

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL



## TESIS

**ESTIMACIÓN DEL USO SOSTENIBLE DE RECURSO HÍDRICO EN LA SELECCIÓN DE UN TIPO DE FORRAJE MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE ENTROPÍA DE SHANNON EN LA LOCALIDAD DE SANTIAGO PATA-ANDAHUAYLAS-APURÍMAC.**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO AMBIENTAL**

ELABORADO POR:

**PALOMINO ROMERO EDISON**

ASESOR:

**ING CESAR AUGUSTO RODRIGUEZ VILLANUEVA**

LIMA - PERÚ

2022

## **DEDICATORIA**

Este trabajo va dedicado a mi madre, que es mi mejor ejemplo que me inculcó los buenos valores, a mis hermanos y tíos, por confiar en mí en todo momento a pesar de las adversidades que se me presento en el camino.

### **AGRADECIMIENTOS**

Al PhD. Kiko Alexi Delgado, por su apoyo constante en la elaboración de la tesis, apoyando sus conocimientos técnicos, por tener siempre la disposición y estar presto a enseñar. A los comuneros y las instituciones de la localidad de Santiago Pata, por su ayuda desinteresada para hacer efectivo esta tesis.

A SENAMHI por proporcionar los datos Meteorológicos históricos confiables, asimismo a la municipalidad de Huancaray por confiar y el apoyo oportuno e incondicional.

A mi alma mater, la Universidad Nacional de Ingeniería y a la Escuela profesional de Ingeniería Ambiental, por haberme formado profesionalmente, el cual orgullosamente llevare en alto su nombre.

### Resumen

En esta investigación se estimó el uso sostenible del recurso hídrico para un tipo de forraje, como propuesta del cambio del cultivo del maíz en la localidad de Santiago Pata - Andahuaylas-Apurímac. Para ello se usó el algoritmo de la entropía- peso que se basa en la teoría de Shannon a partir de cinco (05) criterios, tales como; tamaño (C1), capacidad proteína (C2), fibra cruda (C3), materia seca (C4) y requerimiento de riego del cultivo (C5), la entropía peso se usó para realizar un cálculo del peso de cada criterio para posteriormente obtener un resultado como un ponderado suma. Los resultados mostraron en orden de prioridad según el contraste, Trébol Rojo 0.0400, para Alfalfa 0.0382, y finalmente Ray Gras con 0.0227, determinando la mejor opción para cambiar el cultivo de Maíz es el Trébol Rojo.

Palabra clave: Recurso hídrico, Entropía-peso, Entropía de Shannon, Sostenible

### Abstract.

In this research, the sustainable use of water resources for a type of forage was determined, as a proposal for changing corn cultivation in the town of Santiago Pata - Andahuaylas-Apurímac. For this, the entropy-weight algorithm was used, which is based on Shannon's theory from five (05) criteria, such as; size (C1), protein capacity (C2), crude fiber (C3), dry matter (C4) and crop irrigation requirement (C5), weight entropy was used to calculate the weight of each criterion to subsequently obtain a result as a weighted sum. The results showed in order of priority according to the contrast, Red Clover 0.0400, for Alfalfa 0.0382, and finally Ray Gras with 0.0227, determining the best option to change the corn crop is Red Clover.

Palabra clave: Water resource, Entropy-weight, Shannon entropy, Sustainable

## CONTENIDO

<b>DEDICATORIA</b> .....	II
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	III
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	VIII
<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	IX
<b>INDICE DE ECUACIONES</b> .....	XI
<b>Capítulo I: INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1.2 Antecedentes de la Demanda Hídrica de un Cultivo.....	3
1.1.3 Antecedentes de la Aplicación de la Entropía de Shannon.....	4
1.2 Justificación .....	5
1.2.1 Justificación Ambiental, Social y Económico. ....	5
1.3 Planteamiento del Problema .....	6
1.3.1 Problema Principal .....	7
1.3.2 Problema Secundario.....	7
1.4 Objetivos .....	8
1.4.1 Objetivo General .....	8
1.4.2 Objetivo Especifico.....	8
1.5 Hipótesis.....	9
1.5.1 Hipótesis General.....	9
<b>Capítulo II. MARCO TEORICO</b> .....	10
2.1 Concepto de Sostenibilidad .....	10
2.1.2 Uso Sostenible del Recurso Hídrico.....	11
2.2 Importancia del Agua en la Agricultura .....	13
2.3 Necesidad de Agua en un Cultivo .....	14
2.3.1 Uso Consuntivo de Agua del Cultivo .....	14
2.3.2 Evaporación del Cultivo.....	14
2.3.3 Transpiración del cultivo.....	15
2.3.4 Evapotranspiración del Cultivo (ET) .....	16

2.3.4.1	Evapotranspiración del Cultivo de Referencia ETo .....	17
2.3.4.2	Coeficiente Único del Cultivo (Kc) .....	17
2.3.4.3	Ecuación de Penman Monteith.....	19
2.3.4.4	Datos Meteorológicos .....	20
2.4	Tipos de Forrajes.....	21
2.4.1	Leguminosas.....	21
2.4.1.1	Alfalfa (Medicago sativa L).....	21
2.4.1.2	Trébol Rojo (Trifolium pratense L) .....	22
2.4.2	Gramíneas .....	23
2.4.2.1	Rye Grass (Lolium Perenne) .....	24
2.4.2.2	Maíz amiláceo (Zea mays L) .....	25
2.5	Suelo.....	26
2.5.1	Textura del Suelo .....	27
2.5.2	Diagrama Textural del Suelo .....	27
2.6	Entropía de Shannon .....	28
2.6.1	Entropía Peso .....	29
<b>CAPITULO 3: METODOLOGÍA.....</b>		<b>30</b>
3.1	Delimitación de zona de estudio .....	30
3.2	Recopilación de información. ....	32
3.2.1	Material y equipos de muestreo .....	34
3.2.2	Composición química del forraje .....	34
Campo clima /ET° .....		35
3.2.3.	Datos para la determinación de la evapotranspiración del cultivo.....	35
3.2.3.1	Coeficiente único del cultivo (Kc).....	37
3.2.3.2	Textura del suelo.....	38
3.3	Calculo de la evapotranspiración del cultivo.....	40
3.4	Metodología de entropía de Shannon .....	42

3.5 Esquema de la metodología.....	45
<b>Capítulo 4: CÁLCULO Y RESULTADOS .....</b>	<b>46</b>
4.1 Evapotranspiración del cultivo (ETc) .....	47
4.2 Metodología de entropía de Shannon .....	48
<b>CAPITULO 5: DISCUSION DE RESULTADOS .....</b>	<b>57</b>
<b>CAPITULO 6: CONCLUSIONES.....</b>	<b>60</b>
<b>CAPITULO 7: RECOMENDACIONES.....</b>	<b>61</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>62</b>

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> : Representación gráfica de la evapotranspiración de los factores que intervienen en su determinación.....	16
<b>Figura 2</b> : Coeficiente Kc del cultivo en cada temporada de su crecimiento .....	18
<b>Figura 3</b> : Triangulo de textura .....	28
<b>Figura 4</b> : Ubicación de la zona de estudio- Consulting Group .....	31
<b>Figura 5</b> : Plantilla de preguntas para la encuesta.....	32
<b>Figura 6</b> : Puntos de muestreo de suelo.....	39
<b>Figura 7</b> : Campos necesarios para determinar el requerimiento de riego .....	41
<b>Figura 8</b> : Soil water characteristics.....	42
<b>Figura 9</b> : Esquema metodológico para la determinación del cultivo con uso eficiente del recurso .....	45
<b>Figura 10</b> : Resultados de la encuesta .....	46
<b>Figura 11</b> : Orden de prioridad de sembrío para usos sostenible de recurso Hídrico .....	57
<b>Figura 12</b> :Análisis del componente suelo con el software soil wáter.....	70



## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> : Ventajas y Desventajas de los Indicadores de Sostenibilidad.....	11
<b>Tabla 2</b> : Datos Meteorológicos para la estimación de la demanda Hídrica del cultivo.....	20
<b>Tabla 3</b> : Ubicación Taxonómica de la alfalfa (Medicago Sativa L) .....	22
<b>Tabla 4</b> : Ubicación taxonómica del Trébol Rojo (Trifolium Pratense).....	23
<b>Tabla 5</b> : Ubicación Taxonómica del Ray Grass (Lolium Perenne) .....	24
<b>Tabla 6</b> : Ubicación taxonómica del Maíz Amiláceo (Zea Mays L) .....	26
<b>Tabla 7</b> : Clasificación del suelo según su tamaño de partículas .....	27
<b>Tabla 8</b> : Composición química de la alfalfa, Trébol rojo y Ray Grass .....	35
<b>Tabla 9</b> : Datos Meteorológicos del 2017-2019- Senamhi .....	36
<b>Tabla 10</b> : Campo de precipitación Campo del cultivo .....	36
<b>Tabla 11</b> : Coeficiente único del cultivo de Alfalfa.....	37
<b>Tabla 12</b> : Coeficiente único del cultivo de Trébol Rojo y Ray Grass.....	37
<b>Tabla 13</b> : Tiempo (días) en cada uno de las etapas de los cultivos .....	38
<b>Tabla 14</b> : Ubicación geográfica de los puntos muestreados (UTM WGS 84 18L) .....	38
<b>Tabla 15</b> : Textura del suelo de la localidad de Santiago Pata.....	39
<b>Tabla 16</b> : Evapotranspiración del cultivo de alfalfa y su requerimiento de riego	47
<b>Tabla 17</b> : Evapotranspiración del cultivo de Trébol Rojo y su requerimiento de riego.....	48
<b>Tabla 18</b> : Evapotranspiración del cultivo de Rye Grass y su requerimiento de riego.....	48
<b>Tabla 19</b> : Criterios establecidos para el análisis entropía de Shannon .....	49
<b>Tabla 20</b> : Objetos de estudio para el análisis de la Entropía de Shannon .....	49
<b>Tabla 21</b> : Valores de criterios de cada forraje .....	50

<b>Tabla 22</b> : Valores normalizados de los criterios .....	51
<b>Tabla 23</b> : Entropía de los criterios .....	53
<b>Tabla 24</b> : Divergencia para cada criterio .....	54
<b>Tabla 25</b> : Peso para cada criterio .....	55
<b>Tabla 26</b> : Promedio de las plantas .....	56
<b>Tabla 27</b> : Operacionalización de variables .....	66
<b>Tabla 28</b> : Matriz de Consistencia .....	67
<b>Tabla 29</b> : Cronograma del trabajo de investigación.....	68
<b>Tabla 30</b> : Costos y Presupuesto Para la Elaboración de Tesis.....	69

|

**INDICE DE ECUACIONES**

**Ecuación 1:** Ecuación Penman Monteith Modificado Para la Determinación de la Evapotranspiración Referencial.....19

**Ecuación 2 :** Entropía De Shannon.....28

**Ecuación 3 :** Ecuacion de la evapotranspiración.....40

**Ecuación 4 :** Ecuación que cumple la entropía de Shannon. ....43

**Ecuación 5 :** Normalización de los valores de las probabilidades .....43

**Ecuación 6 :** Entropía de cada criterio .....44

**Ecuación 7 :** Grado de divergencia de los criterios .....44

**Ecuación 8 :** Peso de la entropía  $W_j$ .....44

## **Capítulo I: INTRODUCCIÓN**

Actualmente uno de los efectos del cambio climático que preocupa es la disminución de la capacidad de almacenaje del recurso hídrico y la competencia para conseguirlo, sin embargo, el crecimiento económico y poblacional que experimenta la sociedad de la localidad de Santiago Pata en los últimos años requiere de mayor disponibilidad de agua, debido a que este recurso tiende a ser cada vez más escaso o se usa de forma inadecuada.

La obligación de gestionar el recurso hídrico eficientemente en sector agrícola es de vital importancia, ya que es donde se usa mayor proporción de agua, por lo tanto, el uso sostenible que se propone es cambiando los cultivos tradicionales por otras que tengan la aptitud de adaptación climatológico, uso sostenible de recurso hídrico y sobre todo impulse la economía y el bienestar social de los pobladores.

Lograr seleccionar un tipo de forraje de manera objetiva teniendo como criterio capacidad proteica (P), fibra Cruda (F), tamaño, Requerimiento de riego y materia seca (M) e integrando mediante la Entropía de Shannon, asegurar una elección eficiente y que sea capaz de usar sosteniblemente el recurso hídrico durante todo el año y así poder satisfacer en todo su uso.

## **1.1 Antecedentes**

### **1.1.1 Antecedentes Internacionales**

Según Wu ( 2010) en el estudio sobre el valor económico de los recursos hídricos de una cuenca particular, los recursos hídricos, son la base principal para el rápido desarrollo de la sociedad y desempeñan un papel importante en la formulación efectiva de políticas de gestión de recursos hídricos y fijación de precios del agua. Los estudios cuantitativos sobre el uso efectivo de los recursos hídricos y la eficiencia de su uso del agua en los tres sectores principales del desarrollo económico son de gran importancia para mejorar la eficacia de las políticas de gestión de recursos hídricos y precios del agua y para ajustar la distribución de los recursos, además de mantener razonablemente el desarrollo sostenible de toda la comunidad, así mismo, en este documento, el método de reparto de beneficios se selecciona de una amplia gama de métodos de análisis cuantitativos, tomando como área de estudio las 9 provincias a lo largo de la cuenca del río Amarillo, se calculó el valor económico de los recursos hídricos y la eficiencia del uso del agua en los tres principales sectores económicos, luego, se analizan sus características y los problemas existentes en la actual estructura de uso del agua, y se plantean medidas y propuestas para mejorar el uso del agua y la distribución final de los recursos hídricos.

Según Jin & Wang ( 2016) En su trabajo de Investigación sobre el aumento de los beneficios de producción de cultivos económicos bajo riego. En regiones áridas y semiáridas, la optimización de los sistemas de riego es muy importante para el uso racional del agua. Se estudió el sistema de riego optimizado para algodón en el distrito de Yuncheng de Shanxin y papas en el distrito de Datong. El rendimiento y la ganancia se calcularon utilizando el modelo de Jensen con el objetivo de maximizar la ganancia. Los resultados mostraron que diferentes cultivos tenían diferentes consumos de agua y

diferentes tiempos de riego bajo la condición de que se maximizara la ventaja de rendimiento. La demanda de agua de algodón fue más alta de lo normal. El volumen de agua de riego fue de 375 mm, el número de riegos fue 5 veces y el rendimiento fue de 2250 kg/ha en condiciones de máxima rentabilidad. 150 mm de agua de riego, 2 tiempos de riego y 23925 kg/ha de rendimiento fueron las condiciones de máxima rentabilidad, además la demanda de agua de las papas fue baja.

### **1.1.2 Antecedentes de la Demanda Hídrica de un Cultivo.**

Según García (2017) en su investigación que titula “Determinación de la demanda hídrica del cultivo de quinua”. El objetivo de este estudio fue determinar el requerimiento hídrico ( $E_m$ ) y el coeficiente  $K_c$ , el cual se utiliza para calcular la tasa de evapotranspiración de cada cultivo de quinua. Este cultivo tiene un alto valor comestible y nutritivo y actualmente se cultiva en condiciones agroclimáticas de costa y montaña donde el agua de riego es un recurso limitado y se requiere un uso racional de este recurso para proteger el suelo para una buena producción y un rendimiento óptimo. Las determinaciones de  $E_m$  y  $K_c$  se evaluaron en cada una de las cuatro etapas de desarrollo de la quinua QLM01. Se instaló y operó un lisímetro freático constante para determinar  $E_m$ ; Para determinar  $K_c$  se utilizó la evapotranspiración de referencia ( $E_{To}$ ), estimada por el método de Penman-Monteith y el método de Penman aplicable al Perú, y la evapotranspiración máxima ( $E_m$ ). Los resultados mostraron que la quinua QLM01 requirió un volumen de planta de 2623 m<sup>3</sup>/ha, con requerimientos hídricos de 377, 588, 957 y 699 m<sup>3</sup>/ha en las etapas inicial, de desarrollo, intermedia y final, respectivamente. Los coeficientes  $K_c$  para la quinua QLM01 en la etapa de cosecha fueron 0.554, 0.98, 1.271 y 0.904, respectivamente. Información básica sobre la implementación de diferentes sistemas de cultivo.

### 1.1.3 Antecedentes de la Aplicación de la Entropía de Shannon

Delgado y Reyes (2016) Aplicar la Entropía de Shannon para seleccionar alternativas como alimento para el ganado. Los espacios semiáridos de la zona de Manabí en Ecuador están eminentemente descertificados debido al sobrepastoreo. En esta investigación, se ha realizado una selección de las mejores plantas, electivas como alimento para animales domésticos utilizando la técnica de entropía-peso, que depende de la hipótesis de la entropía de Shannon. Se aplicó la estrategia de entropía-peso para determinar los pesos de los criterios; y después las plantas consideradas fueron posicionadas por las consecuencias de un contemplado agregado. Los criterios de determinación fueron el tamaño de la planta (C1), la materia seca (C2), proteína no refinada (C3) y fibra rugosa (C4). Las plantas concebibles fueron reconocidas recientemente por su capacidad de adaptación a regiones semiáridas. Los resultados mostraron que las cinco mejores plantas eran *Anthyllis vulneraria*, *Imperta barrel shaped*, *Cynodon plectostachyus*, *Bothriochloa pertusa* y *Paspalidium desertorum*, en un orden determinado. Más tarde, estas plantas elegidas se desarrollaron tentativamente y, posteriormente, según los resultados, podrían considerarse como una opción para determinar la alimentación de los animales domésticos, o para recuperar las regiones descertificadas en Manabí, Ecuador

## **1.2 Justificación**

### **1.2.1 Justificación Ambiental, Social y Económico.**

Este proyecto de investigación nace como fruto de los años vivenciados en la localidad de Santiago Pata, y la preocupación constante del uso no sostenible del recurso hídrico en la producción del monocultivo maíz. Actualmente el cambio climático y la competencia entre los usos del recurso hídrico generan debilidades tanto ambientales como socioeconómicas.

La localidad de Santiago Pata comprende lo importante del recurso hídrico para la comunidad, fundamentalmente para la funcionabilidad de los sistemas ecológicos, la supervivencia de la sociedad y la producción industrial, Por ello es necesario tomar medidas urgentes relacionadas al recurso hídrico, ya que sus escases están obligando su uso sostenible en los diferentes sectores. La baja productividad de los productos tradicionales y la competencia por conseguir agua para los cultivos es la preocupación para muchos agricultores de Santiago Pata, porque está estrictamente relacionado con la canasta básica de la población.

El uso no convencional de recurso hídrico para el flujo adecuado del sistema de alcantarillado que usa un 50% del agua destinado para la agricultura es un problema latente, ya que genera retraso en la siembra de Maíz que tiene un periodo corto de dos meses, como resultado de la demora surgen alteraciones en los procesos ecológicos introduciéndose nuevas especies al hábitat, plagas principalmente que afectan a algunos vegetales llegando mucho de ellos a desaparecer de su hábitat natural de la zona.

Por ello se desarrollará una elección eficiente de un tipo de forraje que tenga la capacidad de adaptarse a condiciones climáticas y oferta hídrica actual, esto se logrará objetivamente mediante la metodología de entropía de Shannon de tal manera este asegure el uso racional del recurso hídrico actual destinado para el sector agropecuario.



Por lo tanto, seleccionar un tipo de forraje con capacidad de ahorrar el recurso hídrico , además aportar alimentos balanceados para los ganados y animales menores de corral es un medio para generar ingreso ,sobre todo tener una crianza tecnificada sin necesidad de estar migrando a la zona alta donde actualmente los ganaderos son obligados a desplazarse a dichas zonas debido a la escasez de pastos comprometiendo así la salud y educación de sus hijos, por otro lado se genere una distribución eficiente entre los diversos usos durante todo el año ya sea agricultura y/o saneamiento.

### **1.3 Planteamiento del Problema**

Diversos estudios demostraron que los cambios climáticos afectan el rendimiento de algunos cultivos (Maíz y trigo). Principalmente en todo el mundo, en algunos sectores regionales de latitud baja se ha visto afectado en forma negativa, mientras que en algunas latitudes altas, el rendimiento de cultivos (Maíz, Trigo y Remolacha azucarera) se han afectado en forma positiva en los últimos años (IPPC, 2016). La localidad de Santiago Pata no es ajena a los efectos, esto se ve reflejado en la pérdida de cosechas, muerte de animales y baja en la productividad del monocultivo (Maíz) que ha disminuido en un tercio de lo habitual.

Actualmente los agricultores de Maíz se ven obligados a buscar productos alternativos para afrontar la escasez del agua, buscando sembrar productos cuya demanda hídrica sea menor y además contribuya a la economía activa de la zona, es por ello se está optando sembrar una variedad de forrajes que sirvan como alimento para ganados y animales de corral (Gallina, Cuy, Conejo etc.)

La escasez del agua acarrea conflictos entre los usuarios y los más afectados son aquellos que requieren mayor porcentaje, como el sector agrícola, especialmente en temporadas de siembra donde se requiere mayor cantidad. Este problema genera retraso

en el sembrío, por consiguiente, las plantas serán afectadas por heladas, vientos y sequias en su etapa de crecimiento dificultado así el ciclo de vida del cultivo.

El aprovechamiento sostenible del recurso hídrico se daría cuando la planta no se siembre en épocas de escasez de lluvias, sin embargo, el maíz no se puede sembrar en cualquier época por el contrario los forrajes si a lo largo del año, por la tanto sembrar un tipo de forraje capaz de adaptarse a la oferta hídrica, adaptarse eficientemente a una condición climática de Santiago Pata la cual es buena alternativa de solución al conflicto entre los usuarios.

### **1.3.1 Problema Principal**

- ¿Permite el Uso Sostenible de Recurso Hídrico en la Selección de un tipo de Forraje Mediante la Entropía de Shannon en la Localidad de Santiago Pata-Andahuaylas-Apurímac?

### **1.3.2 Problema Secundario**

- ¿Cuál es el cultivo cuyo requerimiento de riego permite el uso sostenible de recurso hídrico?

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

- Estimar el uso sostenible del recurso hídrico para un tipo de forraje, elegida mediante la Entropía de Shannon en la localidad de Santiago Pata - Andahuaylas-Apurímac.

### **1.4.2 Objetivo Especifico**

- Determinar la composición química como la capacidad proteica y fibra Cruda, además las propiedades físicas del cultivo como tamaño y materia seca.
- Determinar el requerimiento de riego del cultivo para su uso sostenible del recurso hídrico de la localidad de Santiago Pata - Andahuaylas-Apurímac.
- Determinar la textura del suelo de la localidad de Santiago Pata, provincia de Andahuaylas-Apurímac

## **1.5 Hipótesis**

### **1.5.1 Hipótesis General**

- La Entropía de Shannon, permitirá la elección al cultivo de alfalfa para su uso sostenible del recurso hídrico en la localidad de Santiago Pata-Andahuaylas – Apurímac.
- Probar una hipótesis es someterla a la prueba de la realidad. Esto quiere decir que el investigador debe contrastar lo que afirma en su hipótesis, y para ello debe utilizar alguna técnica de contraste para determinar si su hipótesis es consistente con la evidencia empírica. En este caso, solo hay dos posibilidades predecibles: o la hipótesis puede ser apoyada y confirmada por la evidencia empírica, o la hipótesis no concuerda con la evidencia empírica, y decimos que ha sido rechazada o refutada por la evidencia empírica. Freire (2018)

## Capítulo II. MARCO TEORICO

### 2.1 Concepto de Sostenibilidad

Según Asamblea General de las Naciones Unidas (1987) El desarrollo sostenible se define como "el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades", y una definición actualizada de la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (2003) País que satisface las necesidades actuales y locales de la población sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras ni la capacidad de la población de otras regiones para satisfacer sus propias necesidades", como se ha visto a lo largo de los años, se sigue utilizando la expresión cuya esencia es la misma, es un proceso por encontrar un equilibrio entre el consumo de recursos naturales y el medio ambiente.

#### 2.1.1 Indicadores de Sustentabilidad

Según Schuschny & Soto (2009) Un indicador de sustentabilidad compuesto es una representación sencilla que resume una idea de varias dimensiones en una lista básica dependiente de un modelo básico, esta puede ser subjetivo o cuantitativo. En términos especializados, es la unión de al menos dos factores que juntos miden un atributo o característica de los individuos.

Para construir un indicador compuesto con precisión, son fundamentales dos condiciones esenciales.

- a) Las definiciones claras de los atributos que se quiere medir
- b) Información confiable y /o primaria para realizar la medición

Las definiciones claras de los atributos brindarán apoyo conceptual para el puntaje compuesto, y la información confiable garantizará su validez. Ambos indicadores necesitan ser confirmados antes de considerar los aspectos metodológicos. Por otro lado, es importante recordar sus ventajas y desventajas inherentes. .

*Tabla 1 Ventajas y Desventajas de los Indicadores de Sostenibilidad*

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas y/o Limitaciones</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los indicadores compuestos permiten reducir la complejidad de la información que derive de múltiples perspectivas.</li> <li>• Fácil de interpretar por su capacidad de síntesis.</li> <li>• A traen el interés del público por su capacidad de facilitar una comparabilidad entre unidades de análisis y su evolución.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede proveer mensajes confusos y no robustos si los indicadores están mal contruidos.</li> <li>• Agregación ponderada de múltiples contenidos de información estadística puede acarrear crecientes niveles de incertidumbre asociados a la integración de las diversas escalas y dimensiones que el indicador compuesto intenta sintetizar.</li> </ul>

FUENTE:(Schuschny & Soto, 2009)

### **2.1.2 Uso Sostenible del Recurso Hídrico**

El elemento esencial para el desarrollo, sin duda es el recurso hídrico, no solo es necesaria para asegurar la salud y supervivencia del ser humano, sino también es clave en la sostenibilidad medioambiental y la prosperidad económica del mundo.

Según Dourojeanni y Jouravlev (2001) La gestión integrada de los recursos hídricos puede entenderse a partir de los siguientes cuatro enfoques. Gestión integrada del agua, la tierra y otros recursos naturales y ecosistemas. Integrar los diferentes usos e intereses de los usuarios del agua para reducir los conflictos entre quienes desafían este bien escaso en términos de cantidad, calidad y tiempo de flujo, y mejorar la gestión del recurso económica, social y ambientalmente.

Esto implica la regulación del agua, el suelo y los recursos relacionados con el objetivo de optimizar el resultado de un bienestar socioeconómico equilibrado sin poner en peligro la sostenibilidad de los ecosistemas críticos en los que se desarrollan los seres humanos. (Asociación Mundial para el Agua, 2000)

En los intentos de gestionar el agua eficientemente , la sequía conocida como un fenómeno que surge en tierras secas de forma natural muchas veces es el desafío para los especialistas , manifestándose cuando las precipitaciones son muy inferiores a los niveles que se registran habitualmente , esto permite un desequilibrio hidrológico de extraordinaria envergadura que influye negativamente a los elementos interconectados de producción de recursos agrícolas fundamentalmente (Abraham, 2008), el hecho que el recurso hídrico tiende a ser cada vez más dificultoso en su accesibilidad y exista más competencia entre sus diversos usos, impulsa a utilizar de manera responsable, eficiente y manejar los mecanismos de gestión con eficacia (Tarjuelo, 2005)

Por lo tanto, los agricultores de las zonas donde el recurso hídrico ha disminuido significativamente a causa del cambio climático se ven obligados a tomar diversas medidas, por ejemplo, sustitución de cultivos cuya demanda hídrica sea menor y una capacidad de reacción más notable ante las estaciones secas, por otro lado, la utilización de un sistema hídrico especializado y limitado, aunque esto tenga un coste tremendo.

## **2.2 Importancia del Agua en la Agricultura**

Es importante comprender la cantidad del recurso hídrico que consume el sector agrícola, ya que el problema de la accesibilidad al agua se hará evidente cuando comience a rivalizar con la industria.

El 20% del agua dulce de manantiales, arroyos y lagos se utiliza en diversas industrias: el 70% se utiliza en agricultura, riega 300 millones de hectáreas de tierra, produce el 60% de la producción de cereales y el 40% de la producción agrícola a nivel mundial, el 10% restante para casas (InfoAgro, 2018)

Según Avilés ( 2006) Es necesario revisar los estándares de asignación de agua, especialmente para las actividades agrícolas el cual puede ser negativo en algunas zonas de regadío, para tener en cuenta la mayoría de las funciones sociales específicas de estas zonas de regadío, debe quedar claro que hay diferentes agriculturas y diferentes agricultores. La asignación de costos de los recursos hídricos no promueve en sí misma una asignación eficiente de los recursos. Por lo tanto, al conocer los recursos hídricos disponibles actualmente para la agricultura, podemos elegir lo qué podemos cultivar.

Mendelsohn y Seo (2007) En su estudio, dijo que los agricultores latinoamericanos se están adaptando al clima mediante el cambio de cultivos, el desarrollo de modelos de opción múltiple para las elecciones de cultivos de los agricultores y la predicción de los efectos del cambio climático, lo que significa que no deben reflejar solo el rendimiento o los cambios netos para cada cultivo, así como los cambios en el rendimiento.



Por lo tanto, la capacidad de los recursos hídricos juega un papel muy importante en la agricultura, ya que afecta los ingresos netos de los agricultores y también ayuda en su toma de decisiones en la elección de las condiciones espaciales y climáticas dadas.

## **2.3 Necesidad de Agua en un Cultivo**

### **2.3.1 Uso Consuntivo de Agua del Cultivo**

El uso consuntivo se define como el volumen de agua necesario que requieren las plantas en toda su etapa de desarrollo, esto quiere decir desde la germinación, crecimiento y producción económica, y cuantitativa es un concepto idéntico al de evapotranspiración del cultivo (Garay, 2019). Se debe entender que los componentes esenciales del uso consuntivo del agua son la evaporación y la transpiración, estos procesos surgen simultáneamente.

Los factores principales que afectan en el uso consuntivo del agua son:

1. Clima: interpretado por la humedad relativa, velocidad del viento, latitud, temperatura, luminosidad, precipitación, etc.
2. Suelo: Interpretado por la distancia del nivel freático, textura, capacidad de retención de humedad, etc.
3. Cultivo: Interpretado por la especie de la planta, ciclo vegetativo, variedad, costumbres radiculares, etc.
4. Agua de riego: Representado por su calidad, disponibilidad, prácticas de riego, nivel de la misma con respecto a la superficie, etc.

### **2.3.2 Evaporación del Cultivo**

La evaporación es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua, se vaporiza y se retira de la superficie de vaporización, el agua se evapora de varias superficies, como lagos, arroyos, caminos, suelos y vegetación húmeda. (Allen et al., 2006). Para que se haga efectiva este proceso es indispensable contar con energía para

cambiar las moléculas de agua líquida a vapor, esta energía en mayor proporción es la radiación solar directa y, de forma menos significativa, la temperatura ambiente del aire, es decir, como un intercambio comercial en la que una superficie húmeda vende vapor de agua a los elementos ambientales a cambio de energía.

Según Monteith (1965) la evaporación del agua es como una transacción comercial en la que una superficie mojada vende vapor de agua al medio ambiente a cambio de calor. Por cada gramo de agua evaporada a 20°C la superficie demanda 585 calorías de calor.

### **2.3.3 Transpiración del cultivo.**

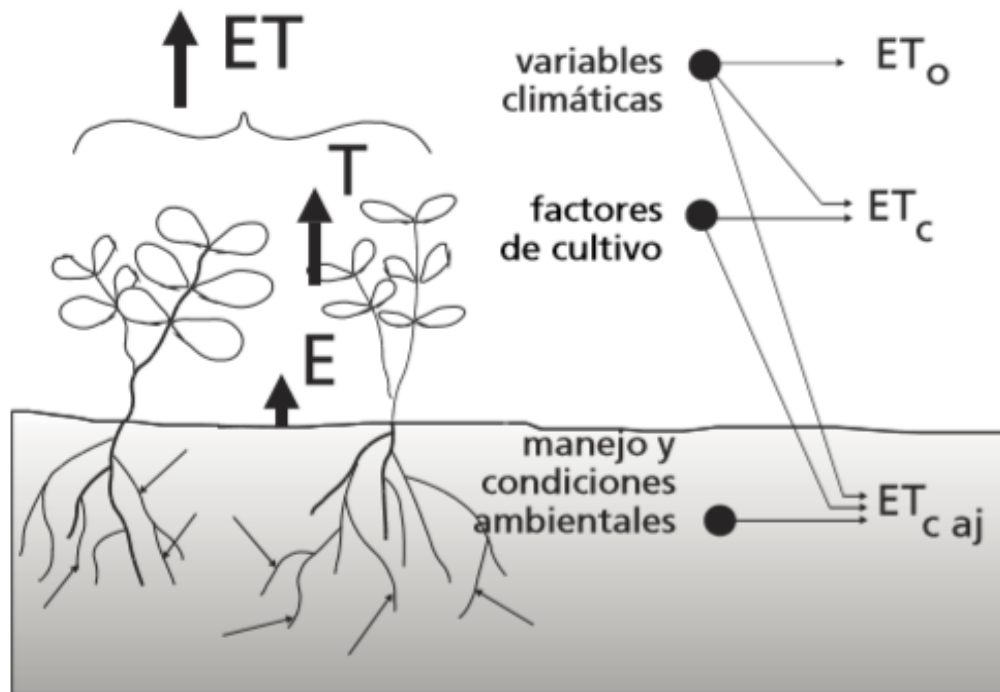
Según Squeo (2007), La transpiración determina las condiciones del agua de las plantas, este proceso consiste en la evaporación del agua de las células superficiales del espacio intercelular y la excreción fuera del tejido vegetal, gran parte de esta pérdida ocurre a través de estomas que se abren para atrapar dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), y el bajo peso molecular del vapor de agua (18 g por mol de molécula de agua) da como resultado una pérdida de vapor de agua, en comparación con 44 g/mol de dióxido de carbono), principalmente debido a la diferencia de gradiente entre las presiones de vapor del aire y de la planta. (Alegría, 2016). Las estomas cumplen un papel importante en el control hídrico de una planta a corto plazo, es decir dependerá de sus características cuánta agua pierde el cultivo.

El proceso de transpiración al igual que la evaporación directa, depende de cuanta energía se le suministra, de la velocidad del viento y del gradiente de presión del vapor, Por lo tanto, deben ser considerados en las ecuaciones para su determinación.

### 2.3.4 Evapotranspiración del Cultivo (ET)

La evapotranspiración se entiende como la cantidad de agua que regresa a la atmósfera a través de dos procesos: evaporación directa del agua del suelo, agua estancada y transpiración de las plantas (Monge, 2018). En otras palabras, la evapotranspiración se define como la combinación de dos procesos separados y simultáneos en los que el agua se pierde de la superficie del suelo por evaporación, mientras que el agua se pierde por la transpiración de las plantas. (Allen et al., 2006). Por lo tanto, la evapotranspiración del cultivo dependerá estrictamente de la unión de los dos procesos evaporación y transpiración que surgen de forma paralela.

*Figura 1 Representación gráfica de la evapotranspiración de los factores que intervienen en su determinación*



Fuente: (Allen et al., 2006)

#### **2.3.4.1 Evapotranspiración del Cultivo de Referencia ETo**

La evapotranspiración de referencia ETo es una forma de superficie con plantación hipotética de pasto con propiedades específicas, ocurre sin limitaciones del recurso hídrico.

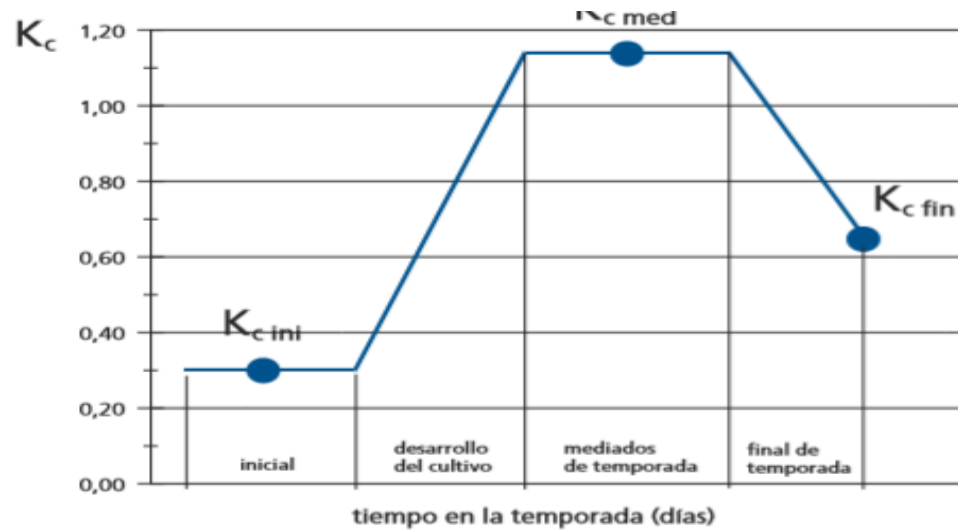
La evapotranspiración de línea de base depende únicamente de las condiciones climáticas y, por lo tanto, se utiliza para calcular la cantidad de agua perdida por evaporación y transpiración en la superficie del suelo, independientemente del tipo de cultivo y cómo se desarrolla y maneja (Hernández y Santana, 2008). Esto significa que los factores del suelo no tienen efecto sobre la evapotranspiración, y la ET se referencia bajo el mismo plano, por lo que se pueden medir estimaciones o evaluaciones de ETo en diferentes áreas o diferentes estaciones.

#### **2.3.4.2 Coeficiente Único del Cultivo (Kc)**

Los coeficientes únicos (Kc) del cultivo, son datos de mucha importancia que se utiliza para determinar el tamaño del área que se puede regar, por lo tanto, nos permite determinar el tamaño del proyecto según la oferta hídrica de la zona estudiada (Garay, 2019)

El coeficiente varía según el periodo de crecimiento del cultivo, llegando a su valor más alto cuando el cultivo llega a su etapa de desarrollo máximo y decrece a medida que las hojas de las plantas se van secando, esta curva generalizada se puede apreciar en la figura 2.

Figura 2 Coeficiente  $K_c$  del cultivo en cada temporada de su crecimiento



Fuente: (Allen et al., 2006)

Sus aplicaciones son diversas, y se enumeran a continuación:

1. Nos permite elaborar cronogramas de hidratación para los cultivos. Esto ayuda al agricultor planificar eficientemente el riego del cultivo, esto quiere decir suministrar la cantidad y el tiempo que requiere.
2. Cuando el recurso hídrico contiene cantidades considerables de sales, el uso consuntivo ayuda a determinar las láminas de sobre riego, necesarias para contrarrestar problemas de salinización de los terrenos cultivados.
3. Estimar la cantidad necesaria de agua que serán oportuno suministrar a los cultivos en el caso que la precipitación no sea suficiente.
4. Determinar áreas (cuencas) los posibles volúmenes de agua en sobrante a drenar.
5. Determinar en términos general la eficiencia con la que se está usando el agua y por lo mismo, proyectar oportunamente el reforzamiento y superación de todos los elementos que involucran en el desarrollo de una localidad de riego.

### 2.3.4.3 Ecuación de Penman Monteith

Durante mucho tiempo, numerosos científicos intentaron decidir una condición para la estimación de la evapotranspiración obtenida a partir de factores climáticos, sin embargo, estas tenían limitaciones debidos a la zona, en conjunto cuya secuencia no tenía legitimidad mundial.

Según (Allen et al., 2006) Las cuatro técnicas más representativas para medir de manera confiable la evapotranspiración en cultivos de referencia son el método Brain and Criddle, el método de irradiación, el método Penman-Montes modificado y el método del tanque evaporativo. Entra una ley FAO Penman-Monteith modificada, así como el único método aceptado a nivel mundial.

Ecuación 1: Ecuación Penman Monteith Modificado Para la Determinación de la Evapotranspiración Referencial.

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} \mu_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34\mu_2)} \quad (1)$$

Donde:

$ET_0$  Evapotranspiración de referencia (mm/día)

$R_n$  Radiación neta en la superficie del cultivo ( $MJm^{-2}día^{-1}$ )

$G$  Flujo de calor de suelo ( $MJm^{-2}día^{-1}$ )

$T$  Temperatura media del aire a 2 metros de altura ( $^{\circ}C$ )

$\mu_2$  Velocidad del viento a 2 metros de altura ( $ms^{-1}$ )

$e_s$  Presión de vapor de saturación (kPa)

$e_a$  Presión real de vapor (kPa)

$\Delta$  Pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C-1)

$\gamma$  Constante psicrométrica (kPa °C-1)

#### 2.3.4.4 Datos Meteorológicos

Los datos meteorológicos necesarios para la determinación de la demanda de hídrica del cultivo, son: la temperatura del ambiente donde se desarrolla, humedad relativa, velocidad del viento, radiación y la precipitación. Cada uno de estos parámetros se describe en la tabla 2.

*Tabla 2 Datos Meteorológicos para la estimación de la demanda Hídrica del cultivo*

<b>Datos Meteorológicos</b>	<b>Descripción</b>
<b>Temperatura</b>	El parámetro temperatura es un indicativo del calentamiento o enfriamiento del aire que surge justo en el momento del intercambio de energía en forma calor entre la tierra y la atmosfera.
<b>Humedad</b>	La humedad es la cantidad de vapor de agua que contiene ese aire.
<b>Velocidad</b>	Es el movimiento del aire, el cual se produce en dirección horizontal.
<b>Radiación</b>	La energía del sol llega a la tierra en forma de radiación solar con una longitud de onda entre 300 y 2.500 nm
<b>Precipitación</b>	La precipitación es consecuencia de la condensación del vapor de agua en la atmosférico que se deposita en la superficie de la Tierra más conocido como lluvia.

Fuente:(Senamhi, 2018)

## **2.4 Tipos de Forrajes**

### **2.4.1 Leguminosas**

Las leguminosas tienen, en su mayoría, un alto contenido de proteínas en su hoja, diferencia de las gramíneas, además son fijadoras de nitrógeno del aire y tienen a su disposición este elemento para la síntesis de proteína.

#### **2.4.1.1 Alfalfa (*Medicago sativa* L)**

La alfalfa (*Medicago sativa* L.) Perteneciente a la familia de leguminosa es el recurso alimenticio más utilizado en la alimentación de los animales domésticos en el planeta, debido a su practicidad de adaptación a diferentes ambientes, además de contar con una calidad nutricional de alto nivel.

Los elementos significativos que ayuda la elección de este forraje, es la aptitud de fijar armónicamente nitrógeno atmosférico, además tiene la capacidad fortalecer las propiedades químicas de la tierra, adaptándose generalmente en altitudes que comprende desde los 700 a los 4000 msnm, siendo esta como una gran opción forrajera que compensa las insuficiencias en cuanto a producción de calidad nutricional y biomasa. Asimismo, por ser una planta perenne, controla la erosión y contribuye en el control de algunas agentes perjudiciales como las plagas y enfermedades para aquellos cultivos que se siembra posteriormente (Delgado, 2015)

Existe problemas de fertilidad en tierras acidas, porque algunos nutrientes, como el calcio y el Fosforo precipitan y se hacen insoluble e inaccesibles para la planta, el pH óptimo para su desarrollo tiende a ser neutro, además son extremadamente sensibles a la salinidad y estos se pueden notar en la palidez de sus tejidos, disminución del tamaño de hojas, se adaptan en suelos profundos y bien drenados.



La alfalfa también se utiliza para mejorar la cobertura vegetal, prevenir la degradación de las praderas, y contribuye a la sostenibilidad de la agricultura y la ganadería. Para una alta producción de forraje, la alfalfa requiere suelos óptimos para su eficiente desarrollo con profundidades mayores a 1.2 m, bien aireados y de suelos neutra cuyo pH oscila en 6,5 a 7,5 (Basigalupo, 2007)

*Tabla 3 Ubicación Taxonómica de la alfalfa (Medicago Sativa L)*

<b>Reino</b>	<b>Plantae</b>
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Fabales
Familia	Fabaceae
Genero	Medicago
Especie	Sativa
Nombre Científico	Medicago sativa L

Fuente: Delgado, (2015)

#### **2.4.1.2 Trébol Rojo (*Trifolium pratense* L)**

El trébol rojo fué alimento desde décadas pasadas, se usó como una alternativa forrajera en excelencia. Es una especie perenne, erguida localizada en zonas sub-árticas y templadas. En condiciones ideales de frescura el forraje puede permanecer hasta aproximadamente 7 años, generalmente se corta dos veces al año, sin embargo, en buenas condiciones de cuidado se puede cortar de 3 a 4 veces por año. En Europa y América del Norte se convirtió en un cultivo vital para la mejora de suelos dentro de las rotaciones de cultivos arables durante los siglos XVIII y XIX y aún hoy en día es un cultivo indispensable para henificar Fao, (2021).

Al igual que en el Reino Unido, en la actualidad su popularidad está vigente y es usado como uno de los componentes principales de las pasturas para ensilar debido al gran nivel de suplementos nutricional que aporta al animal. Por otra parte, el rango de pH para un desarrollo efectivo debe estar comprendida en el alcance de 5.3-8.9 con bajos sustancias de sales, bien provistos de Carbono, Fosforo y Nitrógeno. El contenido de azufre puede considerarse escaso (Barletta et al.,2013)

Puede crecer donde la precipitación anual oscila entre 310 y 1920 mm con temperaturas medias anuales entre 4.9 ° C y 20.3 ° C. El crecimiento óptimo ocurre entre 18 ° C y 25 ° C. El trébol rojo es resistente al frío siempre que pueda formar una roseta y almacenar suficiente Nitrógeno en las raíces antes de que llegue el invierno este forraje crece en una amplia variedad de suelos. pero, prefiere suelos bien drenados, limosos ,francos e incluso suelos pesados a suelos ligeros, arenosos o de grava Ecoport, (2001).

*Tabla 4 Ubicación taxonómica del Trébol Rojo (Trifolium Pratense)*

<b>Reino</b>	<b>Plantae</b>
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Fabales
Familia	Leguminosae
Genero	Trifolium
Especie	Pratense
Nombre Científico	Trifolium Pratense

Fuente: (Asturnatura, sin fecha)

#### **2.4.2 Gramíneas**

Las gramíneas son aquellas plantas perennes o anuales y tienen por lo general sus tallos, cilíndricos y huecos como el Maíz, la Avena forrajera, Cebada, Rye Grass, etc.;

estas plantas proporcionan energía, aportan para que los animales tengan fuerza, puedan moverse, alimentarse, además son muy buenas poseedoras de carbohidratos Acosta, (2021)

Sus raíces son pocas profundas y se adaptan a suelos secos, sin embargo, en la etapa de inicial de su crecimiento requiere riego, en su etapa de maduración toda las proteínas, vitaminas y minerales se concentran en las flores y /o frutos.

#### 2.4.2.1 Rye Grass (*Lolium Perenne*)

El Rye Grass pertenece a la familia de las gramíneas se adaptan eficientemente por encima de 2400-2500 metros sobre el nivel del mar la siembra de este pasto generalmente se da conjuntamente al trébol y es excelente alimento para el ganado, sin embargo, este tipo de pasto tiene un tiempo de vida relativamente corta lo cual es de 2-3 años de crecimiento productivo eficiente, pero son excelentes para adaptarse en condiciones secas y cálidas (Feedipedia, 2010)

Tiene la capacidad para adaptarse a todos los suelos (excepto arenosos) aunque son más eficientes en los suelos fértiles y húmedos y de pH cercano a la neutralidad. (Agropick, s.f.)

*Tabla 5 Ubicación Taxonómica del Ray Grass (Lolium Perenne)*

<b>Reino</b>	<b>Plantae</b>
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Genero	Lolium
Especie	Perenne

<b>Reino</b>	<b>Plantae</b>
Nombre Científico	Lolium perenne

*Fuente: inase*

#### **2.4.2.2 Maíz amiláceo (*Zea mays* L)**

El Maíz (*Zea mays* L.) es una planta gramínea anual, originaria de América, que se introdujo en Europa durante el siglo XVI, tras la conquista española. Actualmente es el producto agrícola con mayor producción en el mundo, por encima del arroz y el trigo. En Perú, se utiliza para dar seguridad alimentaria a las familias del campo generalmente y procesadas en las zonas urbanas. Asimismo, se usa como forraje en localidades conocida como quechua, situada el rango de 2300 y 3500 msnm (Chunyuay, 2017)

La siembra de maíz requiere una temperatura promedio del suelo de 10 °C, pero este aumento de temperatura dificulta la actividad celular a temperaturas superiores a 30 °C. aproximadamente 80 % de almidón, 9 % de proteína, bajo contenido de aceite y oligoelementos, bajo rendimiento, 3-4 tm/ha de maíz seco) (Minagri, 2019)

El pH para su desarrollo sin deficiencias debe ser cercano a la neutralidad 7, asimismo para su mejor rendimiento es cuando se desarrolla en suelos suaves y húmedas en la etapa de germinación. Esta gramínea tiene época adecuada para lograr una buena productividad, a mediados de agosto hasta mediados de setiembre (Inia, 2012)

La capacidad proteica del forraje es menor que del grado alrededor de 6-7% es por ello para la alimentación se debe combinar con otras legumbres como alfalfa, trébol etc.

*Tabla 6 Ubicación taxonómica del Maíz Amiláceo (Zea Mays L)*

<b>Reino</b>	<b>Plantae</b>
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Cyperales
Familia	Graminácea o Poáceas
Genero	Zea
Especie	mays
Nombre Científico	Zea mays L.

*Fuente : (Chunyuay, 2017)*

## **2.5 Suelo**

Los suelos son vitales en cualquier actividad especialmente en agricultura, por lo que es importante conocer sus propiedades físicas, ya que éstas deciden en general los diversos usos que puede darles el hombre. El estado de una tierra es responsable de la inflexibilidad y la fuerza de sostenimiento, estos le dan facilidad que las raíces de las plantas crezcan eficazmente, de la ventilación, del acopio de agua y del límite de infiltración, y la retención de los diferentes nutrientes que son necesarios para su supervivencia y desarrollo.

Por lo tanto, es necesario que las personas involucradas en el uso de la tierra, deben conocer las propiedades físicas del suelo, para comprender de qué manera y en qué medida influye en el crecimiento de las plantas, y cómo la actividad humana puede llegar a modificarlas, y sobre todo mantener las mejores condiciones físicas del suelo y no degradarlos.

### 2.5.1 Textura del Suelo

La textura hace referencia al tamaño de partículas que conforma el suelo, es por ello se usa los términos como Limo, Arcilla y Arena teniendo en consideración los tamaños de las partículas Porta, (2003), Se dice que un suelo tiene una buena textura cuando la proporción de los elementos que lo constituyen le dan la posibilidad de ser un soporte capaz de favorecer la fijación del sistema radicular de las plantas y su nutrición.

Tabla 7 Clasificación del suelo según su tamaño de partículas

Composición del Suelo	Tamaño de Partícula (mm)
Arena	2.0-0.05
Limo	0.05-0.002
Arcilla	< 0.002

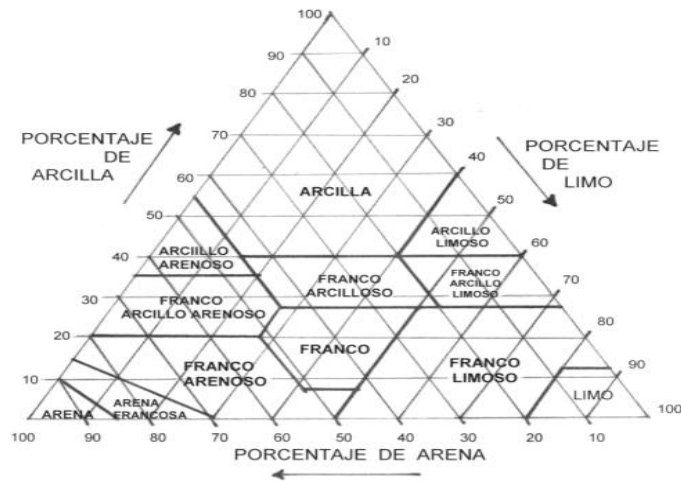
Fuente: (Universidad Nacional de Riego, 2019)

### 2.5.2 Diagrama Textural del Suelo

El diagrama textural es un triángulo cuyos lados son de la misma dimensión y cada lado representa arena, limo y arcilla, además está fraccionado y cuyo valor cero de la arcilla corresponde al 100 de la arena y su 100 con el cero del limo, este tiene movimiento en el mismo sentido de las agujas del reloj.

Cada muestra de suelo se define como un punto dentro del triángulo. Este punto es suficiente para capturar el 2 por ciento de la fracción de partículas (por ejemplo, arcilla y limo). La intersección de estos puntos se obtiene trazando líneas paralelas de una parte texturizada a otra en base a porcentajes. *Fuente: Usda, (2014)*

figura 3 Triangulo de textura



## 2.6 Entropía de Shannon

La entropía de Shannon, también conocida como teoría de la información, posteriormente llamada la teoría matemática de la comunicación. La entropía puede entenderse como una medida matemática de la información requerida, en promedio, para describir una variable aleatoria, o como una medida de incertidumbre Shannon y Weaver, (1998).

Se originó teniendo como motivación de solucionar los problemas de seguridad de las comunicaciones. Uno de las consecuencias más importantes del trabajo de Shannon fue la formalización de la idea abstracta. De incertidumbre o información, sin embargo, esta teoría se fue extendiendo a las diferentes ramas como la sociología, biología, salud etc.

Ecuación 2 *Entropía De Shannon*

$$H(P_1, P_2, \dots, P_n) = h(P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n) + (P_1 + P_2)H\left(\frac{P_1}{P_1+P_2} + \frac{P_2}{P_1+P_2}\right) \quad (2)$$

### **2.6.1 Entropía Peso**

El método de entropía-peso, se basa en la teoría entropía de Shannon. Se usará para calcular pesos objetivos de los criterios; como si hubiera una gran diferencia entre alternativas, el criterio nos permitirá responder cuál de las plantas tiene las mejores características para sustituir al maíz.



### **CAPITULO 3: METODOLOGÍA**

El nivel de la investigación es descriptivo. La información primaria se obtuvo de encuestas, entrevistas y análisis en laboratorio acreditados, asimismo se usó dos (02) software (Crotwat 8.0 y Soil Water) para el procesamiento de los factores climáticos y propiedades físicas del suelo.

#### **3.1 Delimitación de zona de estudio**

El presente trabajo se realizó en la localidad de Santiago Pata, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac – Perú, con una fisiografía de pendiente pronunciada dedicado a la agricultura y ganadería.

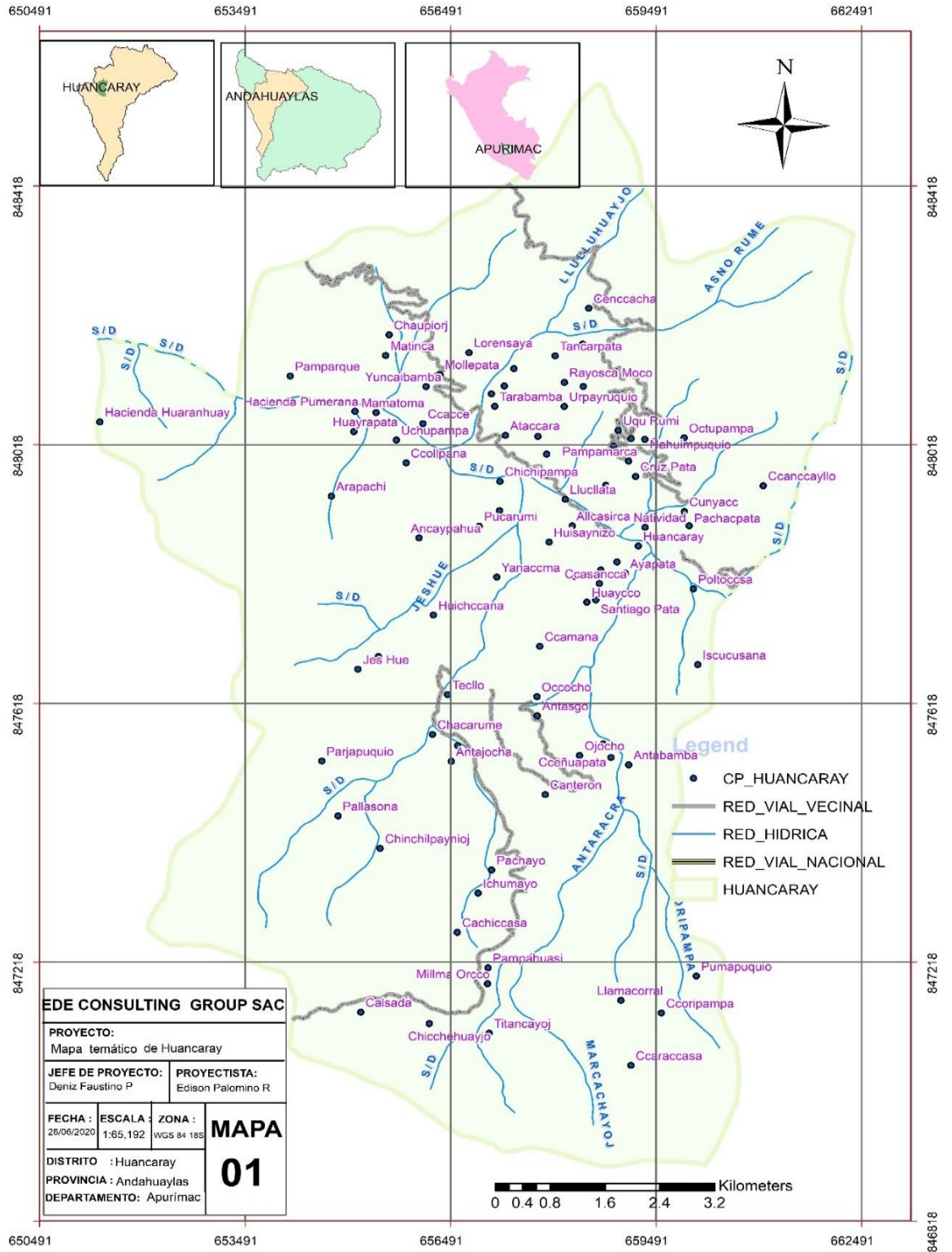
Coordenadas de la localidad de Santiago Pata

**Norte : 8 477 787**

**Este : 0 658 64 7**

**Altitud : 3116 msnm**

Figura 4: Ubicación de la zona de estudio- Consulting Group



### 3.2 Recopilación de información.

La información primaria se obtuvo por medio de encuestas, entrevistas y visitas a la localidad de Santiago Pata, la finalidad es poder identificar varios tipos de forrajes que se siembran los agricultores con mayor frecuencia, teniendo en cuenta la capacidad de aclimatación a la disminución de la oferta hídrica y el aporte nutricional que proporciona a los consumidores (vacunos y animales menores de corral).

La encuesta y las entrevistas se realizaron de forma presencial, las encuestas estuvieron dirigidos a los comuneros que saben escribir y leer, mientras que las entrevistas para las personas analfabetas y se realizó en lengua quechua. La pregunta de la encuesta se caracteriza por ser cerradas y se evidencia en la Figura N°5.

*Figura 5: Plantilla de preguntas para la encuesta*

**ENCUESTA SOBRE LA OPINIÓN DE LOS AGRICULTORES DE LA COMUNIDAD DE SANTIAGO PATA SOBRE EL CAMBIO DE LA OFERTA HIDRICA Y SU AFECTACION EN LOS CULTIVOS ACTUALES**

1.¿Cree Ud. que la oferta hídrica aumento o disminuyo en los últimos años en la localidad de Santiago Pata?

Aumento

Disminuyo

2.¿Cree Ud. que la productividad cambio considerablemente en la producción de maíz en los últimos años?

Aumento

Disminuyo

NO cambio

4. ¿Cree Ud. que sería una buena opción sembrar forrajes a cambio de maíz?

SI

NO

5. ¿Estaría dispuesto cambiar su monocultivo de maíz por algún tipo de forraje?

SI

NO

6. ¿ De qué manera cree usted el cambio del monocultivo de maíz por algún tipo de forraje cambiaría la economía de los agricultores?

Positiva

Negativa

NO cambia

7. ¿Cuál fue la variación del área de sembrío de los cultivos forrajeros en los últimos años ?

Aumento

Disminuyo

NO cambio

8. ¿Cree Ud, que la variación del agua para la agricultura se dio desde la implementación de sistema de alcantarillado?

SI

NO

9. ¿Se evidenció cambios en el precio de los forrajes en los últimos años ?

SI

NO

Asimismo, la determinación de la textura del suelo, porcentaje de Arcilla, Arena y limo se determinó de una muestra compuesta y analizado en un laboratorio acreditado, la distribución y número de muestras simples se determinó según la guía de muestreo de suelos propuesta por el Ministerio del ambiente (MINAM).

### **3.2.1 Material y equipos de muestreo**

- Laptop
- Lápiz y/o lapiceros
- Cámara fotográfica
- Pico y Lampa
- Hoz de diente
- Papel periódico
- Frasco de boca ancha y bolsa siplop
- Laboratorio
- Papel boom.

### **3.2.2 Composición química del forraje**

Para determinar la composición química del forraje seleccionado se consideró los criterios como: Proteína y Fibra, fueron analizados en el laboratorio acreditado INCALAB DEL PERU acreditado bajo la norma técnica peruana NTP ISO/IEC 17025:2006 (Laboratorio de Ensayo) y la NTP ISO/IEC 17020:2012 (Organismos de inspección), la materia seca y altura del forraje se determinó in situ y se promedió tres mediciones, los valores del análisis del laboratorio y determinados in situ se puede observar en la Tabla N°7.

*Tabla 8: Composición química de la alfalfa, Trébol rojo y Ray Grass*

<b>Vegetal</b>	<b>Altura cm</b>	<b>Materia Seca (%)</b>	<b>Proteína (%)</b>	<b>Fibra Cruda (%)</b>
<b>Alfalfa</b>	60	23.000	7.600	31.120
<b>Trébol Rojo</b>	45	22.000	10.300	29.480
<b>Rye Grass</b>	50	18.000	6.000	10.530

*Fuente: Incalab*

### **Campo clima /ET°**

#### **3.2.3. Datos para la determinación de la evapotranspiración del cultivo**

La variable a estudiar es la evapotranspiración de los cultivos Trébol Rojo, Rye Grass y Alfalfa; para su determinación se consideró datos meteorológicos de la estación ubicada en la provincia de Andahuaylas, ya que esta es la más próxima al área de estudio, La muestra a considerar por estación meteorológica es de 36 meses consecutivos empezando enero del año 2017 de registros históricos.

La data meteorológica mínimo necesario para determinar el requerimiento de riego del cultivo de referencia mediante el software Copwat 8.0 son los siguientes: Velocidad del viento, Temperatura Máxima, Temperatura mínima, Humedad relativa y Radiación. Dicha información se puede observar en la tabla 8 que fue recolectada a la institución de Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

*Tabla 9 Datos Meteorológicos del 2017-2019- Senamhi*

<b>Mes</b>	<b>T° Max</b>	<b>T°Min</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Precipitación (mm)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>
<b>Enero</b>	20.29	9.68	94.41	154.63	1.12
<b>Febrero</b>	20.26	9.63	95.54	128.97	1.08
<b>Marzo</b>	19.76	9.13	95.72	114.33	1.39
<b>Abril</b>	20.00	7.75	94.49	39.80	1.20
<b>Mayo</b>	20.15	5.37	93.25	16.90	1.47
<b>Junio</b>	19.59	4.79	91.75	9.03	1.59
<b>Julio</b>	19.43	4.09	91.50	13.03	1.60
<b>Agosto</b>	20.03	5.38	87.99	14.87	1.72
<b>Setiembre</b>	20.89	7.44	88.30	21.50	1.68
<b>Octubre</b>	21.59	8.54	88.91	54.43	1.51
<b>Noviembre</b>	22.10	9.05	90.74	64.93	1.45
<b>Diciembre</b>	21.76	9.32	91.32	90.77	1.33

Asimismo, para la determinación de la precipitación efectiva se usará la data de la precipitación de la estación meteorológica mencionado anteriormente, dichos datos fueron procesada por el software Crowat 8.0.

*Tabla 10 Campo de precipitación Campo del cultivo*

<b>Mes</b>	<b>Precipitación(mm)</b>	<b>Prec. Efectiva (mm)</b>
<b>Enero</b>	154.6	99.7
<b>Febrero</b>	128.9	79.1
<b>Marzo</b>	114.3	67.4
<b>Abril</b>	39.8	13.9
<b>Mayo</b>	16.9	0.1
<b>Junio</b>	9	0
<b>Julio</b>	13	0
<b>Agosto</b>	14.9	0
<b>Septiembre</b>	21.5	2.9
<b>Octubre</b>	54.4	22.6
<b>Noviembre</b>	64.9	28.9
<b>Diciembre</b>	90.8	48.6
<b>Total</b>	<b>723</b>	<b>363.4</b>

### 3.2.3.1 Coeficiente único del cultivo (Kc).

El coeficiente único del cultivo es dinámico, es decir, cambia a medida que crece la planta, lo cual se tomara en 3 etapas de su crecimiento. (Kc in) es la constante inicial del cultivo, (Kc med) es la constante media, quiere decir cuando el cultivo está en su desarrollo óptimo y finalmente está el (Kc fin) es cuando el cultivo está listo para su cosecha., se obtuvo de estudios realizados en territorio peruano y de la FAO, dicho coeficiente se puede apreciar en la tabla N° 11 y 12.

Asimismo, La duración de cada etapa de crecimiento del cultivo se determinó por la experiencia de los agricultores de la zona, dicha información se puede observar en tabla N°13. Kc para del cultivo de Alfalfa se ha considerado de los trabajos de investigación de (Maguera, 2014), para el caso del Trébol Rojo y Rye Grass, se ha considerado los datos de estudios de (Allen y Raes 2006).

*Tabla 11 Coeficiente único del cultivo de Alfalfa*

<b>Cultivo</b>	<b>Kc Ini</b>	<b>Kc Med</b>	<b>Kc Fin</b>
<b>Alfalfa (Medicago sativa L)</b>	0.90	1.05	1.10

NOTA: Según (Maguera, 2014) el coeficiente único del cultivo varia de la siguiente manera en su etapa inicial es de 0.90, en su etapa de crecimiento máximo es 1.05 y al finalizar su etapa de desarrollo es de 1.10.

*Tabla 12 Coeficiente único del cultivo de Trébol Rojo y Ray Grass*

<b>Cultivo</b>	<b>Kc ini</b>	<b>Kc med</b>	<b>Kc fin</b>
<b>Trébol Rojo</b>	0.30	1.14	1.05



**Ray Grass**                      0.85                      1.00                      0.95

---

NOTA: Según FAO (2006) el coeficiente único del Trébol Rojo de la siguiente manera, al inicio de su desarrollo 0.30, en tu tamaño máximo 1.14 y 1.05 al finalizar su desarrollo, asimismo para el Rye Grass 0.85,1.00 y 0.95 respectivamente.

*Tabla 13 Tiempo (días) en cada uno de las etapas de los cultivos*

<b>Cultivo</b>	<b>Etapas inicial</b>	<b>Etapas desarrollo</b>	<b>Etapas medio</b>	<b>Etapas final</b>	<b>Total</b>
<b>Alfalfa</b>	8	15	15	10	48
<b>Trébol rojo</b>	10	10	15	20	55
<b>Rye Grass</b>	10	15	15	20	60

### 3.2.3.2 Textura del suelo

Para la determinación de la textura del suelo se ubica 10 puntos de muestreo de muestras simples ver tabla N°14, para posteriormente extraer una muestra compuesta siguiendo los pasos recomendados de la guía para muestreo de suelos propuesta por el Ministerio del Ambiente (MINAM), finalmente un análisis en el laboratorio Environmental Testing Laboratory S.A.C. Acreditación ante el INACAL-DA REGISTRO LE-056, los datos de los porcentajes de limo, arcilla y arena son como se muestra en la tabla N° 15.

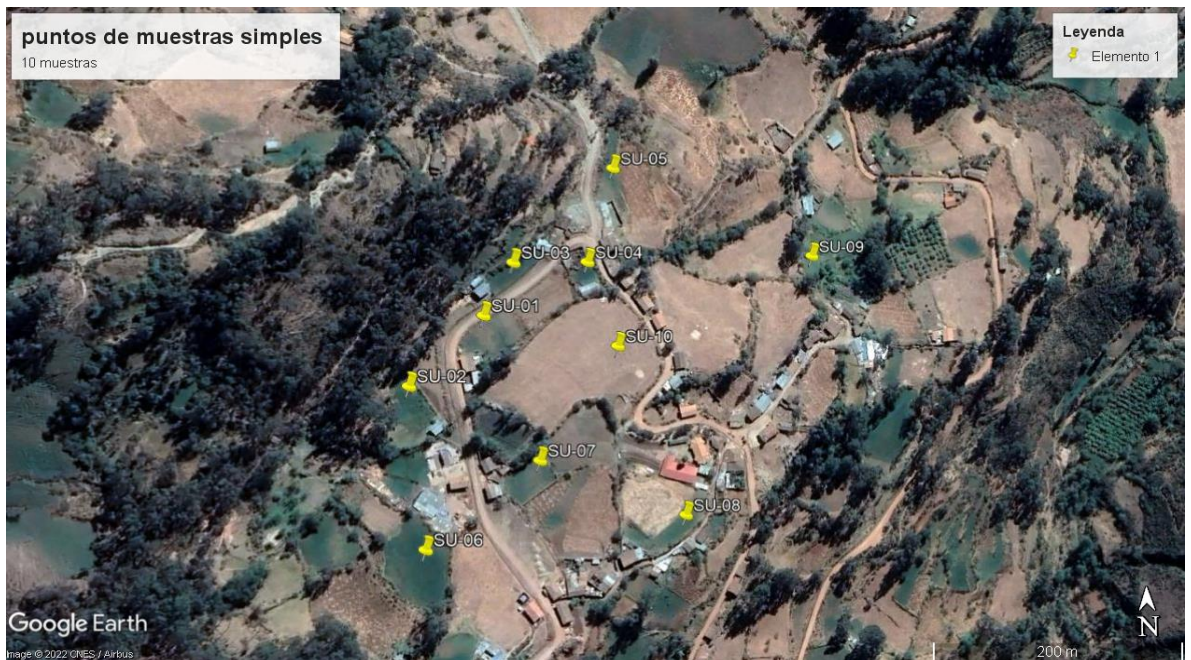
*Tabla 14 Ubicación geográfica de los puntos muestreados (UTM WGS 84 18L)*

<b>Código</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>	<b>Altura(msnm)</b>
<b>SU-01</b>	0 658 477	8 477 869	3152
<b>SU-02</b>	0 658 430	8 477 825	3162
<b>SU-03</b>	0 658 497	8 477 903	3151

<b>SU-04</b>	0 658 544	8 477 903	3134
<b>SU-05</b>	0 658 563	8 477 967	3122
<b>SU-06</b>	0 658 437	8 477 720	3162
<b>SU-07</b>	0658 509	8 477 772	3141
<b>SU-08</b>	0 658 603	8 477 730	3125
<b>SU-09</b>	0 658 699	8 477 905	3092
<b>SU-10</b>	0 658 562	8 477 846	3128

NOTA: El criterio para la designación de los puntos se tomó como referencia en terrenos donde se siembra algún tipo de cultivo para forraje (Alfalfa, Trébol y/o Rye Grass) como se puede evidenciar en la figura 6.

*Figura 6 :Puntos de muestreo de suelo*



*Tabla 15 Textura del suelo de la localidad de Santiago Pata*

<b>Tipo de suelo</b>	<b>Limo (%)</b>	<b>Arena(%)</b>	<b>Arcilla(%)</b>
----------------------	-----------------	-----------------	-------------------

<b>Suelo compuesto</b>	21	74	5
------------------------	----	----	---

---

NOTA: Según Enviro test (2021) la textura promedio del suelo de la localidad de Santiago pata es franco arenoso comprende 5% de arcilla, 74 % de arena y 21% Limo.

### 3.3 Calculo de la evapotranspiración del cultivo.

Para la determinación del cálculo de la evapotranspiración del cultivo se usó el software Crotwat 8.0 el cual hace uso de constante único  $K_c$  del cultivo y la evapotranspiración del cultivo de referencia, es decir, se procedió con 4 pasos importantes que se detalla a continuación.

*Ecuación 3: Ecuación de la evapotranspiración*

$$ET_c = K_c \cdot ET_o \quad (3)$$

$ET_c$  = Evapotranspiración del cultivo

$K_c$  = Constante única del cultivo

$ET_o$  = Evapotranspiración de referencia del cultivo.

**Pasó 1:** Identificación y estimación de las etapas de desarrollo del cultivo, determinando la duración de cada periodo de crecimiento inicial, desarrollo, medio y final.

**Paso 2:** Realizar ajustes a los valores de  $K_c$  seleccionados según las condiciones climáticas o la frecuencia de riego durante cada etapa.

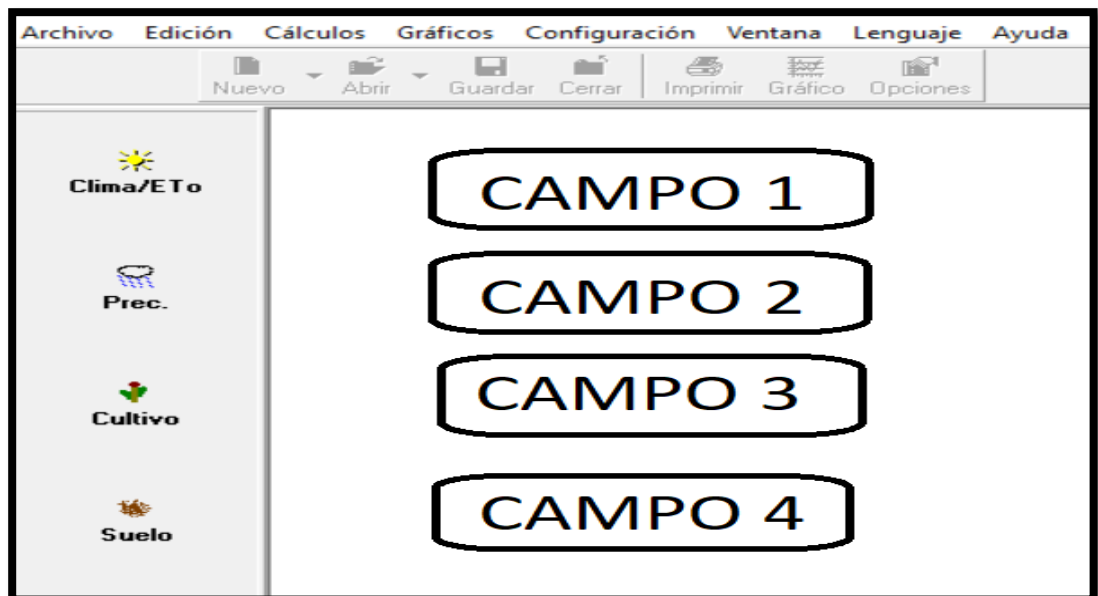
**Paso 3:** Construir la curva del coeficiente del cultivo que permite la determinación de  $K_c$  para cualquier etapa durante su período de desarrollo, sin embargo, en este trabajo se

toma datos de los valores de Kc de estudios que se realizaron en territorio peruano para el cultivo de Alfalfa, asimismo, para el cultivo de Trébol Rojo y Rye Grass de la FAO.

**Paso 4:** Calcular Evapotranspiración del cultivo (ETc) como el producto de la evapotranspiración de referencia (ETo) y coeficiente (Kc).

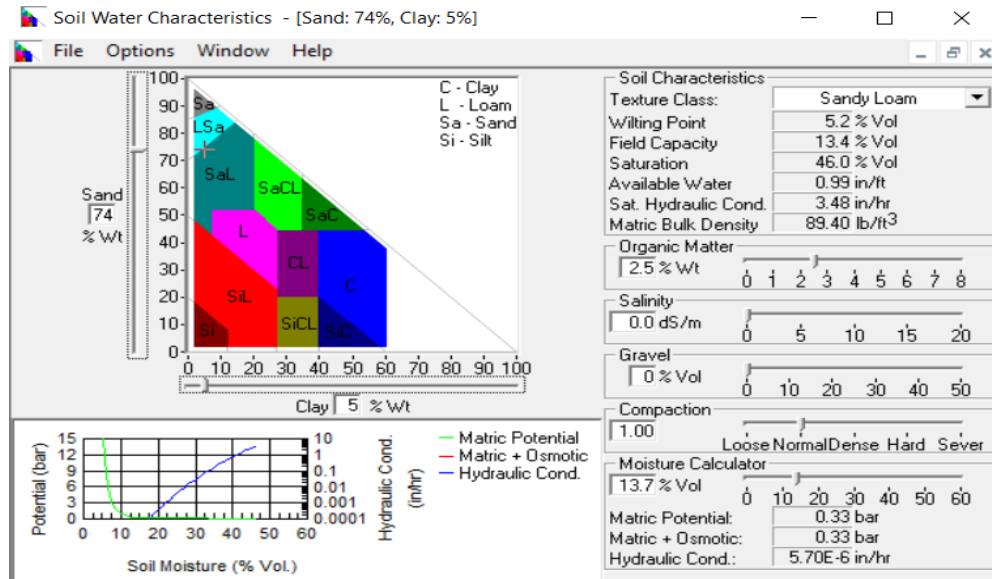
Crotwat tiene cuatro campos muy importantes ,el primero es el clima que sirve para el cálculo indirecto de la evapotranspiración del cultivo de referencia, Segundó la precipitación efectiva de la zona de estudio, tercero propiedades físicas del cultivo como profundidad reticular del cultivo,kc del cultivo, tiempo en cada etapa de crecimiento, agotamiento crítico y altura del cultivo, finalmente el campo del suelo donde se usó el software Soil Water para su determinación a partir de la textura del suelo.

*Figura 7 Campos necesarios para determinar el requerimiento de riego*



NOTA: Este Software permite la determinación a partir de la textura del suelo la humedad del suelo disponible, la tasa máxima de infiltración de la precipitación y el agotamiento inicial de humedad del suelo.

Figura 8 Soil water characteristics



### 3.4 Metodología de entropía de Shannon

En este estudio se usó la entropía de Shannon con el fin de dimensionar el contraste entre criterios, ya que es una metodología objetiva con facilidad de interpretación, el cual nos permite usar esta información para la toma de decisiones, es decir, nos ayudara a elegir el forraje sostenible teniendo en cuenta el requerimiento de agua para su desarrollo y las propiedades alimenticios que aporta.

Para toda probabilidad de cada criterio ( $p_i$ ) dentro de una distribución de probabilidad (P), Shannon desarrolló la medida de la entropía (H), que satisface las siguientes propiedades:

1. H es una función positiva continua.
2. Si todos los  $P_i$  son iguales y  $p_i = 1/n$ , entonces H debería ser una función creciente monotónica de n.

3. Para todos,  $n \geq 2$

$$H(P_1, P_2, \dots, P_n) = h(P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n) + (P_1 + P_2)H\left(\frac{P_1}{P_1 + P_2} + \frac{P_2}{P_1 + P_2}\right)$$

Shannon demostró que la única función que satisface estas condiciones tenía que ser una logarítmica como se puede observar en la ecuación 4.

Ecuación 4: Ecuación que cumple la entropía de Shannon.

$$H_{Shannon} = -\sum_i^n P_i \cdot \log(P_i) \quad (4)$$

Dónde:  $0 \leq p_i \leq 1$                        $\sum_i^n P_i = 1$

Ahora, el método de entropía-peso, que se basa en la entropía de Shannon, se puede desarrollar de acuerdo con la siguiente definición.

Definición 1. Suponga que hay  $m$  objetos para evaluación y  $n$  criterios de evaluación, que forman la decisión matriz  $ij = \{n_j m_i\}, \dots, 2, 1; 2, 1; \{z = Z$ . Entonces, los pasos del método de peso de entropía se pueden expresar de la siguiente manera.

Paso 1:

La matriz  $ij = \{n_j m_i\}$   $Z = \{z_{ij}; i=1,2,3,\dots, m, j=1,2,3, \dots, n,\}$  es normalizado para cada criterio  $C_j$   $C=\{j= 1,2,3,\dots,n\}$ . Los valores normalizados  $P_{ij}$  se calculan mediante Ecuación 5.

*Ecuación 5: Normalización de los valores de las probabilidades*

$$P_{ij} = \frac{z_{ij}}{\sum_{i=1}^m z_{ij}} \quad (5)$$

Paso 2:

La entropía  $H_j$  de cada criterio  $C_j$  se calcula mediante Ecuación 6, que se construyó a partir de la ecuación 3.

Ecuación 6: Entropía de cada criterio

$$H_j = -k \sum_i^n P_i \cdot \log(P_i) \quad (6)$$

Donde k es una constante  $k = \frac{1}{\ln(m)}$  ; m = número de clases

Paso 3:

El grado de divergencia  $div_j$  del intrínseco la información en cada criterio  $C_j$  se calcula mediante ecuación 7.

*Ecuación 7: Grado de divergencia de los criterios*

$$DiV_j = 1 - H_j \quad (7)$$

Paso 4:

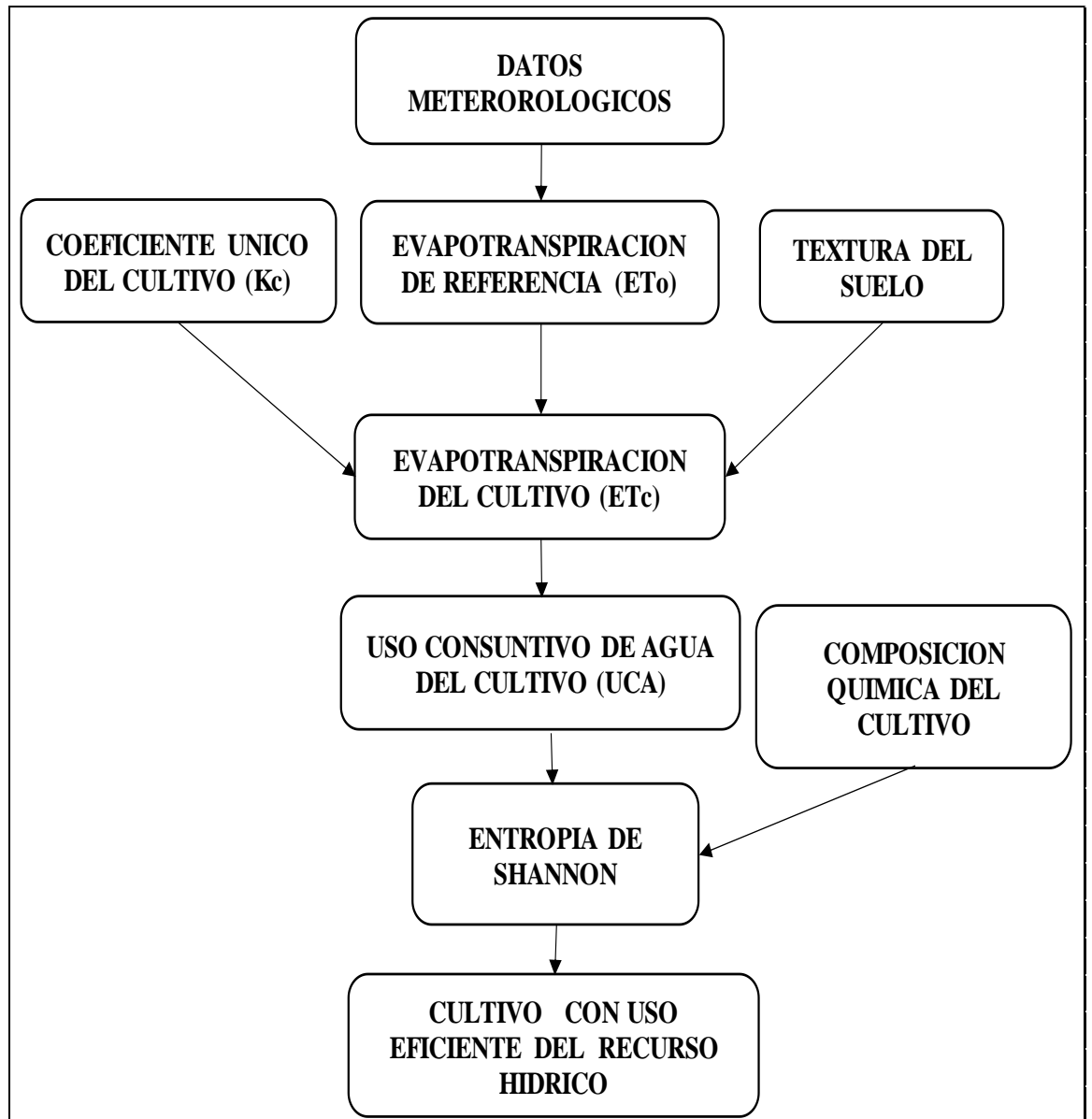
El peso de entropía  $W_j$  de cada criterio  $C_j$  es calculado por la razón de la  $div_j$  entre sumatoria  $div_j$  tal como se muestra en la ecuación 8

*Ecuación 8: Peso de la entropía  $W_j$*

$$W_j = \frac{div_j}{\sum_1^m div_j} \quad (8)$$

### 3.5 Esquema de la metodología

Figura 9: Esquema metodológico para la determinación del cultivo con uso eficiente del recurso



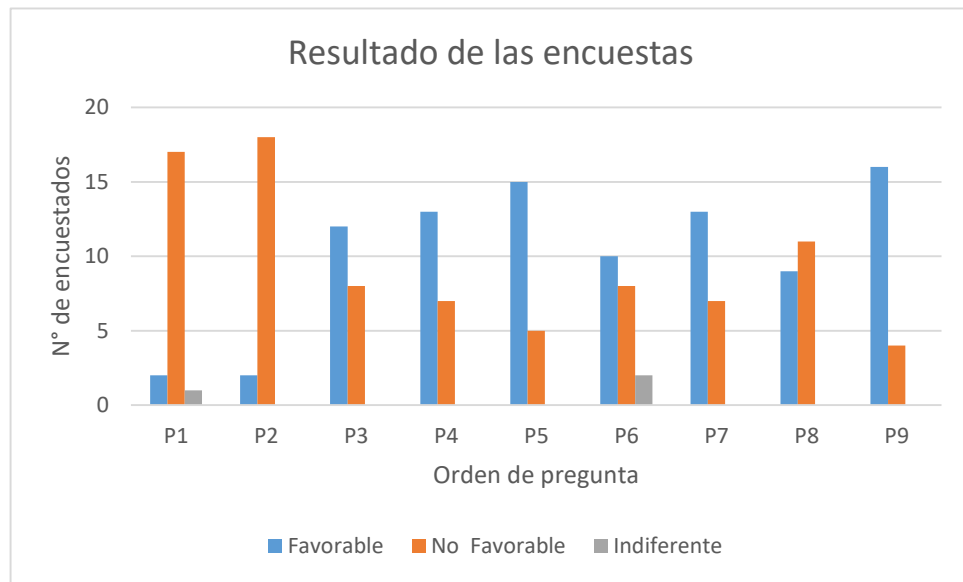
NOTA: La metodología nos ayuda determinar el uso sostenible del recurso hídrico, además, que este aporte gran capacidad nutricional.



## Capítulo 4: CÁLCULO Y RESULTADOS

De las encuestas se evidenció que los agricultores creen que la oferta hídrica del lugar a disminuido considerablemente, el cual afecta a su productividad del monocultivo tradicional (Maíz), por consiguiente, se han dedicado a sembrar diferentes cultivos entre ellos los forrajeros como el Alfalfa, Trébol Rojo y Rye Grass en mayor proporción es por ello que en nuestro estudio se analizó tres variedades de forraje, además creen que una forma de usar eficientemente el recurso hídrico sería sembrando cultivos que requieran poca agua especialmente en el sembrío.

*Figura 10 Resultados de la encuesta*



Nota: Pn representa las preguntas incluidas en el cuestionario de la encuesta que se verifica en la figura N°5.

Para determinar la evapotranspiración del cultivo se usará software Soil Wáter para la determinación de características del suelo, también Crotwat para ETo y requerimiento del cultivo. Asimismo, la composición química y propiedades físicas del cultivo fueron analizado en un laboratorio acreditado y en campo respectivamente.

Finalmente, estos criterios se procesaron por la Entropía de Shannon a continuación se observa los cálculos y resultados de las mismas.

#### 4.1 Evapotranspiración del cultivo (ETc)

La evapotranspiración de los cultivos Alfalfa, Trébol rojo y Rye Grass se determinó mediante el Software Crotwat 8.0, donde procesa información climatológica, propiedades del cultivo y del suelo donde se desarrolla. La evapotranspiración se calculó durante todo el año, teniendo en cuenta el corte del cultivo es su etapa de floreo, además se determinó el requerimiento de riego del cultivo como diferencia de la oferta de la precipitación efectiva y la evapotranspiración.

Finalmente, se promedió los valores de los seis meses, para luego considerar como un criterio el requerimiento de riego en la Entropía de Shannon tal como se muestras en la tabla N° 16,17 y 18.

*Tabla 16 Evapotranspiración del cultivo de alfalfa y su requerimiento de riego*

<b>Siembra</b>	<b>ETc (mm/dec)</b>	<b>Prec. Efec (mm/dec)</b>	<b>Req.Riego (mm/dec)</b>
<b>Diciembre</b>	135.4	104.1	37.7
<b>Febrero</b>	148.5	128.7	21.8
<b>Abril</b>	183.8	14.2	169.6
<b>Junio</b>	191.4	0	191.4
<b>Agosto</b>	188.3	0.4	187.8
<b>Octubre</b>	162.8	37.4	122.6
<b>Promedio</b>	<b>168.367</b>	<b>47.467</b>	<b>121.817</b>

Tabla 17 Evapotranspiración del cultivo de Trébol Rojo y su requerimiento de riego

Siembra	ETc (mm/dec)	Prec. Efec (mm/dec)	Req.Riego (mm/dec)
Diciembre	136.7	127.2	21.9
Febrero	154.4	140	30.8
Abril	189.6	14.2	175.4
Junio	194.9	0	194.9
Agosto	190.3	1.5	188.5
Octubre	162.3	44.7	116.5
<b>Promedio</b>	<b>171.367</b>	<b>54.600</b>	<b>121.333</b>

Tabla 18 Evapotranspiración del cultivo de Rye Grass y su requerimiento de riego

Siembra	ETc(mm/dec)	Prec. Efec(mm/dec)	Req.Riego(mm/dec)
Diciembre	157.7	142.2	32.5
Febrero	177.1	147.4	34.9
Abril	217.2	14.2	202.9
Junio	224.1	0	224.1
Agosto	218.2	2.9	215.1
Octubre	187.1	50.4	135.6
<b>Promedio</b>	<b>196.900</b>	<b>59.517</b>	<b>140.850</b>

#### 4.2 Metodología de entropía de Shannon

Los criterios tomados para el análisis de la entropía son: Altura del cultivo(C1), Capacidad proteica del cultivo (C2), Fibra del cultivo (C3), Materia seca el cultivo(C4) y Requerimiento de riego del cultivo (C5) como se observa en la tabla N° 19.

Asimismo, Los objetos para los análisis considerados en la investigación es la Alfalfa (F1), Trébol rojo (F2) y Ray Grass (F3), ya que son los cultivos que mejor se adapta a la localidad de Santiago Pata, además muchos agricultores los siembra como reemplazo del Maíz, Dichos objetos se pueden observar en la tabla N° 20.

*Tabla 19 Criterios establecidos para el análisis entropía de Shannon*

CRITERIOS	
Altura	C1
Proteína	C2
Fibra Cruda	C3
Materia Seca	C4
Requerimiento de Riego	C5

*Tabla 20 Objetos de estudio para el análisis de la Entropía de Shannon*

OBJETOS	
Alfalfa	F1
Trébol Rojo	F2
Ray Grass	F3

Los criterios como proteína y fibra Cruda de los cultivos fueron analizado en el laboratorio de ensayo, mientras que materia seca y el tamaño de la planta fueron determinados en campo tal como se puede apreciar en la tabla N°21.

Tabla 21 Valores de criterios de cada forraje

Objetos	C1	C2	C3	C4	C5
F1	0.016667	7.600000	31.120000	23.000000	0.008209
F2	0.022222	10.300000	29.480000	22.000000	0.008242
F3	0.020000	6.000000	10.530000	18.000000	0.007100

NOTA: Los valores de los criterios de altura del cultivo(C1) y Requerimiento de riego (C5) son directamente proporcional al consumo de agua, es por ello, que en los cálculos se considera el valor elevado a la menos uno (1) de todo los  $Z_{ij}$ .

Los valores normalizados para cada uno de los criterios  $P_{ij} = \{i=1,2... 3; j=1, 2...5\}$  son las probabilidades cuyo cálculo es según la ecuación N° 5 y los datos de la tabla N°21, los valores obtenidos se muestran en la tabla N°22.

#### Determinación del $P_{11}$

$$P_{11} = \frac{z_{11}}{z_{11} + z_{21} + z_{31}}$$

$$P_{11} = \frac{0.01667}{0.01667 + 0.02222 + 0.02000}$$

$$P_{11} = 0.000105$$

#### Determinación del $P_{21}$

$$P_{21} = \frac{z_{21}}{z_{11} + z_{21} + z_{31}}$$

$$P_{21} = \frac{0.02222}{0.01667 + 0.02222 + 0.02000}$$

$$P_{21}=0.000141$$

### Determinación del $P_{31}$

$$P_{31} = \frac{z_{21}}{z_{11} + z_{21} + z_{31}}$$

$$P_{31} = \frac{0.02000}{0.01667 + 0.02222 + 0.02000}$$

$$P_{31}=0.000126$$

Este procedimiento se realizó en los cuatro criterios restantes, de esta manera los valores obtenidos serían adimensionales.

*Tabla 22 Valores normalizados de los criterios*

Objetos	C1	C2	C3	C4	C5
F1	0.000105	0.048074	0.196851	0.145488	0.0000519
F2	0.000141	0.065144	0.186450	0.139141	0.0000521
F3	0.000126	0.037948	0.066598	0.113843	0.0000449

Para obtener los valores de la entropía se usa la ecuación 6 y se toman los valores de la tabla N°22, el valor se puede observar en la Tabla N°23.

$$H_j = -k \sum_i^n P_i \cdot \log(P_i) \quad (9)$$

Donde k es una constante  $k = \frac{1}{\ln(m)}$  ; m = número de clases

En el presente estudio contiene tres (03) clases;  $m=3$

$$k = \frac{1}{\ln(3)}$$

$$H_1 = - \frac{0.000105 \log(0.000105) + 0.000141 \log(0.000141) + 0.000125 \log(0.000126)}{\ln(3)}$$

$$H_1 = 0.00305$$

$$H_2 = - \frac{0.048074 \log(0.048074) + 0.065144 \log(0.065144) + 0.037948 \log(0.037948)}{\ln(3)}$$

$$H_2 = 0.40776$$

$$H_3 = - \frac{0.196851 \log(0.196851) + 0.186450 \log(0.186450) + 0.066598 \log(0.066598)}{\ln(3)}$$

$$H_3 = 0.74050$$

$$H_4 = - \frac{0.145488 \log(0.145488) + 0.139141 \log(0.139141) + 0.113843 \log(0.113843)}{\ln(3)}$$

$$H_4 = 0.73024$$

$$H_5$$

$$= - \frac{0.0000519 \log(0.0000519) + 0.0000521 \log(0.0000521) + 0.0000449 \log(0.0000449)}{\ln(3)}$$

$$H_5 = 0.00134$$

Tabla 23 Entropía de los criterios

Entropía	C1	C2	C3	C4	C5
Hj	0.00305	0.40776	0.74050	0.73024	0.00134

La divergencia ( $div_j$ ) para los criterios se calcula según la ecuación N°7 , y los valores se muestran en la tabla 24.

$$DiV_j = 1 - H_j \quad (10)$$

$$DiV_1 = 1 - H_1 \quad ; \quad DiV_1 = 1 - 0.00305$$

$$DiV_1 = 0.9970$$

$$DiV_2 = 1 - H_2 \quad ; \quad DiV_2 = 1 - 0.40776$$

$$DiV_2 = 0.5922$$

$$DiV_3 = 1 - H_3 \quad ; \quad DiV_3 = 1 - 0.74050$$

$$DiV_3 = 0.2595$$

$$DiV_4 = 1 - H_4 \quad ; \quad DiV_4 = 1 - 0.73024$$

$$DiV_4 = 0.2698$$

$$DiV_5 = 1 - H_5 \quad ; \quad DiV_5 = 1 - 0.00134$$

$$DiV_5 = 0.9987$$



Tabla 24 Divergencia para cada criterio

Divergencia	C1	C2	C3	C4	C5
Divj	0.9970	0.5922	0.2595	0.2698	0.9987

El peso ( $w_j$ ) para los criterios se calcula según la ecuación N°8, y los valores se muestran en la tabla N°25.

$$W_j = \frac{div_j}{\sum_1^m div_j} \quad (11)$$

$$W_1 = \frac{div_1}{\sum_1^5 div_j}$$

$$W_1 = \frac{0.9970}{0.9970+0.5922+0.2595+0.2698+0.9987} \quad ; \quad W_1 = 0.3198$$

$$W_2 = \frac{div_2}{\sum_1^5 div_j}$$

$$W_2 = \frac{0.5922}{0.9970+0.5922+0.2595+0.2698+0.9987} \quad ; \quad W_2 = 0.1900$$

$$W_3 = \frac{div_3}{\sum_1^5 div_j}$$

$$W3 = \frac{0.2595}{0.9970+0.4301+0.3752+0.2913+0.9987} ; \quad W3 = 0.0832$$

$$W4 = \frac{div_4}{\sum_1^5 div_j}$$

$$W4 = \frac{0.2913}{0.9970+0.4301+0.3752+0.2913+0.9987} ; \quad W4 = 0.0865$$

$$W5 = \frac{div_5}{\sum_1^5 div_j}$$

$$W5 = \frac{0.9987}{0.9970+0.4301+0.3752+0.2913+0.9987} ; \quad W5 = 0.3204$$

*Tabla 25 Peso para cada criterio*

<b>Peso</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>
<b>Wj</b>	0.3198	0.1900	0.0832	0.0865	0.3204

El promedio de las plantas se obtiene de la multiplicación de los pesos a los valores normales tabla N° 22, el valor se puede observar en la tabla N°26.

Para el criterio C1

Promedio (M)=Wj .Pij

$$M_{11} = 0.3224 \times 0.000105 ; \quad M_{11} = 0.000034$$

$$M_{21} = 0.3224 \times 0.000139 ; \quad M_{21} = 0.000045$$

$$M_{31} = 0.3224 \times 0.000125; \quad M_{31} = 0.000040$$

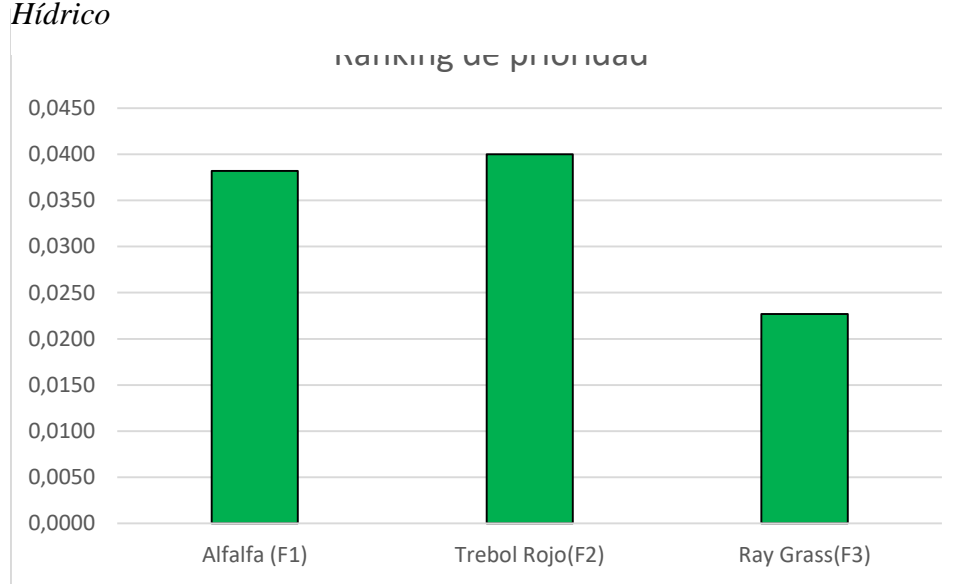
Este procedimiento se realizó para cada criterio, finalmente sumar los valores para cada objeto con el propósito ver el orden de prioridad, tal como se muestra en la tabla 20.

*Tabla 26 Promedio de las plantas*

<b>Objetos</b>	<b>Altura</b>	<b>Proteína</b>	<b>Fibra Cruda</b>	<b>Materia Seca</b>	<b>Riego</b>	<b>Prom</b>
<b>F1</b>	0.000034	0.00913	0.016388	0.012591	0.000017	<b>0.0382</b>
<b>F2</b>	0.000045	0.01237	0.015522	0.012042	0.000017	<b>0.0400</b>
<b>F3</b>	0.000040	0.00721	0.005544	0.009852	0.000014	<b>0.0227</b>

NOTA: El promedio de la tabla N°26 es un indicador del uso sostenible del recurso hídrico por parte del cultivo, es decir indica el orden de prioridad, por lo tanto sembrar Trébol Rojo(F2) es sostenible y muy cerca a ello estaría la Alfalfa (F1) y finalmente el Rye Grass (F3).

*Figura 11 Orden de prioridad de sembrío para usos sostenible de recurso Hídrico*



## **CAPITULO 5: DISCUSION DE RESULTADOS**

Para obtener información primaria mediante entrevistas y encuestas se usó traductores, ya que la población de Santiago Pata en la mayoría son Quechua hablantes y mucho de ellos no saben escribir ni leer, por otro lado, el contexto de la pandemia influyó en la entrevista, ya los pobladores tienen reselo por las personas que vienen de la capital, sin embargo, esta dificultad fue resultado explicando y sustentando carnet de vacunación y certificado de descarte de Covid-19.

En cuanto a la recolección y elección de datos meteorológicas se encontró limitaciones para su obtención, por ello se recurrió a las estaciones más cercanas del área de estudio, es decir, la estación de San Jerónimo de la Provincia de Andahuaylas.

Asimismo, se tomó data de 36 meses a partir de enero del 2017 hasta 2019, debido a que en este periodo las sequías y la falta de agua afectó considerablemente a la localidad de Santiago Pata, por otro lado, no se consideró a partir de 2020 para

adelante ya que por motivos de la pandemia las datas de las estaciones están incompletas.

La información de la textura del suelo del área de estudio no se encontró estudios relacionados pese al lugar alejado y rural, es por ello que la textura del suelo se determinó bajo una muestra compuesta de diez puntos que se designaron de manera aleatoria en los terrenos que se cultiva algún tipo de pasto (alfalfa, Trébol y/o Rye Grass) y analizados en un laboratorio Envirotest acreditado ante el Instituto Nacional de Calidad (INACAL).

En cuanto a la información de las propiedades de las plantas se trabajó de dos maneras una en campo y el segundo analizado en un laboratorio, es decir, el tamaño y materia seca del forraje se determinó in situ, mientras que la proteína y la fibra Cruda se determinó en el laboratorio Inca Lab acreditado ante INACAL.

Para la determinación del requerimiento de riego del cultivo se usó el software Crotwat 8.0 que recomienda la organización de las naciones unidas para la alimentación (FAO) el cual está basado el método de Penman – Monteith que es considerado como un método estándar para la determinación de la evapotranspiración del cultivo a partir de data meteorológica, los valores en milímetros de agua que se determinó fueron similares de la Alfalfa y Trébol Rojo , sin embargo , para Rye Grass se requiere mayor cantidad ,esto se debe que este último tiene mayor tiempo de crecimiento, por lo tanto llega a su vida de adultez 10 días más que sus similares

Finalmente, para la determinación del cultivo sostenible y que ahorre el recurso hídrico en épocas de estiaje se usó un método que sea objetiva y que pueda integrar varios criterios, es por ello, que se usó la Entropía de Shannon para determinar el orden de prioridad en el posible cambio de cultivo de Maíz en la localidad de Santiago pata.



## CAPITULO 6: CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación se determinó el uso sostenible del recurso hídrico para un tipo de forraje, elegida mediante la metodología de Entropía de Shannon en la localidad de Santiago Pata - Andahuaylas-Apurímac, obteniéndose los promedios sostenibles de jerarquía de la siguiente manera 0.0382 para la alfalfa ,0.0400 para el trébol rojo y 0.0227 de Rye Grass, es decir, se concluye que sembrar el cultivo de Trébol Rojo permite usar sosteniblemente el recurso hídrico.

Se determinó la composición química como la capacidad proteica y fibra Cruda en laboratorio INCALAB acreditado ante instituto nacional de calidad (INACAL), además las propiedades físicas del cultivo como tamaño y materia seca se determinó por la medición en campo.

Asimismo, se determinó la textura del suelo de la localidad de Santiago Pata, provincia de Andahuaylas-Apurímac, a partir de una muestra compuesta y se analizó en el laboratorio Envirotest acreditado ante INACAL teniendo una composición 21% de limo,74% de arena y 5 % de arcilla caracterizándose como suelo franco arenoso.

Se determinó el requerimiento de riego del cultivo para su uso sostenible del recurso hídrico de la localidad de Santiago Pata - Andahuaylas-Apurímac. Con la ayuda del software Crotwat 8.0 el cual es 121.817mm para la Alfalfa, 121.333 mm para el Trébol Rojo y 140.85mm.

## **CAPITULO 7: RECOMENDACIONES**

Se recomienda a través de un proyecto experimental sembrar el Trébol Rojo en la localidad de Santiago Pata, para usar sosteniblemente el recurso hídrico, de esta manera afrontar la disminución de la oferta hídrica de la zona, además fomentar a la crianza de ganados y animales de corral, ya que pueden ser alimentados por este forraje. Asimismo, adicionar criterios con la finalidad de obtener resultados completos y poder evidenciar claramente el contraste entre ellos

Se recomienda usar mayor periodo data meteorológica actualizada para la determinación del requerimiento de riego del cultivo, también contar con una estación metodológica en área de estudio para analizar la relación que tiene con la estación metrológica de SENAMHI más cercana ubicado en Andahuaylas, ya que esto permite tener un resultado más exacto.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Abraham, E. (2008). Tierras secas, desertificación y recursos hídricos. *Ecosistemas*, 17(1), 1–4. <https://doi.org/10.7818/re.2014.17-1.00>
2. Acosta, B. (2021). *Gramineas*. Ecología Verde. <https://www.ecologiaverde.com/que-son-las-gramineas-2706.html>
3. Alegria, W. (2016). *Texto Básico Para profesional de ingeniería Forestal en el Área Fisiología Vegetal*. 203.
4. Allen Richard, Luis, P., Dirk, R., & Martin, S. (2006). Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. In *Serie Didáctica, Facultad de Agronomía y Zootécnica, Universidad Nacional de Tucumán*. <http://www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.htm>
5. Asamblea General de las Naciones Unidas. (1987). Informe de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y el Desarrollo: Nuestro futuro común. *Documentos de Las Naciones, Recolección de Un*, 416. <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Informe+de+la+comision+mundial+sobre+el+medio+ambiente+y+el+desarrollo.+nuestro+futuro+comun#5>
6. Asociación Mundial para el Agua. (2000). Manejo integrado de recursos hídricos. In *Asociación Mundial para el Agua* (Vol. 40, Issue 4).
7. Asturnatura.com. (n.d.). *Taxonomía del Trébol Rojo*. Asturnatura.Com. <https://www.asturnatura.com/especie/trifolium-pratense.html>
8. Avilés-Landívar, H. (2006). El valor del agua en la agricultura. *La Granja*, 5(1), 28. <https://doi.org/10.17163/lgr.n5.2006.05>
9. BARLETTA, P., CAMARASA, J., CARTA, H., DE ANDRÉS, A., MÉNDEZ, D., OJUEZ, C., PEREZ, G., SCHENEITER, O., & VAREA, I. (2013). Abundancia de trébol rojo y trébol blanco en pasturas del centro y norte de la provincia de Buenos Aires. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 39(1), 95–104.

10. Basigalup, D. (2007). Panorama actual de la alfalfa en la Argentina. *El Cultivo de La Alfalfa En La Argentina. Ediciones INTA*, 15.
11. Chunyuay, R. Y. (2017). " Eval Uación Del Rendimiento Del Maíz Amiláceo Asociado Al Maíz En Allpas- Acobamba ." *Acobamba - Huancavelica - Peru*, 1–156. [https://repositorio.unh.edu.pe/bitstream/handle/UNH/1247/TP\\_0097.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unh.edu.pe/bitstream/handle/UNH/1247/TP_0097.pdf?sequence=1&isAllowed=y) - UNH AGRON.
12. Delgado, A., & Reyes, E. C. (2016). Applying shannon entropy to select alternative plants as food for livestock: A case study in Ecuador. *CACIDI 2016 - Congreso Argentino de Ciencias de La Informatica y Desarrollos de Investigacion*, 0–4. <https://doi.org/10.1109/CACIDI.2016.7785999>
13. Delgado, D. F. (2015). La Alfalfa (*Medicago sativa*): Origen, Manejo y Producción. In *Conexagro* (Vol. 5). <https://www.jdc.edu.co/revistas/index.php/conexagro/issue/view/52>
14. Dourojeanni, A., & Jouravlev, A. (2001). Crisis de gobernabilidad en la gestión del agua. In *Recursos Naturales e Infraestructura* (Vol. 35).
15. ECOPORT. (2001). *Trifolium pratense Plant*. ECOPORT. [http://ecoport.org/ep?Plant=2104&entityType=PL\\*\\*\\*\\*&entityDisplayCategory=PL\\*\\*\\*\\*1500#PL\\*\\*\\*\\*1500](http://ecoport.org/ep?Plant=2104&entityType=PL****&entityDisplayCategory=PL****1500#PL****1500)
16. FAO. (2021). *Capitulo VI cultivos para Heno -Leguminosa Forrajera y Lugumbres*. FAO. <http://www.fao.org/3/x7660s/x7660s0a.htm>
17. Feedipedia. (2010). *Ryegrass (Lolium spp.)*. Feedipedia. <https://www.feedipedia.org/node/625>  
(Espinoza Freire, (2018))
18. Garay, O. (2019). *Manual de uso consuntivo de agua para principales de los andes centrales Peruanos*. Slideshare.Net. <https://es.slideshare.net/jjames10/manual-consuntivo>

19. García Villanueva, J., Huahuachampi, J., & Soto, L. (2017). Determinación de la demanda hídrica del cultivo de quinua QML01 (*Chenopodium Quinoa Willd*) en la Molina. *Anales Científicos*, 78(2), 200–209. <https://doi.org/10.21704/ac.v78i2.1057>
- Hernandez, J., & Santana Pérez, L. M. (2008). Evapotranspiración Penman-Monteith. Análisis Año 2008. *Agro Cabildo*, 1–77.
20. INASE. (n.d.). *Taxonomía de Ray Gray*. Retrieved August 15, 2021, from <https://www.argentina.gob.ar/inase>
21. InfoAgro. (2018). *Importancia del Agua en la Agricultura*. InfoAgro. <https://mexico.infoagro.com/importancia-del-agua-en-la-agricultura/>
- INIA. (2012). *Blanco Quispicanchi*. 2.
22. Jin, J., & Wang, Y. (2016). Economic Crops under irrigation. *Research on Increasing Production Benefit of Economic Crops under Irrigation*, 1–5. <https://ieeexplore.ieee.org/document/7577647>
23. Mendelsohn, R., & Seo, N. (2007). *Un análisis de la elección de cultivos: la adaptación al cambio climático en las explotaciones agrícolas latinoamericanas*. 1–24. <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/959701468300692300/an-analysis-of-crop-choice-adapting-to-climate-change-in-latin-american-farms>
24. Millennium Ecosystem Assessment. (2003). Ecosystems and Human Well-being: Policy Responses. Appendix D: Glossary. *Millennium Ecosystem Assessment, 2050*, 599–605. <https://www.greenfacts.org/es/glosario/pqrs/sostenibilidad.htm>
25. MINAGRI. (2019). *Ministerio de agricultura y riego*. <http://repositorio.minagri.gob.pe:80/jspui/handle/MINAGRI/304>
26. Monge, M. (2018). La Evapotranspiración de los Cultivos. *Iagua*. <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/evapotranspiracion-y-kc-parte-i>

27. Monteith, J. L. (1965). Evaporation and environment. *Symposia of the Society for Experimental Biology. Evaporation and Environment. Symposia of the Society for Experimental Biology.*, 19, 205–234.  
<https://repository.rothamsted.ac.uk/download/8ae229c1c0ea4f617750d8e98d2ee6c356c306fc01a39bb584a18eb112f443e1/3879831/Monteith65.pdf>
28. Porta, C. J. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente* (3ro ed.). Mundiprensa. [https://www.mendeley.com/catalogue/28190460-4560-30c0-ab2a-f5e07dfac37b/?utm\\_source=desktop&utm\\_medium=1.19.8&utm\\_campaign=open\\_catalog&userDocumentId=%7Bd6dd842f-f811-4d48-88d4-fb7e2e3be391%7D](https://www.mendeley.com/catalogue/28190460-4560-30c0-ab2a-f5e07dfac37b/?utm_source=desktop&utm_medium=1.19.8&utm_campaign=open_catalog&userDocumentId=%7Bd6dd842f-f811-4d48-88d4-fb7e2e3be391%7D)
- Schuschny, A., & Soto, H. (2009). Guía metodológica Diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible Andrés Schuschny. *Cepal*, 109.
29. SENAMHI. (2018). Buen Clima ,Glosario de terminos meterologicos. *Servicio Nacional de Meterologia e Hidrologia Del Peru*, 147.
30. Shannon, C., & Weaver, W. (1998). *The Mathematical Theory of Communication* (16th ed.). The University of Illinois Press.  
<https://www.press.uillinois.edu/books/catalog/67qhn3ym9780252725463.html>
31. Squeo, F., & Mario, L. (2007). Capítulo III: Transpiración. *Fisiología Vegetal*, 1, 2–7.  
[http://www.biouls.cl/librofv/web/pdf\\_word/Capitulo 03.pdf](http://www.biouls.cl/librofv/web/pdf_word/Capitulo%2003.pdf)
32. Tarjuelo, M. (2005). El riego por aspersion y su tecnología. *Prensa Mundi*, 581.
33. USDA. (2014). *Textura del Suelo*. La Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura.  
[http://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6706s/x6706s06.htm](http://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm)
34. Wu, W. C. (2010). Study on water resources economic value of a particular basin. *Proceedings of the International Conference on E-Business and E-Government, ICEE 2010*, 840–843. <https://doi.org/10.1109/ICEE.2010.218>

**ANEXOS**

*Tabla 27 Operacionalización de variables*

<b>Variables de Interés</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Valores Finales</b>	<b>Tipo de Variable</b>
<b>1. Cultivo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requerimiento de riego del cultivo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Milímetros</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Numérico (continuo)</li> </ul>
<b>2. Uso sostenible del recurso hídrico.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Índice de Shannon</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Malo</li> <li>• Regular</li> <li>• Bueno</li> <li>• Muy bueno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Categórico (ordinal)</li> </ul>
<b>Variables Intervinientes</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Valores Finales</b>	<b>Tipo de Variable</b>
<b>3. Variables intervinientes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad del Viento</li> <li>• Lluvia</li> <li>• Temperatura</li> <li>• Humedad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Metros/Seg</li> <li>• Milímetros</li> <li>• Grados Celsius</li> <li>• Porcentaje</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Numérico (continuo)</li> </ul>

Tabla 28 Matriz de Consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología	
<p><b>Problema central:</b> ¿Permite el Uso Sostenible de Recurso Hídrico en la Selección de un tipo de Forraje Mediante la Metodología de Entropía de Shannon en la Localidad de Santiago Pata-Andahuaylas-Apurímac?</p> <p><b>Problema específico:</b> ¿Cuál es el cultivo cuyo requerimiento de riego permite el uso sostenible de recurso hídrico?</p>	<p><b>Objetivo Principal:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Estimar el uso sostenible del recurso hídrico para un tipo de forraje, elegida mediante la metodología de Entropía de Shannon en la localidad de Santiago Pata - Andahuaylas-Apurímac.</li> </ul> <p>Objetivos secundarios:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Determinar la composición química como la capacidad proteica y fibra Cruda, además las propiedades físicas del cultivo como tamaño y materia seca.</li> <li>•Determinar el requerimiento de riego del cultivo para su uso sostenible del recurso hídrico de la localidad de Santiago Pata - Andahuaylas-Apurímac.</li> <li>•Determinar la textura del suelo de la localidad de Santiago Pata, provincia de Andahuaylas-Apurímac</li> </ul>	<p><b>Hipótesis General:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•La metodología de Entropía de Shannon, permitirá la elección al cultivo de alfalfa para su uso sostenible del recurso hídrico en la localidad de Santiago Pata-Andahuaylas –Apurímac.</li> </ul> <p><b>Hipótesis específicos</b></p> <p>El cultivo cuyo requerimiento de riego permite el uso sostenible de recurso hídrico será la alfalfa.</p>	<p><b>Variable de Interés</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Cultivo</li> <li>•Uso sostenible del recurso hídrico.</li> </ul> <p><b>Variables intervinientes.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•El viento</li> <li>•Temperatura</li> <li>•Lluvia etc.</li> </ul>	<p><b>Primera Etapa:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Recopilación de información por medio de encuestas y entrevistas sobre los cultivos forrajeros, teniendo en cuenta la capacidad de adaptación a las condiciones geográficas y climáticas del distrito de Huancaray además sean con altos propiedades alimenticias.</li> </ul> <p><b>Segunda etapa</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Determinar la composición química de los forrajes y la textura del suelo.</li> <li>•Determinación del requerimiento de riego del cultivo</li> </ul> <p><b>Tercera etapa</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis de la entropía de Shannon para seleccionar un tipo de forraje</li> </ul>	<p><b>Población:</b></p> <p>Los agricultores de la Comunidad de Santiago Pata.</p> <p><b>Muestra:</b></p> <p>Terreno de 2 ha que de maíz y de forraje.</p>

*Tabla 29: Cronograma del trabajo de investigación*

Actividad \ Mes	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7
Recopilación de datos							
Determinación de forraje							
Estimación de la demanda hídrica del cultivo (Requerimiento de Riego)							
Organización de los documentos							
Redacción del informe de tesis							
Presentación del informe de tesis							

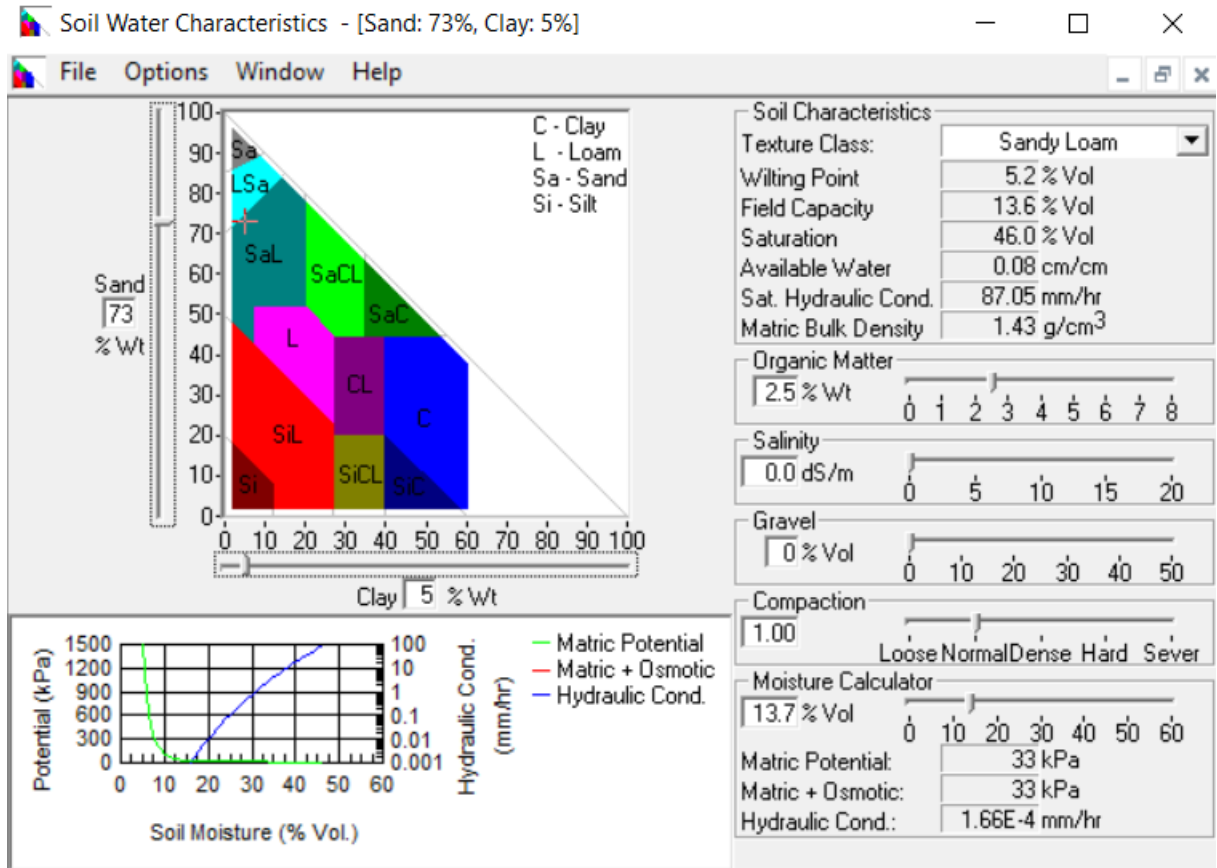


*Tabla 30 Costos y Presupuesto Para la Elaboración de Tesis.*

<b>Actividad</b>	<b>Etapa</b>	<b>Costo (soles)</b>
<b>Recolección de datos y entrevistas</b>	1 y 2	500.00
<b>Viajes y estadía</b>	1-7	1,500.00
<b>Herramientas para cultivar forrajes</b>	2-4	400.00
<b>Alquiler de terreno</b>	1-7	500.00
<b>CD, papeles e impresiones</b>	7	300.00
<b>Análisis de laboratorio</b>	4	1,500.00
<b>Personal de apoyo</b>	1-7	600.00
<b>Otros gastos</b>	1-7	1,000.00
	<b>Total</b>	<b>6,300.00</b>

NOTA: El trabajo de investigación es financiado con el 50% por la municipalidad distrital de Huancaray provincia de Andahuaylas, Apurímac

Figura 12 Análisis del componente suelo con el software soil wáter



### Materiales y Equipos

- Cámara fotográfica
- Laptop
- Papel, cuaderno y bolígrafos
- Terreno para los forrajes
- Herramientas pico, lampa, wincha etc.
- Tablet
- Equipos de laboratorio

**ANEXO 3****Panel fotográfico**

Entrevista a la señora Pelagia Cárdenas ,agricultora y dedicada a la crianza tecnificado de animales de corral



Entrevista a los agricultores que se dedican a la siembra de cultivos para forraje.



Encuestas y entrevista a las autoridades de la localidad de Santiago pata.



Recojo de muestra de los cultivos (Alfalfa ,Trébol Rojo y Rye Grass) para su análisis de proteína y fibra Cruda en el laboratorio INCALAB.



Recojo de muestra de suelo  
para su análisis de textura en  
el laboratorio ENVIROTEST



**INFORME DE ENSAYO N° 000081957**

CLIENTE: PALOMINO ROMERO EDISON  
 DOMICILIO LEGAL: ( )  
 REFERENCIA CLIENTE: T- 01  
 CÓDIGO TYPSA: 000074700  
 MATRIZ: Alimentos preparados  
 DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA: Cotización N° 00020007702  
 Producto: Trebol Rojo  
 DESCRIPCIÓN PROCEDIMIENTO TOMA DE MUESTRA: Tomada por el cliente  
 CONDICIONES AMBIENTALES EN LA TOMA DE MUESTRAS:  
 DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO:  
 FECHA DE TOMA: 11/10/2022 03:30:00 p.m.  
 FECHA DE RECEPCIÓN: 12/01/2022  
 FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS: 12/01/2022 - 21/01/2022

**RESULTADOS ANALITICOS FISICO-QUÍMICOS GENERALES**

Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Técnica Empleada	L.D.
Fibra cruda	% Fibra cruda	29.48	NTP 205.003 Cereales y Menestras . Determinación de Fibra Cruda	Gravimetrica	0.1
Proteína base húmeda	% Proteína	10.3	ISO 20483:2013	Cereals and pulses, Determination of the nitrogen content and calculation of the crude protein content. Kjeldahl method	0.20

Callao, 21 de Enero de 2022

  
 Director Técnico Laboratorio  
 José Luis Ramírez Campos  
 CQP N° 897

L.C. Límite de cuantificación/L.D. Límite de detección

Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por el **INACAL - DA**

NOTA:  
 Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de TYPSA, S.A. Sucursal del Perú. Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendario después de la recepción de la muestra en el laboratorio. Resultados válidos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce **LABORATORIO TYPSA PERÚ**, Urb. Parque Industrial Callao. C/ Delta, 269. Callao. Telf 511-711-9736/711-9753 E-mail: [labperu@typsa.com](mailto:labperu@typsa.com)

**INFORME DE ENSAYO N° 000081959**

CLIENTE: PALOMINO ROMERO EDISON  
 DOMICILIO LEGAL: ( )  
 REFERENCIA CLIENTE: A - 01  
 CÓDIGO TYPSA: 000074702  
 MATRIZ: Alimentos preparados  
 DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA: Cotización N° 00020007702  
 Producto: Alfalfa  
 DESCRIPCIÓN PROCEDIMIENTO TOMA DE MUESTRA: Tomada por el cliente  
 CONDICIONES AMBIENTALES EN LA TOMA DE MUESTRAS:  
 DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO:  
 FECHA DE TOMA: 11/10/2022 03:30:00 p.m.  
 FECHA DE RECEPCIÓN: 12/01/2022  
 FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS: 12/01/2022 - 21/01/2022

**RESULTADOS ANALÍTICOS FÍSICO-QUÍMICOS GENERALES**

Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Técnica Empleada	L.D.
Fibra cruda	% Fibra cruda	31.12	NTP 205.003 Cereales y Menestras . Determinación de Fibra Cruda	Gravimétrica	0.1
Proteína base húmeda	% Proteína	7.6	ISO 20483:2013	Cereals and pulses.Determination of the nitrogen content and calculation of the crude protein content. Kjeldahl method	0.20

Callao, 21 de Enero de 2022

  
**Director Técnico Laboratorio**  
 José Luis Ramírez Campos  
 CQP N° 897

L.C. Límite de cuantificación/L.D. Límite de detección

Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por el **INACAL - DA**

NOTA:

Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de TYPSA, S.A. Sucursal del Perú. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendario después de la recepción de la muestra en el laboratorio. Resultados válidos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce **LABORATORIO TYPSA PERÚ**, Urb. Parque Industrial Callao, C/ Delta, 269, Callao. Telf 511-711-9736/711-9753 E-mail: [labperu@typsa.com](mailto:labperu@typsa.com)

**INFORME DE ENSAYO N° 000081958**

CLIENTE: PALOMINO ROMERO EDISON  
 DOMICILIO LEGAL: ( )  
 REFERENCIA CLIENTE: R - 01  
 CÓDIGO TYPSA: 000074701  
 MATRIZ: Alimentos preparados  
 DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA: Cotización N° 00020007702  
 Producto: Ray Grass  
 DESCRIPCIÓN PROCEDIMIENTO TOMA DE MUESTRA: Tomada por el cliente  
 CONDICIONES AMBIENTALES EN LA TOMA DE MUESTRAS:  
 DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO:  
 FECHA DE TOMA: 11/10/2022 03:30:00 p.m.  
 FECHA DE RECEPCIÓN: 12/01/2022  
 FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS: 12/01/2022 - 21/01/2022

**RESULTADOS ANALITICOS FISICO-QUÍMICOS GENERALES**

Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Técnica Empleada	L.D.
Fibra cruda	% Fibra cruda	10.53	NTP 205.003 Cereales y Menestras . Determinación de Fibra Cruda	Gravimétrica	0.1
Proteína base húmeda	% Proteína	6.0	ISO 20483:2013	Cereals and pulses.Determination of the nitrogen content and calculation of the crude protein content. Kjeldahl method	0.20

Callao, 21 de Enero de 2022

L.C. Límite de cuantificación/L.D. Límite de detección

Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por el **INACAL - DA**

NOTA:

Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de TYPSA, S.A. Sucursal del Perú. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendario después de la recepción de la muestra en el laboratorio. Resultados válidos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce **LABORATORIO TYPSA PERÚ**, Urb. Parque Industrial Callao, C/ Delta, 269, Callao, Telf 511-711-9736/711-9753 E-mail: [labperu@typsa.com](mailto:labperu@typsa.com)



## INFORME DE ENSAYO N° 220211 CON VALOR OFICIAL

Razón Social : EDISON PALOMINO ROMERO  
 Domicilio Legal : Cal. Simón Nro. 150 Dpto. 402 Urb. San Borja Sur, Lima - Lima - San Borja  
 Solicitado por : INCALAB DEL PERU S.A.C.  
 Referencia : Cotización N° 116-2022  
 Proyecto : Ensayo de muestra de suelo.  
 Procedencia : HUANCARAY-ANDAHUAYLAS  
 Muestreo Realizado por : EL CLIENTE  
 Cantidad de Muestras : 1  
 Producto : Suelos  
 Fecha de Recepción : 12/01/2022  
 Fecha de Ensayo : 12/01/2022 al 24/01/2022  
 Fecha de Emisión : 25/01/2022

### I. Resultados

Código de Laboratorio		220211-01		
Código del Cliente		S-01		
Fecha de Muestreo		11/01/2022		
Hora de Muestreo (h)		15:00		
Ubicación Geográfica (WGS 84)		NO APLICA		
Tipo de Producto		Suelo		
Tipo de Ensayo	Unidad	L.D.M.	L.C.M.	Resultados
<b>Laboratorio Físico Químico</b>				
<b>Textura (*)</b>				
Arcilla	%	NA	0,1	4,6
Arena	%	NA	0,1	73,5
Clase Textural	no unidad	NA	NA	Franco Arenoso
Limo	%	NA	0,1	21,9

Leyenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.C.M. o L.D.M. indicado, "(z)"=Resolución cuantificable, "(y)" = Límite de Detección de Método.

(\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL - DA

## INFORME DE ENSAYO N°220211 CON VALOR OFICIAL

### II. Métodos y Referencias

Tipo de Ensayo	Norma Referencia	Título
Laboratorio Físico Químico		
Textura (*)	NOM-021-RECNAT-2000- AS-09	NOM-021-RECNAT-2000- AS-09 / TEXTURA

\*NOM\*: Norma Oficial Mexicana

(\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL - DA

### III. Observaciones

Los Resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.


  
 Quím. Rocio Marcelo Ch.  
 Supervisor de Laboratorio  
 Inorgánico  
 C.Q.P. 1415

Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada, según la cadena de custodia correspondiente. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto. El tiempo de custodia de la muestra es de un mes calendario desde el ingreso de la muestra al Laboratorio. El tiempo de custodia del informe de ensayo, tanto en digital como en físico es de 4 años. El tiempo de perecibilidad de la muestra está en función a lo declarado en los métodos normalizados de ensayo y tipo desde la toma de muestra. Está prohibido la reproducción parcial del presente documento, salvo autorización de Envirotest S.A.C. Los resultados se relacionan solamente con los ítems de ensayo, bajo las condiciones de las muestras como se recibieron. Para verificar la autenticidad del presente informe de ensayo solicitar información al correo [info@envirotest.com.pe](mailto:info@envirotest.com.pe)

\*\*FIN DEL INFORME\*\*

**ENCUESTA SOBRE LA OPINIÓN DE LOS AGRICULTORES DE LA COMUNIDAD DE SANTIAGO PATA SOBRE EL CAMBIO DE LA OFERTA HIDRICA Y SU AFECTACION EN LOS CULTIVOS ACTUALES**

1. ¿Cree Ud. que la oferta hídrica aumento o disminuyo en los últimos años en la localidad de Santiago Pata?

Aumento

Disminuyo

2. ¿Cree Ud. que la productividad cambio considerablemente en la producción de maíz en los últimos años?

Aumento

Disminuyo

NO cambio

3. ¿Cree Ud. que sembrar cultivos de forraje sería una solución del conflicto en accesibilidad al recurso hídrico en la etapa de sembrío específicamente?

SI

NO

4. ¿Cree Ud. que sería una buena opción sembrar forrajes a cambio de maíz?

SI

NO

5. ¿Estaría dispuesto cambiar su monocultivo de maíz por algún tipo de forraje?

SI

NO

6. ¿De qué manera cree usted el cambio del monocultivo de maíz por algún tipo de forraje cambiaría la economía de los agricultores?

Positiva     Negativa     NO cambia

7. ¿Cuál fue la variación del área de sembrío de los cultivos forrajeros en los últimos años ?

Aumento     Disminuyo     NO cambio

8. ¿Cree Ud, que la variación del agua para la agricultura se dio desde la implementación de sistema de alcantarillado?

SI     NO

9. ¿se evidenció cambios en el precio de los forrajes en los últimos años ?

SI     NO



6. ¿De qué manera cree usted el cambio del monocultivo de maíz por algún tipo de forraje cambiaría la economía de los agricultores?

Positiva     Negativa     NO cambia

7. ¿Cuál fue la variación del área de sembrío de los cultivos forrajeros en los últimos años ?

Aumento     Disminuyo     NO cambio

8. ¿Cree Ud, que la variación del agua para la agricultura se dio desde la implementación de sistema de alcantarillado?

SI     NO

9. ¿Se evidenció cambios en el precio de los forrajes en los últimos años ?

SI     NO