 10 surcos a un distanciamiento de 0.35 m entre plantas y 0.9 m entre surcos haciendo un total de 110 plantas por parcela.

Tratamiento 7 (*Triticum aestivum*) se instaló 30 surcos a chorro continuo.

Tratamiento 8 (*Vicia faba*) se instaló 22 surcos a un distanciamiento de 0.2 m entre plantas y 0.4 m entre surcos haciendo un total de 440 golpes por parcela.

Tratamiento 9 (*Hipomoea batatas*) se instaló 15 surcos a un distanciamiento de 0.3 m entre plantas y 0.6 m entre surcos haciendo un total de 195 golpes por parcela.

Tratamiento 10 (*Hordeum vulgare*) se instaló 30 surcos a chorro continuo.

Tratamiento 11 (*Phaseolus vulgaris*) se instaló 18 surcos a un distanciamiento de 0.35 m entre plantas y 0.5 m entre surcos haciendo un total de 234 golpes por parcela.

Tratamiento 12 (*Beta vulgaris*) se instaló 20 surcos a un distanciamiento de 0.3 m entre plantas y 0.45 m entre surcos haciendo un total de 260 golpes por parcela.

Tratamiento 13 Sin ningún cultivo.

Población

Se tuvo 39 parcelas experimentales

Muestra

- Para la humedad del suelo, se evaluó diez puntos de la humedad del suelo a dos profundidades (10 y 20 cm) por tratamientos.
- Para uso equivalente del terreno se evaluó diez plantas al azar en el periodo de producción comercial de las parcelas.

- Para la producción de biomasa se evaluó 10 muestras por parcelas.

Con el fin de estimar un parámetro determinado con el nivel de confianza del 95% se utilizó un índice de Z_{α} (1.96) por parcela en función al número de plantas instaladas (N) en la ecuación (18).

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 Npq}{e^2 (N - 1) + Z_{\alpha}^2 Npq} \dots \dots \dots (18)$$

Dónde:

p: proporción de individuos que poseen en la población la característica de estudio. Este dato es generalmente desconocido y se suele suponer que $p=q=0.5$ que es la opción más segura.

q: proporción de individuos que no poseen esa característica, es decir, es $1-p$.

n: tamaño de la muestra (número de encuestas que vamos a hacer).

Unidad de análisis.

- Para determinar la humedad del suelo las unidades de análisis fueron los suelos a 10 y 20 cm de profundidad de los trece tratamientos evaluados con un medidor de humedad (hidrómetro PMH 114) expresado en porcentajes.

- Para determinar la unidad equivalente del terreno se evaluó en el rendimiento de los órganos comerciales de plantas seleccionadas al azar para cada tratamiento expresados en índices de UET.

- Para determinar la cantidad de biomasa se pesó en fresco plantas seleccionadas al azar de cada tratamiento al momento de su madurez

fisiológica. El promedio de los pesos se expresó en kilogramos por tratamiento.

3.3. Instrumentos de recolección de datos.

➤ Instrumentos.

Los datos extras a las condicionantes de las variables en estudio fueron **a)** el análisis de suelo inicial donde se determinó la Densidad aparente, la capacidad de campo y el punto de marchites que fueron correlacionados con otras investigaciones (ver anexo G) **b)** datos meteorológicos que fueron recogidos de la estación meteorológica del SENAMHI contrastados con los datos meteorológicos de la FAO para las coordenadas satelitales y altitud de las parcelas en estudio y **c)** los valores de evapotranspiración fueron calculados por el software CROPWAT 8.0 conforme a los procedimientos sugeridos y validados por la FAO (ver anexo H) donde se exponen Temperaturas mínimas y máximas (°C) Humedad relativa (%) velocidad del viento (m/s) horas de insolación (horas) radiación (MJ/m²/día) y Evapotranspiración para los días y meses del periodo de evaluación.

Para Comportamiento de la humedad del suelo.

Las mediciones de cálculos de Punto de Marchites y Capacidad de campo inicial se realizó a partir del análisis de suelos en laboratorio extraídos en campo (ver anexo G)

Las mediciones de rutina se realizaron con el uso de medidor de humedad digital en suelos c/sensor modelo PMS-710 Eurotech, de procedencia alemana, portátil, compacto, de fácil uso y de lecturas de medición de humedad instantáneos con una precisión de 98.0 %. Para su uso previamente se realizó la calibración con muestras de suelo llevadas a laboratorio. La descripción de este equipo se detalla en el anexo F. La medición de la humedad del suelo se realizó en intervalos de cinco días.

Para uso equivalente del terreno

Se realizó con la fórmula de Unidad Equivalente de Terreno propuesta por Mead & Willey cuyo método es sugerido por la FAO para este tipo de evaluaciones.

Para el aporte de biomasa.

Se realizó con los criterios de BMR (Espósito, Culasso, & Balboa, 2007), en la que se tomó el valor promedio de las siete plantas evaluadas como base 100 y se calculó el valor relativo de cada planta de acuerdo a su posición en el surco, a su vez se promediaron los valores de las tres plantas de la misma posición en las diferentes repeticiones (bloques). De este modo se observó el grado de competencia y compensación entre las plantas.

3.4. Plan de procesamiento y análisis estadístico de datos.

Los datos recolectados en campo se procesaron con un modelo aditivo lineal para un diseño de Bloques Completos al Azar.

La investigación se desarrolló bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (BCA) en arreglo factorial, con 2 factores (Policultivos y Monocultivos) con 3 niveles para los Policultivos y 9 niveles para monocultivos, además se agregará un testigo, generándose 13 tratamientos con 3 repeticiones o bloques por cada Tratamiento. Con un nivel de significancia de 0.05.

✓ **Modelo aditivo lineal:**

$$Y_{ijk} = U + X_i + B_j + (XB)_{ji}$$

Dónde:

$U =$ Efecto de la media general.

$X_i =$ Efecto i esimo tratamiento (policultivos y monocultivos).

$B_j =$ Efecto del j esimo bloque o repeticion.

$E_{ijk} =$ Efecto del error experimental.

- ✓ **Prueba de significancia.** Para los fuentes de variación y los tratamientos significativos, se analizaran con la Prueba de Medias de Tukey a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

✓ **Análisis de varianza (ANVA)**

Tabla 4: Análisis de varianza (ANVA) para DBCA en un arreglo factorial con dos factores.

Fuentes de Variación (F.V.)	Grados de Libertad (G.L.)	Suma de Cuadrados (S.C.)	Cuadrados Medios (C.M.)	F₀
Bloques	b-1	ASS	$MSA = \frac{SSr}{a-1}$	$F_0 = \frac{MSr}{MSE}$
Policultivos y monocultivos	1-a	ASS	$MSA = \frac{SSA}{a-1}$	$F_0 = \frac{MSA}{MSE}$
Error	ab(n-1)	ESS	$MSE = \frac{SSE}{ab(n-1)}$	
Total	abn-1	TSS		

Fuente: (Badii, Castillo, Rodríguez, & Wong, 2007)

IV. RESULTADOS

4.1. Comportamiento de la Humedad del suelo.

En la tabla 15 se expone los descriptivos estadísticos para analizar comportamiento de los promedios de humedad volumétrica del suelo, siendo los más importantes la media, el error estándar de la media, la desviación estándar, la varianza, el coeficiente de variación y los valores máximos y mínimos en las fechas de evaluación.

En la figura 6 se expone el comportamiento del coeficiente de variación que es uno de los descriptivos estadísticos más importantes.

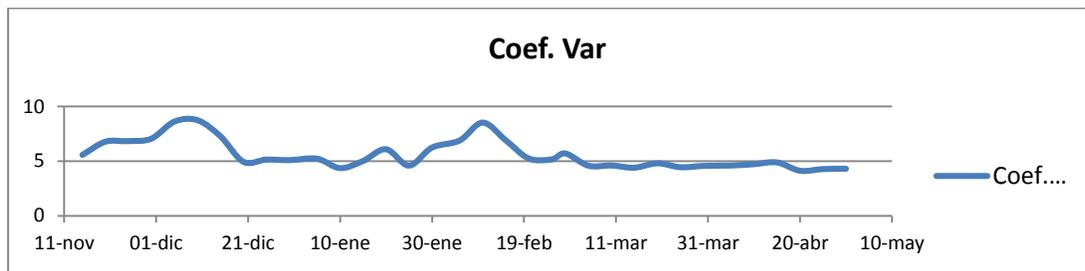


Figura 6: Comportamiento de los coeficientes de varianza
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5: Descriptivos estadísticos para el comportamiento de la humedad del suelo.

Fecha evaluación	N	N*	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Varianza	Coef. Var	Mínimo	Máximo
15-nov	78	0	34.606	0.218	1.927	3.713	5.57	32.4	36.8
20-nov	78	0	30.497	0.234	2.067	4.273	6.78	28.2	32.9
25-nov	78	0	28.949	0.224	1.976	3.905	6.83	26.5	31.2
30-nov	78	0	27.254	0.218	1.924	3.7	7.06	24.8	29.5
05-dic	78	0	23.581	0.23	2.032	4.128	8.62	21.4	25.9
10-dic	78	0	24.395	0.242	2.135	4.558	8.75	22.1	26.8
15-dic	78	0	21.741	0.179	1.583	2.507	7.28	20.0	23.6
20-dic	78	0	22.894	0.128	1.132	1.281	4.94	21.6	24.3
25-dic	78	0	24.356	0.142	1.253	1.569	5.14	22.9	25.8
30-dic	78	0	26.079	0.15	1.328	1.763	5.09	24.5	27.6
05-ene	78	0	23.377	0.138	1.221	1.49	5.22	21.7	24.8
10-ene	78	0	24.326	0.12	1.061	1.126	4.36	23.0	25.6
15-ene	78	0	27.229	0.154	1.363	1.859	5.01	25.6	28.8
20-ene	78	0	30.537	0.211	1.861	3.463	6.09	28.2	32.6
25-ene	78	0	34.041	0.177	1.563	2.444	4.59	32.0	35.8
30-ene	78	0	36.236	0.256	2.26	5.109	6.24	33.5	38.7
05-feb	78	0	35.123	0.274	2.419	5.854	6.89	32.5	37.9
10-feb	78	0	32.987	0.319	2.815	7.924	8.53	29.7	36.0
15-feb	78	0	34.997	0.274	2.423	5.87	6.92	32.1	37.6
20-feb	78	0	38.695	0.0704	0.622	0.387	5.25	37.6	39.5
25-feb	78	0	38.182	0.0693	0.612	0.374	5.16	37.1	39.0
28-feb	78	0	38.449	0.0753	0.665	0.443	5.7	37.3	39.3
05-mar	78	0	39.317	0.026	0.229	0.0526	4.58	38.9	39.7
10-mar	78	0	40.091	0.0273	0.241	0.0582	4.6	39.4	40.5
15-mar	78	0	39.947	0.0324	0.286	0.082	4.4	39.2	40.4
20-mar	78	0	39.305	0.0425	0.376	0.141	4.8	38.7	39.9
25-mar	78	0	38.21	0.0623	0.55	0.303	4.44	37.4	39.0
30-mar	78	0	38.45	0.0678	0.599	0.359	4.56	37.6	39.3
05-abr	78	0	40.091	0.0273	0.241	0.0582	4.6	39.4	40.5
10-abr	78	0	39.947	0.0324	0.286	0.082	4.72	39.2	40.4
15-abr	78	0	38.396	0.0816	0.72	0.519	4.88	37.4	39.3
20-abr	78	0	38.072	0.177	1.567	2.456	4.12	36.4	39.9
25-abr	78	0	37.154	0.18	1.586	2.515	4.27	35.1	39.0
30-abr	78	0	38.486	0.0707	0.625	0.39	4.3	37.6	39.3

Fuente: Elaboración Propia.

A continuación, detallamos los Análisis de varianza para las evaluaciones mensuales con el fin de aceptar o rechazar la hipótesis si en caso hubiera alguna significancia estadística al 95% de observación.

Resultados del análisis de la humedad del suelo para el mes de noviembre.

Tabla 6: Análisis de varianza Noviembre: Humedad (%) & Bloque, Tratamientos, Profundidad (Cm).

Fuente variación	GL	Valor F calculada Noviembre				F tab	Decisión
		15	20	25	30		
Bloque	2	0.04	0.11	0.10	0.17	3.145	NS
Tratamientos	12	0.58	0.88	0.53	0.54	1.912	NS
Profundidad (Cm)	1	10492.70	4128.11	4540.25	3316.63	3.996	*

Fuente: Elaboración Propia.

A continuación, se muestra un análisis de medias por el método de Tukey de 95% para la humedad del suelo en diferentes profundidades durante el mes de noviembre.

Tabla 7: Comparaciones de Medias de Tukey para noviembre.

Evaluación	Profundidad (Cm)	N	Media	Agrupación
15-nov	20	39	36.515	A
	10	39	32.698	B
20-nov	20	39	32.533	A
	10	39	28.462	B
25-nov	20	39	30.897	A
	10	39	27.000	B
30-nov	20	39	29.146	A
	10	39	25.363	B

Fuente: Elaboración Propia.

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Resultados del análisis de la humedad del suelo para el mes de diciembre.

Tabla 8: Análisis de varianza Diciembre, Humedad (%) & Bloque, Tratamientos, Profundidad (Cm).

Fuente variación	GL	Valor F calculada Diciembre						F tab	Decisión
		5	10	15	20	25	30		
Bloque	2	0.47	0.25	0.25	0.38	0.20	0.53	3.145	NS
Tratamientos	12	0.66	0.80	0.71	0.39	0.82	0.98	1.912	NS
Profundidad (Cm)	1	9843.23	12972.26	6138.96	6859.81	3029.82	7657.45	3.996	*

Fuente: Elaboración Propia.

A continuación, se expone un análisis de medias por el método de Tukey de 95% para la profundidad del suelo durante el mes de diciembre.

Tabla 9: Comparaciones de Medias de Tukey para diciembre.

Evaluación	Profundidad (Cm)	N	Media	Agrupación
05-dic	20	39	25.592	A
	10	39	21.569	B
10-dic	20	39	26.510	A
	10	39	22.280	B
15-dic	20	39	23.305	A
	10	39	20.177	B
20-dic	20	39	24.005	A
	10	39	21.782	B
25-dic	20	39	25.595	A
	10	39	23.118	B
30-dic	20	39	27.392	A
	10	39	24.767	B

Fuente: Elaboración Propia.

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Resultados del análisis de la humedad del suelo para el mes de enero.

Tabla 10: Análisis de varianza Enero, Humedad (%) & Bloque, Tratamientos, Profundidad (Cm).

Fuente variación	GL	Valor F calculada Enero						F tab	Decisión
		5	10	15	20	25	30		
Bloque	2	0.40	1.28	1.35	0.95	0.91	0.71	3.145	NS
Tratamientos	12	0.83	1.52	1.53	1.09	0.79	0.96	1.912	NS
Profundidad (Cm)	1	4192.95	4087.66	7701.90	10829.65	7844.04	17596.25	3.996	*

Fuente: Elaboración Propia.

A continuación, se ostenta un análisis de medias por el método de Tukey de 95% para la profundidad del suelo durante el mes de enero.

Tabla 11: Comparaciones de Medias de Tukey para Enero 2018

Evaluación	Profundidad (Cm)	N	Media	Agrupación
05-ene	20	39	24.580	A
	10	39	22.174	B
10-ene	20	39	25.369	A
	10	39	23.282	B
15-ene	20	39	28.577	A
	10	39	25.882	B
20-ene	20	39	32.380	A
	10	39	28.695	B
25-ene	20	39	35.587	A
	10	39	32.495	B
30-ene	20	39	38.477	A
	10	39	33.995	B

Fuente: Elaboración Propia.

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Resultados del análisis de la humedad del suelo para el mes de febrero.

Tabla 12: Análisis de varianza Febrero, Humedad (%) & Bloque, Tratamientos, Profundidad (Cm).

Fuente variación	GL	Valor F calculada Febrero						F tab	Decisión
		5	10	15	20	25	30		
Bloque	2	1.30	0.93	1.17	1.52	0.47	1.83	3.145	NS
Tratamientos	12	1.12	1.39	1.30	1.12	1.19	0.98	1.912	NS
Profundidad (Cm)	1	24050.45	24447.91	20701.30	1283.02	1080.00	1415.50	3.996	*

Fuente: Elaboración Propia.

A continuación, se expone un análisis de medias por el método de Tukey de 95% para la profundidad del suelo durante el mes de febrero.

Tabla 13: Comparaciones de Medias de Tukey para febrero 2018.

Evaluación	Profundidad (Cm)	N	Media	Agrupación
05-feb	20	39	37.523	A
	10	39	32.723	B
10-feb	20	39	35.780	A
	10	39	30.195	B
15-feb	20	39	37.400	A
	10	39	32.595	B
20-feb	20	39	39.295	A
	10	39	38.095	B
25-feb	20	39	38.769	A
	10	39	37.595	B
28-feb	20	39	39.092	A
	10	39	37.805	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Resultados del análisis de la humedad del suelo para el mes de marzo.

Tabla 14: Análisis de varianza Marzo, Humedad (%) & Bloque, Tratamientos, Profundidad (Cm).

Fuente variación	GL	Valor F calculada Marzo						F tab	Decisión
		5	10	15	20	25	30		
Bloque	2	0.25	0.95	0.28	0.63	1.05	1.05	3.145	NS
Tratamientos	12	0.77	0.77	0.84	0.56	0.57	0.57	1.912	NS
Profundidad (Cm)	1	91.42	84.71	154.24	175.18	476.52	476.52	3.996	*

Fuente: Elaboración Propia.

A continuación, se presenta un análisis de medias por el método de Tukey de 95% para la profundidad del suelo durante el mes de marzo.

Tabla 15: Comparaciones de Medias de Tukey para marzo 2018.

Evaluación	Profundidad (Cm)	N	Media	Agrupación
05-mar	20	39	39.487	A
	10	39	39.146	B
10-mar	20	39	40.267	A
	10	39	39.915	B
15-mar	20	39	40.182	A
	10	39	39.713	B
20-mar	20	39	39.621	A
	10	39	38.990	B
25-mar	20	39	38.721	A
	10	39	37.700	B
30-mar	20	39	39.021	A
	10	39	37.880	B

Fuente: Elaboración Propia.

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Resultados del análisis de la humedad del suelo para el mes de abril.

Tabla 16: Análisis de varianza Abril, Humedad (%) & Bloque, Tratamientos, Profundidad (Cm).

Fuente variación	GL	Valor F calculada Abril						F tab	Decisión
		5	10	15	20	25	30		
Bloque	2	0.95	0.28	1.39	0.70	0.48	0.18	3.145	NS
Tratamientos	12	0.77	0.84	0.52	0.81	0.60	0.65	1.912	NS
Profundidad (Cm)	1	84.71	154.24	1248.85	6798.49	6139.50	1468.16	3.996	*

Fuente: Elaboración Propia.

A continuación, se exhibe un análisis de medias por el método de Tukey de 95% para la profundidad del suelo durante el mes de marzo.

Tabla 17: Comparaciones de Medias de Tukey para abril 2018.

Evaluación	Profundidad (Cm)	N	Media	Agrupación
05-abr	20	39	40.267	A
	10	39	39.915	B
10-abr	20	39	40.182	A
	10	39	39.713	B
15-abr	20	39	39.092	A
	10	39	37.700	B
20-abr	20	39	39.621	A
	10	39	36.523	B
25-abr	20	39	38.721	A
	10	39	35.587	B
30-abr	20	39	39.092	A
	10	39	37.880	B

Fuente: Elaboración Propia.

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

En la figura 7 se observa el comportamiento de la humedad del suelo a diferentes profundidades durante todos los procesos de evaluación.

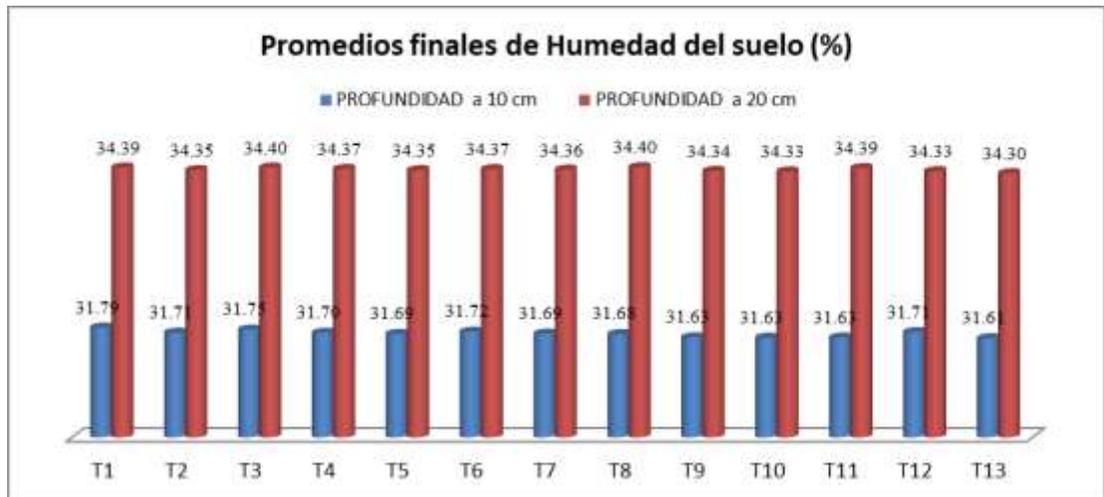


Figura 7: Promedios finales de humedad del suelo de los tratamientos.
Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 8 se observa el comportamiento de la media general de la humedad del suelo durante los meses de evaluación.

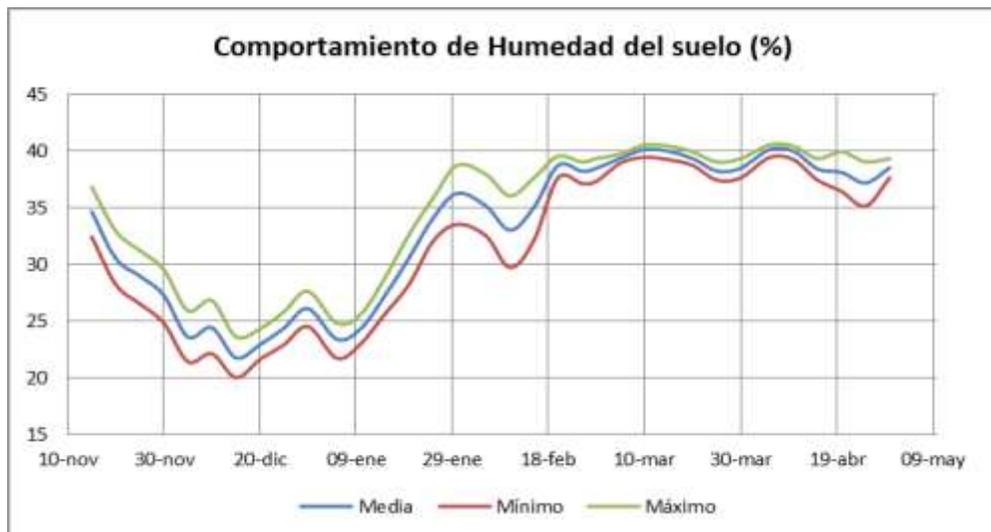


Figura 8: Comportamiento de la humedad del suelo.
Fuente: Elaboración Propia.

4.2. Uso equivalente del terreno

En la tabla 18 se muestran los descriptivos estadísticos, cantidad de datos procesados, la Media, el error estándar de la media, la desviación estándar, la varianza y los promedios máximos y mínimos para analizar el comportamiento de los promedios de Índices de uso equivalente de terreno (UET).

Tabla 18: Descriptivos estadísticos para índices de uso equivalente de terreno.

Variable	N	N*	Media	media	Desv.Est.	Varianza	Coef.Var	Mínimo	Máximo
Índice UET	63	0	0.9765	0.0983	0.7799	0.6082	19.87	0.2	3.3

Fuente: Elaboración Propia.

A continuación, se expone en la tabla 19 el análisis de varianza para los promedios de índices de uso equivalente de terreno en las fuentes de variación estudiadas.

Tabla 19: Análisis de varianza para índices de uso equivalente de terreno

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	F tab	Decisión
Bloque	2	0	0.00001	0.11	3.232	NS
Tratamientos	20	37.7065	1.88533	15477	1.839	*
Error	40	0.0049	0.00012			
Total	62	37.7114				

Fuente: Elaboración Propia.

Análisis de medias utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.

Tabla 20: Análisis de medias de Tukey para Índices de Uso equivalente de terreno

Tratamientos	N°	Media	Agrupación
<i>Zea mays</i> , <i>Lupinus mutabilis</i> y <i>Solanum tuberosa</i> .	3	3.284	A
<i>Triticum aestivum</i> , <i>Vicia faba</i> y <i>Hipomoea batatas</i>	3	2.131	B
<i>Zea mays</i> (choclo) en Policultivo	3	1.835	C
<i>Zea mays</i> (choclo) en Monocultivo	3	1.642	D
<i>Hordeum vulgare</i> , <i>Phaseolus vulgaris</i> y <i>Beta vulgaris</i>	3	1.543	E
<i>Solanum tuberosa</i> . en Monocultivo	3	1.196	F
<i>Solanum tuberosa</i> . en Policultivo	3	1.158	G
<i>Hipomoea batatas</i> , en Monocultivo	3	1.148	G
<i>Beta vulgaris</i> , en Policultivo	3	1.050	H
<i>Hipomoea batatas</i> , en Policultivo	3	1.048	H
<i>Beta vulgaris</i> , en Monocultivo	3	0.942	I
<i>Vicia faba</i> en Policultivo	3	0.773	J
<i>Vicia faba</i> en Monocultivo	3	0.723	K
<i>Phaseolus vulgaris</i> en Monocultivo	3	0.296	L
<i>Triticum aestivum</i> en Policultivo	3	0.290	L
<i>Lupinus mutabilis</i> en Monocultivo	3	0.281	L
<i>Lupinus mutabilis</i> en Policultivo	3	0.280	L
<i>Phaseolus vulgaris</i> en Policultivo	3	0.270	L
<i>Triticum aestivum</i> en Monocultivo	3	0.222	M
<i>Hordeum vulgare</i> en Policultivo	3	0.214	M N
<i>Hordeum vulgare</i> en Monocultivo	3	0.181	N

Fuente: Elaboración Propia.

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

A continuación, se detallan valores de índices de uso equivalente de terreno para todos los tratamientos.

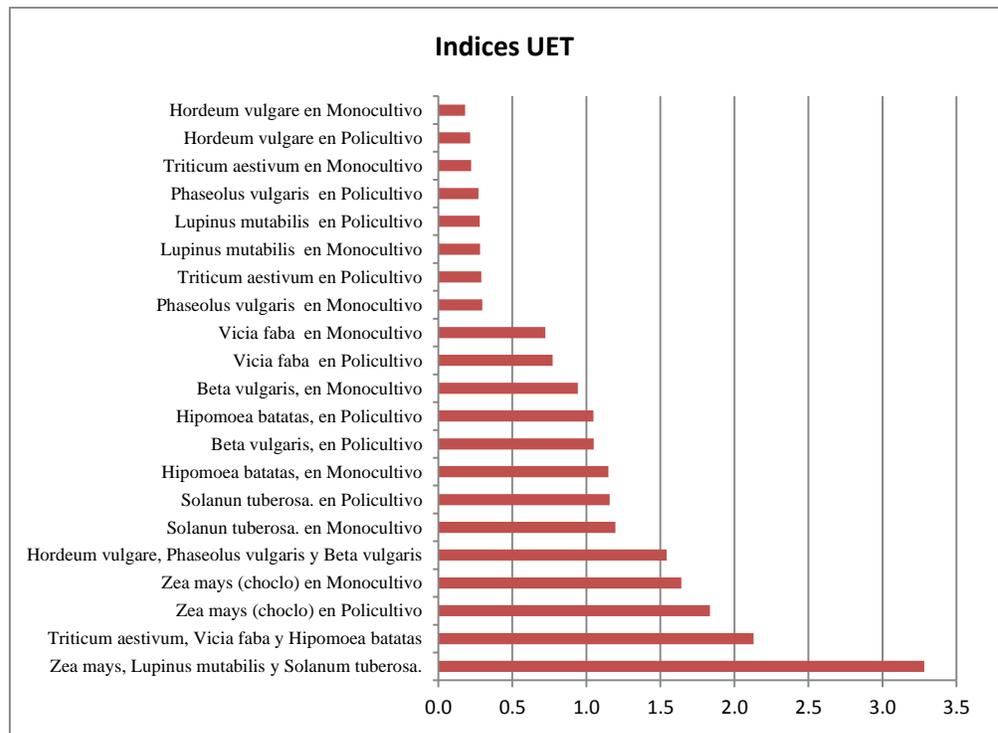


Figura 9: Valores de índices de uso equivalente de terreno.
Fuente: Elaboración Propia.

4.3. Aporte de biomasa por cada parcela

En la tabla 21 se muestra los descriptivos estadísticos, cantidad de datos procesados, la Media, el error estándar de la media, la desviación estándar, la varianza y los promedios máximos y mínimos para el analizar comportamiento de los promedios de aporte de biomasa expresados en kilogramos de peso.

Tabla 21: Descriptivos estadísticos para aporte de biomasa.

Variable	N	N*	Media	media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Máximo
Biomasa (Kg)	39	0	249.42	7.19	44.92	2018.1	18.01	115.0	305.5

Fuente: Elaboración Propia.

A continuación, se expone el análisis de varianza para los promedios de aporte de biomasa para las fuentes de variación estudiadas.

Tabla 22: Análisis de varianza para promedios de aporte de biomasa

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	F tab	Decisión
Bloque	2	10.8	5.38	0.37	3.232	NS
Tratamientos	20	76327.6	6360.63	436.84	1.839	*
Error	40	349.4	14.56			
Total	62	76687.8				

Fuente: Elaboración Propia.

Análisis de medias utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.

Tabla 23: Análisis de medias de Tukey para aporte de biomasa

Tratamientos	Código	N	Media	Agrupación
<i>Zea mays</i>	T4	3	302.70	A
<i>Vicia faba</i>	T8	3	287.17	B
<i>Zea mays, Lupinus mutabilis y Solanum tuberosa.</i>	T1	3	276.17	B
<i>Phaseolus vulgaris</i>	T11	3	264.60	C
<i>Triticum aestivum, Vicia faba y Hipomoea batatas</i>	T2	3	264.60	C
<i>Hordeum vulgare, Phaseolus vulgaris y Beta vulgaris</i>	T3	3	263.10	C
<i>Triticum aestivum</i>	T7	3	262.84	C
<i>Hordeum vulgare</i>	T10	3	258.67	C
<i>Lupinus mutabilis</i>	T5	3	245.91	D
<i>Solanum tuberosa.</i>	T6	3	240.30	D E
<i>Hipomoea batatas,</i>	T9	3	230.60	E
<i>Beta vulgaris,</i>	T12	3	217.03	F
<i>Parcela sin cultivo</i>	T13	3	117.73	G

Fuente: Elaboración Propia.

En el siguiente grafico se exponen los promedios de aporte de biomasa para los tratamientos evaluados en la siguiente entrega se consignarán los datos de los tratamientos en actual evaluación.

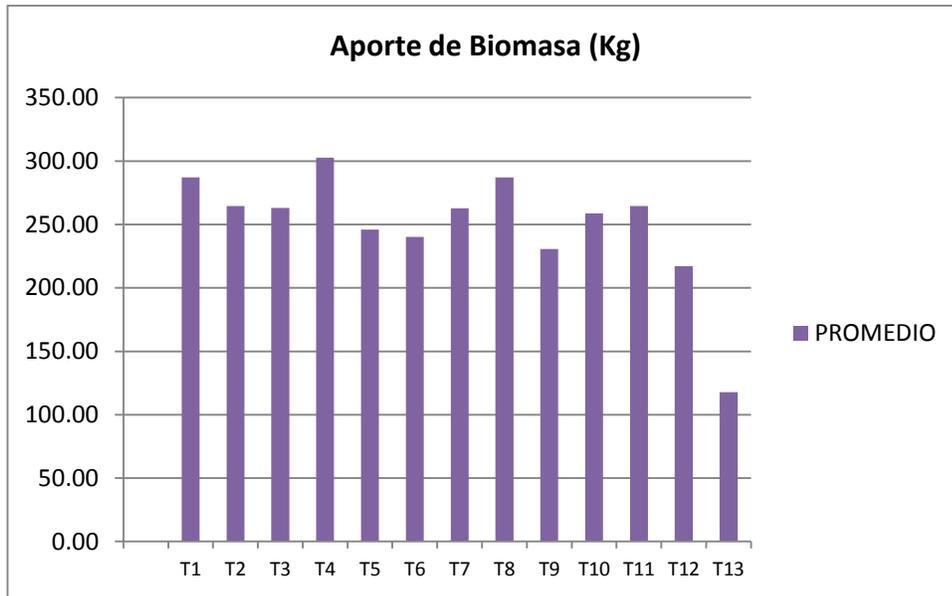


Figura 10: Promedios de aporte de biomasa en kg por tratamientos.
Fuente: Elaboración Propia.

Correlación y regresión de variables en estudio.

En el siguiente cuadro se expone los índices de correlación para las variables en estudio. Nótese la baja correlación en la mayoría de las relaciones, excepto el de promedio de humedad con la humedad del suelo a 10 y 20 cm de profundidad.

Tabla 24: Correlación de Pearson

	Humedad promedio	Humedad 10 cm	Humedad 20 cm	UET
Humedad 10 cm	0.79 0.00			
Humedad 20 cm	0.751 0.00	0.189 0.248		
UET	0.388 0.015	0.439 0.005	0.149 0.367	
Biomasa (kg)	0.359 0.025	0.265 0.104	0.29 0.074	0.412 0.009

Fuente: Elaboración Propia.

A continuación, para una mayor interpretación se expone la siguiente figura con los puntos de promedios de evaluaciones de las variables en estudio.

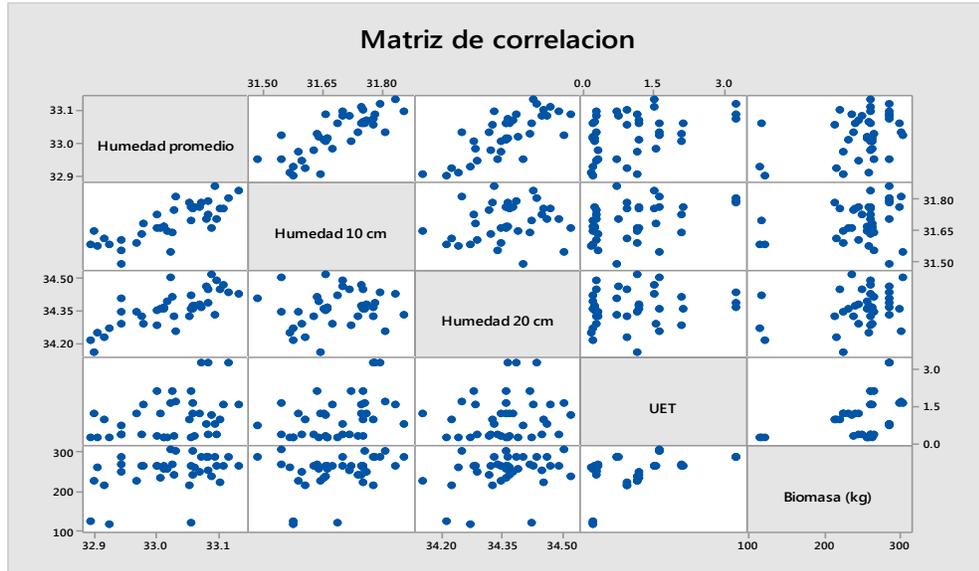


Figura 11: Matriz de correlación de variables en estudio.
Fuente: Elaboración Propia.

Análisis de regresión humedad del suelo Vs Biomasa y Uso equivalente de terreno (UET)

Tabla 25: Análisis de regresión de la Humedad del suelo Vs otras variables.

Análisis de regresión	Ecuación de regresión	S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
Humedad promedio vs. Humedad 10 cm, Humedad 20 cm, UET, Biomasa (kg)	Humedad promedio = 0.000000 + 0.000000 Biomasa (kg) + 0.000000 UET + 0.5000 Humedad 10 cm + 0.5000 Humedad 20 cm	0.0000	100.00%	100.00%	100.00%
Humedad 10 cm vs. Humedad 20 cm, UET, Biomasa (kg)	Humedad 10 cm = 27.52 + 0.000140 Biomasa (kg) + 0.0392 UET + 0.119 Humedad 20 cm	0.0825	21.26%	14.51%	5.59%
Humedad 20 cm vs. Humedad 10 cm, UET, Biomasa (kg)	Humedad 20 cm = 30.52 + 0.000484 Biomasa (kg) - 0.0014 UET + 0.118 Humedad 10 cm	0.0820	9.77%	2.04%	0.00%

Fuente: Elaboración Propia.

Análisis de regresión Uso equivalente de terreno (UET) vs Humedad del suelo y Biomasa.

Tabla 26: Análisis de regresión del uso equivalente de terreno Vs otras variables.

Análisis de regresión	Ecuación de regresión	S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
UET vs Humedad 10 cm, Humedad 20 cm, Biomasa (kg)	UET = -109.8 + 0.00642 Biomasa (kg) + 3.59 Humedad 10 cm - 0.13 Humedad 20 cm	0.7900	28.72%	22.61%	15.73%

Fuente: Elaboración Propia.

Análisis de regresión Biomasa vs Humedad del suelo y Uso Equivalente de Terreno (UET).

Tabla 27: Análisis de regresión de la producción de biomasa Vs otras variables.

Análisis de regresión	Ecuación de regresión	S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
Biomasa (kg) vs. Humedad 10 cm, Humedad 20 cm, UET	Biomasa (kg) = -5060 + 34.7 Humedad 10 cm + 121.9 Humedad 20 cm + 17.42 UET	41.1573	22.69%	16.06%	3.65%

Fuente: Elaboración Propia.

Resumen de resultados.

Se muestra en el siguiente cuadro los promedios finales para las variables de los tratamientos en estudio.

Tabla 28: Promedios finales de variables en estudio.

Tratamientos	Humedad promedio	Humedad 10 cm	Humedad 20 cm	Biomasa (kg)	UET
<i>Zea mays, Lupinus mutabilis y Solanum tuberosa.</i>	33.09	31.79	34.39	287.17	3.28
<i>Triticum aestivum, Vicia faba y Allium cepa</i>	33.03	31.71	34.35	264.60	2.13
<i>Hordeum vulgare, Phaseolus vulgaris y Beta vulgaris</i>	33.08	31.75	34.40	263.10	1.54
<i>Zea mays</i>	33.04	31.70	34.37	302.70	1.64
<i>Lupinus mutabilis</i>	33.02	31.69	34.35	245.91	0.28
<i>Solanum tuberosa.</i>	33.05	31.72	34.37	240.30	1.20
<i>Triticum aestivum</i>	33.03	31.69	34.36	262.84	0.22
<i>Vicia faba</i>	33.04	31.68	34.40	287.17	0.72
<i>Allium cepa,</i>	32.99	31.63	34.34	230.60	1.15
<i>Hordeum vulgare</i>	32.98	31.63	34.33	258.67	0.18
<i>Phaseolus vulgaris</i>	33.01	31.63	34.39	264.60	0.30
<i>Beta vulgaris,</i>	33.02	31.71	34.33	217.03	0.94
<i>testigo</i>	32.96	31.61	34.30	117.73	0.20

Fuente: Elaboración Propia

V. DISCUSIÓN

5.1. Comportamiento de la Humedad del suelo.

De acuerdo a la tabla 15 donde se expone los descriptivos estadísticos para analizar comportamiento de los promedios de humedad volumétrica del suelo no se evidencian comportamientos anómalos en el análisis estadístico y de acuerdo a la figura 6 se observa que el comportamiento del coeficiente de variación durante todas las evaluaciones (desde noviembre a abril) varían entre 5 a 10% lo que garantiza que el experimento fue conducido con buena precisión (todos los datos recogidos en campo se exponen en el anexo E).

Para analizar el comportamiento de la humedad del suelo se realizó un análisis mensual de los Análisis de varianza con el fin de aceptar o rechazar la hipótesis a un 95% de significancia estadística.

Según las tablas 6, 8, 10, 12, 14, y 16 donde se hace un análisis de varianza para los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril respectivamente no se encontraron diferencias significativas estadísticamente para los promedios de humedad del suelo frente a los tratamientos a un nivel de confianza de un 95% sin embargo existen pequeñas diferencias matemáticamente en las medias de los tratamientos con policultivos correspondiendo al tratamiento T1 (*Zea mays*, *Lupinus mutabilis* y *Solanum tuberosa*) T2 (*Triticum aestivum*, *Vicia faba* y *Hipomoea batatas*) y T3 (*Hordeum vulgare*, *Phaseolus vulgaris* y *Beta vulgaris*).

En las tablas 7,9, 11, 13, 15 y 17 se hizo un análisis de medias por el método de Tukey al 95% para la humedad del suelo a dos profundidades diferentes durante los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril respectivamente. Pudiendo evidenciarse que el suelo mantiene una humedad volumétrica mayor significativamente a los 20 cm de profundidad con respecto al volumen de agua a los 10 cm, este comportamiento fue muy similar en todos los meses de evaluación conforme a la figura 7 y 8 donde se observa una evidente diferencia en la humedad del suelo a diferentes profundidades lo que respalda a los análisis de varianzas mensuales, por otro lado el comportamiento de la media general del suelo tuvo relación directa con las características de los datos de meteorológicos de clima ver figura 8 y anexo D.

Al menos en esta investigación no se pudo contrastar resultados similares a Cruz Ruiz (2010) quien en Mexico quien hallo diferencias significativas para el comportamiento de la humedad del suelo evidenciando condiciones más favorables en el uso del agua de los policultivos frente a monocultivos.

Esta investigación con respecto al informe hecho por Shuter & Richer (2012) en la publicación de la ONU “la Pobreza y la Alimentación”, donde menciona que “los monocultivos (como métodos de producción no sostenibles convencionales) aceleran el agotamiento de las reservas del agua, incrementan el efecto del cambio climático y degradan los suelos” al menos no se pudo evidenciar en un campaña agrícola con policultivos en las condiciones de la comunidad campesina de Shupluy (Ancash-Perú) que haya

degradado significativamente las reservas de agua ya que el comportamiento de niveles de humedad fueron similares a los de los monocultivos.

Con respecto a los enunciados de Miguel Altieri (1994) donde asume que los policultivos aumentan la infiltración del agua de lluvia en el suelo y disminuyen la rapidez de retiro del agua del suelo, no se pudo evidenciar diferencias significativas ya que los policultivos y los monocultivos tuvieron comportamientos similares en lo que respecta la disposición de agua en el suelo.

Esta investigación podría decirse que concuerda con Khan (2015) donde menciona que los policultivos aprovechan sostenidamente el agua del suelo siendo urgente reorientar los enfoques de la agricultura convencional desde el punto de la conservación del agua y de los suelos ya que en sus investigaciones identifico pequeñas diferencias matemáticas en los promedios de volumen de agua en suelos con policultivos frente al volumen de agua en suelos con monocultivos pero sin embargo no evidenció diferencias significativas estadísticamente.

Esta investigación concuerda con Willey en 1986 donde examinó el efecto de la sequía con la misma dosificación de agua en producciones con policultivos mediante tratamientos del stress hídrico con cultivos intercalados de sorgo (*Sorghum bicolor*) maní (*Arachis spp.*) y mijo (*Panicum spp.*) en todos ellos no encontró diferencias significativas al menos en el primer año de evaluación.

Esta investigación no concuerda con Robio en 2015 donde especifica que el suelo sufre pérdidas considerables del agua debido a la influencia de los monocultivos porque estos la exponen a fuertes actividades antropogénicas, actividades bruscas de laboreo y a mayor exposición de áreas a precipitaciones, viento y sol; esto debido a que las parcelas de policultivos y monocultivos fueron sometidas a los mismos tratamientos y no se pudo evidenciar diferencias significativas estadísticamente.

Al menos en la campaña agrícola de evaluación esta investigación concuerda con Altieri donde en el 2002 menciona que los policultivos exhiben una mayor estabilidad ya que se pudo observar que la incidencia de plagas y enfermedades en las parcelas de policultivos tuvieron mayor performance de sanidad en observaciones empíricas frente a las parcelas de monocultivos sin embargo no se puede asumir ni contradecir al enunciado que dice que “los policultivos poseen menos declinaciones de la productividad durante la sequía” ya que este evento no se presentó durante el proceso de ejecución de la investigación.

Prueba de hipótesis: Comportamiento de la Humedad del suelo.

Se rechaza la hipótesis de que “al menos un tratamiento presenta diferencia significativa” por lo que podemos inferir que la humedad del suelo de los tratamientos se comporta en similares condiciones.

5.2. Uso equivalente del terreno

De acuerdo a la tabla 18 donde se expone los descriptivos estadísticos para analizar las respuestas sobre los UET (uso equivalente de terreno) expresando en promedios de índices no se evidencian comportamientos anómalos en el análisis estadístico. Uno de los principales descriptivos estadísticos es el coeficiente de variación cuyo valor de 19.87 % asegura que el experimento fue conducido con buena precisión (todos los datos recogidos en campo se exponen en el anexo I).

De acuerdo a la tabla 19 se encontró diferencias significativas en los índices de uso equivalente de terreno por influencia de los tratamientos, por lo tanto se hizo un análisis de medias utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% donde se evidencio mayores índices de uso equivalente de terreno UET para los policultivos mientras que los monocultivos presentaron menores índices lo cual concuerda con muchos autores que estudiaron el uso equivalente de terreno, sin embargo existieron tratamientos de monocultivos que presentaron altos índices tal es el caso del tratamiento: T4 que corresponde a *Zea mays* (obsérvese la figura 9).

Con esta investigación se concuerda con Gliessman (2002) quien realizo comparaciones entre los monocultivos y policultivos donde expresa mayores índices de UET (uso equivalente de Terreno) para los policultivos frente a los monocultivos.

Esta investigación concuerda con Norman (1980) quien estudió los sistemas de cultivos en el norte de Nigeria y encontró mayores índices de UET (uso

equivalente de Terreno) encontrando que los monocultivos presentaban un 42% a un 149% mayor para los policultivos que para los monocultivos.

Con los resultados de esta investigación en lo que respecta al uso equivalente de terreno se concuerda con Leihner (1983) quien en toda América Latina evidenció índices superiores entre 40% a 80% superiores en policultivos frente a monocultivos.

Esta investigación concuerda con Brotons & Augusto (2011) donde menciona que frente al crecimiento de las poblaciones por todo el mundo, los rendimientos en campo tienen que ser mayores que los actuales, pero a su vez más amigables con el medio ambiente. Una de las alternativas para aumentar los rendimientos por área, son los policultivos ya que se pudo evidenciar mejores índices de Uso equivalente de suelos frente a monocultivos, este enunciado no escapa a las condiciones locales de nuestra región, por ende se sugiere la implementación de mayores áreas con policultivos.

Frente a una continua reducción de áreas bajo riego esta investigación concuerda con Liebman (2012) que menciona que casi siempre se evidencian mayores rendimientos de las plantas en parcelas de policultivos es donde los predios son pequeños debido a las condiciones socioeconómicas y donde la producción de los distintos cultivos está sujeta a la cantidad de tierra.

Prueba de Hipótesis: Uso equivalente del terreno.

Se acepta la hipótesis de que “al menos un tratamiento presenta diferencia significativa” demostrándose en un análisis de medias de Tukey a un 95% que el tratamiento T1 (*Zea mays*, *Lupinus mutabilis* y *Solanum tuberosa*) en condiciones similares de humedad del suelo presenta un mayor índice de uso equivalente de terreno.

5.3. Aporte de biomasa por cada parcela

De acuerdo a la tabla 21 se tuvo un coeficiente de variación de 18.01 % lo que refleja que el experimento fue conducido con precisión. Conforme a la tabla 22 se encontró que hubo diferencias significativas en el aporte de biomasa de los tratamientos, por lo tanto se hizo un análisis de medias utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% donde se encontró diferencias significativamente para los tratamientos donde el tratamiento T4, el tratamiento T8 y T1 fueron superiores al resto de los tratamientos, evidenciándose que algunos monocultivos como *Zea mays* y *Vicia faba* pueden presentar mayores promedios de aporte de biomasa sin embargo en la mayoría de casos los policultivos presentaron mayores promedios conforme se expone en la tabla 22 y el grafico 10.

Los valores hallados para el aporte de biomasa por parcela de tratamiento presenta diferencias significativas correspondiendo al tratamiento T4 *Zea mays* con mayor cantidad de materia de biomasa producida seguida por los

policultivos, esto debido principalmente al tipo de cultivo que por si tipología tiene mayores niveles fisiológicos de producción de biomasa, sin embargo con esta investigación se concuerda Hernández (2006) quien menciona que los policultivos producen ligeros promedios superiores de producción de biomasa frente a los monocultivos logrando mejores rendimientos.

Esta investigación concuerda con Hernández, Morell, Ascanio, Borges, Morales, & Yong (2006) quienes mencionan que la diversificación de los sistemas integrados permite producir mayores cantidades de biomasa distribuida a través del año, lo que amortigua las fluctuaciones estacionales en el clima e incorpora mayores cantidades de biomasa al suelo. Por ejemplo, las reservas de carbono en el suelo de la finca Remedio fueron de 89 t/ha en los primeros 50 cm de suelo y 26 t/ha de 50 a 100 cm. Condiciones similares se presentan en el lugar de la investigación ya que un mayor aporte de biomasa permitirá mejorar los índices de fertilidad de los suelos en menores tiempos respecto a rendimientos inferiores de los monocultivos.

Esta investigación también concuerda con Hernández y otros en el 2006 quienes estudiaron policultivos en la Habana (Cuba) observando durante cuatro años el comportamiento de diferentes indicadores de sostenibilidad relacionados con la diversidad biológica de los sistemas y en la que concluyen que un mayor aporte de biomasa sobre unidades de terreno

permite una mayor recuperación de la calidad de los suelos con condiciones de mejor eficiencia en el uso del agua.

Esta investigación concuerda con Willey en 1986 quien evidencio mejores resultados en la producción de biomasa de los policultivos frente a los monocultivos de sorgo (*Sorghum bicolor*) maní (*Arachis spp.*) y mijo (*Panicum spp.*) condiciones que no escapan de los factores edafoclimaticos locales en el tipo y respuesta de la interacción de los policultivos en nuestra región.

Prueba de Hipótesis: Aporte de biomasa por cada parcela.

Se acepta la hipótesis de que “al menos un tratamiento presenta diferencia significativa” demostrándose en un análisis de medias de Tukey a un 95% que el tratamiento T4 (*Zea mays*) T8 (*Vicia faba*) y T1 (*Zea mays*, *Lupinus mutabilis* y *Solanum tuberosa*) en condiciones similares de humedad del suelo presenta una mayor producción de biomasa.

VI. CONCLUSIONES

- Durante el estudio comparativo de la humedad suelo bajo la influencia de policultivos y los monocultivos en condiciones de una parcela convencional de producción agrícola en la comunidad campesina de Shupluy (Yungay-Ancash) 2018, no se encontró diferencias significativas estadísticamente entre los tratamientos con respecto al uso de agua.
- El comportamiento de la humedad del suelo bajo la influencia de policultivos y monocultivos es similar no habiendo diferencias significativas.
- El tratamiento T1 (*Zea mays*, *Lupinus mutabilis* y *Solanum tuberosa*) presenta un mayor índice de uso equivalente de terreno.
- El tratamiento T4 (*Zea mays*) T8 (*Vicia faba*) y T1 (*Zea mays*, *Lupinus mutabilis* y *Solanum tuberosa*) en condiciones similares de humedad del suelo presenta una mayor producción de biomasa.

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar evaluaciones a mayores periodos de tiempo; ya al menos, en una campaña agrícola se evidenciaron pequeñas diferencias matemáticamente; es posible hallar esas diferencias ya que en otros factores de policultivos existen sinergias demostradas; sin embargo, para este estudio no se evidenciaron diferencias significativas al menos en lo que respecta al uso del agua de los policultivos frente a los monocultivos en una campaña agrícola.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Badii, M. H., Castillo, M., Rodríguez, A., & Wong, A. (2007). *Diseños experimentales e investigación científica (Experimental designs and scientific research)* (Vol. IV). Mexico: Innovaciones de Negocios.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. En FAO, *Estudio FAO: Riego y drenaje N.º 56*. Roma.
- Altieri. (9 de Mayo de 2008). *Small Farms as a planetary ecological asset: five reasons why we should support the revitalization in the Global South*. Obtenido de Food First: [http:// www.foodfirst.org/en/node/2115](http://www.foodfirst.org/en/node/2115)
- Altieri, M. (2002). *Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments agriculture*. Estados Unidos.
- Altieri, M. A. (1994). *Bases agroecológicas para el manejo de la biodiversidad en agroecosistemas: efectos sobre plagas y enfermedades*. División de control Biológico. Universidad de California Berkeley USA.
- Balarezo. (2011). *Uso de la asociación, rotación y los policultivos en la agricultura organica*. La paz, Baja California, Mexico: Universidad Autónoma de baja California Sur, Area de conocimiento de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Agronomía.
- Blum, A. (1997). Constitutive traits affecting plant performance under stress. En G. O. Edmeades, M. Bänziger, & H. R. Mickelson, *Developing Drought –and*

- Low N- Tolerant Maize* (págs. 131-135). Distrito Federal-México: Proc of a Symposium.
- Bohnert, H. J., & Sheveleva, E. (1998). Plant stress adaptation: making metabolism move. *Current Opinion Plant Biology*, 1:267-274.
- Brase, R. (2004). *Managing Vine Stress With Irrigation*. California: American Fruit Grower.
- Brotons, S., & Augusto, F. (2011). *Maximización del uso equivalente del terreno con 14 hortalizas en terreno*. Zamorano, Honduras: Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar al título del Ingeniero Agrónomo.
- Buchanan, B., Gruissem, W., & Jones, R. (2000). *Biochemistry & Molecular Biology of Plants*. Washintong-Estados Unidos: American Association of Plant Physiologists.
- Bunge, M. (1980). *La ciencia, su método y su filosofía*. Argentina: Siglo Veinte.
- Castells, X. E., & Cadavid, C. (2005). *Clasificación de la biomasa en Tratamiento y valorización energética de residuos* (ISBN 978-84-7978-694-6. ed.). Ediciones Díaz de Santos.
- Castro, C. (2009). *Diseño de Sistemas de Riego: Fundamentos*. Recuperado el 2012 de Octubre de 26, de Apuntes de Riegos I [en línea].: <http://elknol.wordpress.com/article/disenos-de-sistemas-de-riego-fundamentos1i29ptfum49sf-5/>
- Cespedes, G. (16 de octubre de 2016). *Ingenieria*. Recuperado el 5 de mayo de 2018, de Contenido De Humedad De Un Suelo-Laboratorio De Mecánica De Suelos

I: https://es.slideshare.net/guidocespedescondori/informe-contenido-de-humedad?next_slideshow=1

Clavijo Palacios, C., & Cuvi, N. (2017). *La sustentabilidad de las huertas urbanas y periurbanas con base agroecologica: caso de Quito*. Quito, Ecuador: Quito.

Cruz Ruiz, M. A. (2010). *Eficiencia relativa y prespectivas de dos policultivos de temporal*. Informe de Investigación, Santa Cruz, Mexico.

De Wit, C. T. (1968). Plant production. *Miscellaneous Papers Landbouw Hogeschool, Wageningen N.º 3*, 25-50.

Doorenbos, J., & Kassam, A. H. (1979). *Respuesta del rendimiento al agua. Estudio FAO: Riego y drenaje N.º 33*. Roma: FAO.

Dorronsoso, C. (2005). *Universidad de Granada*. Recuperado el 2018 de Setiembre de 27, de Introducción a la edafología [En línea]:
edafologia.urg.es/imagenter/index.htm

Enciso, A., & Espinoza, J. (2010). *Evaluación del uso equivalente de terreno y eficiencias de extracción de tres dosificaciones de nutrientes en un sistema de policultivo de maíz dulce, habichuela y pepino en Zamorano, Honduras*. Zamorano-Honduras: Zamorano Carrera de ciencia y produccion Agropecuaria.

Espósito, G. P., Culasso, V., & Balboa, G. R. (2007). *Rendimiento y competencia entre plantas de maíz (zea mays l.) según su variabilidad temporal en la emergencia . (1) Ruta Nac. 36 km 601 Río C. Cordova - Argentina*: Universidad Nacional de Río Cuarto.

- FAO. (2010). *Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma: FAO FIAT PANIS.
- FAO. (2016). *Seguridad Alimentaria, IV Foro Internacional de desarrollo sostenible de poblaciones rurales*. Mexico.
- Ferrarotto, M. S. (2003). Proline accumulation in pigweed plants (*Amaranthus dubius* Mart, and *Amaranthus cruentus* L.) growing under water stress conditions. *Revista Facultad Agronomica "Luz"*, 20:453-460.
- Girousse, C., Bournoville, R., & Bonnemain, J. L. (1996). *Water deficit-induced changes in concentrations of proline and some other amino acids in the phloem sap of alfalfa* (Tercera ed.). Plant Physiol.
- Gliessman, S. R. (2002). *Agroecología: Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible*. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Gliessman, S. R. (2007). *Agroecology: The Ecology of Sustainable Food Systems*. CRC Press Taylor & Francis Group. Florida: Boca Raton.
- Guevara, J. M. (2006). *La fórmula de Penman-Monteith FAO 1998 para determinar la evapotranspiración de referencia, ETo Terra Nueva Etapa* (Vol. XXII). Caracas - Venezuela: Universidad Central de Venezuela.
- Gutiérrez, A., Aguilar, H., Galdámez, J., & Mendoza, S. (2012). *Importancia ecológica y socioeconomica de los sistemas de policultivos Maíz-Frijol-Calabaza en la frailesca, Chiapas, Mexico*. Chiapas-Mexico: Universidad Autonoma de Chiapas, facultad de ciencias agronomia.
- Hernandez, A., Morell, F., Ascanio, M. O., Borges, Y., Morales, M., & Yong, A. (2006). *Cambios globales de los suelos ferralíticos rojos lixiviados (nitisoles*

- ródicos éuticos) en la provincia habana (Vol. 27 (2)). Habana: Cultivos tropicales.*
- Hong, B. S., Li, Y. C., Cheruth, A. J., & Chang, X. Z. (2008). Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *C. R. Biologies*, 331: 215–225.
- Jara, J., & Valenzuela, A. (1998). *Necesidades de agua de los cultivos*. Chillan (Chile): Universidad de concepción facultad de ingeniería agrícola, departamento de riego y drenaje.
- Kassam, A. H. (1977). *Net biomass production and yield of crops. Present and potential land use by agro-ecological zones project*. Roma: FAO.
- Khan, S. (2015). Geographical patterns of neoendemic and relict agroecology systems farmers production: the significance of ecological stability areas. En S. P. Churchill, & H. Balse, *Biodiversity and conservation of naotropical mountain forests* (págs. 134-145). New York: Botanical gardens.
- Kovalsky, G. (2004). *Repuestas genéticas de las plantas al estrés hídrico*. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Lambers, H., Chapin III, F., & Pons, T. (1998). *Plant Physiological Ecology*. Berlin: Springer Verlag.
- Landon, J. R. (1984). *Booker tropical soil manual*. New York: Pitman Press Limited.
- Leihner, D. (1983). *Yuca en cultivos asociados. Manejo y evaluación*. Cali, Colombia: CIAT.
- Liebman, M. (2012). *Sistemas de policultivos*. Recuperado el Diciembre de 2017, de Bases científicas para una agricultura sustentable: <http://www.motril.es/fileadmin/areas/medioambiente/ae/IOPolicultivos.pdf>

- Mainardi Grellet, L. V. (2005). *Introducción a los sistemas de los policultivos*.
España: Ecología agraria.
- Margalef, R. (1980). *La biosfera, entre la termodinámica y el juego*. Barcelona:
Ediciones Omega. ISBN 84-282-0585-X.
- Mead, R., & Willey, R. W. (1980). *The concept of a "Land Equivalent Ratio" and
advantages in yields from intercropping*. Experimental Agriculture.
- Montengro, G., & Malagón, D. (1990). *Propiedades físicas de los suelos*. Bogotá-
Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Morin, E. (2001). *Los siete saberes necesarios para la educación del futuro*. Buenos
Aires: Nueva Vision.
- Muñoz, O. A. (1980). Resistencia a la sequía y mejoramiento genético. *Ciencia y
Desarrollo*, 33:26-35.
- Norman, D. (1980). *El método de la investigación de sistemas agropecuarios: Su
pertinencia para el pequeño productor*. Michigan: Departamento de economía
agrícola de la Universidad del estado de Michigan.
- Obando, X. (15 de noviembre de 2015). *ciencias en slideshare.net*. Recuperado el 5
de mayo de 2018, de Evapotranspiración:
<https://es.slideshare.net/xXiOmItAxX/clase-10-evapotranspiracion>
- Ogbonnaya, C., Marcellus, C., & Nwaigbo, C. (1992). *Growth and wood properties
of Gmelina arborea (Verbenaceae) seedlings grown under five soil moisture
regimes*. Estados Unidos: American Journal of Botany.
- Organización de las Naciones Unidas para la educación, la ciencia y la cultura
(UNESCO). (2015). *Segundo informe de las Naciones Unidas sobre el*

desarrollo de los recursos hidricos, en el mundo "Agua una responsabilidad Compartida". ONU.

Palmer, R., & Troeh, F. (1989). *Introducción a la Ciencia del Suelo. Manual de Laboratorio*. Ciudad de México: Editorial Calypso.

Pérez, O. Z., Cigales, M. R., Orozco, M., & Castro, K. (2004). *Soil moisture tension and nitrogen fertilization on cantaloupe melon: Part II*. Agrociencia.

Pomares, M. (8 de octubre de 2014). *Irriquilture*. Recuperado el 24 de abril de 2018, de softwariego programas y cursos de riego: <http://www.softwariego.com/>

Ramón, G. (2000). *Correlación entre variables Apuntes de clase del curso Seminario Investigativo VI*. Antioquia Colombia: Universidad de Granada.

Real Academia Española. (2014). *Diccionario de la Lengua Española* (Vol. 23^o Edicion). Madrid: Espasa.

Real Academia Española, & Asociación de Academias de la Lengua Española. (2014). *Diccionario de la lengua española (23.ª edición)*. Madrid: España: ISBN 978-84-670-4189-7.

Robio, J. (2015). *Water coservation and soils biological biodiversity*. Obtenido de www.motril.es/fileadmin/areas/medioambiente/ae/OIpolicultivos.pdf

Salas, M. (2000). El dialogo de los saberes, Manual de investigacion participativa para tecnicos del sector agropecuario. En L. M. Santander, *Lecturas de la V Maestria en agroecologia y desarrollo rural sostenible en America Latina y España* (Tomo IV ed., págs. 298-325). Madrid: ISECCLADES.

Shuter & Richer. (2012). *La pobreza y la alimentación*. Organización de las naciones unidas.

- Singer, M., & Munns, D. (1999). *Soil and Introduction* (Cuarta ed.). Prentice Hall-USA.
- Slabbers, P. (1978). *Evaluation of simplified water-crop yield models*. Agricultural Water Management.
- Soil survey division staff. (Octubre de 2005). *En línea*. Recuperado el 2017 de Setiembre de 15, de Soil Conservation service:
soils.usda.gov/technical/manual.htm
- Soilmoisture. (2004). *Soilmoisture Equipment Corporation*. Recuperado el 15 de Julio de 2017, de En línea: <http://www.soilmoisture.com>
- Swiatek, A., Azmi, A., Witters, E., & Oncklen, H. (2003). *Stress messengers jasmonic acid and abscisic acid negatively regulate plant cell cycle*. Estados Unidos: Journal of Plant Physiology - Special issue.
- Szente, K., Tuba, Z., Nagy, Z., & Csintalan, Z. C. (1993). *Ecophysiological approach to competition between Amaranthus chlorostachys and sunflower (Helianthus annuus) under drought stress*. Weed Research.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2002). *Plant Physiology*. Redwood City, CA, USA: Benjamin Cummings.
- Turner, N. C. (1997). *Further progress in crop water relations*. Adv. Agronom.
- Tyree, M., Vargas, G., Engelbrecht, B., & Kusar, T. (2002). *Drought until death do us part: a case study of the dessication - tolerante of a tropical moist forest seeding – tree, Licania platypus (Hemsl.) Fritsch*. Polonia: Journal Experimental of Botany.

- Tyree, M; Vargas, G; Engelbrecht, B; Kusar, T. (2003). *Dessication tolerante of five tropical seeding in Panama. Relations to a field assessment of drought performance* (Vol. III). Panamá: Plant Physiology.
- Wang, K., Zhang, R., & Wang, F. (2005). *Testing the pore – solid fractal model of the soil water retention function*. Estados Unidos: Soil Science Society of America Journal.
- Willey, N. (1986). *The effects of water stress on yield advantages of intercropping systems*. Field Crops Research.
- Yoshu, Y., Tomohiro, K., Kazuo, N., & Kazuko, Y. (1997). *Regulation of levels of proline as an osmolyte in plantas under water stress* (Decima ed.). Plant Cell Physiol.

ANEXOS

Anexo A: Matriz de consistencia lógica de investigación.

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA HUMEDAD DEL SUELO EN POLICULTIVOS Y MONOCULTIVOS EN LA COMUNIDAD CAMPESINA DE SHUPLUY (YUNGAY-ANCASH) 2018.

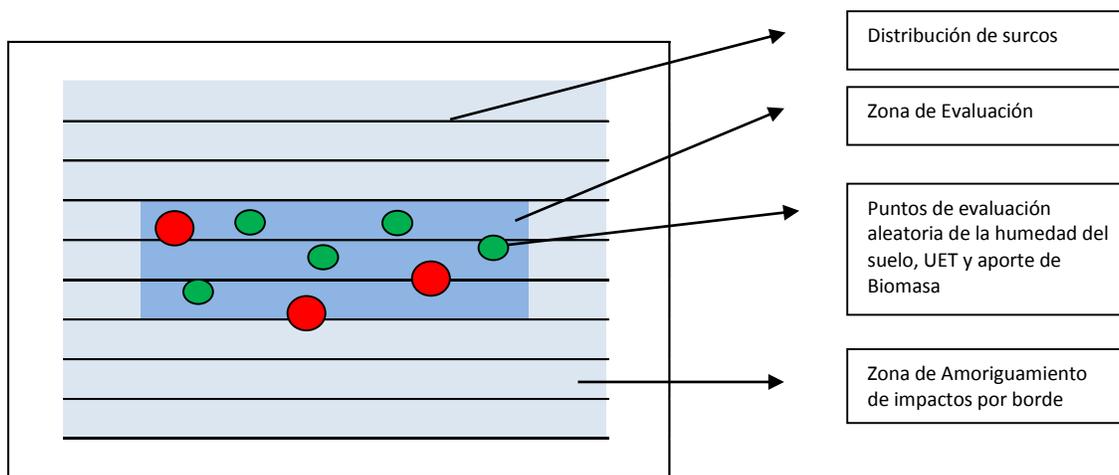
Problema	Hipótesis	objetivos	Metodología
<p>General. Existe una continua reducción del agua para la producción de alimentos. Los Policultivos como parte de sistemas agroecológicos, pueden aumentar la eficiencia de ahorro del agua de riego para la producción de alimentos frente a los monocultivos de producción agrícola que utilizan el recurso hídrico con pérdidas significativas.</p> <p>Existirán diferencias significativas en el estudio comparativo de la humedad del suelo en policultivos y monocultivos en la comunidad campesina de Shupluy (Yungay-Ancash) 2018.</p>	<p>General Existen diferencias significativas en el estudio comparativo de la humedad del suelo bajo la influencia de los policultivos y los monocultivos en condiciones de una parcela convencional de producción agrícola en la comunidad campesina de Shupluy (Yungay – Ancash).</p>	<p>General Determinar el estudio comparativo de la humedad suelo bajo la influencia de policultivos y los monocultivos en condiciones de una parcela convencional de producción agrícola en la comunidad campesina de Shupluy (Yungay -Ancash).</p>	<p>1. Tipos y nivel de investigación</p> <p>Tipo: Aplicada. Nivel: Explicativa.</p> <p>2. Método de investigación. Es Inductiva</p> <p>3. Población y muestra Población: 39 parcelas demostrativas</p>
<p>Formulación específica</p> <p>¿Existirán diferencias significativas en la humedad del suelo bajo la influencia de los policultivos y monocultivos?</p> <p>¿La influencia de los policultivos y monocultivos con las mismas condiciones de agua de riego evidenciaran diferencias significativas en el uso equivalente de terreno?</p> <p>¿Existirán diferencias significativas en la producción de biomasa de las parcelas con policultivos y monocultivos?</p>	<p>Específica Existen diferencias significativas en la humedad del suelo bajo la influencia de los policultivos y los monocultivos.</p> <p>La influencia de los policultivos y monocultivos con las mismas condiciones de agua de riego evidencian diferencias significativas en el de cada parcela.</p> <p>Existen diferencias significativas en la producción de biomasa de las parcelas con policultivos y monocultivos.</p>	<p>Específico Determinar el comportamiento de la Humedad del suelo en cada parcela de los tratamientos.</p> <p>Determinar el uso equivalente del terreno por parcela.</p> <p>Determinar el aporte de biomasa por cada parcela.</p>	<p>Muestra: muestras de suelos por parcelas.</p> <p>4. Diseños de la investigación. Diseño de Bloques Completos al Azar (BCA) en arreglo factorial, con 2 factores</p>

Anexo B: Características de las parcelas de los tratamientos.

Campo experimental 1674 m², Espacio de transito: 1 Metro.

I	II	III
T7	T10	T10
T1	T7	T11
T2	T8	T13
T4	T11	T1
T5	T13	T7
T9	T2	T9
T11	T4	T6
T13	T6	T12
T3	T9	T2
T6	T12	T3
T10	T1	T8
T8	T5	T5
T12	T3	T4

Unidad experimental 36 m² (4x9)



Anexo C: Valores de K_y para varios cultivos según la FAO.

TABLA 1 Valores estacionales de K_y tomados del Estudio FAO: Riego y Drenaje N.º 33.

Cultivo	K_y	Cultivo	K_y
Alfalfa	1.1	Alazor o cártamo	0.8
Banano o plátano	1.2-1.35	Sorgo	0.9
Frijol o judías	1.15	Soya o soja	0.85
Repollo	0.95	Trigo de primavera	1.15
Algodón	0.85	Remolacha azucarera	1.0
Maní o cacahuete	0.70	Caña de azúcar	1.2
Maíz	1.25	Girasol	0.95
Cebolla	1.1	Tomate	1.05
Guisantes o arvejas	1.15	Sandía	1.1
Pimiento	1.1	Trigo de invierno	1.5
Papa o patata	1.1		

Anexo D: Datos meteorológicos.

Datos meteorológicos calculados en función a los lineamientos de la FAO con valores del SENAMHI-Perú para esta investigación cada cinco días para los meses de evaluación.

Mes		Noviembre						Diciembre					
DATOS METEOROLOGICOS	Días	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30
	Precipitación mm	0	0	0	0	13.3	9.7	11	11	2.1	19.2	27.1	27.1
	Temp Min	9.76	9.68	9.88	6.92	4.56	4.12	3.8	4	3.2	3.6	5.52	4.76
	Temp Max	23.52	22.88	22.56	23.08	21.92	24.2	22.8	21.48	22.12	23.12	25.28	21.48
	Humedad	70.8	71.8	72.4	67.4	66	63.6	64.6	66	64.6	64	64	66.6
	Viento	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Insolación	9.38	9.08	8.8	10.76	11.4	12.78	12.28	11.54	12.26	12.54	12.68	11.12
	Rad	24.54	24.08	23.6	26.66	27.62	29.74	28.94	27.8	28.88	29.32	29.56	27.16
	Eto mm/día	4.622	4.488	4.388	4.854	4.832	5.38	5.106	4.788	4.998	5.192	5.498	4.72

Fuente: Elaboración Propia.

Mes		Enero						Febrero					
DATOS METEOROLOGICOS	Días	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30
	Precipitación mm	0	48.1	52.5	39.3	14.6	1.1	2.6	2	21.7	53.5	3.6	11
	Temp Min	3.68	3	2.88	2.36	3.2	5.6	5.92	7.64	10.2	11.92	7.6	7.1333
	Temp Max	21.08	21.04	20.68	20.52	22.56	25.56	26.52	23.6	21.16	21.8	21.56	20.467
	Humedad	66	65.2	65.4	65	64.4	63.8	63.2	68.2	74.8	77	70.8	71
	Viento	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Insolación	11.48	11.82	11.68	11.82	12.34	12.66	12.9	10.54	7.7	6.94	9.32	9.0333
	Rad	27.76	28.3	28.18	28.44	29.32	29.9	30.32	26.6	22.06	20.88	24.58	24.1
	Eto mm/día	4.74	4.81	4.738	4.756	5.128	5.59	5.774	4.926	4.032	3.924	4.4	4.21

Fuente: Elaboración Propia.

Mes		Marzo						Abril						
EVALUACIONES MENSUALES DE HUMEDAD DEL SUELO	DATOS METEOROLOGICOS	Días	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30
		Precipitación mm	38.6	40.2	33.3	16.7	7.5	46.3	57.5	28	9.4	10.7	12.6	13.9
		Temp Min	5.84	6.88	9.04	9.84	10.04	9.92	10.52	10.32	11.12	10.6	9.16	7.6
		Temp Max	19.88	22.16	23.68	21.2	20.36	22.8	21.88	21.88	22.64	22.2	22.48	22.36
		Humedad	70	68.8	70.2	74.2	75.8	72.2	74.2	73.8	74.2	74	71.4	69.6
		Viento	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Insolación	9.4	9.98	9.54	7.74	7.1	8.6	7.66	7.78	7.7	7.72	8.66	9.4
		Rad	24.58	25.36	24.54	21.52	20.34	22.42	20.66	20.56	20.16	19.92	20.92	21.7
		Eto mm/día	4.198	4.56	4.62	3.926	3.662	4.18	3.832	3.8	3.804	3.71	3.856	3.92

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo E: Datos de (%) humedad de suelo recogidos en campo.

BLOQUE	TRATAMIENTOS	PROFUNDIDAD (cm)	05-nov	10-nov	15-nov	20-nov	25-nov	30-nov	05-dic	10-dic	15-dic	20-dic	25-dic	30-dic	05-ene	10-ene	15-ene	20-ene	25-ene	30-ene	
I	T1	10			32.7	28.6	26.8	25.3	21.6	22.3	20.2	21.8	23.1	24.8	22.4	23.3	25.9	28.9	32.7	34.2	
		20			36.5	32.5	30.9	29.2	25.7	26.6	23.4	24.2	25.6	27.4	24.6	25.4	28.6	32.4	35.6	38.5	
	T2	10			32.8	28.5	26.5	25.0	21.7	22.4	20.3	21.9	23.2	24.9	22.3	23.4	26.0	28.8	32.6	34.1	
		20			36.4	32.5	31.0	29.0	25.6	26.5	23.3	24.0	25.5	27.3	24.5	25.3	28.5	32.3	35.5	38.4	
	T3	10			32.8	28.5	26.6	25.5	21.6	22.3	20.2	21.8	23.2	24.9	22.2	23.4	26.0	28.7	32.5	34.0	
		20			36.4	32.4	30.8	28.7	25.6	26.5	23.3	24.0	25.7	27.5	24.5	25.3	28.5	32.3	35.5	38.4	
	T4	10			32.7	28.5	26.7	25.6	21.8	22.5	20.4	22.0	23.3	25.0	22.4	23.3	25.9	28.9	32.7	34.2	
		20			36.4	32.7	30.7	28.9	25.5	26.4	23.2	23.9	25.4	27.2	24.4	25.2	28.4	32.2	35.4	38.3	
	T5	10			32.8	28.3	26.9	25.5	21.4	22.3	20.0	21.6	22.9	24.6	22.0	23.4	26.0	28.5	32.3	33.8	
		20			36.4	32.2	30.8	28.6	25.3	26.6	23.0	23.7	25.7	27.3	24.6	25.4	28.6	32.4	35.6	38.5	
	T6	10			32.8	28.3	27.2	25.6	21.7	22.4	20.3	21.9	23.2	24.7	22.3	23.2	25.8	28.8	32.6	34.1	
		20			36.5	32.1	30.7	28.7	25.7	26.8	23.4	24.1	25.6	27.4	24.6	25.4	28.6	32.4	35.6	38.5	
	T7	10			32.7	28.4	27.2	25.3	21.6	22.3	20.2	21.8	23.1	24.8	22.2	23.1	25.7	28.7	32.5	34.0	
		20			36.4	32.7	31.0	29.5	25.3	26.6	23.5	24.2	25.7	27.5	24.5	25.3	28.5	32.3	35.5	38.4	
	T8	10			32.8	28.6	27.2	24.8	21.6	22.3	20.2	21.8	23.1	24.6	21.7	23.3	25.9	28.2	32.0	33.5	
		20			36.5	32.7	31.2	29.4	25.7	26.8	23.4	24.1	25.6	27.4	24.6	25.4	28.6	32.4	35.6	38.5	
	T9	10			32.8	28.7	27.1	25.5	21.4	22.2	20.0	21.6	22.9	24.6	22.0	23.3	25.9	28.5	32.3	33.8	
		20			36.5	32.7	31.1	29.4	25.9	26.4	23.6	24.3	25.8	27.6	24.8	25.4	28.6	32.6	35.8	38.7	
	T10	10			32.8	28.3	27.3	25.6	21.5	22.1	20.1	21.7	23.0	24.7	22.1	23.4	26.0	28.6	32.4	33.9	
		20			36.4	32.7	31.2	29.3	25.7	26.3	23.4	24.1	25.6	27.4	24.6	25.4	28.6	32.4	35.6	38.5	
	T11	10			32.8	28.5	27.3	25.6	21.6	22.1	20.2	21.8	23.1	24.8	22.2	23.1	25.7	28.7	32.5	34.0	
		20			36.5	32.7	30.6	29.4	25.9	26.2	23.6	24.3	25.8	27.6	24.8	25.6	28.8	32.6	35.8	38.7	
	T12	10			32.8	28.5	27.4	25.5	21.5	22.4	20.1	21.7	23.1	24.7	22.1	23.0	25.6	28.6	32.4	33.9	
		20			36.5	32.7	30.7	29.0	25.2	26.6	22.9	23.6	25.6	26.9	24.5	25.3	28.5	32.3	35.5	38.4	
	T13	10			32.8	28.3	27.3	25.3	21.4	22.3	20.0	21.6	23.1	24.6	22.0	23.1	25.7	28.5	32.3	33.8	
		20			36.5	32.7	30.8	29.1	25.4	26.2	23.1	23.8	25.5	27.3	24.3	25.1	28.3	32.1	35.4	38.3	
	II	T1	10			32.9	28.4	26.9	25.7	21.7	22.4	20.3	21.9	23.2	24.9	22.3	23.5	26.1	28.8	32.6	34.1
			20			36.4	32.4	31.0	28.7	25.5	26.4	23.2	23.9	25.4	27.2	24.7	25.5	28.7	32.5	35.7	38.6
		T2	10			32.8	28.3	27.1	25.5	21.7	22.4	20.3	21.9	23.2	24.9	22.3	23.3	25.9	28.8	32.6	34.1
			20			36.2	32.7	31.2	29.5	25.6	26.5	23.3	24.0	25.6	27.4	24.5	25.6	28.8	32.3	35.5	38.4
		T3	10			32.6	28.3	27.2	25.6	21.4	22.1	20.0	21.8	23.2	24.9	22.3	23.5	26.1	28.8	32.6	34.1
			20			36.7	32.9	31.1	29.4	25.8	26.7	23.5	24.2	25.6	27.5	24.7	25.5	28.7	32.5	35.7	38.6
		T4	10			32.9	28.4	27.2	25.1	21.7	22.4	20.3	21.9	23.2	24.9	22.3	23.4	26.0	28.8	32.6	34.1
			20			36.6	32.9	31.2	29.4	25.2	26.5	22.9	23.6	25.7	27.4	24.6	25.4	28.6	32.4	35.6	38.5
		T5	10			32.8	28.6	27.1	25.6	21.6	22.3	20.2	21.8	23.1	24.8	22.2	23.3	25.9	28.7	32.5	34.0
			20			36.3	32.5	30.6	29.3	25.4	26.8	23.1	23.8	25.6	27.4	24.8	25.4	28.6	32.6	35.8	38.7
		T6	10			32.8	28.7	26.8	25.1	21.7	22.2	20.3	21.9	23.2	24.8	22.3	23.5	26.1	28.8	32.6	34.1
			20			36.7	32.5	31.0	29.0	25.2	26.1	22.9	23.5	25.7	27.3	24.7	25.5	28.7	32.5	35.7	38.6
		T7	10			32.6	28.6	27.3	25.7	21.7	22.1	20.3	21.9	23.2	24.9	22.3	23.2	25.8	28.8	32.6	34.1
20					36.8	32.4	30.8	29.1	25.7	26.3	23.4	24.1	25.6	27.4	24.6	25.4	28.6	32.4	35.6	38.5	
T8		10			32.7	28.3	27.4	25.5	21.6	22.3	20.2	21.8	23.1	24.8	22.2	23.1	25.7	28.7	32.5	34.0	
		20			36.6	31.1	30.7	28.7	25.9	26.5	23.6	24.3	25.8	27.6	24.8	25.5	28.7	32.6	35.8	38.6	
T9		10			32.5	28.4	27.0	25.6	21.5	22.5	20.1	21.7	23.3	24.9	22.1	23.0	25.6	28.6	32.4	33.9	
		20			36.5	32.5	30.8	29.5	25.2	26.5	22.9	23.6	25.1	27.2	24.1	24.9	28.4	31.9	35.1	38.0	
T10		10			32.7	28.6	26.5	25.1	21.4	22.1	20.3	21.9	23.2	24.9	22.3	23.1	25.7	28.5	32.3	33.8	
		20			36.5	32.8	30.7	29.0	25.4	26.6	23.1	23.8	25.7	27.3	24.3	25.1	28.3	32.1	35.6	38.5	
T11		10			32.4	28.5	26.6	24.8	21.6	22.3	20.2	21.8	23.2	24.8	22.2	23.0	25.6	28.7	32.5	34.0	
		20			36.4	32.8	30.7	28.7	25.6	26.3	23.3	24.0	25.5	27.3	24.5	25.3	28.5	32.3	35.5	38.4	
T12		10			32.8	28.3	26.7	25.6	21.8	22.4	20.4	22.0	23.1	24.5	22.4	23.3	25.9	28.9	32.7	34.2	
		20			36.8	32.4	31.0	28.9	25.6	26.1	23.3	24.0	25.5	27.5	24.5	25.3	28.5	32.3	35.5	38.4	
T13		10			32.4	28.4	26.9	25.7	21.4	22.4	20.0	21.6	23.0	24.6	22.0	23.2	25.8	28.5	32.3	33.8	
		20			36.4	32.7	30.7	28.6	25.7	26.6	23.4	24.1	25.6	27.4	24.6	25.4	28.6	32.4	35.6	38.5	
III		T1	10			32.7	28.6	27.3	25.1	21.4	22.1	20.0	21.6	23.0	24.8	22.5	23.4	26.0	28.8	32.6	34.1
			20			36.3	32.7	31.1	29.3	25.8	26.7	23.5	24.2	25.7	27.5	24.7	25.4	28.6	32.5	35.6	38.5
		T2	10			32.5	28.4	27.3	25.7	21.5	22.2	20.1	21.7	23.2	24.9	22.1	23.4	26.0	28.6	32.4	33.9
			20			36.7	32.9	31.2	29.4	25.7	26.6	23.4	24.1	25.7	27.5	24.6	25.4	28.6	32.4	35.6	38.5
		T3	10			32.7	28.3	26.9	25.4	21.8	22.5	20.4	22.0	23.3	24.8	22.4	23.6	26.2	28.9	32.7	34.2
			20			36.8	32.7	30.6	29.0	25.8	26.7	23.5	24.2	25.4	27.5	24.7	25.5	28.7	32.5	35.7	38.6
		T4	10			32.4	28.4	27.1	25.2	21.4	22.1	20.0	21.6	22.9	24.6	22.0	23.2	25.8	28.5	32.3	33.8
			20			36.4	32.4	31.0	29.1	25.9	26.8	23.6	24.3	25.8	27.6	24.8	25.4	28.6	32.6	35.8	38.6
		T5	10			32.9	28.5	27.2	25.4	21.7	22.2	20.3	21.9	23.2	24.9	22.3	23.2	25.8	28.8	32.6	34.1
			20			36.2	32.7	30.8	28.7	25.6	26.5	23.3	24.0	25.5	27.4	24.5	25.3	28.5	32.3	35.5	38.4
		T6	10			32.7	28.8	27.0	25.2	21.6	22.1	20.2	21.8	23.1	24.8	22.2	23.1	25.7	28.7	32.5	34.0
			20			36.7	32.2	31.1	29.5	25.6											

EVALUACIONES MENSUALES DE HUMEDAD DEL SUELO	DATOS METEOROLOGICOS	Mes		Febrero					Marzo					Abril											
		Dias		5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30				
		Precipitacion mm	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	Eto mm/día	Precipitacion mm	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	Eto mm/día	Precipitacion mm	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	Eto mm/día
		2.6	2	21.7	53.5	3.6	11	38.6	40.2	33.3	16.7	7.5	46.3	57.5	28	9.4	10.7	12.6	13.9						
		5.92	7.64	10.2	11.92	7.6	7.1333	5.84	6.88	9.04	9.84	10.04	9.92	10.52	10.32	11.12	10.6	9.16	7.6						
		26.52	23.6	21.16	21.8	21.56	20.467	19.88	22.16	23.68	21.2	20.36	22.8	21.88	21.88	22.64	22.2	22.48	22.36						
		63.2	68.2	74.8	77	70.8	71	70	68.8	70.2	74.2	75.8	72.2	74.2	73.8	74.2	74	71.4	69.6						
		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2						
		12.9	10.54	7.7	6.94	9.32	9.0333	9.4	9.98	9.54	7.74	7.1	8.6	7.66	7.78	7.7	7.72	8.66	9.4						
		30.32	26.6	22.06	20.88	24.58	24.1	24.58	25.36	24.54	21.52	20.34	22.42	20.66	20.56	20.16	19.92	20.92	21.7						
		5.774	4.926	4.032	3.924	4.4	4.21	4.198	4.56	4.62	3.926	3.662	4.18	3.832	3.8	3.804	3.71	3.856	3.92						
BLOQUE	TRATAMIENTOS	PROFUNDIDAD (cm)	05-feb	10-feb	15-feb	20-feb	25-feb	28-feb	05-mar	10-mar	15-mar	20-mar	25-mar	30-mar	05-abr	10-abr	15-abr	20-abr	25-abr	30-abr					
I	T1	10	32.9	30.4	32.8	38.3	37.8	38.0	40.1	39.9	37.8	36.5	35.6	38.0	40.1	39.9	37.8	36.5	35.6	38.0	38.0				
		20	37.5	35.8	37.4	39.3	38.8	39.1	40.3	40.2	39.1	39.5	38.6	39.0	40.3	40.2	39.1	39.5	38.6	39.0	39.0				
	T2	10	32.8	30.3	32.7	38.2	37.7	37.9	40.0	39.8	37.7	36.4	35.5	37.9	40.0	39.8	37.7	36.4	35.5	37.9	38.6				
		20	37.4	35.7	37.3	39.2	38.7	39.0	40.2	40.1	39.0	39.4	38.5	39.1	40.2	40.1	39.0	39.4	38.5	39.1	38.5				
	T3	10	32.7	30.2	32.6	38.1	37.6	37.8	39.9	39.7	37.6	36.4	35.5	37.8	39.9	39.7	37.6	36.4	35.5	37.8	39.0				
		20	37.4	35.7	37.3	39.2	38.7	39.0	40.2	40.1	39.0	39.4	38.5	39.3	40.2	40.1	39.0	39.4	38.5	39.3	38.5				
	T4	10	32.9	30.4	32.8	38.3	37.8	38.0	40.1	39.9	37.8	36.5	35.4	38.0	40.1	39.9	37.8	36.5	35.4	38.0	38.0				
		20	37.5	35.6	37.4	39.1	38.7	38.9	40.1	40.0	38.9	39.7	38.8	39.1	40.1	40.0	38.9	39.7	38.8	39.1	38.8				
	T5	10	32.5	30.0	32.4	37.9	37.4	37.6	39.7	39.5	37.8	36.5	35.6	38.0	39.7	39.5	37.8	36.5	35.6	38.0	38.0				
		20	37.5	35.8	37.4	39.3	38.8	39.1	40.3	40.2	39.1	39.3	38.4	39.3	40.3	40.2	39.1	39.3	38.4	39.3	38.6				
	T6	10	32.8	30.3	32.7	38.2	37.7	37.9	40.0	39.8	37.7	36.5	35.6	37.9	40.0	39.8	37.7	36.5	35.6	37.9	39.0				
		20	37.5	35.8	37.4	39.3	38.8	39.1	40.3	40.2	39.1	39.8	38.9	39.0	40.3	40.2	39.1	39.8	38.9	39.0	38.9				
	T7	10	32.7	30.2	32.6	38.1	37.6	37.8	39.9	39.7	37.6	36.4	35.5	37.8	39.9	39.7	37.6	36.4	35.5	37.8	39.0				
		20	37.4	35.7	37.3	39.2	38.7	39.0	40.2	40.1	39.0	39.8	38.9	38.8	40.2	40.1	39.0	39.8	38.9	38.8	38.8				
	T8	10	32.9	29.7	32.1	37.6	37.1	37.3	39.4	39.2	37.6	36.5	35.6	37.8	39.4	39.2	37.6	36.5	35.6	37.8	39.0				
		20	37.5	35.8	37.4	39.3	38.8	39.1	40.3	40.2	39.1	39.6	38.7	39.1	40.3	40.2	39.1	39.6	38.7	39.1	38.7				
	T9	10	32.5	30.0	32.4	37.9	37.4	37.6	39.7	39.9	37.8	36.7	35.8	38.1	39.7	39.9	37.8	36.7	35.8	38.1	38.1				
		20	37.7	36.0	37.6	39.5	39.0	39.3	40.5	40.4	39.3	39.7	38.8	39.0	40.5	40.4	39.3	39.7	38.8	39.0	39.7				
	T10	10	32.6	30.1	32.5	38.0	37.5	37.7	39.8	39.9	37.5	36.5	35.6	37.7	39.8	39.9	37.5	36.5	35.6	37.7	38.8				
		20	37.5	35.8	37.4	39.3	38.8	39.1	40.3	40.2	39.1	39.7	38.8	39.0	40.3	40.2	39.1	39.7	38.8	39.0	39.0				
	T11	10	32.7	30.2	32.6	38.1	37.6	37.8	39.9	39.7	37.6	36.7	35.8	37.8	39.9	39.3	39.2	39.1	39.7	38.8	39.0				
		20	37.7	36.0	37.6	39.5	39.0	39.3	40.5	40.4	39.3	39.6	38.7	38.9	40.5	40.4	39.3	39.6	38.7	38.9	38.9				
	T12	10	32.6	30.1	32.5	38.0	37.5	37.7	39.8	39.6	37.5	36.4	35.5	37.7	39.8	39.6	37.5	36.4	35.5	37.7	39.0				
		20	37.4	35.7	37.3	39.2	38.7	39.0	40.2	40.1	39.0	39.3	38.4	39.1	40.2	40.1	39.0	39.3	38.4	39.1	38.4				
T13	10	32.5	30.0	32.4	37.9	37.4	37.6	39.7	39.5	37.8	36.5	35.4	38.0	39.7	39.5	37.8	36.5	35.4	38.0	39.0					
	20	37.5	35.5	37.1	39.0	38.5	38.8	40.0	39.9	38.8	39.8	38.9	39.1	40.0	39.9	38.8	39.8	39.8	38.9	39.1					
II	T1	10	32.8	30.3	32.7	38.2	37.7	37.9	40.0	39.8	37.7	36.6	35.7	37.9	40.0	39.8	37.7	36.6	35.7	37.9	39.0				
		20	37.6	35.9	37.5	39.4	38.9	39.2	40.1	40.3	39.2	39.8	38.9	39.1	40.1	40.3	39.2	39.8	38.9	39.1	39.9				
	T2	10	32.8	30.3	32.7	38.2	37.7	37.9	40.0	39.8	37.8	36.4	35.5	38.0	40.0	39.8	37.8	36.4	35.5	38.0	39.0				
		20	37.4	35.7	37.3	39.2	38.7	39.0	40.2	40.1	39.0	39.6	38.7	39.3	40.2	40.1	39.0	39.6	38.7	39.3	38.3				
	T3	10	32.8	30.3	32.7	38.2	37.7	37.9	40.0	39.8	37.7	36.6	35.7	37.9	40.0	39.8	37.7	36.6	35.7	37.9	39.0				
		20	37.6	35.9	37.5	39.4	38.9	39.2	40.4	40.3	39.2	39.6	38.7	39.0	40.4	40.3	39.2	39.6	38.7	39.0	39.9				
	T4	10	32.8	30.3	32.7	38.2	37.7	37.9	40.0	39.8	37.7	36.5	35.6	37.9	40.0	39.8	37.7	36.5	35.6	37.9	38.8				
		20	37.5	35.8	37.4	39.3	38.8	39.1	40.3	40.2	39.1	39.7	38.8	38.8	40.3	40.2	39.1	39.7	38.8	38.8	39.7				
	T5	10	32.7	30.2	32.6	38.1	37.6	37.8	39.9	39.7	37.6	36.7	35.8	37.8	39.9	39.9	37.7	36.6	35.7	37.8	38.8				
		20	37.7	36.0	37.6	39.5	39.0	39.3	40.5	40.4	39.3	39.7	38.8	39.0	40.5	40.4	39.3	39.7	38.8	39.0	39.7				
	T6	10	32.8	30.3	32.7	38.2	37.7	37.9	40.0	39.8	37.7	36.6	35.7	37.9	40.0	39.8	37.7	36.6	35.7	37.9	38.8				
		20	37.6	35.9	37.5	39.4	38.9	39.2	40.4	40.3	39.2	39.7	38.8	39.0	40.4	40.3	39.2	39.7	38.8	39.0	39.0				
	T7	10	32.8	30.3	32.7	38.2	37.7	37.9	40.0	39.8	37.7	36.5	35.6	37.9	40.0	39.8	37.7	36.5	35.6	37.9	38.8				
		20	37.5	35.8	37.4	39.3	38.8	39.1	40.3	40.2	39.1	39.6	38.7	39.1	40.3	40.2	39.1	39.6	38.7	39.1	38.7				
	T8	10	32.7	30.2	32.6	38.1	37.6	37.8	39.9	39.7	37.6	36.7	35.8	37.8	39.9	39.7	37.6	36.7	35.8	37.8	39.0				
		20	37.7	36.0	37.6	39.5	39.0	39.3	40.5	40.4	39.3	39.7	38.8	39.2	40.5	40.4	39.3	39.7	38.8	39.2	39.2				
	T9	10	32.6	30.1	32.5	38.0	37.5	37.7	39.8	39.6	37.8	36.9	35.1	38.0	39.8	39.6	37.8	36.9	35.1	38.0	38.0				
		20	37.9	35.3	37.5	39.1	38.3	39.0	39.8	39.7	39.0	39.7	38.8	39.0	39.8	39.7	39.0	39.7	38.8	39.0	39.0				
	T10	10	32.5	30.0	32.4	37.9	37.4	37.6	39.7	39.5	37.4	36.5	35.6	38.1	39.7	39.5	37.4	36.5	35.6	38.1	38.1				
		20	37.5	35.5	37.1	39.3	38.5	38.8	40.0	39.9	38.8	39.7	38.8	39.2	40.0	39.9	38.8	39.7	38.8	39.2	39.2				
	T11	10	32.7	30.2	32.6	38.1	37.6	37.8	40.1	39.7	37.6	36.4	35.5	37.8	40.1	39.7	37.6								

Anexo F: Ficha Técnica de Hidrómetro Eurotech PMS - 710.

FICHA TECNICA DE HIDROMETRO EUTOTECH PMS-710



- Procedencia: ALEMANIA
- Modelo: PMS-710
- Marca: EUROTTECH

DESCRIPCION:

Se utiliza para medir el contenido de humedad del suelo y cemento, especialmente para la prueba de humedad del suelo y estructuras. Que procede de la agricultura de plantación, construcción y la producción de la industria.

CARACTERISTICAS:

- *Es portátil, compacto, fácil de usar y las lecturas de medición de humedad son instantáneos.
- *La Pantalla digital con luz de fondo es exacta y clara ya que permite la lectura cuando no hay mucha luz natural.
- *El medidor de humedad opera por resistencia eléctrica y tiene una compensación automática de temperatura.
- *Apagado automático después de 5 minutos de la última operación.

ESPECIFICACIONES TECNICAS:

- *Pantalla: LCD digital de 4
- *Rango de medición: 0-50%
- *Temperatura: 0-60C Humedad: 5%-90% de

HUMEDAD RELATIVA

- *Resolución: 0.1 %
- *Precisión: 2% n (condición de No saturación)
- *Fuente de alimentación: 4x1.5 AAA (um-4)
- *Batería Dimensiones: 140mm × 60mm × 22mm
- *Aguja: 280mm
- *Peso: 210g
- *Cuenta con aviso de alerta cuando la batería esta por agotarse

Anexo G: Características de suelo luego de análisis en laboratorio.

Reporte de análisis de suelo


UNIVERSIDAD NACIONAL
"Santiago Antúnez de Alvarado"
"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
Ciudad Universitaria - SEÑALAYAN
Teléfono: 020-42705 / 100
SHARAS - REGION AREQUIPA


RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN

SOLICITA: Auto. Servicio Agrícola
RECEBE: Facultad de Investigación y Desarrollo
UBICACIÓN: Distrito: Yungay - Arequipa

M. N.º	Textura				Clase Textural	pH	M.O.N.	% N	P ppm	K ppm	C.E. mg/l
	arena	limo	arcilla	(silt)							
009	80	18	02	00	Clasificación arcillosa	4.4	1.00	0.10	20	40	0.07

CARBONILAS CAMBIABLES

Muestra N.º	C	Mg	K	Na	Cl	Ca	CE
	mg/100g						
009	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2

ANÁLISIS

Muestra N.º	CaCl ₂ %	CaI	Cl	líquido
	%	mg/100g	mg/100g	mg/100g
009	0.0	0.0	0.0	0.0

RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES ESPECIALES:

La muestra es de textura franco arcillosa se caracteriza por tener una humedad relativamente alta, predominantemente por su estructura débil y su estructura moderadamente rica, su textura y pobre en potasio, su tasa problemática de salinidad, se recomienda incorporar al agrícola en LB DCHA. Y su estructura en promedio 2.5 DCHA. El cual permite mejorar al suelo físico, químico y biológico.

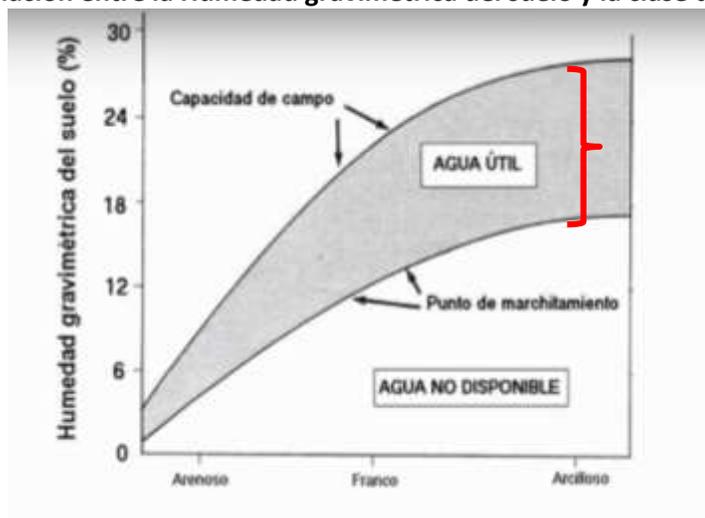
Huancayo, 19 de Diciembre del 2017



 Ing. E. J. ...

Da=1.34 gr/Cm², CC=15.2 % Humedad gravimétrica, PMP=26.5 % Humedad Gravimétrica
 Humedad Volumétrica=Humedad gravimétrica * densidad aparente
 Para un suelo arcilloso con 73% de humedad luego de una revisión bibliográfica se calcula:
 CC=16.54 % Humedad gravimétrica, PMP=35.51 % Humedad Gravimétrica.

Correlación entre la Humedad gravimétrica del suelo y la clase textural



Fuente: UPV 2014

Anexo H: Calculo de variables climáticas para Evapotranspiración

Noviembre							Diciembre							Enero									
Día	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	Eto	Día	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	Eto	Día	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	Eto
	°C	°C	%	m/s	horas	MJ/m²/día	mm/día		°C	°C	%	m/s	horas	MJ/m²/día	mm/día		°C	°C	%	m/s	horas	MJ/m²/día	mm/día
1	9.2	23.4	70	2	9.6	24.9	4.66	1	3.8	25.2	63	2	13.4	30.7	5.63	1	3.6	21	66	2	11.5	27.8	4.73
2	9.6	23.8	70	2	9.6	24.9	4.7	2	3.4	20	67	2	11.1	27.1	4.52	2	4	21.4	66	2	11.5	27.8	4.78
3	10	23	72	2	9	23.9	4.48	3	3.6	23.8	63	2	12.9	29.9	5.35	3	4.2	23	65	2	12.2	28.9	5.11
4	9.8	23.4	71	2	9.3	24.4	4.59	4	4	24.4	63	2	13	30.1	5.45	4	3.6	19.2	68	2	10.5	26.2	4.33
5	10.2	24	71	2	9.4	24.6	4.68	5	4.2	20.6	67	2	11	26.9	4.58	5	3	20.8	65	2	11.7	28.1	4.75
6	10.4	22.8	73	2	8.6	23.3	4.37	6	3.8	21	66	2	11.4	27.6	4.7	6	3.4	21.6	65	2	11.9	28.4	4.89
7	10	20.2	76	2	7.3	21.3	3.82	7	4.4	21.6	66	2	11.4	27.6	4.78	7	2.8	18.8	67	2	10.8	26.7	4.34
8	9.4	24	70	2	9.9	25.4	4.78	8	4	20.4	67	2	11	26.9	4.55	8	3	19	67	2	10.8	26.7	4.37
9	9	23.6	70	2	9.9	25.4	4.74	9	4.2	20	68	2	10.7	26.5	4.44	9	2.6	22.8	63	2	12.9	30	5.23
10	9.6	23.8	70	2	9.7	25	4.73	10	3.6	24.4	63	2	13.2	30.4	5.47	10	3.2	23	64	2	12.7	29.7	5.22
11	10	23.4	71	2	9.2	24.2	4.58	11	3	19.6	67	2	11.1	27.1	4.46	11	2.8	22	64	2	12.4	29.3	5.04
12	10.4	21.2	75	2	7.7	21.9	4.01	12	3.4	22	65	2	12.1	28.6	4.95	12	3	20.8	65	2	11.7	28.2	4.76
13	10.2	22	74	2	8.3	22.8	4.21	13	3.2	23.6	63	2	13	30	5.33	13	2.6	20.2	66	2	11.6	28	4.65
14	9.8	22.8	72	2	9	23.9	4.45	14	3	23.2	63	2	12.9	29.9	5.26	14	2.8	20.8	65	2	11.8	28.4	4.78
15	9	23.4	70	2	9.8	25.2	4.69	15	3.4	22.2	65	2	12.2	28.8	4.99	15	3.2	19.6	67	2	10.9	27	4.46
16	8.2	23	69	2	10	25.5	4.7	16	3.2	23.8	63	2	13.1	30.2	5.38	16	2.4	20.2	65	2	11.7	28.2	4.69
17	7.4	23.2	68	2	10.6	26.4	4.84	17	3	24	63	2	13.3	30.5	5.43	17	2	20	65	2	11.8	28.4	4.68
18	7	22.8	68	2	10.6	26.4	4.78	18	3.4	23.6	63	2	12.9	29.9	5.32	18	2.2	20.6	65	2	11.9	28.6	4.77
19	6.2	23.4	66	2	11.3	27.5	5	19	4	19.2	68	2	10.3	25.8	4.29	19	2.4	23.2	63	2	13.1	30.5	5.34
20	5.8	23	66	2	11.3	27.5	4.95	20	4.4	25	63	2	13.1	30.2	5.54	20	2.8	18.6	67	2	10.6	26.5	4.3
21	5.2	24.6	64	2	12.4	29.2	5.37	21	4.8	25.4	63	2	13.1	30.2	5.6	21	3.2	20.4	66	2	11.3	27.7	4.65
22	5.4	20.2	69	2	10.1	25.6	4.37	22	5.6	25.2	64	2	12.6	29.4	5.47	22	2.6	18.6	67	2	10.7	26.7	4.32
23	4.8	22.2	66	2	11.4	27.6	4.86	23	6	25.8	64	2	12.7	29.6	5.57	23	3	24.2	63	2	13.3	30.8	5.51
24	4.2	22.6	65	2	12	28.6	5.02	24	5.4	25.6	64	2	12.9	29.9	5.58	24	3.4	24.6	63	2	13.2	30.7	5.55
25	3.2	20	66	2	11.1	27.1	4.54	25	5.8	24.4	65	2	12.1	28.7	5.27	25	3.8	25	63	2	13.2	30.7	5.61
26	4.8	24.2	64	2	12.5	29.3	5.33	26	5.2	23.8	65	2	12.1	28.7	5.19	26	4.6	25.4	63	2	13.1	30.6	5.65
27	4.4	25.6	63	2	13.3	30.6	5.66	27	4.6	23	65	2	12	28.5	5.07	27	5.4	26	63	2	13	30.4	5.72
28	3.8	22	65	2	11.9	28.4	4.93	28	5	20.2	68	2	10.3	25.9	4.41	28	6	25.4	64	2	12.4	29.5	5.52
29	3.6	24.4	63	2	13.1	30.2	5.46	29	4.8	20	68	2	10.3	25.9	4.39	29	5.8	24.6	65	2	12.1	29	5.35
30	4	24.8	63	2	13.1	30.2	5.52	30	4.2	20.4	67	2	10.9	26.8	4.54	30	6.2	26.4	64	2	12.7	30	5.71
31								31	4	19.6	68	2	10.6	26.4	4.39	31	6.6	26.8	64	2	12.7	30	5.77
Promedio	7.5	23	69	2	10.4	26	4.76	Promedio	4.1	22.6	65	2	12	28.5	5.03	Promedio	3.6	22.1	65	2	12	28.7	4.99

Fuente: Elaboración propia a partir de datos CROPWAT 8.0 (FAO).

Febrero								Marzo								Abril							
Día	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo	Día	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo	Día	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo
	°C	°C	%	m/s	horas	MJ/m ² /día	mm/día		°C	°C	%	m/s	horas	MJ/m ² /día	mm/día		°C	°C	%	m/s	horas	MJ/m ² /día	mm/día
1	6	26.8	63	2	13	30.5	5.83	1	5.2	19.2	70	2	9.4	24.6	4.13	1	3.8	25.2	63	2	13.4	30.7	5.63
2	5.4	26.6	63	2	13.2	30.8	5.84	2	5.8	19.6	70	2	9.3	24.4	4.15	2	3.4	20	67	2	11.1	27.1	4.52
3	5.8	26.4	63	2	12.9	30.3	5.76	3	5.4	19.4	70	2	9.4	24.6	4.14	3	3.6	23.8	63	2	12.9	29.9	5.35
4	6.4	26.2	64	2	12.5	29.7	5.65	4	6	19.2	71	2	8.9	23.8	4.02	4	4	24.4	63	2	13	30.1	5.45
5	6	26.6	63	2	12.9	30.3	5.79	5	6.8	22	69	2	10	25.5	4.55	5	4.2	20.6	67	2	11	26.9	4.58
6	6.6	20.8	70	2	9.7	25.3	4.41	6	7.2	20.4	71	2	8.9	23.7	4.15	6	3.8	21	66	2	11.4	27.6	4.7
7	7.2	26.4	65	2	12.2	29.2	5.61	7	6.6	20.2	71	2	9.1	24	4.15	7	4.4	21.6	66	2	11.4	27.6	4.78
8	7.8	24.6	67	2	11	27.3	5.14	8	7.4	20.6	71	2	8.9	23.7	4.16	8	4	20.4	67	2	11	26.9	4.55
9	8	25.2	67	2	11.2	27.7	5.25	9	6.8	24.2	66	2	11.1	27.1	5.02	9	4.2	20	68	2	10.7	26.5	4.44
10	8.6	21	72	2	8.6	23.5	4.22	10	6.4	25.4	65	2	11.9	28.3	5.32	10	3.6	24.4	63	2	13.2	30.4	5.47
11	9.2	21.4	73	2	8.5	23.4	4.23	11	7	25.2	66	2	11.5	27.7	5.2	11	3	19.6	67	2	11.1	27.1	4.46
12	9.8	20.6	75	2	7.6	21.9	3.95	12	8.8	26.4	66	2	11.2	27.2	5.3	12	3.4	22	65	2	12.1	28.6	4.95
13	10.4	20.4	76	2	7.1	21.1	3.83	13	9.4	26	68	2	10.7	26.4	5.12	13	3.2	23.6	63	2	13	30	5.33
14	11	21.4	76	2	7.3	21.4	3.96	14	9.8	20.6	75	2	7.4	21.1	3.81	14	3	23.2	63	2	12.9	29.9	5.26
15	10.6	22	74	2	8	22.5	4.19	15	10.2	20.2	76	2	6.9	20.3	3.67	15	3.4	22.2	65	2	12.2	28.8	4.99
16	12	21.4	78	2	6.7	20.5	3.82	16	10.6	21	76	2	7.2	20.7	3.79	16	3.2	23.8	63	2	13.1	30.2	5.38
17	11.6	20	79	2	6	19.4	3.54	17	10	24.2	70	2	9.4	24.2	4.61	17	3	24	63	2	13.3	30.5	5.43
18	11.8	20.6	79	2	6.2	19.7	3.63	18	9.2	20.6	74	2	7.8	21.6	3.87	18	3.4	23.6	63	2	12.9	29.9	5.32
19	12.2	22.8	76	2	7.4	21.6	4.12	19	10	20.2	76	2	7	20.3	3.66	19	4	19.2	68	2	10.3	25.8	4.29
20	12	24.2	73	2	8.4	23.2	4.51	20	9.4	20	75	2	7.3	20.8	3.7	20	4.4	25	63	2	13.1	30.2	5.54
21	10.4	21.4	75	2	7.7	22	4.04	21	9.8	21.2	74	2	7.8	21.5	3.91	21	4.8	25.4	63	2	13.1	30.2	5.6
22	8.6	20	74	2	7.9	22.3	3.94	22	10	19.8	77	2	6.8	19.9	3.54	22	5.6	25.2	64	2	12.6	29.4	5.47
23	8.2	20.4	73	2	8.4	23.1	4.08	23	10.4	20	77	2	6.6	19.6	3.52	23	6	25.8	64	2	12.7	29.6	5.57
24	5.8	22.6	67	2	10.9	27.1	4.84	24	10.2	19.6	77	2	6.5	19.4	3.46	24	5.4	25.6	64	2	12.9	29.9	5.58
25	5	23.4	65	2	11.7	28.4	5.1	25	9.8	21.2	74	2	7.8	21.3	3.88	25	5.8	24.4	65	2	12.1	28.7	5.27
26	7.8	20.6	72	2	8.7	23.6	4.16	26	10	23.8	71	2	9.1	23.3	4.41	26	5.2	23.8	65	2	12.1	28.7	5.19
27	7	20.8	70	2	9.3	24.5	4.31	27	9.6	23	71	2	8.9	22.9	4.28	27	4.6	23	65	2	12	28.5	5.07
28	6.6	20	71	2	9.1	24.2	4.16	28	10.2	23.4	72	2	8.8	22.7	4.28	28	5	20.2	68	2	10.3	25.9	4.41
29								29	10	23.2	72	2	8.8	22.7	4.24	29	4.8	20	68	2	10.3	25.9	4.39
30								30	9.8	20.6	75	2	7.4	20.5	3.69	30	4.2	20.4	67	2	10.9	26.8	4.54
31								31	9.4	21.2	73	2	8	21.3	3.87	31	4	19.6	68	2	10.6	26.4	4.39
Promedio	8.5	22.7	71	2	9.4	24.8	4.57	Promedio	8.6	21.7	72	2	8.7	23.1	4.18	Promedio	4.1	22.6	65	2	12	28.5	5.03

Fuente: Elaboración propia a partir de datos CROPWAT 8.0 (FAO).

Anexo I: Promedios de promedios de bloques de índices de uso equivalente de terreno.

Tratamientos	Índice Uso equivalente de terreno			Promedio
	I	II	III	
<i>Zea mays, Lupinus mutabilis y Solanum tuberosa.</i>	3.28	3.29	3.28	3.28
<i>Triticum aestivum, Vicia faba y Hipomoea batatas</i>	2.12	2.14	2.13	2.13
<i>Hordeum vulgare, Phaseolus vulgaris y Beta vulgaris</i>	1.55	1.54	1.54	1.54
<i>Zea mays (choclo) en Policultivo</i>	1.82	1.85	1.84	1.83
<i>Lupinus mutabilis en Policultivo</i>	0.27	0.28	0.29	0.28
<i>Solanum tuberosa. en Policultivo</i>	1.16	1.16	1.15	1.16
<i>Triticum aestivum en Policultivo</i>	0.30	0.28	0.30	0.29
<i>Vicia faba en Policultivo</i>	0.78	0.76	0.78	0.77
<i>Hipomoea batatas, en Policultivo</i>	1.03	1.06	1.05	1.05
<i>Hordeum vulgare en Policultivo</i>	0.21	0.22	0.22	0.21
<i>Phaseolus vulgaris en Policultivo</i>	0.28	0.27	0.26	0.27
<i>Beta vulgaris, en Policultivo</i>	1.07	1.03	1.05	1.05
<i>Zea mays (choclo) en Monocultivo</i>	1.65	1.63	1.65	1.64
<i>Lupinus mutabilis en Monocultivo</i>	0.28	0.28	0.28	0.28
<i>Solanum tuberosa. en Monocultivo</i>	1.19	1.20	1.20	1.20
<i>Triticum aestivum en Monocultivo</i>	0.23	0.22	0.22	0.22
<i>Vicia faba en Monocultivo</i>	0.71	0.73	0.73	0.72
<i>Hipomoea batatas, en Monocultivo</i>	1.14	1.16	1.15	1.15
<i>Hordeum vulgare en Monocultivo</i>	0.19	0.17	0.18	0.18
<i>Phaseolus vulgaris en Monocultivo</i>	0.29	0.31	0.29	0.30
<i>Beta vulgaris, en Monocultivo</i>	0.95	0.93	0.95	0.94

Fuente: Elaboración propia

Anexo J: Promedios de Producción de biomasa de los tratamientos.

BLOQUE	TRATAMIENTO	CODIGO	BIOMASA (Kg)
I	<i>Zea mays, Lupinus mutabilis y Solanum tuberosa.</i>	T1	287.1
I	<i>Triticum aestivum, Vicia faba y Hipomoea batatas</i>	T2	263.0
I	<i>Hordeum vulgare, Phaseolus vulgaris y Beta vulgaris</i>	T3	263.9
I	<i>Zea mays</i>	T4	302.6
I	<i>Lupinus mutabilis</i>	T5	247.1
I	<i>Solanum tuberosa.</i>	T6	241.0
I	<i>Triticum aestivum</i>	T7	264.4
I	<i>Vicia faba</i>	T8	287.1
I	<i>Hipomoea batatas,</i>	T9	238.4
I	<i>Hordeum vulgare</i>	T10	257.4
I	<i>Phaseolus vulgaris</i>	T11	263.0
I	<i>Beta vulgaris,</i>	T12	216.0
I	<i>Parcela sin cultivo</i>	T13	121.0
II	<i>Zea mays, Lupinus mutabilis y Solanum tuberosa.</i>	T1	286.8
II	<i>Triticum aestivum, Vicia faba y Hipomoea batatas</i>	T2	263.0
II	<i>Hordeum vulgare, Phaseolus vulgaris y Beta vulgaris</i>	T3	262.9
II	<i>Zea mays</i>	T4	300.0
II	<i>Lupinus mutabilis</i>	T5	250.6
II	<i>Solanum tuberosa.</i>	T6	247.0
II	<i>Triticum aestivum</i>	T7	260.4
II	<i>Vicia faba</i>	T8	286.8
II	<i>Hipomoea batatas,</i>	T9	227.0
II	<i>Hordeum vulgare</i>	T10	261.0
II	<i>Phaseolus vulgaris</i>	T11	263.0
II	<i>Beta vulgaris,</i>	T12	214.0
II	<i>Parcela sin cultivo</i>	T13	115.0
III	<i>Zea mays, Lupinus mutabilis y Solanum tuberosa.</i>	T1	287.6
III	<i>Triticum aestivum, Vicia faba y Hipomoea batatas</i>	T2	267.8
III	<i>Hordeum vulgare, Phaseolus vulgaris y Beta vulgaris</i>	T3	262.5
III	<i>Zea mays</i>	T4	305.5
III	<i>Lupinus mutabilis</i>	T5	240.0
III	<i>Solanum tuberosa.</i>	T6	232.9
III	<i>Triticum aestivum</i>	T7	263.7
III	<i>Vicia faba</i>	T8	287.6
III	<i>Hipomoea batatas,</i>	T9	226.4
III	<i>Hordeum vulgare</i>	T10	257.6
III	<i>Phaseolus vulgaris</i>	T11	267.8
III	<i>Beta vulgaris,</i>	T12	221.1
III	<i>Parcela sin cultivo</i>	T13	117.2

Anexo K: Índices tabulados de kc para cultivos según días de instalación.

Kc de Cultivos	Días desde siembra a cosecha																					Total aprox
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	
<i>Zea mays</i>	0.26	0.30	0.35	0.42	0.44	0.51	0.62	0.73	0.83	0.91	0.95	0.91	0.97	1.01	1.02	1.00	0.90					168
<i>Lupinus mutabilis</i>	0.28	0.32	0.38	0.46	0.54	0.58	0.69	0.79	0.80	0.85	0.87	0.91	0.92	0.94	0.94	0.95	0.95	0.92	0.84	0.73		205
<i>Solanun tuberosa</i>	0.18	0.23	0.30	0.40	0.46	0.53	0.70	0.84	0.86	0.94	1.01	1.05	1.06	1.07	0.80	0.50	0.48					165
<i>Triticum aestivum</i>	0.24	0.35	0.50	0.65	0.71	0.78	0.90	0.98	1.04	1.09	1.11	1.08	0.98	0.94	0.51	0.38	0.35					205
<i>Vicia faba</i>	0.30	0.34	0.40	0.48	0.55	0.60	0.71	0.80	0.82	0.87	0.89	0.93	0.94	0.96	0.96	0.97	0.97	0.94	0.86	0.75		190
<i>Hipomoea batata</i>	0.19	0.25	0.31	0.43	0.49	0.56	0.73	0.87	0.90	0.98	1.05	1.11	1.10	1.08	0.90	0.78	0.53					150
<i>Hordeum vulgare</i>	0.22	0.33	0.48	0.63	0.69	0.76	0.88	0.96	1.02	1.07	1.09	1.06	0.96	0.92	0.49	0.36	0.33					158
<i>Phaseolus vulgaris</i>	0.25	0.36	0.50	0.65	0.67	0.78	0.90	0.98	1.09	1.10	1.11	1.12	1.09	1.08	0.98	0.74	0.51					152
<i>Beta vulgaris</i>	0.34	0.41	0.51	0.60	0.64	0.70	0.81	0.90	0.97	1.07	1.09	1.09	0.96	0.96	0.85	0.84						168
<i>malezas</i>	0.18	0.23	0.31	0.41	0.45	0.53	0.66	0.76	0.85	0.96	0.98	0.97	0.94	0.89	0.84	0.84	0.84					180

Fuente: Elaboración propia.

Anexo L: Mosaico de fotografías.



Imagen 1: Medicion de humedad en Zea mays



Imagen 2: Medicion de humedad en Vicia faba



Imagen 3: distribucion Hipomoea batatas y Zea mays



Imagen 4: distribucion Zea mayz y Phaseolus vulgaris



Imagen 5: Medicion finales de humedad en Solanum tuberosum



Imagen 4: distribucion Zea mayz



Imagen 7: peso de biomasa en Hipomoea batatas



Imagen 8: peso de biomasa en Beta vulgaris



Imagen 9: peso de biomasa en Vicia faba



Imagen 10: distribucion parcial policultivos