



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRONOMICA**



**“EFECTO DE COBERTURAS CON LEGUMINOSAS PARA  
REDUCIR LA EROSIÓN HÍDRICA Y MEJORAR LA CALIDAD  
DEL SUELO EN EL CULTIVO DE QUINUA (*Chenopodium quinoa*  
Willd) - PUNO”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. REGIS DORA PACHO APAZA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**PUNO – PERÚ**

**2021**



## DEDICATORIA

*La presente tesis está dedicado primeramente a dios, por su infinita bondad y llenarme de fuerza para vencer todos los obstáculos desde el principio de mi vida y así lograr una de mis metas.*

*A mis padres Nicolás y Dora Josefina, por brindarme su apoyo moral y amor incondicional a lo largo de mi formación profesional.*

*A mis hermanas (os) Dandy, Ayde, Sandra, Gil, Nela, Edith y Nico, quienes me brindaron su apoyo incondicional y estuvieron a mi lado dándome palabras de aliento para superar los contratiempos que se me presentaron durante el desarrollo de esta tesis.*

*A mi tía Raymunda que es como mi segunda madre, con todo mi cariño y amor, por motivarme constantemente y ser mi soporte a lo largo de mi vida.*

**Regis Pacho**



## AGRADECIMIENTOS

- Primeramente, agradezco a dios por permitirme vivir y disfrutar de cada día, quien ha forjado mi camino y me ha dirigido al sendero correcto, el que en todo momento está conmigo ayudándome a aprender de mis errores.
- A la Universidad Nacional del Altiplano- Puno “ALMA MATER” de mi formación académica, especialmente a la Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica.
- Al Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) - Estación Experimental Illpa – Puno, Por el apoyo y financiamiento de la presente investigación, a través del programa presupuestal 089 “Reducción de la degradación de suelos agrarios”, especialmente a mis asesores de tesis al Ing. Jorge Canihua Rojas y Ing. Selima M. Salcedo Mayta, por su apoyo, confianza y generosidad de compartir sus conocimientos durante la ejecución y elaboración de la tesis.
- A mi director de tesis Dr. Sc. Ernesto Javier Chura Yupanqui, por su apoyo, tiempo y motivación para mejorar la presente tesis.
- A los miembros del jurado Dr. Sc. Elisban Uriel Huanca Quiroz, M.Sc. Dawes Ramos Alata e M.Sc. Abdon Charaja Villalta, por sus aportes para mejorar el presente trabajo de investigación.
- Al Ing. Vilk Modesto Checalla Mamani e Ing. Gil Josué Lope Lope por su apoyo en la parte estadística de mi proyecto de investigación y consejos brindados para su culminación.
- En general agradezco a todas esas personas que de alguna manera me brindaron su apoyo, cariño y amistad en todo el trayecto de la ejecución de la presente tesis.

***Regis Pacho***



# ÍNDICE GENERAL

Pág.

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 16**

**ABSTRACT..... 17**

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

**1.1. OBJETIVO GENERAL ..... 19**

**1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS ..... 19**

## **CAPITULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1. CULTIVO DE QUINUA ..... 20**

2.1.1. Centro de origen ..... 20

2.1.2. Posición taxonómica..... 21

2.1.3. Requerimientos del cultivo ..... 21

**2.2. MANEJO DEL CULTIVO..... 23**

2.2.1. Preparación del terreno ..... 23

2.2.2. Siembra..... 24

2.2.3. Abonamiento ..... 24



|                                                                 |           |
|-----------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.2.4. Labores culturales.....                                  | 25        |
| 2.2.5. Cosecha.....                                             | 25        |
| 2.2.6. Rendimiento .....                                        | 26        |
| <b>2.3. COBERTURA VEGETAL.....</b>                              | <b>27</b> |
| 2.3.1. Ventajas y desventajas.....                              | 27        |
| <b>2.4. COBERTURAS VIVAS A UTILIZAR.....</b>                    | <b>28</b> |
| 2.4.1. Trébol carretilla ( <i>Medicago hispida</i> Gaertn)..... | 28        |
| 2.4.2. Vicia ( <i>Vicia sativa</i> L.) .....                    | 30        |
| 2.4.3. Tarwi ( <i>Lupinus mutabilis</i> Sweet) .....            | 31        |
| <b>2.5. FIJACIÓN BIOLÓGICA DEL NITRÓGENO.....</b>               | <b>33</b> |
| <b>2.6. IMPORTANCIA DE LAS LEGUMINOSAS EN EL SUELO .....</b>    | <b>34</b> |
| <b>2.7. CULTIVOS ASOCIADOS .....</b>                            | <b>35</b> |
| <b>2.8. LA EROSIÓN HÍDRICA EN EL PERÚ Y EL MUNDO.....</b>       | <b>36</b> |
| <b>2.9. EROSIÓN .....</b>                                       | <b>37</b> |
| <b>2.10. EROSIÓN HÍDRICA.....</b>                               | <b>38</b> |
| <b>2.11. ETAPAS DE LOS PROCESOS DE LA EROSIÓN .....</b>         | <b>38</b> |
| <b>2.12. FACTORES DE EROSIÓN HÍDRICA .....</b>                  | <b>40</b> |
| <b>2.13. TIPOS DE EROSIÓN.....</b>                              | <b>42</b> |
| <b>2.14. MÉTODO PARA ESTIMAR LA EROSIÓN HÍDRICA .....</b>       | <b>44</b> |
| 2.14.1. Método de los clavos.....                               | 44        |
| <b>2.15. CUANTIFICACIÓN DE PERDIDAS.....</b>                    | <b>46</b> |
| <b>2.16. FERTILIDAD DEL SUELO.....</b>                          | <b>46</b> |
| <b>2.17. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS .....</b>                      | <b>47</b> |
| 2.17.1. Textura .....                                           | 47        |
| 2.17.2. Densidad aparente .....                                 | 47        |



|                                               |           |
|-----------------------------------------------|-----------|
| 2.17.3. Densidad real.....                    | 48        |
| 2.17.4. Porosidad.....                        | 48        |
| <b>2.18. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS .....</b>   | <b>48</b> |
| 2.18.1. pH.....                               | 49        |
| 2.18.2. Conductividad eléctrica.....          | 49        |
| 2.18.3. Nitrógeno.....                        | 50        |
| 2.18.4. Fósforo .....                         | 50        |
| 2.18.5. Potasio .....                         | 51        |
| 2.18.6. Calcio .....                          | 51        |
| 2.18.7. Magnesio .....                        | 51        |
| 2.18.8. Sodio .....                           | 52        |
| <b>2.19. CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS .....</b> | <b>52</b> |
| 2.19.1. Materia orgánica.....                 | 52        |
| 2.19.2. Macrofauna .....                      | 53        |
| 2.19.3. Mesofauna .....                       | 54        |
| 2.19.4. Microfauna .....                      | 54        |
| <b>CAPITULO III</b>                           |           |
| <b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>                   |           |
| <b>3.1. UBICACIÓN DEL PROYECTO.....</b>       | <b>55</b> |
| 3.1.1. Ubicación política.....                | 55        |
| 3.1.2. Ubicación geográfica.....              | 55        |
| 3.1.3. Coordenadas Chancarani – Mañazo .....  | 55        |
| <b>3.2. CLIMA .....</b>                       | <b>55</b> |
| <b>3.3. RELIEVE.....</b>                      | <b>57</b> |
| <b>3.4. SUELO .....</b>                       | <b>58</b> |



|                                                                               |           |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>3.5. VEGETACIÓN.....</b>                                                   | <b>58</b> |
| <b>3.6. EL HOMBRE Y EL TIEMPO .....</b>                                       | <b>59</b> |
| <b>3.7. CARACTERÍSTICAS DEL CAMPO EXPERIMENTAL .....</b>                      | <b>59</b> |
| <b>3.8. DESCRIPCIÓN DE TRATAMIENTOS .....</b>                                 | <b>60</b> |
| <b>3.9. CROQUIS DEL CAMPO EXPERIMENTAL .....</b>                              | <b>60</b> |
| <b>3.10. DISEÑO EXPERIMENTAL .....</b>                                        | <b>60</b> |
| <b>3.11. FACTORES DE ESTUDIO.....</b>                                         | <b>61</b> |
| <b>3.12. VARIABLES DE RESPUESTA .....</b>                                     | <b>61</b> |
| <b>3.13. EFICIENCIAS.....</b>                                                 | <b>62</b> |
| <b>3.14. PRUEBA DE NORMALIDAD Y HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS</b><br><b>.....</b> | <b>62</b> |
| <b>3.15. MATERIALES DE CAMPO .....</b>                                        | <b>62</b> |
| 3.15.1. Material vegetal.....                                                 | 62        |
| 3.15.2. Dosis de aplicación de coberturas .....                               | 63        |
| 3.15.3. Material de laboratorio .....                                         | 63        |
| 3.15.4. Material de gabinete .....                                            | 63        |
| 3.15.5. Material de campo .....                                               | 63        |
| 3.15.6. Instrumentos de colecta de datos.....                                 | 64        |
| <b>3.16. CONDUCCIÓN DEL EXPERIMENTO .....</b>                                 | <b>64</b> |
| 3.16.1. Preparación de terreno.....                                           | 64        |
| 3.16.2. Abonamiento .....                                                     | 64        |
| 3.16.3. Siembra de quinua.....                                                | 65        |
| 3.16.4. Aporque.....                                                          | 65        |
| 3.16.5. Control de malezas .....                                              | 66        |
| 3.16.6. Siembra de leguminosas.....                                           | 66        |



|                                                                                                          |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.16.7. Instalación de varillas de erosión .....                                                         | 67        |
| 3.16.8. Plagas y enfermedades .....                                                                      | 67        |
| 3.16.9. Cosecha .....                                                                                    | 68        |
| <b>3.17. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS... 68</b>                                       |           |
| 3.17.1. Análisis de caracterización de suelo .....                                                       | 68        |
| 3.17.2. Densidad aparente .....                                                                          | 68        |
| 3.17.3. Biomasa foliar de leguminosas .....                                                              | 69        |
| 3.17.4. Varillas de erosión.....                                                                         | 69        |
| 3.17.5. Rendimiento de grano .....                                                                       | 70        |
| <b>CAPITULO IV</b>                                                                                       |           |
| <b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>                                                                            |           |
| <b>4.1. INFLUENCIA DE LA COBERTURA VEGETAL CON LEGUMINOSAS<br/>EN LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO .....</b> | <b>74</b> |
| 4.1.1. Biomasa foliar verde de las coberturas de leguminosas .....                                       | 74        |
| 4.1.2. Erosión del suelo .....                                                                           | 77        |
| 4.1.3. Eficiencia de la densidad aparente del suelo .....                                                | 80        |
| <b>4.2. EFICIENCIA DE NUTRIENTES DEL SUELO CON LA COBERTURA<br/>DE LEGUMINOSAS.....</b>                  | <b>84</b> |
| 4.2.1. Eficiencia del nitrógeno (N) .....                                                                | 85        |
| 4.2.2. Eficiencia del fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) .....                                     | 88        |
| 4.2.3. Eficiencia del potasio (K <sub>2</sub> O).....                                                    | 93        |
| 4.2.4. Eficiencia de la materia orgánica (MO) .....                                                      | 94        |
| <b>4.3. RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE QUINUA EN GRANO<br/>VARIEDAD SALCEDO INIA.....</b>                    | <b>97</b> |



|                                                                                                      |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.3.1. Correlación entre el rendimiento de grano de quinua y biomasa foliar de las leguminosas ..... | 100        |
| 4.3.2. Correlación entre el rendimiento de grano de quinua y erosión del suelo .....                 | 101        |
| <b>V. CONCLUSIONES.....</b>                                                                          | <b>102</b> |
| <b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>                                                                     | <b>104</b> |
| <b>VII. REFERENCIAS.....</b>                                                                         | <b>105</b> |
| <b>ANEXOS.....</b>                                                                                   | <b>119</b> |

**Área** : Ciencias Agrícolas

**Tema** : Cambio Climático y Agricultura

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 03 de septiembre del 2021.



## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                          | Pág. |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <b>Figura 1.</b> Método de clavos modificado (Somarriba et al., 2005) .....                                                                              | 45   |
| <b>Figura 2.</b> Perdida de suelo en milímetros (Somarriba et al., 2005) .....                                                                           | 45   |
| <b>Figura 3.</b> Comportamiento de la precipitación y temperatura del Distrito de Mañazo (c.<br>c. chancarani) – Puno 2018-2019 del área de estudio..... | 57   |
| <b>Figura 4.</b> Croquis del campo experimental.....                                                                                                     | 60   |
| <b>Figura 5.</b> Representación gráfica de la biomasa verde de las leguminosas .....                                                                     | 74   |
| <b>Figura 6.</b> Representación gráfica de la erosión del suelo .....                                                                                    | 77   |
| <b>Figura 7.</b> Correlación y dispersión de la erosión del suelo con la biomasa verde de las<br>leguminosas.....                                        | 80   |
| <b>Figura 8.</b> Representación gráfica de la eficiencia de la densidad aparente .....                                                                   | 81   |
| <b>Figura 9.</b> Representación gráfica de la eficiencia del nitrógeno en el suelo.....                                                                  | 85   |
| <b>Figura 10.</b> Correlación y dispersión de la eficiencia de la materia orgánica con la<br>eficiencia del nitrógeno en el suelo.....                   | 88   |
| <b>Figura 11.</b> Representación gráfica de la eficiencia del fósforo en el suelo .....                                                                  | 88   |
| <b>Figura 12.</b> Correlación y dispersión de la eficiencia del nitrógeno con la eficiencia del<br>fosforo .....                                         | 90   |
| <b>Figura 13.</b> Correlación y dispersión de la erosión del suelo con la eficiencia del fosforo<br>.....                                                | 91   |
| <b>Figura 14.</b> Correlación y dispersión de la materia orgánica con la eficiencia del fosforo<br>.....                                                 | 92   |
| <b>Figura 15.</b> Representación gráfica de la eficiencia del potasio en el suelo .....                                                                  | 93   |
| <b>Figura 16.</b> Representación gráfica de la eficiencia de la materia orgánica.....                                                                    | 94   |



|                                                                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 17.</b> Correlación y dispersión de la erosión del suelo con la eficiencia de la materia orgánica.....          | 96  |
| <b>Figura 18 .</b> Representación gráfica del rendimiento de grano de quinua .....                                        | 97  |
| <b>Figura 19.</b> Correlación y dispersión de la biomasa verde las leguminosas con el rendimiento de grano de quinua..... | 100 |
| <b>Figura 20.</b> Correlación y dispersión de la erosión del suelo con el rendimiento de grano de quinua.....             | 101 |
| <b>Figura 21.</b> Análisis de caracterización del suelo inicial de la parcela de investigación Chancarani-Mañazo .....    | 122 |
| <b>Figura 22.</b> Métodos seguidos en el análisis de suelo y tabla de interpretación .....                                | 123 |
| <b>Figura 23.</b> Análisis de suelo final según bloques para cada tratamiento .....                                       | 124 |
| <b>Figura 24.</b> Análisis de suelo final según bloques para cada tratamiento .....                                       | 125 |
| <b>Figura 25.</b> Marcado de la parcela de investigación según bloque .....                                               | 128 |
| <b>Figura 26.</b> Abonamiento de la parcela de investigación con guano de isla.....                                       | 128 |
| <b>Figura 27.</b> Siembra de quinua a chorro continuo.....                                                                | 129 |
| <b>Figura 28.</b> Aporque de quinua .....                                                                                 | 129 |
| <b>Figura 29.</b> Pesado de las leguminosas Tarwi, trébol carretilla y vicia según tratamiento .....                      | 130 |
| <b>Figura 30.</b> Siembra de la cobertura de trébol carretilla en la parcela de investigación 04/12/2018 .....            | 130 |
| <b>Figura 31.</b> Siembra de Tarwi en la parcelas de investigación 04/12/2018 .....                                       | 131 |
| <b>Figura 32.</b> Corte de las varilla de erosión a 50 cm y pintado de las varillas .....                                 | 131 |
| <b>Figura 33.</b> Instalación de las varillas de erosión en la parcela de investigación 19/12/2018 .....                  | 132 |



|                                                                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 34.</b> Emergencia de las coberturas de leguminosas vicia, trébol carretilla y Tarwi<br>04/01/2019 ..... | 132 |
| <b>Figura 35.</b> Cultivo de quinua asociado con coberturas de trébol carretilla, Tarwi y vicia<br>.....           | 133 |
| <b>Figura 36.</b> Cosecha de quinua según bloque y tratamiento .....                                               | 133 |
| <b>Figura 37.</b> Cosecha de quinua separado por tratamientos .....                                                | 134 |
| <b>Figura 38.</b> Medición de la erosión del suelo con wincha métrica .....                                        | 134 |
| <b>Figura 39.</b> Corte de la biomasa foliar verde de las leguminosas con un cuadrante de 1m <sup>2</sup><br>..... | 135 |
| <b>Figura 40.</b> Muestreo de la densidad aparente del suelo por tratamiento con un cilindro<br>.....              | 135 |
| <b>Figura 41.</b> Toma de muestras de suelo según boques para su respectivo análisis.....                          | 136 |
| <b>Figura 42.</b> Muestras de suelo y densidad aparente boque 1 .....                                              | 136 |
| <b>Figura 43.</b> Trillado de quinua 09/05/2019 .....                                                              | 137 |
| <b>Figura 44.</b> Venteo de quinua según bloques .....                                                             | 137 |
| <b>Figura 45.</b> Pesado de grano de quinua según tratamiento .....                                                | 138 |
| <b>Figura 46.</b> Muestras de suelo por bloques para su análisis.....                                              | 138 |
| <b>Figura 47.</b> Mapa de ubicación de la parcela de investigación. ....                                           | 139 |



## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                       | Pág. |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <b>Tabla 1.</b> Temperatura y precipitación del área de estudio. ....                                 | 56   |
| <b>Tabla 2.</b> Análisis de caracterización del suelo inicial del área en estudio .....               | 58   |
| <b>Tabla 3.</b> Descripción de tratamientos en estudio .....                                          | 60   |
| <b>Tabla 4.</b> Dosis de aplicación de las coberturas en kg ha <sup>-1</sup> .....                    | 63   |
| <b>Tabla 5.</b> Resultados del análisis de varianza para las variables en estudio.....                | 73   |
| <b>Tabla 6.</b> Prueba de Tukey (P≤0.05) para biomasa foliar verde según tratamiento .....            | 76   |
| <b>Tabla 7.</b> Prueba de Tukey (P≤0.05) para erosión hídrica del suelo según tratamiento..           | 79   |
| <b>Tabla 8.</b> Densidad aparente inicial y final según los tratamientos en estudio .....             | 81   |
| <b>Tabla 9.</b> Prueba de Tukey (P≤0.05) para la eficiencia de densidad aparente en el suelo<br>..... | 84   |
| <b>Tabla 10.</b> Análisis de suelo inicial y final según los tratamientos en estudio.....             | 85   |
| <b>Tabla 11.</b> Prueba de Tukey (P≤0.05) para la eficiencia de nitrógeno en el suelo.....            | 87   |
| <b>Tabla 12.</b> Prueba de Tukey (P≤0.05) para la eficiencia de fósforo en el suelo.....              | 90   |
| <b>Tabla 13.</b> Prueba de Tukey (P≤0.05) para la eficiencia de potasio en el suelo .....             | 94   |
| <b>Tabla 14.</b> Prueba de Tukey (P≤0.05) para la eficiencia de materia orgánica en el suelo<br>..... | 96   |
| <b>Tabla 15.</b> Prueba de Tukey (P≤0.05) para rendimiento de grano de quinua según .....             | 99   |
| <b>Tabla 16.</b> Análisis de varianza para densidad aparente del suelo .....                          | 119  |
| <b>Tabla 17.</b> Análisis de varianza para biomasa foliar verde de leguminosas .....                  | 119  |
| <b>Tabla 18.</b> Análisis de varianza para materia orgánica del suelo .....                           | 119  |
| <b>Tabla 19.</b> Análisis de varianza para el nitrógeno en el suelo.....                              | 119  |
| <b>Tabla 20.</b> Análisis de varianza para fosforo en el suelo .....                                  | 120  |
| <b>Tabla 21.</b> Análisis de varianza para el potasio en el suelo.....                                | 120  |



|                                                                                                                                                                 |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tabla 22.</b> Análisis de varianza para el rendimiento de grano de quinua .....                                                                              | 120 |
| <b>Tabla 23.</b> Datos de densidad aparente del suelo, biomasa foliar verde, rendimiento de grano de quinua y erosión del suelo según bloque y tratamiento..... | 121 |
| <b>Tabla 24.</b> Coeficientes de correlaciones de Pearson entre variables evaluados .....                                                                       | 126 |



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

|                             |                                                           |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------|
| <b>ANOVA</b>                | : Análisis de varianza                                    |
| <b>BLOQ</b>                 | : Bloques                                                 |
| <b>C.V.</b>                 | : Coeficiente de variación                                |
| <b>C.M.</b>                 | : Cuadrados medios                                        |
| <b>G.L.</b>                 | : Grados de libertad                                      |
| <b>S.C.</b>                 | : Suma de cuadrados                                       |
| <b>DBCA</b>                 | : Diseño de Bloques Completamente al Azar                 |
| <b>F.V.</b>                 | : Fuente de variación                                     |
| <b>F<sub>c</sub></b>        | : F calculada                                             |
| <b>F<sub>t</sub></b>        | : F Tabulada                                              |
| <b>*</b>                    | : Significativo                                           |
| <b>**</b>                   | : Altamente significativo                                 |
| <b>n.s.</b>                 | : no significativo                                        |
| <b>SIG ≤ 0.05</b>           | : Significativo alfa 0.05                                 |
| <b>RD</b>                   | : Rendimiento en kg/ha                                    |
| <b>%</b>                    | : Porcentaje                                              |
| <b><math>\bar{x}</math></b> | : Promedio                                                |
| <b><math>\Sigma</math></b>  | : Sumatoria                                               |
| <b><math>\alpha</math></b>  | : Nivel de significancia                                  |
| <b>FAO</b>                  | : Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura |



## RESUMEN

El altiplano puneño viene sufriendo la pérdida de suelo, principalmente por erosión hídrica ocasionando la pérdida de nutrientes del suelo a causa del mal manejo de sistemas de cultivo, por lo que el presente trabajo de investigación tiene como objetivos: a) Determinar la influencia de la cobertura vegetal con leguminosas en la erosión hídrica del suelo. b) Evaluar la eficiencia de nutrientes del suelo con las coberturas de leguminosas y c) Determinar el efecto de la cobertura vegetal con leguminosas en el rendimiento del cultivo de quinua Var. Salcedo INIA. Metodología: Para determinar la influencia de la cobertura con leguminosas en la erosión hídrica del suelo, se pesó la biomasa foliar verde y se midió la erosión del suelo. Para la eficiencia de nutrientes, se hizo la diferencia del análisis inicial con el análisis final de suelo. Para el rendimiento de grano de quinua, se realizó al final de la cosecha. El diseño experimental, fue diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con 4 tratamientos en 4 bloques, teniendo un total de 16 unidades experimentales, los tratamientos fueron T1 = testigo (sin cobertura), T2 = (trébol carretilla), T3 = (vicia) y T3 = (tarwi). Los resultados fueron: a) La cobertura vegetal que tuvo mayor biomasa foliar verde fue el tratamiento T2 con 19850 kg ha<sup>-1</sup>, siendo esta cobertura vegetal quien produjo la menor pérdida del suelo con 1.31 t ha<sup>-1</sup>; en comparación a el testigo T1 tuvo mayor pérdida de suelo con 11.69 t ha<sup>-1</sup>. b) La eficiencia de nutrientes, se observa que el tratamiento T3 presento mayor aporte de nitrógeno con 0.030%, en fósforo lo tuvo el T2 con 3.01 ppm y en potasio el T3 con 83.67 ppm, en comparación al testigo T1 donde las eficiencias disminuyen, por tanto, se muestra la pérdida de los nutrientes del suelo. c) Influencia de cobertura vegetal en el rendimiento de quinua, se observó que el tratamiento T2 presenta un mayor rendimiento con 3102 kg ha<sup>-1</sup>, seguido de T3 con 3052 kg ha<sup>-1</sup> y T4 con 2744 kg ha<sup>-1</sup> en comparación al testigo T1 que tuvo un menor rendimiento con 2602 kg ha<sup>-1</sup>.

**Palabras Clave:** Cobertura vegetal, eficiencia de nutrientes, influencia de cobertura vegetal, erosión hídrica del suelo, quinua.



## ABSTRACT

The Puno highlands has been suffering soil loss, mainly due to water erosion causing the loss of soil nutrients due to poor management of cropping systems, so the present research work has as objectives: a) Determine the influence of the vegetal cover with legumes in the hydric erosion of the soil. b) Evaluate the nutrient efficiency of the soil with the legume covers and c) Determine the effect of the vegetal cover with legumes on the yield of the Var quinoa crop. Salcedo INIA. Methodology: To determine the influence of legume cover on soil water erosion, the green foliar biomass was weighed and soil erosion was measured. For nutrient efficiency, the difference was made from the initial analysis with the final soil analysis. For the quinoa grain yield, it was carried out at the end of the harvest. The experimental design was a completely randomized block design (DBCA) with 4 treatments in 4 blocks, having a total of 16 experimental units, the treatments were T1 = control (without coverage), T2 = (wheelbarrow clover), T3 = (vicia) and T3 = (tarwi). The results were: a) The plant cover that had the highest green leaf biomass was the T2 treatment with 19850 kg ha<sup>-1</sup>, this plant cover being the one that produced the lowest loss of soil with 1.31 t ha<sup>-1</sup>; Compared to the control T1 it had greater soil loss with 11.69 t ha<sup>-1</sup>. b) The nutrient efficiency, it is observed that the T3 treatment presented a greater contribution of nitrogen with 0.030%, in phosphorus it had the T2 with 3.01 ppm and in potassium the T3 with 83.67 ppm, compared to the control T1 where the efficiencies decrease, therefore the loss of soil nutrients is shown. c) Influence of plant cover on quinoa yield, it was observed that treatment T2 presents a higher yield with 3102 kg ha<sup>-1</sup>, followed by T3 with 3052 kg ha<sup>-1</sup> and T4 with 2744 kg ha<sup>-1</sup> compared to control T1 that had a lower yield with 2602 kg ha<sup>-1</sup>.

**Keywords:** Plant cover, nutrient efficiency, influence of plant cover, soil water erosion, quinoa.



## CAPITULO I

### INTRODUCCIÓN

La degradación del suelo por erosión hídrica del suelo en las tierras cultivadas representa una grave amenaza para los recursos del suelo en el mundo (Prosdocimi, Cerdà y Tarolli, 2016), gran parte del Perú es sensible a la acción erosiva del viento y el agua debido a su topografía pronunciada, la costa está sujeta a la erosión eólica y la erosión hídrica es dominante en la Sierra (Alegre, Morales y La Torre, 1990). Este proceso se agrava en la región de los Andes por las pendientes pronunciadas, la escasa cobertura vegetal y las lluvias esporádicas pero de alta intensidad., que junto con una profundidad del suelo poco profunda, aumenta el riesgo de erosión del suelo (Correa, Mello, Chou, Curi y Norton, 2016).

En la región puno la erosión de suelos alcanza un área de 66 866 km<sup>2</sup>; siendo la erosión hídrica superficial el proceso predominante en el departamento, en una superficie de 33 433 km<sup>2</sup>, producida por la sobreexplotación del suelo en actividades agrosilvopastoriles, minería, actividades humanas y por acción de los agentes naturales (lluvia, sequía y viento). La pérdida de fertilidad del suelo contribuye en la disminución de la capacidad productiva de la tierra, originada por falta de reposición de los nutrientes que se pierden en las cosechas o pastos aprovechados (Gobierno Regional de Puno, 2014).

Es por este motivo que los cultivos de cobertura son componentes importantes de los sistemas agrícolas sostenibles. Puesto a que aumentan los residuos superficiales y ayudan a reducir la erosión del suelo. Mejoran la estructura y la capacidad de retención de agua del suelo y, por lo tanto, aumentan la eficacia del fertilizante N aplicado. Los cultivos de cobertura también pueden suprimir las malezas, proporcionar un hábitat adecuado para los insectos depredadores beneficiosos y actuar como cultivos no



hospedadores de nematodos y otras plagas en las rotaciones de cultivos (Lu, Watkins, Teasdale y Abdul-Baki, 2000).

Una revisión de los problemas de erosión en Perú y los resultados de los estudios de erosión en las regiones de Sierra y Selva muestra que el uso de cultivos de cobertura y el acolchado conservan el suelo y el agua de manera eficiente (Alegre *et al.*, 1990). Siendo la asociación de cultivos una práctica alternativa, la cual promueve una mayor biodiversidad, mejora el uso de recursos naturales, disminuye el riesgo de pérdida total de la cosecha, y proporciona protección contra daños por plagas y enfermedades (Gómez-Rodríguez y Zavaleta-Mejía, 2001).

Por otro lado, se viene observando que en el altiplano existe mayor pérdida de suelos agrícolas y de praderas, a causa de la erosión hídrica, como pérdida de nutrientes a causa del mal manejo del sistema de cultivo en el altiplano, hecho que en los últimos años viene agravando, por esta consideración se ha planteado llevar adelante el presente trabajo de investigación con los siguientes objetivos.

### **1.1. Objetivo general**

Determinar la influencia del uso de coberturas con leguminosas para reducir la erosión hídrica, mejorar la calidad del suelo y determinar el rendimiento del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd).

### **1.2. Objetivos específicos**

- Determinar la influencia de la cobertura vegetal con leguminosas en la erosión hídrica del suelo.
- Evaluar la eficiencia de nutrientes del suelo con la cobertura de leguminosas.
- Determinar el efecto de la cobertura vegetal con leguminosas en el rendimiento del cultivo de quinua Var. Salcedo INIA.



## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. Cultivo de quinua

##### 2.1.1. Centro de origen

Mujica (2015), indica que la quinua es originaria de las orillas del lago Titicaca, habiéndose extendido por todo el altiplano además de valles interandinos y otras zonas. Hoy encontrándose nueve grupos de quinua: quinuas del altiplano, de valles interandinos, de salares, de zonas secas y áridas, de zonas frías y altas, de costa, de ceja de selva y zonas tropicales, quinuas de alta precipitaciones y parientes silvestres.

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) es una planta andina que muestra la mayor distribución de formas, diversidad de genotipos y de progenitores silvestres en alrededores de lago Titicaca de Perú y Bolivia, encontrándose la mayor diversidad entre potosí, Bolivia y Sicuani (cusco), Perú (Ángel Mujica, 2015). Siendo la zona andina uno de los ocho mayores centros de domesticación de plantas cultivadas en el mundo, dando origen a uno de los sistemas agrícolas más sostenibles y con mayor diversidad genética del mundo (Á. Mujica, Izquierdo y Marathee, 2001)



### 2.1.2. Posición taxonómica

Giusti (1970), indica la siguiente posición taxonómica:

Reino : Vegetal

División : Fenerógamas

Clase : Dicotiledoneas

Sub clase : Angiospermas

Orden : Centrospermales

Familia : Chenopodiáceas

Género : *Chenopodium*

Sección : *Chenopodia*

Subsección : *Cellulata*

Especie : (*Chenopodium quinoa* Willdenow)

### 2.1.3. Requerimientos del cultivo

#### 2.1.3.1. Suelo

La quinua prefiere un suelo franco, con buen drenaje y alto contenido de materia orgánica, con pendientes moderadas y un contenido medio de nutrientes, puesto que la planta es exigente en nitrógeno y calcio, moderadamente en fosforo y poco en potasio. También puede adaptarse a suelos franco arenosos, arenosos o franco arcilloso, siempre, que se le dote de nutrientes y no exista la posibilidad de encharcamiento del agua, puesto que es muy susceptible al exceso de humedad sobre todo en los primeros estados (Ángel Mujica, Canahua y Saravia, 2001).

#### 2.1.3.2. pH

La planta requiere un pH alrededor del neutro, sin embargo, puede prosperar muy bien en suelos alcalinos de hasta 9, y también en suelos ácidos de



hasta 4.5, esto dependerá de la variedad de quinua; pero el pH óptimo varía de 6.5 – 8.0 (León, 2003).

#### **2.1.3.3. Altitud**

La quinua crece y se adapta desde el nivel del mar hasta cerca de los 4,000 msnm. Las quinuas sembradas al nivel del mar disminuyen su período vegetativo, comparados a la zona andina, observándose que el mayor potencial productivo se obtiene al nivel del mar habiendo obtenido hasta 6,000 kg ha<sup>-1</sup>, con riego y buena fertilización (Ángel Mujica *et al.*, 2001)

#### **2.1.3.4. Agua**

La disponibilidad de humedad en el suelo es un factor determinante en la primera etapa del cultivo, desde que emerge hasta las primeras cuatro hojas. El requerimiento mínimo de precipitación para la germinación es de 30 mm a 45 mm, de 2 a 5 días. Puede soportar veranillos por la presencia de papilas higroscópicas en las hojas. Su sistema radicular está desarrollado para resistir esas condiciones de sequía. La cantidad óptima de agua es de 300 a 500 mm de precipitación por campaña. En la fase de maduración y cosecha requiere condiciones de sequía o estrés hídrico (Agrobanco, 2012).

#### **2.1.3.5. Temperatura**

La temperatura óptima para la quinua está alrededor de 8 – 15°C, puede soportar hasta – 4°C, en determinadas etapas fenológicas, siendo esto más tolerante en la ramificación y las más susceptibles a la floración y llenado de grano (León, 2003).

#### **2.1.3.6. Radiación**

La quinua soporta radiaciones extremas de las zonas altas de los andes, sin embargo, estas altas radiaciones permiten compensar las horas de calor necesarias



para cumplir con su periodo vegetativo y productivo. En la zona de mayor producción de quinua del Perú (Puno), el promedio anual de la radiación global (RG) que recibe la superficie del suelo, asciende a 462 cal/cm<sup>2</sup>/día y en la costa (Arequipa), alcanza a 510 cal/cm<sup>2</sup>/día; mientras que en el altiplano central de Bolivia (Oruro), la radiación alcanza a 489 cal/cm<sup>2</sup>/día y en la paz es de 433 cal/cm<sup>2</sup>/día (Frere, Rea y Rijks, 1975).

Sin embargo el promedio de la radiación neta (RN) recibida por la superficie del suelo o de la vegetación, llamada también radiación resultante alcanza en puno, Perú a 176 y en Arequipa, Perú a 175, mientras que en Oruro, Bolivia a 154 y en la paz, Bolivia a 164, solamente, debido a la nubosidad y la radiación reflejada por el suelo (Frere *et al.*, 1975).

#### **2.1.3.7. Fotoperiodo**

La quinua por su amplia variabilidad genética y gran plasticidad, presenta genotipos de días cortos, de días largos e incluso indiferentes al fotoperiodo, adaptándose fácilmente a estas condiciones de luminosidad, este cultivo prospera adecuadamente con tan solo 12 horas diarias en el hemisferio sur sobre todo en los andes de sud América, mientras que en el hemisferio norte y zonas australes con días de hasta 14 horas de luz prospera en forma adecuada, como lo que ocurre en las áreas nórdicas de Europa. En la latitud sur a 15°, alrededor del cual se tiene las zonas de mayor producción de quinua, el promedio de horas de luz diaria es de 12.19, con un acumulado de 146.3 horas al año (Frere *et al.*, 1975).

## **2.2. Manejo del cultivo**

### **2.2.1. Preparación del terreno**

La preparación del suelo debe realizarse lo mejor posible (bien mullido), la cual puede hacerse con yunta o maquinaria, el tamaño reducido de la semilla



requiere una buena preparación, esto se consigue pasando un arado de disco, luego rastra antes de la siembra, para que el suelo quede en óptimas condiciones de recibir la semilla y facilite su germinación. Así mismo, es necesario que el terreno este bien nivelado para evitar encharcamientos y muertes de las plantas por asfixia (A. Pérez, 2005).

### **2.2.2. Siembra**

La época más oportuna de siembra dependerá de las condiciones ambientales del lugar de siembra, generalmente en la zona andina, en el altiplano y en la costa, la fecha optima es del 15 de septiembre al 15 de noviembre, lógicamente se puede adelantar o retrasar un poco de acuerdo a la disponibilidad del agua y a la precocidad o maduración del periodo vegetativo de los genotipos a sembrarse, en zonas más frías se acostumbra adelantar la fecha de siembra sobre todo si se usan genotipos tardíos (Ángel Mujica *et al.*, 2001).

### **2.2.3. Abonamiento**

Antes de aplicar fertilizantes siempre es recomendable hacer un análisis de suelo previo a la siembra para poder determinar la cantidad de nutrientes disponibles para el cultivo. Se fertiliza en dos partes: la primera parte en un 50% en la siembra y a la segunda parte antes del aporque: en Puno la formulación recomendada es de 80-40-00 de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Y K<sub>2</sub>O. Para abonar se usará estiércol de ovino se recomienda de 3 a 5 t ha<sup>-1</sup>. Se debe utilizar estiércol descompuesto o fermentado para evitar el quemado de la semilla y la emergencia de las semillas de malezas que existe en el estiércol fresco (León, 2003).



## **2.2.4. Labores culturales**

### **2.2.4.1. Deshierbe**

La quinua como cualquier otra planta es sensible a la competencia por malezas, sobre todo en los primeros estadios, por ello se recomienda efectuar deshierbas tempranas para evitar, competencia por agua, nutrientes, luz y espacio, así como presencia de plagas y enfermedades por actuar como agentes hospederos, lo cual repercutirá en el futuro potencial productivo y calidad de la semilla de quinua (Ángel Mujica *et al.*, 2001).

Cerón (2000), indica que debe realizarse de dos a tres deshierbas, siendo la primera la más importante. Esta se realiza a los 30 días después de la germinación. Se realiza a mano y es la más delicada por que las raíces son muy débiles y muy superficiales.

### **2.2.4.2. Aporque**

El aporque permite la fijación de las raíces y protege las plantas del tumbado, especialmente en las quinuas de mayor altura de planta. Esta labor se realiza inmediatamente después del deshierbo y el desahije o raleo. También permite cubrir el abono nitrogenado complementario, aplicado entre franjas de plantas. La humedad del suelo debe ser óptima para esta labor, la cual puede ser realizada en forma manual empleando herramientas de campo (lampas, palas y otros), yunta o una rastra con implemento apropiado jalado por el tractor, en forma similar a la que se aplica en el cultivo de maíz (Gómez y Aguilar, 2016).

### **2.2.5. Cosecha**

La quinua debe ser cosechada cuando los granos hayan adquirido una consistencia tal, que ofrezcan resistencia a la presión con las uñas, o las plantas



que se hayan defoliado y presenten un color amarillo pálido (Nieto y Vimos, 1992).

Para llegar a esta fase transcurren de cinco a ocho meses, según el ciclo vegetativo de las variedades. En Puno, la cosecha es de abril a mayo. Es conveniente asegurarse de la maduración para determinar la fecha de cosecha ya que al adelantarla y exponerla a lluvias tardías, se corre el riesgo de fermentaciones en las parvas que oscurecen el grano. Si por el contrario se realiza muy tarde, se desgrana fácilmente. Esta labor tiene cinco fases: siega o corte, formación de arcos o parvas, golpeo o garroteo, venteado y limpieza y secado del grano (Tapia y Fries, 2007).

#### **2.2.6. Rendimiento**

Los rendimientos varían en función a la variedad, fertilidad, drenaje, tipo de suelo, manejo del cultivo en el proceso productivo, factores climáticos, nivel tecnológico, control de plagas y enfermedades, obteniéndose entre 800 kg ha<sup>-1</sup> a 1400 kg ha<sup>-1</sup> en años buenos. Sin embargo, según el material genético se puede obtener rendimientos hasta de 3000 kg ha<sup>-1</sup> (León, 2003).

Los rendimientos en broza varían también de acuerdo a la fertilización, obteniéndose en promedio 5000 kg de broza (kiri) y 200 kg de hojuela pequeña, formada por perigonios y partes menudas de hojas y tallos (jipi). Este componente tiene el mayor valor nutritivo para la alimentación del ganado. Las estadísticas de Perú y Bolivia reflejan rendimientos muy variables, en razón de que en muchas oportunidades se muestrean campos de quinua en áreas que ecológicamente no son las más adecuadas o en donde la presión demográfica ha obligado al campesino a “derramar quinua” con el objetivo de tener alguna cosecha (Tapia *et al.*, 1979).



## 2.3. Cobertura vegetal

Tirabanti (2017), indica que las coberturas vivas superficiales son aquellas plantas, principalmente leguminosas, que se asocian con los cultivos, con la finalidad de proteger la erosión y recuperar la fertilidad de los suelos, ya que funcionan como fuente proveedora de nutrientes y materia orgánica. La principal característica de las plantas de leguminosas es que tienen la capacidad de fijar el nitrógeno presente en el aire a través de los nódulos presentes en sus raíces y transformarlo en nutriente aprovechable para la planta.

### 2.3.1. Ventajas y desventajas

Taboada (2011), menciona las siguientes ventajas y desventajas:

#### **Ventajas:**

- Reducen las pérdidas de suelo causada por la erosión hídrica y eólica.
- Aumentan la infiltración de agua en el suelo, especialmente en periodos intensos de lluvia.
- Reduce la evaporación del agua del suelo en la primavera y verano.
- Aumentan la biodiversidad: conserva la mesofauna del suelo (artrópodos, lombrices).
- Mantienen la humedad del suelo.
- Permiten su aprovechamiento de forraje por el ganado.
- Incrementa el contenido de materia orgánica en el perfil del suelo.
- Incrementa la fertilidad del suelo.
- Protegen las terrazas recién construidas de la erosión.
- Las raíces de las plantas y los residuos vegetales contribuyen a mejorar la estructura del suelo haciéndolo más poroso, y consecuentemente, absorben más fácilmente el agua.



- Mejora la biodiversidad.
- Mejora la estabilidad estructural de los agregados superficiales.

#### **Desventajas:**

- Disminución del rendimiento de los cultivos en asociación debido al efecto competitivo adverso.
- Pueden presentarse efectos alelopáticos.
- En el caso de especies arbóreas, cuando se realiza una mala elección, puede tener una configuración inapropiada (copa extendida, con raíces laterales, etc.), situación que puede ocasionar competencia por el agua, nutrientes y luz, con el cultivo que se asocia y perjudicar su rendimiento.
- Algunas especies vegetales se comportan como hospederos de plagas y enfermedades.
- Las fechas de siembra deberán ser bien definidas, de tal manera que el cultivo secundario no obstaculice las labores y las cosechas de cultivo principal.
- No permite la mecanización de las labores agrícolas.

## **2.4. Coberturas vivas a utilizar**

### **2.4.1. Trébol carretilla (*Medicago hispida* Gaertn)**

#### **2.4.1.1. Posición taxonómica**

Heike (2009), indica la siguiente posición taxonómica el cual se detalla a continuación:

Reino : Plantae

División : Magnoliophyta

Clase : Magnoliopsida

Sub clase : Rosidae



Orden : Fabales

Familia : Fabaceae

Género : Medicago

Especies : (*Medicago hispida* Gaertn)

#### 2.4.1.2. Descripción botánica

Siendo la siguiente según Rzedowski y Rzedowski (2001):

- **Hábito y forma de vida:** Planta de crecimiento rastrero o ascendente, muy ramificado.
- **Tamaño:** Hasta 60 cm de altura.
- **Tallo:** Muy ramificado desde la base, ramas anguloso, sin pelos o algo pilosas; estipulas lanceoladas – dentadas.
- **Hojas:** Trifoliadas, con peciolo de 1 a 9 cm de largo, folíolos obovados u obcordados, de 0.5 a 3 cm de largo, por 0.5 a 2.5 cm de ancho, ápice obtuso, margen denticulado hacia el ápice, base cuneado, con muy pocos pelos o sin ellos.
- **Inflorescencia:** flores dispuestas en racimo axilares solitarios, más cortos que las hojas.
- **Flores:** de 1 a 7, de 5 mm de largo, pedicelos muy cortos; corola amarilla.
- **Frutos y semilla:** El fruto es una legumbre enroscada en espiral, de 4 a 10 mm de diámetro, reticulada, con 2 a 6.5 vueltas, armadas de numerosas espinas; semillas dispersas en frutos espinosos enrollados de espiral, semilla reniforme a elíptica de 1.8 a 3.9 mm de largo y 1 a 1.9 mm de ancho, comprimida, de color pardo



amarillento, pardo rojizo o pardo negruzco, superficie opaca levemente punticulada.

- **Plántulas:** Hipocótilo de 25 a 40 mm de largo, cilíndrico, sin pelos; cotiledones de lámina oblanceolada de 6 a 12.5 mm de largo y 2.5 a 4.5 mm de ancho, sin pelos; sin epicotilo; hojas alternas, la primera simple y la segunda compuesta.

## 2.4.2. *Vicia* (*Vicia sativa* L.)

### 2.4.2.1. Posición taxonómica

Renzi y Cantamutto (2013), indica la siguiente posición taxonómica:

Reino : Plantae

División : Magnoliophyta

Clase : Magnoliopsida

Orden : Rosales

Familia : Fabaceae

Género : *Vicia*

Especie : (*Vicia sativa* L.)

### 2.4.2.2. Descripción botánica

Córdoba, González-Verdejo y Nadal (2016), indican lo siguiente:

- **Planta:** Es de ciclo anual, herbáceo, con estructura postrada o semierguida y con crecimiento indeterminado, es decir, la planta sigue creciendo tras la floración, siempre que las condiciones climáticas y de humedad en el suelo lo permitan.
- **Tamaño:** Puede variar entre los 10 y los 80 cm en función de la variedad y del ambiente en el que se desarrolle.



- **Raíz:** Es ramificado, capaz de explorar perfectamente el suelo en busca de agua y nutrientes.
- **Tallo:** Son delgados, erectos y consistentes, lo que favorece su ciega.
- **Hojas:** Son compuestas, pudiendo llegar a tener hasta 8 pares de foliolos, terminando en zarcillos.
- **Flores:** Pueden estar en solitario o en inflorescencias de hasta cuatro; suelen ser de color purpura o violeta, aunque existen variedades que presentan flores de color blanco.
- **Fruto:** Sus vainas presentan depresiones que marcan la presencia de las semillas (4-10 por vaina) las cuales son ovaladas – redondeadas, aplastadas y con un diámetro que puede variar entre los 4 – 6 mm. el peso de 100 gramos variara entre los 6 y los 9 gramos.

### 2.4.3. Tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet)

#### 2.4.3.1. Posición taxonómica

Tapia (2015), señala la siguiente posición taxonómica:

Orden : Fabales  
Sub orden : Leguminosae  
Familia : Fabaceae  
Sub familia : Faboideae  
Tribu : Genisteae  
Género : Lupinus  
Especie : (*Lupinus mutabilis* Sweet.)



#### 2.4.3.2. Descripción botánica

Según Caicedo y Peralta (2001) indica lo siguiente:

- **Planta:** Es una planta anual herbácea que se adapta a diferentes tipos de suelo.
- **Raíz:** Es pivotante y robusta. Estas raíces pueden alcanzar una profundidad de hasta 2 m y el desarrollo radicular se ve influenciado por la fertilización, el abastecimiento de agua, la textura del suelo y de las propiedades físicas y químicas del subsuelo. Se han encontrado sepas de *Rhizobium lupini* con gran eficacia e infectividad y su presencia está altamente correlacionada con plantas vigorosas y productivas. Cada planta puede llegar a producir hasta 50 g de nódulos.
- **Tallo:** se caracteriza por su vigor y tamaño, ya que su altura fluctúa de 0.50 a 2.50 m, con un promedio de 1,80 m. el color del tallo varía de verde a gris – castaño, según el grado de tejido leñoso, si el contenido de antocianina de la planta es alto, el color verde de la clorofila queda cubierto por un intenso azul – rojizo.
- **Hojas:** Son digitadas, compuestas, pecioladas de 5 a 12 folíolos oblongo, lanceoladas, delgadas; posee pequeñas hojas estipulares entre la base del peciolo. El color de los peciolos puede variar entre verde y morado son el contenido de antocianina de la planta.
- **Flores:** Las flores pueden variar entre blanco, crema, amarillo, púrpura, azul – púrpura, rosado; la corola está formada de 5 pétalos que son: un estandarte, dos quillas y dos alas. La quilla envuelve el pistilo y a los diez estambres.



- **Inflorescencia:** Es de racimo terminal, flores dispuestas en verticilos. En una inflorescencia se puede contar más de 60 flores, aunque no todas ellas llegan a formar frutos.
- **Fruto:** Es una vaina alargada de 5 a 12 cm, según el número de semillas; las vainas pueden contener hasta 9 semillas. El color de semilla tiene una amplia variabilidad que va desde el blanco puro hasta el negro, pasando por colores intermedios como el amarillo, bayo, pardo, gris, etc.

## 2.5. Fijación biológica del nitrógeno

Esta fijación ocurre mediante una simbiosis, en donde participan dos miembros: la leguminosa y la bacteria del género *Rhizobium*. Esta bacteria se encuentra en el suelo no solamente en la rizosfera o zonas de las raíces de las leguminosas sino alrededor de otras plantas y principalmente agregados a los coloides del suelo. Generalmente el *Rizobium* vive saprofitamente en el suelo, utilizando fuentes de energía y sustancias nitrogenadas del medio (Acuña, 1996).

Así también la fijación biológica de nitrógeno es el proceso por el cual algunos microorganismos utilizan el nitrógeno contenido en el aire, reduciendo a amoniaco a través de una enzima llamada nitrogenasa para la producción de proteínas. En la atmosfera el nitrógeno se encuentra en forma molecular como ( $N^2$ ) con una disponibilidad del 80 %; las plantas solamente pueden asimilar el nitrógeno mayormente en forma de nitratos ( $NO_3^-$ ) y en forma de amonio ( $NH_4^+$ ). Para poder convertir el nitrógeno de su forma no asimilable ( $N^2$ ) por las plantas a una que si lo sea (Paredes, 2013).

La utilización de leguminosas en los campos de cultivo se hace ya con frecuencia debido a sus beneficios que brinda al suelo como el aporte de nitrógeno que se obtiene mediante la fijación, el reciclaje y el retorno de nutrientes que se da en los cultivos reduciendo así los costos de fertilización. Al respecto Barrientos, Montenegro, y Pino



(2002), manifiesta que la cantidad de nitrógeno fijado por dos especies de lupino : *Lupinus albus* cv. Lolita y *Lupinus angustifolius* cv. Gungurru, teniéndose en la primera evaluación (45 días después de la siembra) que *L. albus* cv. Lolita fijo 39 kg de N ha<sup>-1</sup> y en la segunda evaluación (80 DDS), fijo 282 kg de N ha<sup>-1</sup> en comparación con *L. angustifolius* cv. Gungurru en la primera evaluación fijo 25 kg de N ha<sup>-1</sup> y en la segunda evaluación fijo 197 kg de N ha<sup>-1</sup>, en donde en la primera evaluación se obtendría un equivalente a 69 y 49 % de N derivado del aire, en la segunda evaluación un equivalente a 95 y 91 % de N. Demostrándose que ambos cultivares tienen la capacidad de fijar nitrógeno en grandes cantidades.

De la misma manera Sylvia, Fuhrmann, Hartel y Zuberer (2005), señala que los tréboles asimilan nitrógeno molecular entre 104 a 160 kg de N ha \*año<sup>-1</sup>, donde una parte sería aprovechado en la campaña actual y la otra parte se mantiene en el suelo para la siguiente campaña. Por otro lado Urzúa (2000b), indica que la vicia tiene la capacidad de fijar nitrógeno entre 100 – 300 kg de N ha\*año<sup>-1</sup> esta cantidad dependerá de la especie de leguminosa, condiciones edafoclimáticas y el manejo del cultivo. Así también Tapia (2015), menciona que el Tarwi debido a la simbiosis con las bacterias del género *Rhizobium* es capaz de fijar nitrógeno del aire e influenciar las condiciones nutricionales del suelo, también por el tipo de raíz penetra profundamente en el suelo afectando su estructura y mejorando el contenido de materia orgánica. Algunas evaluaciones mencionan que puede fijar entre 60 a 120 kilogramos de nitrógeno por campaña.

## **2.6. Importancia de las leguminosas en el suelo**

Este fenómeno de fijación del nitrógeno del aire, tiene una gran importancia en la agricultura moderna pues gracias a ellos se puede enriquecer el suelo de nitrógeno. Según varios estudios realizados, las leguminosas provistas de nódulos fijan alrededor de 200 kg de N por año y por hectárea (Michielin de Pieri, 1969).



El manejo de diversas prácticas culturales como es el establecimiento de leguminosas en rotación de cultivos, abono verde y aplicación de materia orgánica; con ello se favorece a la conservación del recurso suelo. Por otra parte, estas prácticas permiten que la actividad microbiana sea favorecida y que se tenga mayor diversidad de microorganismos, de tal forma que se establezcan diversas relaciones tróficas que contribuyan a la sanidad y fertilidad de los suelos manipulados en esta forma (Ferrera y Alarcón, 2001).

Además, las leguminosas contribuyen a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, permiten el secuestro de carbono en el suelo e inducen a la reducción del uso de fertilizantes nitrogenados. Las leguminosas al fijar nitrógeno atmosférico, liberan en el suelo materia orgánica de alta calidad y facilitan la circulación de los nutrientes del suelo y retención de agua. Por estas razones los cultivos de leguminosas tienen un alto potencial para la agricultura de conservación, siendo funcionales como cultivo de crecimiento o como residuo de cultivo (Stagnari, Maggio, Galieni y Pisante, 2017).

## **2.7. Cultivos asociados**

Rodríguez, Acosta de la Luz, Hechevarría, Milanés y Rodríguez (2008), señalan que la asociación de cultivo es una alternativa posible para mejorar la fertilidad del suelo, lo cual pudiera deberse al mejor control de la erosión, porque evita la pérdida de nutrientes por la acción degradante de la lluvia, el sol y el viento. Además, la asociación de cultivos es el sistema apropiado para un cultivo permanente, es mal útil en suelos empobrecidos y sirve para restaurar o mejorar los nutrientes del suelo y para aumentar la materia orgánica.

La inclusión de leguminosas en sistemas de cultivos múltiples, como el cultivo intercalado o la simple rotación de cultivos, es importante para el manejo sostenible de los nutrientes del suelo, para mejorar la estructura del suelo y en el conjunto, es un paso importante hacia la implementación de prácticas agrícolas más sostenibles. Esto es de



vital importancia considerando la necesidad de intensificar la producción de alimentos mientras se hace un mejor uso de los recursos naturales y se fortalece la resistencia al cambio climático (FAO, 2017)

Así también Torres, Huaraca, Laura y Crisóstomo (2018), indica al mostrar y analizar el intercalado de maíz con leguminosas con fines de manejo y conservar la fertilidad del suelo. Estudios llevados a cabo en varios países demostraron que la asociación de cultivos mejora la eficiencia biológica en comparación con monocultivos tradicionales. La siembra de policultivos debe tener una distancia adecuada, que permita que una de las especies compuestos alelopáticos que impida la aparición de malas hierbas. Por tanto, esta técnica agroecológica es una alternativa viable para el mejoramiento de la fertilidad de suelos, ya que el intercalado de maíz con leguminosas genera supresión de malezas, conservación de nutrientes N, P, K del suelo y mejora el rendimiento de grano, incrementando así los beneficios ecológicos y económicos.

## **2.8. La erosión hídrica en el Perú y el mundo**

La pérdida de suelos por erosión hídrica en el Perú es un grave problema ambiental que afecta y pone en riesgo la seguridad hídrica y seguridad alimentaria; toda vez que este fenómeno es más crítico y agresivo en zonas altoandinas que son proveedoras de los principales servicios ecosistémicos hídricos y el espacio donde se desarrolla importante actividad agrícola para la provisión de alimentos a las grandes ciudades costeñas. Por otro lado, al ser la precipitación el principal agente que contribuye al proceso de erosión hídrica, y a su vez, este se asocia a la producción de sedimentos que genera la colmatación de cauces, degrada la calidad de las corrientes de agua y reduce la capacidad de embalses (Sabino, Felipe-Obando y Lavado-Casimiro, 2017).

En los últimos 20 años, en el Perú se degradó más del 15 % del territorio que afectó a casi 11% de la población, principalmente de las regiones de Apurímac, Piura,



Lambayeque, Moquegua y Tacna. Si esta tendencia se mantiene, se calcula que al año 2100, el 64% del territorio peruano podría estar afectado por procesos de esta naturaleza (MINAM, 2013).

Actualmente hay 3600 millones de hectáreas afectadas por diferentes niveles de degradación de suelos que representa el (25% de las tierras a nivel mundial), incluyendo 30% de las tierras bajo riego, 47% de tierras con agricultura de secano, y 73 % de tierras de pastoreo. Anualmente pierde parte de su productividad por degradación de suelos 1,5 – 2,5 millones de hectáreas de tierra bajo riego, 3,5 - 4,0 millones de hectáreas de tierra agrícolas de secano y 35 millones de tierra de pastoreo, afectando directamente a unos 2600 millones de personas (40% de la población mundial). En los últimos 50 años se estima que 2/3 de las tierras agrícolas del mundo han sido afectadas por degradación de suelos. Unas 305 millones de hectáreas (2,3% del total de tierras y 21% de la tierras agrícolas) han perdido completamente su capacidad productiva y de control ambiental (Pla, 2012).

## **2.9. Erosión**

La erosión es el transporte de suelo o roca en la superficie terrestre debido a la acción de la circulación de agua o hielo, el viento y los cambios térmicos, entre otros, la erosión implica movimiento, transporte del material, en contraste con la meteorización, que consiste en la disgregación de las rocas. Su magnitud, depende de las propiedades del suelo, del tipo de vegetación y porcentaje de cobertura, así como de la topografía y las condiciones climáticas. La erosión puede acelerarse debido a las actividades humanas, que incluye el cambio de uso del suelo (de forestal a agrícola, ganadero a urbano), las prácticas agrícolas inadecuadas, el sobrepastoreo de tierras y la deforestación (Gardi *et al.*, 2014).



Así también FAO (2019), indica que la erosión del suelo significa la eliminación de la capa superior del suelo, la más fértil del suelo. Implica que los minerales y nutrientes del suelo se depositen en otros lugares, degradando a menudo los ecosistemas tradicionales. Además, los sedimentos depositados pueden acumularse en embalses o anegar ríos y arroyos, privando a la gente de los recursos y la energía que les aporta.

## **2.10. Erosión hídrica**

La erosión hídrica es el proceso de desprendimiento y arrastre acelerador de partículas del suelo causado por la acción del agua que disminuye la productividad de los suelos y afecta la salud de los ecosistemas. La erosión hídrica es el principal problema que compromete la sustentabilidad de todos los sistemas productivos (Gaitan, Navarro, Vuegen, Pizarro y Carfagno, 2017).

Así también RAAA (2002), indica que la erosión hídrica es el proceso de separación y transporte de las partículas del suelo por acción del agua de lluvia. Es un proceso que destruye los suelos, ya que hace desaparecer el suelo superficial, a veces hasta dejar al descubierto la roca madre. Puede ser un proceso natural o acelerado.

## **2.11. Etapas de los procesos de la erosión**

### **- Desprendimiento:**

Es el proceso en el cual intervienen las gotas de lluvia. Estas gotas caen con una energía cinética que se disipa sobre la superficie del suelo y rompe los terrones y agregados. Como consecuencia se desprenden partículas que pueden tapar los poros del suelo, y la superficie resulta sellada. Asu vez, si hay pendiente, algunas de esas partículas pueden moverse hacia las partes más bajas del terreno. En esta fase se produce erosión por la salpicadura que generan las gotas (Ares y Varni, 2016).



Así también García-Fayos (2004), menciona que las gotas de lluvia al impactar sobre el suelo desprotegido pueden romper los agregados que conforman la estructura superficial del mismo, transportando a distancia trozos de los mismos o las partículas minerales que los constituyen por efecto de la salpicadura.

- **Transporte**

Se genera cuando la lluvia supera la capacidad de infiltración del suelo o cuando este se satura. Tras el encharcamiento, el efecto de la gravedad hace que el agua se mueva pendiente abajo pero el flujo es muy variable, llegando a desaparecer en aquellas zonas más permeables (Cerdà, 2001).

Por otra parte Cisneros *et al.* (2012), señala que este agente produce el desprendimiento de nuevo suelo y el transporte del suelo removido, en una magnitud proporcional al caudal escurrido y a la velocidad que adquiere el flujo de agua sobre la superficie. Este agente produce los fenómenos erosivos más visibles (por ejemplo, cárcavas), y es el responsable del movimiento de las partículas de suelo removidas. Pueden distinguirse dentro de la escorrentía dos tipos de flujo: el flujo laminar (erosión laminar o mantiforme), que se mueve con una velocidad lenta, el flujo turbulento/concentrado flujo en surcos (erosión en surcos), con una velocidad que puede llegar a 4m/s, y que es el responsable de la mayor parte del transporte de sedimentos.

- **Sedimentación:**

Es la acumulación por deposición de todos aquellos materiales alterados y transportados previamente. El sedimento es el material (minerales, materia orgánica, etc.) que habiendo estado suspendido en un líquido, se deposita en el fondo (Martinez, 2017).



Al respecto Troeh, Hobbs y Donahue (1980), indica que la sola acción de la gravedad es capaz de mover el suelo, especialmente cuando esta mojado y en ambientes de altas pendientes. Los movimientos de masa, deslizamientos de laderas, erosión lateral de meandros de ríos, avalanchas de nieve son ejemplos de la acción de la gravedad en procesos erosivos.

## 2.12. Factores de erosión hídrica

### - **Clima:**

Los factores de la lluvia más importantes desde el punto de la erosión son la intensidad y la duración. La intensidad representa el volumen caído por unidad de tiempo (mm/h o L/h). Las lluvias de baja intensidad son retenidas por el suelo al infiltrarse sin problemas, mientras que cuando las lluvias llegan al suelo con altas intensidades se supera la capacidad de infiltración, se produce un exceso de agua en la superficie del suelo que forma la escorrentía. La duración va de regular la cantidad de agua caída o sea el tiempo en que ha estado actuando una lluvia sobre el suelo. Las lluvias largas serán más erosivas que las de corta duración. Las tormentas serán; pues, las lluvias más erosivas (Peinado y Sierra, 2008).

### - **Relieve:**

La topografía de las laderas o vertientes son factores primordiales de la erosión hídrica. La erosión hídrica prácticamente es inexistente en zonas llanas, sin embargo, si el terreno es inclinado predominarán los desplazamientos hacia las partes más bajas por el efecto de la gravedad. Así mismo, la potencia erosiva del agua escurrida y su capacidad del transporte son función de la velocidad, y esta es mayor cuanto mayor sea la pendiente del terreno. Otra característica del relieve significativa, junto a la pendiente, es la longitud de la ladera. El caudal de escorrentía debe de ser mayor a medida que se aumenta la distancia de la cumbre,



de forma que el fenómeno erosivo es más intenso (Almorox, López y Rafaelli, 2011).

- **Tipo de suelo:**

Los suelos en los que predomina gran cantidad de partículas finas como los limos y arcillas, calificados sobre su base porcentual como franco arcillo limoso, francos arcillosos, son más susceptibles a la erosión hídrica por el impacto de las gotas de lluvia que los suelos de texturas gruesas como los arenosos francos o el franco arenoso. A su vez, el desarrollo estructural ayuda a evitar los procesos erosivos. Si un suelo tiene un buen desarrollo estructural, tiene espacios porosos y grietas que favorecen la penetración del agua de lluvia o del agua de riego por aspersión. Pero la compactación de suelos y el deterioro estructural asociado contribuyen a que se presenten procesos erosivos (Nuñez, 2001).

- **Vegetación:**

La vegetación impide el impacto directo de las gotas de lluvia sobre la superficie del terreno, disipando la energía que llevan las mismas; parte del agua que cae es interceptada por la vegetación incrementando hacia la tasa de infiltración; otra parte se evapora y el resto ocurre y fluye por la pendiente. La densidad y tipo de vegetación influyen en la escorrentía y cantidad de suelo erosionado, siendo estas mayores en suelos desnudos y menores en suelos con presencia de cultivos, bosques y/o pastizales (Tayupanta, 1993).

- **El hombre y el tiempo:**

Los humanos alteran los suelos y con ello acelera los procesos erosivos. Roturaciones, laboreo, incendios, modificación de causas, construcción de infraestructuras y minas son buenos ejemplos de ellos. La erosión mecánica del suelo por las operaciones de labranza puede llegar a ser el mayor proceso de



degradación física de los suelos en los ecosistemas convencionales de agricultura extensiva. En otros casos, la despoblación y el abandono de tierras de cultivo han provocado la implantación de una vegetación natural protectora de la erosión. A lo largo del tiempo, el hombre ha desarrollado técnicas y prácticas de conservación de suelos que han permitido reducir las tasas de erosión. Terrazas de cultivo, cultivo de fajas, manejo con barbechos e incorporación de cubiertas, revegetaciones y repoblaciones forestales, entre otros, son ejemplos de prácticas de conservación que controlan la erosión. El tiempo es un factor esencial ya que los procesos son lentos y solo con largos periodos de estudio se pueden descifrar la dinámica de los sedimentos en una cuenca de drenaje de laderas (Almorox *et al.*, 2011).

### 2.13. Tipos de erosión

#### - **Erosión por salpicadura:**

Esta pérdida superficial de suelo en forma más o menos uniforme, de tal manera que las raíces de las plantas quedan al descubierto. Este proceso es poco percibido por los agricultores, a pesar del gran daño que está produciendo a sus tierras, ya que se están perdiendo las partículas coloidales más importantes (arcilla, humus y nutrientes) (RAAA, 2002).

#### - **Erosión laminar:**

En este tipo de erosión se pierden principalmente partículas finas, lo que ocasiona una pérdida de elementos nutritivos y disminución de la capacidad de retención de la humedad del horizonte superficial. En las primeras fases de la erosión laminar, durante las cuales el desgaste del suelo es paulatino, la superficie del suelo no se modifica mucho; después se observan cambios en el color del



suelo, así como una concentración importante de gravas y guijarros en superficie (Bienes, 2006).

- **Erosión por surcos**

Este tipo de esorrentía concentrada tiene una mayor capacidad de desprendimiento y de transporte que el flujo laminar, con la que las tasas de erosión se incrementan, pasando el flujo de tipo subcrítico a supercrítico. Suele denominarse a la erosión en surcos como aquella que el productor puede borrar con los implementos de labranza, luego de que ocurre. El mecanismo de erosión en surcos requiere de una pequeña formación “cabecera” que produce una erosión retrocedente (sentido contrario al flujo). La velocidad de avance del surco depende de la cohesividad del material de suelo, la altura del salto en la cabecera del surco y el caudal y velocidad del flujo (Cisneros *et al.*, 2012).

- **Erosión por cárcavas**

Al profundizarse y ampliarse los surcos de erosión se convierte en cárcavas, o varios pequeños surcos pueden unirse y crecer para formar una cárcava a esto se le denomina un canal de erosión. Estos canales ya no pueden ser eliminados con prácticas agrícolas. Las cárcavas actúan como cauces de concentración y transporte de agua y sedimentos. Al inicio las cárcavas son en V, pero generalmente terminan con forma en U. Las cárcavas van avanzando o remontando hacia arriba formando una o varias gradas o cambios bruscos de pendiente (Suárez, 2001).

## 2.14. Método para estimar la erosión hídrica

### 2.14.1. Método de los clavos

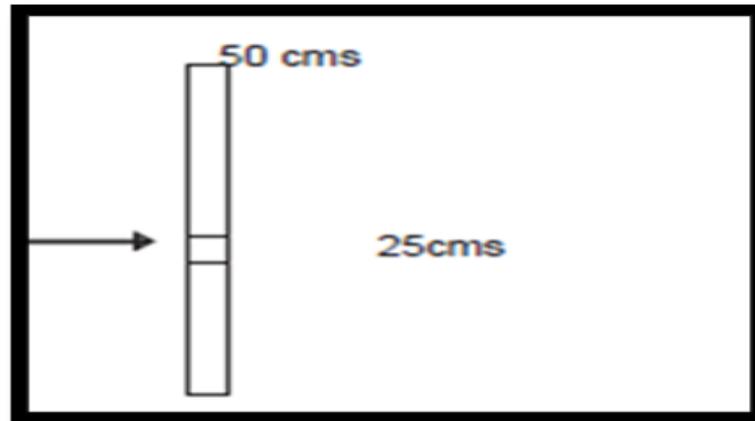
El método de los clavos y rondanas puede considerarse uno de los más sencillos y fáciles de aplicar para cuantificar las pérdidas de suelo ocasionadas por la erosión hídrica. El cual consiste en utilizar clavos con rondanas, colocadas a lo largo de un transecto a intervalos regulares. El propósito de la rondana es marcar cortes en el terreno ocasionados por erosión y de esta forma medir el espesor de la capa del suelo perdido (Somarriba, Obando y Beltrán, 2005).

Así también Hudson (1997), menciona que este método es ampliamente utilizado el cual consiste en clavar en el suelo una varilla medidora de manera que en su parte superior se puedan “leer” los cambios en el nivel de la superficie del suelo. Conocido con diversos nombres como postes, estacas y otros, las varillas pueden ser de madera, hierro o cualquier otro material que no se deteriore que sea fácil de obtener y barato. De la misma manera Pizarro y Cuitiño (2002), indica que es un método de varillas es sencillo de aplicar y presenta un alto grado de precisión. Además, este método sirve para cuantificar la erosión hídrica producida y sedimentación ocurrida.

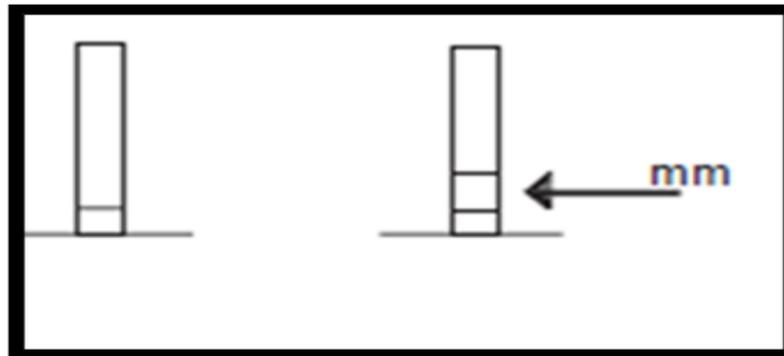
#### - **Método mejorado:**

Se utilizan varillas de hierro liso de 3/8 de diámetro y 50 cm de largo, se marcan al centro (25 cm) con un anillo rojo de aproximadamente 10 cm de ancho. La varilla marcada se introduce en la tierra hasta la marca de los 25 cm, de manera que la parte inferior del anillo toque ligeramente la superficie del suelo (Somarriba *et al.*, 2005). De la misma manera Vásquez y Tapia (2011), indica que el tamaño adecuado de las varillas de erosión debe ser entre 25 a 50 cm de largo y de 4 a 8 mm de espesor.

La disposición de las varillas en el área experimental dependerá de las condiciones del terreno y del tipo de erosión predominante en el área.



**Figura 1.** Método de clavos modificado (Somarriba *et al.*, 2005)



**Figura 2.** Pérdida de suelo en milímetros (Somarriba *et al.*, 2005)

Llerena (1988), indica las siguientes ventajas y desventajas:

**Ventajas:**

- Medición directa y simple.
- Bajo costo, fácil disponibilidad de materiales y durabilidad aceptable.
- Bajo riesgo de pérdida
- Puede usarse para medir erosión eólica, fluvial, etc.

**Desventajas:**

- La varilla altera el microambiente a su alrededor.
- Genera peligro potencial de alteración del suelo, por parte del operador durante la instalación de las varillas y la medición.



- La fauna o animales domésticos podrían causar alteraciones.
- Riesgo que en la zona de la varilla se genere una alteración del suelo debido a la variación del contenido de humedad.

### **2.15. Cuantificación de pérdidas**

Somarriba *et al.* (2005), indica que la cuantificación de pérdidas se hace a través de la siguiente formula:

$$P= H * A * DAP$$

Donde:

P = Pérdida de suelo

H = Altura de la lámina perdida

A = Área de medida

DAP = Densidad aparente

### **2.16. Fertilidad del suelo**

Alfaro (1979), señala que la fertilidad es la capacidad que posee el suelo de proporcionar a los vegetales los nutrientes necesarios para su desarrollo de forma equilibrada. Además, comprende dos características; la primera es que el suelo debe poseer las características físicas, químicas y biológicas que permitan el crecimiento de las raíces. La segunda es que deben estar los nutrientes en la forma y cantidad que requieren las plantas.

De la misma manera Cespedes (2010), indica que la fertilidad es la capacidad del suelo de sustentar la vida vegetal, que depende de la disponibilidad de nutrientes, de la capacidad de retención de agua, de la existencia de un espacio físico para el crecimiento de las raíces y movimiento de gases, de la presencia de microorganismos que actúen en los ciclos de los nutrientes y otros que controlen los problemas sanitarios; y de la ausencia de procesos de destrucción. Por ello, al decidir cuál será el manejo agronómico a realizar,



es necesario considerar que sobre la fertilidad del suelo intervienen en forma interdependiente factores químicos, físicos y biológicos.

### **2.17. Características físicas**

La condición física de un suelo, determina, la rigidez y la fuerza de sostenimiento, facilidad de penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes (Rucks, García, Kaplán, Ponce de León y Hill, 2004). Además P. A. Sánchez (1981), menciona que muchas de las propiedades físicas del suelo se deterioran con la labranza, haciendo el suelo menos permeable y más susceptible a pérdidas de escorrentía y erosión.

#### **2.17.1. Textura**

FAO (2002), indica que se refiere a las proporciones relativas de arena, limo y arcilla contenidas en el suelo. Dependiendo de la textura, los suelos son descritos como arenas, francos arenosos, francos, francos arcillosos, arcillas, etc. Los suelos pueden también ser denominados “ligeros” (por ejemplo, arenas y francos arenosos), “medios” (por ejemplo, francos) o “pesados” (por ejemplo, franco arcillosos y arcillas) basados en su facilidad de laboreo. Así también Ramírez (1997), señala que esta característica influye sobre la velocidad de infiltración del agua, la facilidad de preparación del laboreo del suelo, el drenaje, contenido de materia orgánica y otras propiedades.

#### **2.17.2. Densidad aparente**

La densidad aparente depende del grado de soltura o porosidad del suelo, es un valor más variable; que depende además de la textura, el contenido de materia orgánica y la estructuración. Por lo tanto, se dice que la densidad aparente es más variable (debido a la inestabilidad de la soltura del suelo). Así, un suelo preparado para la siembra, tendrá valores de densidad aparente más bajos, en tanto, que el mismo suelo, después de la

cosecha y ha sido sometido a procesos de compactación (pasado de maquinaria, pisoteo de ganado, etc.) mostrara altos valores de densidad aparente (MINAG, 2011).

### **2.17.3. Densidad real**

La densidad real, mide el grado de compactación de un determinado suelo este ha sido sometido a trabajos constantes de maquinaria pesada sobre la capa arable, pudiendo mostrarse esa compactación en esa misma capa o en la subyacente. La composición mineral es más o menos constante en la mayoría de los suelos, por tanto, se estima que la densidad real varía entre 2.6 a 2.7g/cc para todos los suelos. Por lo expuesto, se desprende que la densidad real es un valor estable (en tanto no se puede modificar el volumen de los sólidos) (J. Sánchez, 2007).

### **2.17.4. Porosidad**

La porosidad es la cantidad de espacio de los poros en el suelo y que se subdivide en macro y microporos. El porcentaje de porosidad es alto en suelos de textura fina con una mayor proporción de microporos, lo cual favorece una mayor retención de humedad en relación a un suelo arenoso. Por otro lado, a medida que aumenta la densidad aparente, la porosidad disminuye e influye directamente en la aireación del suelo, llegando a disminuir en casos extremos el desarrollo de raíces. Los poros de diámetro de 0.2 a 0.3 mm limitan el crecimiento de raíces (INTAGRI, 2017b).

## **2.18. Características químicas**

Las propiedades químicas son las que influyen en la penetración y absorción de nutrientes estos son el pH, CIC (capacidad de intercambio catiónico), (el contenido de materia orgánica y arcilla) y el tipo de arcilla (Owen, 1995). De la misma manera Tamhane, Motiramani, Bali, and Donahue (1986), indica que son aquellas características



que pueden observarse y/o medirse a partir de cambios químicos que ocurren en el suelo. Estas propiedades describen el comportamiento de los elementos, sustancias y componentes que integran el suelo.

### **2.18.1. pH**

El pH es un parámetro que permite conocer que tan ácida o alcalina es la solución del suelo, dicho que la solución del suelo es donde las raíces de las plantas toman los nutrimentos necesarios para su crecimiento y desarrollo. La escala de medición del pH está entre los valores de 0 a 14. El pH también es un indicador de múltiples propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo que influyen fuertemente sobre la disponibilidad de los nutrimentos esenciales para las plantas. El pH dentro de un rango específico permite que la mayoría de los nutrientes mantengan su máxima disponibilidad. Por debajo de dicho rango se puede presentar problemas de deficiencia de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre o magnesio; mientras que por encima de este mismo rango la disponibilidad de micronutrientes (hierro, manganeso, cobre o zinc) se reduce (INTAGRI, 2018).

### **2.18.2. Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica mide la capacidad del suelo para conducir corriente eléctrica al aprovechar la propiedad de las sales en la conducción de esta; por tanto, la conductividad eléctrica mide la concentración de sales solubles presentes en la solución del suelo. Su valor es más alto cuanto más fácil se mueve dicha corriente a través del mismo suelo por una concentración más elevada de sales. Las unidades utilizadas para medir la conductividad eléctrica son ds/m (decisiemens por metro). Esta medida es equivalente a la que anteriormente se utilizaba: mmhos/cm (INTAGRI, 2017a).

### 2.18.3. Nitrógeno

El nitrógeno es el elemento requerido en mayor cantidad por las plantas; desempeña un papel central en el metabolismo de las plantas como componente de proteínas, ácidos nucleicos, clorofila, coenzimas, fitohormonas y metabolitos secundarios. Tras su absorción como amonio o nitrato, el nitrógeno se asimila en aminoácidos en las raíces o en los brotes. Dentro de la planta, el nitrógeno se transloca como nitrato o aminoácidos (Hawkesford *et al.*, 2012).

Las grandes reservas de nitrógeno que abastecen al nitrógeno disponible para las plantas son la atmósfera y la materia orgánica del suelo. Ambas fuentes no están inmediatamente disponibles para los vegetales. El nitrógeno atmosférico entra al sistema por la fijación biológica de microorganismos que poseen esa capacidad. Dichos microorganismos pueden establecer relaciones simbióticas con determinadas especies o ser de vida libre en el suelo. Por otro lado, otro grupo de microorganismos deben de mineralizar la materia orgánica para transformar en nitrógeno retenido en la misma a formas disponibles para las plantas ( $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$ ) (Álvarez y Rimski-Korsakov, 2016).

### 2.18.4. Fósforo

Es un elemento fundamental para la nutrición de las plantas. Es absorbido por estas en forma de fosfatos mono y diácidos. Es un elemento que da calidad y precocidad a las plantas, ya que adelanta la maduración. En los primeros interviene en la síntesis proteica y contribuye al desarrollo radicular. En los órganos de reserva (semillas y tubérculos) forma parte de fosfolípidos y ácidos nucleicos. También cumple el rol metabólico, ya que desempeña un papel indispensable como acumulador de energía y combustible para todas las



actividades bioquímicas de las células vivientes al formar parte de adenosín trifosfato (ATP) (Sanzano, 2006).

#### **2.18.5. Potasio**

El potasio, ayuda a la planta hacer uso más eficiente del agua, es absorbido en forma iónica ( $K^+$ ), sus funciones son muy conocidas por estar ligado al metabolismo de la planta. Es importante en la formación del fruto, activa enzima mejora la calidad del cultivo. Aumenta la resistencia a enfermedades y la tolerancia a las heladas (Velasquez, 2003).

#### **2.18.6. Calcio**

Al respecto Arias (2007), indica que el calcio en el suelo proviene de minerales procedentes del material parental, como el fosfato de calcio y carbonato de calcio. Generalmente la concentración de calcio en solución suelo es cerca de diez veces más alta que el potasio, sin embargo, la tasa de absorción del calcio es más baja que la del potasio, esto debido a que el calcio es absorbido solamente por las puntas de raíces jóvenes donde la pared celular aún no está endurecida. El calcio es utilizado por la planta para la tensión y elongación celular, para la permeabilidad y estabilidad de la membrana celular, además, forma parte de la pared celular que es específica de los vegetales, lo cual proporciona sostén.

#### **2.18.7. Magnesio**

El contenido de magnesio está estrechamente correlacionado con la naturaleza física del suelo; es máximo en suelos arcillosos y mínimo en aquellos arenosos donde el magnesio está sometido a fuertes lavados. La disponibilidad de este elemento es fuertemente limitada en suelos netamente alcalinos o ácidos y en aquellos con bajo contenido de materia orgánica. Se puede verificar condiciones de deficiencia en suelos con niveles elevados de potasio. Por lo general la



absorción de magnesio es obstaculizado por la presencia de grandes cantidades de potasio y calcio, antagonistas iónicos. La deficiencia de magnesio varía de planta en planta y en consideración a la elevada movilidad de este ion al interior de los organismos vegetales, aparece primero en las hojas jóvenes, manifestando amarillamiento o clorosis que en casos graves de carencia, se necrosan (Piaggese, 2004).

#### **2.18.8. Sodio**

El sodio no es un elemento esencial para las plantas, pero puede ser usado en pequeñas cantidades, al igual que los micronutrientes, como auxiliar para el metabolismo y la síntesis de clorofila. En algunas plantas, puede ser empleado como sustituto parcial de potasio y es útil en la apertura y el cierre de estomas, lo cual ayuda a regular el equilibrio interno de agua (Bloodnick, 2020). Así también el sodio estimula el crecimiento a través del alargamiento celular y puede sustituir al potasio. Su deficiencia en las plantas causa clorosis y necrosis, e inclusive impide la formación de flores (Pérez Leal, 2017).

### **2.19. Características biológicas**

Se refiere al gran número de actividades que desarrollan los organismos vivos del suelo para impactar en el potencial productivo mismo. El suelo es un espacio donde viven infinidad de organismos macro y microscópicos tanto plantas como animales. La población del suelo comprende bacterias, hongos, actinomicetos, protozoos, algas y muchos invertebrados pequeños (Acosta, 2007).

#### **2.19.1. Materia orgánica**

La mayor parte de la materia orgánica se encuentra cerca de la superficie del suelo, la parte aérea de las plantas que no se cosechan quedan en superficie y las raíces se convierten en materia orgánica cuando sus células pierden



funcionalidad o mueren. La mesofauna del suelo (lombrices, insectos) incorporan los residuos más profundamente en el suelo por lo que la mayor concentración de materia orgánica del suelo se da en los primeros 15-20 centímetros del suelo (Docampo, 2010). Durante el proceso de descomposición los microbios pueden atrapar nitrógeno del suelo. La materia orgánica y el humus almacenan muchos nutrientes del suelo. También mejoran su estructura, sueltan suelos de arcilla, ayudan a prevenir la erosión y mejoran la capacidad de retención de nutrientes y agua de suelos arenosos o toscos. La cantidad de materia orgánica depende de la vegetación, el clima, la textura del suelo, el drenaje del mismo y de su laboreo (Pascual y Venegas, 2010).

### **2.19.2. Macrofauna**

Comprende lombrices, termitas, ciempiés, milpiés y otros animales. La población de lombrices y su actividad es un buen indicador de la salubridad del suelo y tiene un efecto sobre la estructura, la fertilidad, el reciclaje de nutrientes y la penetración de raíces. Estos animales juegan un papel importante en la formación y evolución de la estructura del suelo y en el tamaño y distribución de poros. Los biocanales o macroporos creados por las actividades de la fauna del suelo influyen en la penetración de las raíces, la difusión gaseosa, el transporte de agua y las reacciones químicas, tanto en la superficie como dentro de los horizontes del suelo y el flujo de las aguas subterráneas. Las actividades de la fauna del suelo también tienen una gran influencia en el reciclaje de nutrientes, descomposición de la materia orgánica y la biomasa y la transformación húmica. Interactuando con el clima, el uso y manejo del suelo; estas propiedades influyen en la magnitud y dirección de la bioperturbación, el lavado y flujo del agua a través de los macroporos (Lal, 1994).



### **2.19.3. Mesofauna**

Son microartropodos (ácaros, collembolos, pequeños insectos, arañas) y pequeños oligoquetos. Tienen un ancho de cuerpo entre 100 micras y 2 mm. Se mueven libremente, constituyendo un grupo muy diverso, con diferentes estrategias de alimentación y funciones en el proceso del suelo. Pueden ser desde bacteriófagos hasta depredadores, pudiendo afectar la velocidad de descomposición y mineralización de la materia orgánica. Su efecto sobre la estructura del suelo es limitado, aunque pueden ser importantes en la formación de microagregados de algunos suelos. La mesofauna de mayor tamaño es más activa, afectando la porosidad del suelo a través de actividades de excavación y en la agregación mediante la producción de pellets fecales. Pueden colonizar todo el perfil del suelo, aunque en densidades reducidas (Zerbino y Altier, 2008).

### **2.19.4. Microfauna**

Son los responsables de las transformaciones químicas correspondientes a los procesos de humificación y mineralización de la materia orgánica. Tienen un diámetro entre 20 y 200 micras. Los de mayor importancia son los protistas. Las bacterias son los microorganismos más prolíferos en el suelo y los más importantes para transformar químicamente diferentes compuestos a formas asimilables por las plantas. En su mayoría son heterótrofas y saprofitas (descomponen compuestos) y algunas son autótrofas (fabrican su propio alimento) (Ramírez, 1997).



## CAPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación del proyecto

El trabajo de investigación se ejecutó durante los meses de octubre del 2018 a mayo del 2019, en la parcela de un productor agropecuario de la comunidad campesina de Chancarani del distrito de Mañazo, provincia y departamento de Puno. Esto con el apoyo del PP.089 (Reducción de la Degradación de Suelos Agrarios de la Estación Experimental Agraria ILLPA Puno (EEA) – Instituto De Innovación Agraria (INIA), de Puno.

##### 3.1.1. Ubicación política

Departamento: Puno

Provincia: Puno

Distrito: Mañazo

Comunidad: Chancarani

##### 3.1.2. Ubicación geográfica

Están comprendidas por las siguientes coordenadas:

Altitud: 3992 msnm.

Latitud sur: 15° 47'55.97”

Longitud oeste: 70° 22' 30.81”

##### 3.1.3. Coordenadas Chancarani – Mañazo

Este: 351352.00

Norte: 8255174.00

#### 3.2. Clima

El clima en el distrito de Mañazo, se caracteriza por tener un clima frígido y seco. Los cambios Climáticos por el calentamiento global hacen que las características de las

estaciones varíen, perjudicando el desarrollo de la agricultura esto ocasionado por la sequía y heladas (Hernández, 2014).

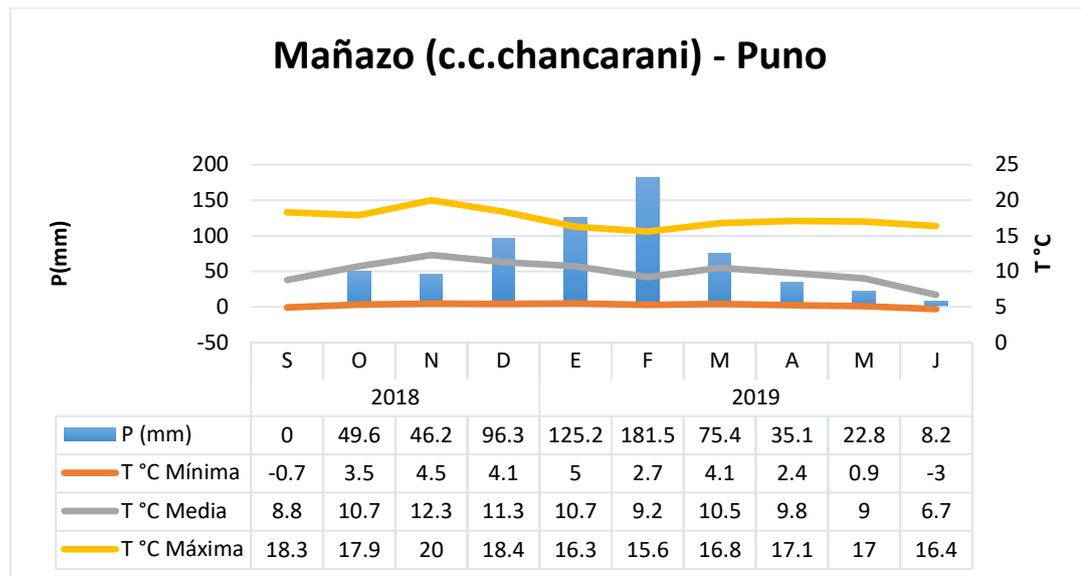
➤ **Precipitación pluvial**

Para el presente trabajo de investigación, los registros de precipitación pluvial y temperatura se obtuvieron de la estación meteorológica de Mañazo del Servicio Nacional de Meteorología e hidrología del Perú (SENAMHI), siendo estas registradas en la campaña agrícola 2018-2019 mostrándose a continuación:

**Tabla 1.** Temperatura y precipitación del área de estudio.

| Año      | Mes        | Temperatura °C |        |       | Precipitación<br>(mm) |
|----------|------------|----------------|--------|-------|-----------------------|
|          |            | Máxima         | Mínima | Media |                       |
| 2018     | Septiembre | 18.3           | - 0.7  | 8.8   | 0                     |
|          | Octubre    | 17.9           | 3.5    | 10.7  | 49.6                  |
|          | Noviembre  | 20.0           | 4.5    | 12.3  | 46.2                  |
|          | Diciembre  | 18.4           | 4.1    | 11.3  | 96.3                  |
| 2019     | Enero      | 16.3           | 5.0    | 10.7  | 125.2                 |
|          | Febrero    | 15.6           | 2.7    | 9.2   | 181.5                 |
|          | Marzo      | 16.8           | 4.1    | 10.5  | 75.4                  |
|          | Abril      | 17.1           | 2.4    | 9.8   | 35.1                  |
|          | Mayo       | 17.0           | 0.9    | 9.0   | 22.8                  |
|          | Junio      | 16.4           | -3.0   | 6.7   | 8.2                   |
| Promedio |            | 17.4           | 2.4    | 9.9   | 64.03                 |
| TOTAL    |            |                |        |       | 640.3                 |

**Fuente:** SENAMHI (2018 – 2019) estación Mañazo - Puno.



**Figura 3.** Comportamiento de la precipitación y temperatura del Distrito de Mañazo (c. c. chancarani) – Puno 2018-2019 del área de estudio

En la figura 3, se observa las precipitaciones pluviales en el distrito de Mañazo durante el periodo de estudio de septiembre 2018 a junio del 2019), donde las mayores precipitaciones se dieron en el mes de diciembre, enero, febrero y marzo (96.7, 125.2, 181.5 y 75.4 mm respectivamente) y las menores precipitaciones se dieron en los meses de octubre, noviembre abril, mayo y junio (49.6, 46.2, 35.1, 22.5 y 8.2 mm respectivamente) según la Tabla 1 y Figura 3. En cuanto al comportamiento de la temperatura se observa que la temperatura máxima se registró en el mes de noviembre con 20.0°C y teniendo una temperatura mínima en el mes de junio con (-3.0 °C) según la Tabla 1 y Figura 3.

### 3.3. Relieve

El relieve es accidentado y rocoso, áreas bastante extensas, suaves y ligeramente onduladas y colinadas con mayor proporción a semiplano principalmente en las cercanías de la capital del distrito de Mañazo (Hernández, 2014). Así también la zona presenta pendientes fuertes de hasta un 60%

### 3.4. Suelo

En la Tabla 2, se muestra el análisis de suelo del trabajo de investigación, donde indica que el suelo es de textura franco, pH ligeramente alcalino, nitrógeno total medio, fósforo disponible medio, potasio disponible medio y materia orgánica media. El análisis de suelo se realizó en el laboratorio de “suelo y agua” del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) – Anexo Salcedo.

**Tabla 2.** Análisis de caracterización del suelo inicial del área en estudio

| Parámetro | Unidad   | Contenido |
|-----------|----------|-----------|
| Arena     | %        | 42.16     |
| Arcilla   | %        | 11.84     |
| Limo      | %        | 46.00     |
| Textura   | -        | F         |
| M.O.      | %        | 2.12      |
| N         | %        | 0.10      |
| P         | ppm      | 7.64      |
| K         | ppm      | 144.56    |
| Ca        | meq/100g | 9.3       |
| Mg        | meq/100g | 3.10      |
| Na        | meq/100g | 0.90      |
| pH        | -        | 7.65      |
| CIC       | meq/100g | 13.70     |
| CE        | mmhos/cm | 0.279     |

**Fuente:** Laboratorio de análisis de aguas y suelos (INIA), Anexo Salcedo 2018

### 3.5. Vegetación

La zona de Mañazo presenta una vegetación extensa de pastizales de ichu, chilligua, pastos naturales y otros que son condiciones aceptables para la producción pecuaria de donde se obtiene, fibra de alpaca y llama, carne de camélido, vacuno y ovino (Hernández, 2014).



### 3.6. El hombre y el tiempo

La mayoría de la población del distrito de Mañazo se dedica a la actividad agropecuaria, siendo su actividad principal la crianza de animales como camélidos, principalmente alpacas, llama, ovinos y vacunos; siendo esta actividad el sustento económico de las familias. Y menor proporción por la actividad agricultura; donde el clima es el factor determinante en la producción pecuaria y agricultura, ya que las altas oscilaciones de temperatura muy fría (helada) y la muy poca estacionalidad de las lluvias generan un alto riesgo productivo ocasionando importantes pérdidas de ganado y cultivos de la zona (Hernández, 2014).

### 3.7. Características del campo experimental

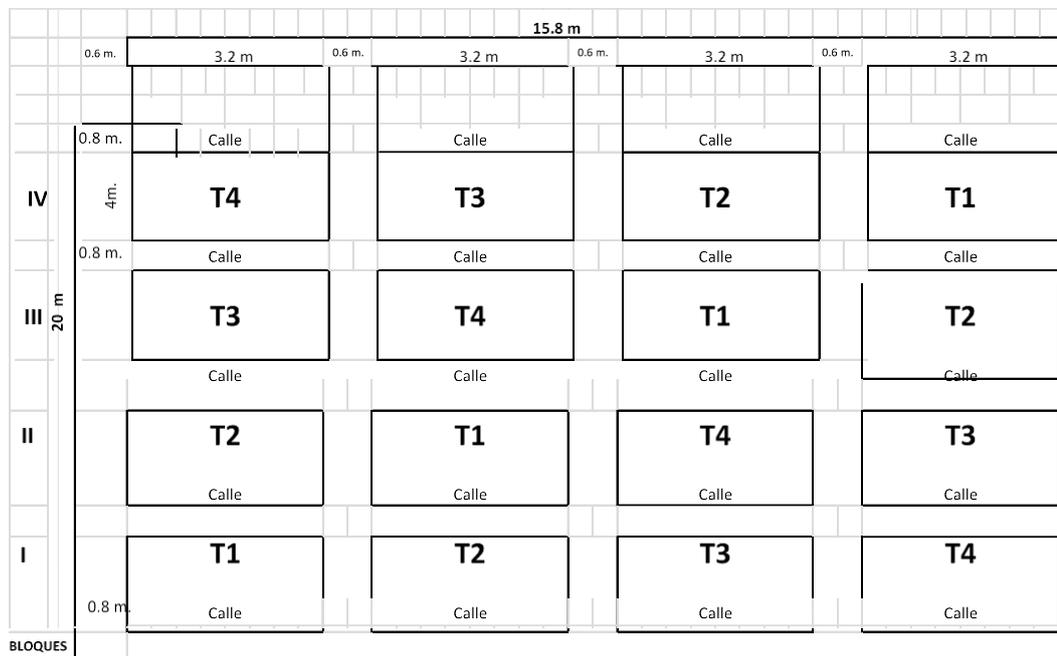
|                                  |                       |
|----------------------------------|-----------------------|
| Número de parcelas               | : 16                  |
| Número de tratamientos           | : 4                   |
| Número de repeticiones           | : 4                   |
| Ancho de parcela                 | : 3.2 m               |
| Largo de parcela                 | : 4 m                 |
| Área de la parcela               | : 12.8 m <sup>2</sup> |
| Distanciamiento entre parcelas   | : 0.8 m               |
| Distanciamiento entre bloques    | : 0.5 m               |
| Número de surcos por parcela     | : 4                   |
| Número de surcos (quinua)        | : 4                   |
| Número de surcos (leguminosas)   | : 5                   |
| Largo del área experimental      | : 15.8 m              |
| Ancho del área experimental      | : 20 m                |
| Área total del área experimental | : 316 m <sup>2</sup>  |

### 3.8. Descripción de tratamientos

**Tabla 3.** Descripción de tratamientos en estudio

| Tratamiento |       |                    |                         |
|-------------|-------|--------------------|-------------------------|
| N°          | Clave | Variedad de quinua | Leguminosas             |
| 1           | T1    | Salcedo INIA       | sin cobertura (testigo) |
| 2           | T2    | Salcedo INIA       | Trébol carretilla       |
| 3           | T3    | Salcedo INIA       | Vicia                   |
| 4           | T4    | Salcedo INIA       | Tarwi                   |

### 3.9. Croquis del campo experimental



**Figura 4.** Croquis del campo experimental

### 3.10. Diseño experimental

Se utilizó el diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con 4 tratamientos en 4 bloques, teniendo un total de 16 unidades experimentales, el modelo lineal fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + \tau_j + \epsilon_{ij}$$

Donde:



$Y_{ij}$  : Variable respuesta (biomasa de leguminosas, Da, erosión del suelo rendimiento de quinua etc.).

$\mu$  : Promedio general de la variable respuesta.

$\beta_i$  : Efecto del i-ésimo bloque

$\tau_j$  : Efecto del j-ésimo tratamiento

$\epsilon_{ij}$  : Error experimental en el i-ésimo bloque del j-ésimo tratamiento.

Se realizó comparaciones múltiples de medias de Tukey. Los datos se procesaron en el software SAS 9.4 (Statistical Analysis System)

### 3.11. Factores de estudio

#### Coberturas del suelo:

- **Trébol carretilla:** La semilla se recolecto de las comunidades de Cahualla y Chancarani esto con ayuda de agricultores.
- **Vicia:** La semilla de vicia se adquirió de la tienda Alabama de la ciudad de lima.
- **Tarwi:** La semilla de tarwi fue proporcionado por el agricultor.

**Cultivo de quinua:** La semilla se adquirió del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA)-Salcedo.

### 3.12. Variables de respuesta

- **Biomasa foliar verde de leguminosas:** se evaluó después de la cosecha de quinua, los datos se tomaron en ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).
- **Erosión del suelo:** se evaluó después de la cosecha de quinua, los datos se tomaron en ( $\text{t ha}^{-1}$ ).
- **Análisis de caracterización de suelos:** se realizó antes y después de la cosecha como son: pH del suelo, CE del suelo mmhos/cm, Materia orgánica del suelo (%), Nitrógeno total (%), Fósforo disponible (ppm), Potasio disponible (ppm), Sodio  $\text{Na}^+$  (me/100g) y Capacidad de intercambio catiónico del suelo (CIC) (me/100g).



- **Densidad aparente del suelo:** se evaluó antes de la siembra y después de la cosecha, los datos se obtuvieron en ( $\text{g cm}^{-3}$ ).
- **Rendimiento de quinua:** se evaluó en después de la cosecha de quinua, los datos se obtuvieron en ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

### 3.13. Eficiencias

Para obtener las eficiencias para cada variable de respuesta, se realizaron las diferencias entre el resultado del análisis inicial, con los resultados del análisis final de los suelos en estudio.

### 3.14. Prueba de normalidad y homogeneidad de varianzas

Los datos de influencia biomasa foliar, rendimiento de grano, densidad aparente y eficiencia de fosforo, potasio se transformaron a raíz cuadrada. Los datos de eficiencia de nitrógeno y materia orgánica se transformaron a datos angulares (arco-seno  $\sqrt{x}$ ) puesto a que los resultados están expresados en porcentajes. Los datos de erosión del suelo se trabajaron en un análisis no paramétrica (Friedman) (Montgomery, 2017).

### 3.15. Materiales de campo

#### 3.15.1. Material vegetal

- Quinua
- Trébol carretilla
- Vicia
- Tarwi



### 3.15.2. Dosis de aplicación de coberturas

**Tabla 4.** Dosis de aplicación de las coberturas en kg ha<sup>-1</sup>

| N° | Coberturas        | Dosis                                            |
|----|-------------------|--------------------------------------------------|
| 1  | Trébol carretilla | 450 kg ha <sup>-1</sup><br>(legumbre en espiral) |
| 2  | Vicia             | 60 kg ha <sup>-1</sup>                           |
| 3  | Tarwi             | 80 kg ha <sup>-1</sup>                           |

### 3.15.3. Material de laboratorio

- Estufa
- Balanza de precisión

### 3.15.4. Material de gabinete

- Etiquetas
- Hojas de registro
- Fichas de recolección de datos
- Cuaderno de apuntes
- Laptop y Softwar's
- Plumón indeleble

### 3.15.5. Material de campo

- Wincha
- cordel
- Yeso
- Pico o azadón
- Rastrillo
- Hoz
- Herramientas de jardinería
- Bolsas de papel



- Bolsas de plástico
- costales
- Mantas
- Rafia
- Cinta de embalaje

### **3.15.6. Instrumentos de colecta de datos**

- Cilindro metálico (para densidad aparente del suelo)
- Varillas o estacas
- Fichas de evaluación
- Libreta de campo
- Lápiz
- Cámara fotográfica

## **3.16. Conducción del experimento**

### **3.16.1. Preparación de terreno**

La roturación del terreno se realizó de forma manual con la ayuda de picos. Después se hizo el mullido esto para desmenuzar los terrones del suelo esta labor se hizo un mes antes de la siembra. Al respecto A. Pérez (2005), señala que la preparación del suelo debe realizarse lo mejor posible (bien mullido), puesto que el tamaño reducido de la semilla requiere una buena preparación y que el suelo debe de estar en óptimas condiciones de recibir la semilla y facilite su germinación. Así mismo, es necesario que el terreno este bien nivelado para evitar encharcamientos y muertes de las plantas por asfixia.

### **3.16.2. Abonamiento**

Para realizar esta labor se tomó en cuenta el análisis de suelo, esto para ver la cantidad de nutrientes disponibles para el cultivo (León 2003). Luego se calculó



la oferta y la demanda de nutrientes del suelo, donde se utilizó guano de isla a una dosis de  $600 \text{ kg ha}^{-1}$ , luego se calculó las dosis que se necesita para los tratamientos posteriormente se pesó y se aplicó el abono de forma manual al fondo de cada surco.

### **3.16.3. Siembra de quinua**

La siembra de quinua se hizo manualmente el 18 de octubre del 2018, se utilizó semilla de quinua a una dosis de  $10 \text{ kg ha}^{-1}$ , posteriormente se pesaron las semillas de quinua y se colocaron en sobres de papel para cada tratamiento. Después se marcó con yeso los tratamientos, surcos y calles. Luego se hizo los surcos en forma manual colocando los sobres de semilla en cada tratamiento seguidamente se procedió con la siembra directa la cual fue a chorro continuo y finalmente con el tapado de surcos se hizo manualmente. Al respecto Gómez y Aguilar (2016), indican que la siembra debe de realizarse cuidadosamente para lograr una buena germinación y establecimiento del cultivo. Además, recomienda la siembra por surcos ya que facilita una serie de labores culturales que se aplican durante el cultivo.

### **3.16.4. Aporque**

Se realizó un solo aporque cuando la planta tenía aproximadamente entre 15 a 20 cm de altura para evitar el tumbado de la planta y también para que las raíces de planta se puedan airear y puedan desarrollarse mucho mejor. Además Gómez y Aguilar (2016), recomiendan realizar esta labor inmediatamente después del deshierbo y el desahije o raleo, asimismo la humedad del suelo debe ser óptima.

### 3.16.5. Control de malezas

Se realizó de forma manual ya que no hubo mayor presencia de malezas. Esta labor coincidió con el primer aporque realizándose una sola vez debido a que hubo una mínima presencia de malezas. Al respecto Ángel Mujica *et al.* (2001), recomienda efectuar deshierbas tempranas para evitar, competencia por agua, nutrientes, luz y espacio. Además de efectuar dos deshierbes durante el ciclo vegetativo de la quinua, uno a los 30 días después de la emergencia y el segundo antes de la floración (90 días después de la siembra). A continuación, se muestra la presencia de las siguientes malezas en la parcela de investigación:

- Diente de león (*Taraxacum officinale*)
- Nabo (*Brassica campestris*)
- Amor seco (*Bidens pilosa*)
- Cebadilla (*Bromus uniloides*)

### 3.16.6. Siembra de leguminosas

Para la siembra de leguminosas o coberturas, se utilizó la siguiente dosis de siembra 450 kg ha<sup>-1</sup> (legumbre en espiral) de trébol carretilla, 60 kg ha<sup>-1</sup> de vicia y 80 kg ha<sup>-1</sup> de tarwi. Primeramente, se hizo los cálculos de densidad de siembra para cada tratamiento luego se pesó la semilla de trébol carretilla, vicia y tarwi. Posteriormente se puso en bolsas de plásticos esto para cada tratamiento, en caso del trébol carrerilla se remojó en agua un día antes de la siembra para facilitar la germinación puesto que esta era la legumbre en espiral. La fecha de siembra fue el 4 de diciembre del 2018, se sembró en líneas, específicamente al costado de cada surco de quinua. La profundidad de siembra es proporcional al doble del tamaño de cada semilla aproximadamente a 2 cm. El método de siembra que se



utilizo es a chorro continuo, posterior a esto se procedió a taparlas ligeramente con la ayuda de un rastrillo para su posterior geminación.

### **3.16.7. Instalación de varillas de erosión**

La instalación de varillas o estacas de erosión se realizó el 19 de diciembre del 2018, el área total de la zona de estudio es de 316 m<sup>2</sup>, con 16 parcelas experimentales de 12.8 m<sup>2</sup> en 4 bloques, tal como se observa en la Figura 4.

En cada unidad experimental de 12.8 m<sup>2</sup>, se instaló 2 varillas de erosión con un espaciado de un metro entre ellas en un total 16 unidades experimentales, teniendo un total de 32 varillas en toda la zona de estudio. La varilla es de fierro corrugado de 8 mm de diámetro, cada varilla de erosión fue de 50 cm de largo, se pintó la mitad (25 cm) con pintura blanca. Se insertó las varillas de erosión hasta los 25 cm de largo, colocándose la parte que se pintó hacia arriba esto para realizar una mejor lectura (Somarriba *et al.*, 2005) . Para la lectura se utilizó una wincha o cinta métrica. En cuanto a la pendiente de la parcela de investigación tuvo aproximadamente entre 5 - 15 %.

### **3.16.8. Plagas y enfermedades**

La plaga que se presentaron son las palomas en la etapa de grano pastoso, para el control de esta plaga se colocó ahuyentadores de plástico. La principal enfermedad que se presentó fue el mildiu (*Peronospora variabilis*) en la etapa de floración esto debido a las frecuentes precipitaciones y nubosidad que se presentó en ese mes. Para el control de la enfermedad se utilizó el control químico utilizando fungicida (Antracol) a una dosis de 15 gr. aproximadamente en una mochila de 20 litros.



### **3.16.9. Cosecha**

La cosecha se realizó en la etapa de madurez fisiológica cuando los granos de quinua hayan adquirido una consistencia tal, que ofrezcan resistencia a la presión con las uñas (Nieto y Vimos, 1992). La cosecha se hizo el 17 de abril del 2019, procediendo con el corte en forma manual con hoz, este trabajo se hizo en horas de la mañana el cual se separó por tratamiento. Luego se realizó el emparve para el secado para posteriormente realizar la trilla esto de manera manual con palos y finalmente se realizó el venteo de los granos de quinua colocándose en sacos para luego pesarlos según tratamientos.

### **3.17. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Para la obtención de los datos se hizo de acuerdo a la variable a evaluar aplicando diferentes instrumentos, materiales y equipos.

#### **3.17.1. Análisis de caracterización de suelo**

Para el análisis se realizó un muestreo de suelos por el método del zigzag antes de la siembra y después de la cosecha. Para la primera muestra de suelo se tomó 5 puntos en zigzag, luego con ayuda de una pala y un pico se tomó la muestra a cada punto a una profundidad de 20 -30 cm aproximadamente, posterior a eso se colocó en una manta para homogenizar el suelo y se tomó 1 kg de muestra de suelo (Canihua y Salcedo, 2016). Para el segundo análisis de suelo se realizó una muestra por cada unidad experimental, teniendo un total de 16 muestras de suelo. El análisis de suelo se realizó en el laboratorio de suelos y aguas del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) - Salcedo.

#### **3.17.2. Densidad aparente**

Para la densidad aparente del suelo se utilizó el método del cilindro (gravimetría). Esta evaluación consiste en introducir un cilindro biselado,



enrasando el suelo con los bordes, luego se llevó a pesar en una balanza analítica, después se puso a secar en la estufa a 105°C hasta un peso constante (Rojas, 2013). Esta evaluación se realizó en campo, la cual se tomó una muestra general antes de la siembra y después de la cosecha se tomó una muestra por cada unidad experimental teniendo un total de 16 muestras para densidad aparente. Para determinar las eficiencias de la densidad aparente, se realizaron las diferencias entre el resultado inicial con el resultado final de la densidad aparente. Para tal propósito se utilizó la siguiente fórmula:

$$Da \text{ (g/cm}^3\text{)} = \frac{Pss \text{ (g)} * 100}{Vt \text{ (cm}^{-3}\text{)}}$$

Donde:

Da: densidad aparente

Pss: peso suelo seco en g.

Vt: volumen total de la muestra en cm<sup>-3</sup>

### **3.17.3. Biomasa foliar de leguminosas**

Se utilizó un cuadrante de 1 m<sup>2</sup> colocando a los tratamientos de leguminosas, luego con ayuda de una hoz se cortó toda la parte foliar de las coberturas con leguminosas al ras del suelo, cortándose todo lo que estaba dentro del área del cuadrante, luego se colocó en una bolsa de plástico y finalmente se pesó en una balanza de precisión para calcular en kg ha<sup>-1</sup> (M. Pérez y Pérez, 2017).

### **3.17.4. Varillas de erosión**

Esta evaluación se hizo al finalizar la cosecha, cuando ya no hubo presencia de lluvia. La lectura del suelo perdido se hizo de cada varilla de erosión



con ayuda de una wincha o cinta métrica, la cual se colocó al costado de cada varilla de erosión obteniendo las lecturas en milímetros. Cuando existe erosión, la lectura se expresó con signo positivo (+) y si se trataba de Sedimentación, se expresaba con signo negativo (-) posteriormente se registró los datos obtenidos en la ficha de evaluación (Vásquez y Tapia, 2011). Durante el tiempo que duro el trabajo de investigación se verificó la permanecía de todas las varillas de erosión para que los datos obtenidos no se alteren en las parcelas de investigación, donde no se presentó ningún problema alteración en las parcelas. Para los cálculos se utilizó la siguiente formula:

$$Pca = Area*Prof.*Da \text{ (t ha}^{-1}\text{)}$$

#### **3.17.5. Rendimiento de grano**

Para obtener el rendimiento de grano, se realizó la cosecha teniendo en cuenta la madurez fisiológica del cultivo, posteriormente se procedió al emparvado y secado al ambiente libre, continuando con la trilla y venteo de los granos de quinua. Culminando con el pesado de la quinua por cada unidad experimental. El peso se obtuvo en kg ha<sup>-1</sup>.



## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del presente trabajo de investigación se muestran en la Tabla 5, análisis de varianza (ANVA) para todas las variables en estudio, donde se aprecia que para el **factor bloque** no existen diferencias estadísticas significativas ( $P \geq 0.05$ ), así como para la erosión del suelo, biomasa verde de las leguminosas, eficiencias de nitrógeno, fósforo, potasio, materia orgánica y rendimiento de quinua, esto se debe a que las condiciones climáticas, suelo, cobertura y manejo se comportaron de forma similar en las parcelas de investigación.

En la Tabla 6, se muestra el análisis de varianza (ANVA) para el **factor tratamiento**, donde indica que:

Para la **variable biomasa foliar verde de leguminosas**, si existe diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre tratamientos, observándose que, entre las coberturas en estudio, existen diferencias en el peso de biomasa foliar verde expresado en kilogramos o al menos una de las coberturas es diferente al resto. El coeficiente de variación es de 8.54%, esto indica que los datos evaluados son confiables estadísticamente. Benites y Bot (2014), indica que la cobertura vegetal es esencial para proteger al suelo contra los impactos de gotas de lluvia, y para mantener el suelo bajo sombra y con el más alto nivel de humedad posible.

Para la **variable erosión del suelo**, si existe diferencias estadísticas altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre tratamientos, observándose que el uso de la cobertura vegetal si contribuye en la reducción de la erosión hídrica del suelo. Al respecto Geissert, Mólgora-Tapia, Negrete-Yankelevich y Hunter Manson (2017), indica que a mayor cobertura vegetal existe una menor erosión del suelo. Así también Huerta-Olague *et al.* (2018), indica que las coberturas vegetales más tupidas en las diferentes etapas de



desarrollo son reconocidos por su mayor capacidad para proteger al suelo en contra de los agentes erosivos.

Para la **eficiencia de nitrógeno en el suelo**, si existen diferencias estadísticas altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre tratamientos, esto se debería al uso de las coberturas con leguminosas y a su capacidad de fijar nitrógeno al suelo. El coeficiente de variación es de 0.79%, esto indica que los datos evaluados son confiables estadísticamente. Para la **eficiencia de fósforo en el suelo**, si existen diferencias estadísticas altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre tratamientos, esto se debería al uso de las coberturas con leguminosas que contribuye en la liberación de fósforo no disponible en el suelo a disponible. El coeficiente de variación es de 15.62%, esto indica que los datos evaluados son confiables estadísticamente. Para la **eficiencia de potasio en el suelo**, no existe diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre tratamientos, esto indica que los tratamientos en estudio son estadísticamente similares en la eficiencia de potasio en suelo. El coeficiente de variación es de 15.82%, esto indica que los datos evaluados son confiables estadísticamente. Al respecto Torres *et al.* (2018), señala que la asociación de cultivos con leguminosas mantiene los nutrientes como Nitrógeno, fósforo y potasio del suelo mejorando la fertilidad de los suelos además genera la supresión de malezas. Así también Rodríguez *et al.* (2008), indica que la asociación de cultivo mejora la fertilidad del suelo porque evita la pérdida de nutrientes por la acción degradante de la lluvia, el sol y el viento.

Para la **eficiencia de materia orgánica en el suelo**, si existen diferencias estadísticas altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ), esto se debería al uso de las coberturas con leguminosas que contribuyen al cambio significativo de esta variable. El coeficiente de variación es de 4.85%, esto indica que los datos evaluados son confiables estadísticamente. Al respecto Stagnari *et al.* (2017), indica que las leguminosas al fijar

nitrógeno atmosférico, liberan en el suelo materia orgánica de alta calidad y facilitan la circulación de los nutrientes del suelo y retención de agua. Por estas razones los cultivos de leguminosas tienen un alto potencial para la agricultura de conservación, siendo funcionales como cultivo de crecimiento o como residuo de cultivo. De la misma manera Rodríguez *et al.* (2008), señalan que la asociación de cultivo es el sistema apropiado para un cultivo permanente, siendo más útil en suelos empobrecidos y sirve para restaurar o mejorar los nutrientes del suelo y para aumentar la materia orgánica.

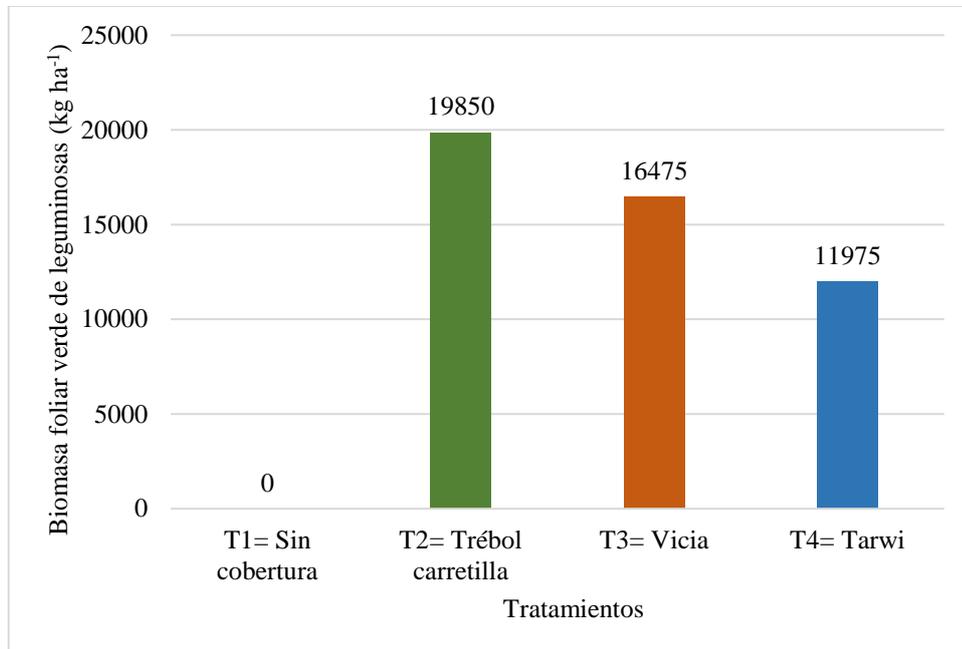
Para el **rendimiento de grano de quinua Var, Salcedo INIA**, si existe diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.01$ ), observándose que el uso de la cobertura vegetal si influye en el cambio significativo de esta variable en estudio. El coeficiente de variación es de 6.75%, esto indica que los datos evaluados son confiables estadísticamente. Al respecto Ruffo y Parsons (2004), señala que la inclusión de una leguminosa a los cultivos además de generar cobertura al suelo, reduce el requerimiento de fertilizantes nitrogenado e incrementa el rendimiento potencial del cultivo.

**Tabla 5.** Resultados del análisis de varianza para las variables en estudio

| Factor              | Eficiencia de la Da ( $\text{g cm}^{-3}$ ) | Biomasa verde de las leguminosas ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) | Erosión del suelo ( $\text{t ha}^{-1}$ ) | Eficiencia de la MO (%) | Eficiencia del N (%) | Eficiencia del P (ppm) | Eficiencia de K (ppm) | Rendimiento de grano de quinua ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) |
|---------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------|
| Bloque              | ns                                         | ns                                                       | ns                                       | ns                      | ns                   | ns                     | ns                    | ns                                                     |
| Tratamiento         | *                                          | **                                                       | **                                       | **                      | **                   | **                     | ns                    | *                                                      |
| CV transformada (%) | 5.43                                       | 8.54                                                     | -                                        | 4.85                    | 0.79                 | 15.62                  | 15.87                 | 6.75                                                   |
| CV real (%)         | 80.98                                      | 22.29                                                    | -                                        | 96.18                   | 128.17               | 83.55                  | 97.78                 | 9.17                                                   |
| R <sup>2</sup>      | 0.68                                       | 0.92                                                     | -                                        | 0.84                    | 0.91                 | 0.82                   | 0.32                  | 0.68                                                   |
| Media general       | 0.11                                       | 1.61                                                     | 8.60                                     | 0.23                    | 0.02                 | 1.87                   | 54.27                 | 3.68                                                   |

## 4.1. INFLUENCIA DE LA COBERTURA VEGETAL CON LEGUMINOSAS EN LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO

### 4.1.1. Biomasa foliar verde de las coberturas de leguminosas



**Figura 5.** Representación gráfica de la biomasa verde de las leguminosas

En la Figura 5, se muestra las representaciones graficas de las medias de la biomasa foliar de leguminosas, donde se aprecia el tratamiento T2 (trébol carretilla) tuvo un mayor desarrollo foliar con  $19850 \text{ kg ha}^{-1}$ , seguido por T3 (vicia) y T4 (tarwi) con  $16475$  y  $11975 \text{ kg ha}^{-1}$  respectivamente, esta última con un menor desarrollo foliar; con estos resultados podemos deducir que a mayor desarrollo foliar menor erosión. Estos resultados son corroborados por Casas (2007), quien señala que a mayor cobertura de biomasa disponible disminuye la amplitud térmica del suelo superficial, que se traduce en menos pérdida de agua por evaporación. Esto genera una mejora en la eficiencia del uso del agua, que puede aumentar la disponibilidad para el cultivo agrícola. Además Chunhuay (2017), resalta la influencia de las condiciones climáticas: principalmente temperatura y humedad provenientes de la lluvia que influyen en la germinación, emergencia, crecimiento y desarrollo de las biomasa foliar de las leguminosas.



Al respecto del trébol carretilla en cultivo asociado, Chunhuay (2017), indica que al evaluar el rendimiento de maíz amiláceo mediante la aplicación del guano de islas y trébol asociado al maíz en Allpas -Acobamba, donde determino que el tratamiento T1 (abonamiento vía suelo con guano de islas y asociación con trébol) presenta un mayor biomasa foliar con  $477.31 \text{ kg ha}^{-1}$ , seguido del T3 (fertilización vía foliar al 3% con guano de islas y asociado con trébol) con  $477.64 \text{ kg ha}^{-1}$  y T5 (sin guano de isla y asociación con trébol) con  $4689.2 \text{ kg ha}^{-1}$ , lo cual muestra que a mayor biomasa foliar de trébol existe una mejor protección del suelo y del impacto de las gotas de lluvia además de prevenir el lavado de nutrientes. Esto coincide con los resultados obtenidos, siendo el trébol el que ofreció una mejor protección y reducción de la erosión como se puede ver en el gráfico.

De la misma manera Sánchez-Gutiérrez *et al.* (2020), manifiesta que al determinar el comportamiento productivo y valor nutricional de veza común (*Vicia sativa l.*) durante otoño-invierno en Zacatecas, México, obtuvieron como resultados en materia verde de *vicia sativa*, mostrando un incremento desde el día 47 que realizo el primer corte con  $493 \text{ kg ha}^{-1}$  hasta el día 103 con  $20562 \text{ kg ha}^{-1}$  y en la materia seca también mostro un incremento constante desde el día 47 con  $14 \text{ kg MS ha}^{-1}$  hasta llegar al 103, con  $3796 \text{ kg MS ha}^{-1}$ . Comparando estos resultados con el trabajo de investigación, se deduce que existe una mayor producción de biomasa en un solo cultivo sucediendo todo lo contrario en un cultivo asociado que es menor.

Así como también en caso del cultivo de tarwi, Todorov, Pavlov y Kostov (1996), reportan que *lupinus albus* puede producir  $34560 \text{ kg ha}^{-1}$  de materia verde y  $7350 \text{ kg ha}^{-1}$  de materia seca, existiendo una mayor biomasa foliar en un solo cultivo en comparación con cultivos asociados que es menor. Por otra parte, los resultados obtenidos en el presente trabajo son diferentes; debido a que se empleó un cultivo asociado. Así también

estos resultados se ven influenciados por el clima, precipitación pluvial y al tipo de suelo que se presenta en la zona de estudio.

De la misma manera Geissert *et al.* (2017), indican que al analizar el efecto del manejo de la cobertura vegetal sobre la erosión hídrica en cafetales de sombra, indica que a mayor cobertura vegetal existe una menor erosión del suelo y en algunos casos una mayor sedimentación. Esto concuerda con los resultados obtenidos en el trabajo de investigación, reflejando la importancia de la cobertura vegetal en la protección de suelos.

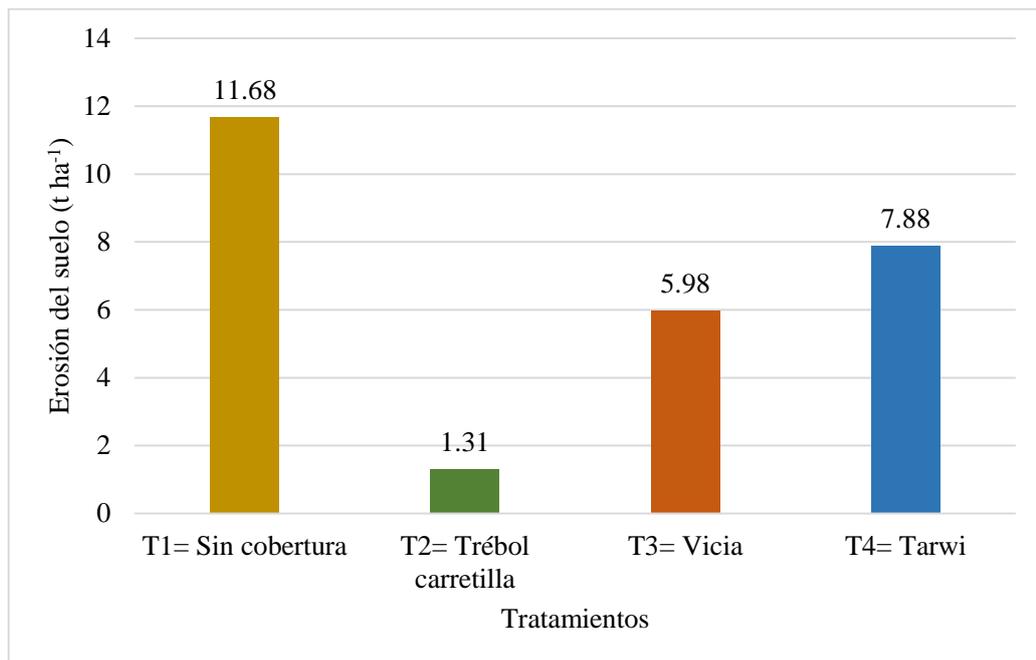
Lo mismo que Huerta-Olague *et al.* (2018), quienes concluyen que las coberturas vegetales más tupidas en las diferentes etapas de desarrollo son reconocidas por su mayor capacidad para proteger al suelo en contra de los agentes erosivos. Mientras Lok, Torres y Sarmiento (2019), demuestra que el uso de las leguminosas en sistemas productivos puede constituir una vía eficaz para mejorar la fertilidad del suelo.

En la Tabla 6, se muestra la prueba de comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) para biomasa foliar verde de las leguminosas según el tipo de cobertura, en donde el tratamiento T2 (trébol carretilla) muestra un mejor desarrollo foliar con  $19850 \pm 0.10 \text{ kg ha}^{-1}$ , el cual es estadísticamente superior a los demás tratamientos, seguido de T3 (vicia) con  $16475 \pm 0.17 \text{ kg ha}^{-1}$  y en último lugar el tratamiento T4 (tarwi) con  $11975 \pm 0.13 \text{ kg ha}^{-1}$  de biomasa foliar, los tres tipos de coberturas son estadísticamente diferentes. En el tratamiento T1 (sin cobertura) no se evaluó, puesto que solo fue cultivo de quinua.

**Tabla 6.** Prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) para biomasa foliar verde según tratamiento

| Orden | Tratamiento | Promedio $\text{kg ha}^{-1}$ | Prueba de Tukey |
|-------|-------------|------------------------------|-----------------|
| 1     | T2          | $19850 \pm 0.10$             | a               |
| 2     | T3          | $16475 \pm 0.17$             | b               |
| 3     | T4          | $11975 \pm 0.13$             | c               |
| 4     | T1          | -                            | -               |

#### 4.1.2. Erosión del suelo



**Figura 6.** Representación gráfica de la erosión del suelo

En la Figura 6, se muestra las representaciones graficas de las medias de la erosión del suelo, en donde se observa que el testigo T1 (sin cobertura) con 11.68 t/ha<sup>-1</sup> presento una mayor erosión a comparación con T2 (trébol carretilla) con 1.31 t ha<sup>-1</sup>, T3 (vicia) 5.98 t ha<sup>-1</sup> y T4 (tarwi) 7.88 t ha<sup>-1</sup>, esto resultados se debe a que el T1 no presenta ninguna cobertura vegetal, por otra parte el cultivo de quinua asociado con leguminosas se observa que el tratamiento T2 con 1.31 t ha<sup>-1</sup> tuvo una mejor protección de la erosión hídrica del suelo con respecto a los tratamientos T3 y T4, esto se debería a el crecimiento y desarrollo rastrero del trébol que cubrió toda la superficie del suelo, mientras tanto la vicia y el tarwi tienen un crecimiento aéreo.

Esto coincide con Serrato, Díaz, Bermúdez y Laguna (1999), quienes indican que la pérdida de suelo por erosión hídrica se reducen de manera exponencial al aumentar la cobertura vegetal sucediente lo contrario en suelos desnudos. Así también estos resultados son corroborados por Taboada (2011), quien indica que el uso de coberturas, reducen las pérdidas de suelo causada por la erosión hídrica y eólica, aumentan la infiltración de agua

en el suelo, especialmente en periodos intensos de lluvia y reduce la evaporación del agua del suelo en la primavera y verano.

Así mismo Quispe (2018), quien al investigar la influencia de la cobertura vegetal en la erosión hídrica del suelo en la comunidad de San Mateo, Perú señala que al evaluar los niveles de pérdida de masa de suelo por la erosión hídrica, tuvo como resultado que la parcela con cobertura vegetal nativa (*Festuca amethystina* L.) produjeron una menor pérdida de suelo, 10.901 t ha<sup>-1</sup>-año, en comparación a las pérdidas de suelo de las parcelas con mulch, 17.18 t ha<sup>-1</sup>-año; las parcelas con cobertura natural, 28.651 t ha<sup>-1</sup>-año; y, las parcelas con suelo desnudo, 44.85 t ha<sup>-1</sup>-año, esta última cifra es once veces mayor a la tasa considerada máxima permisible por la FAO (4 t ha<sup>-1</sup>-año, para suelos de escasa profundidad), donde concluye que la cobertura vegetal, actuó como un eficiente protector del suelo, disminuyendo considerablemente la erosión hídrica. Esto se ve reflejado en los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, donde las coberturas utilizadas disminuyen la pérdida de suelo principalmente con la cobertura de trébol carretilla.

Así también Huerta-Olague *et al.* (2018), ratifican que es incuestionable el papel de la cobertura vegetal y las raíces de los cultivos para proveer protección a los terrenos agrícolas, ya que el follaje reduce el impacto de las gotas de lluvia, disminuye la fricción del escurrimiento superficial y con ello su poder erosivo, evitando la pérdida de millones de toneladas de suelo productivo, principalmente de terrenos agrícolas de ladera. Cumpliendo un papel importante las coberturas vegetales en la disminución de la erosión del suelo como se puede observar en los resultados del presente trabajo de investigación.

De la misma manera Kumar (2003), muestra en sus resultados que todos los sistemas de vegetación podrían reducir significativamente la erosión del suelo y las pérdidas de nutrientes en comparación con la tierra desnuda. Esto se afirma con los

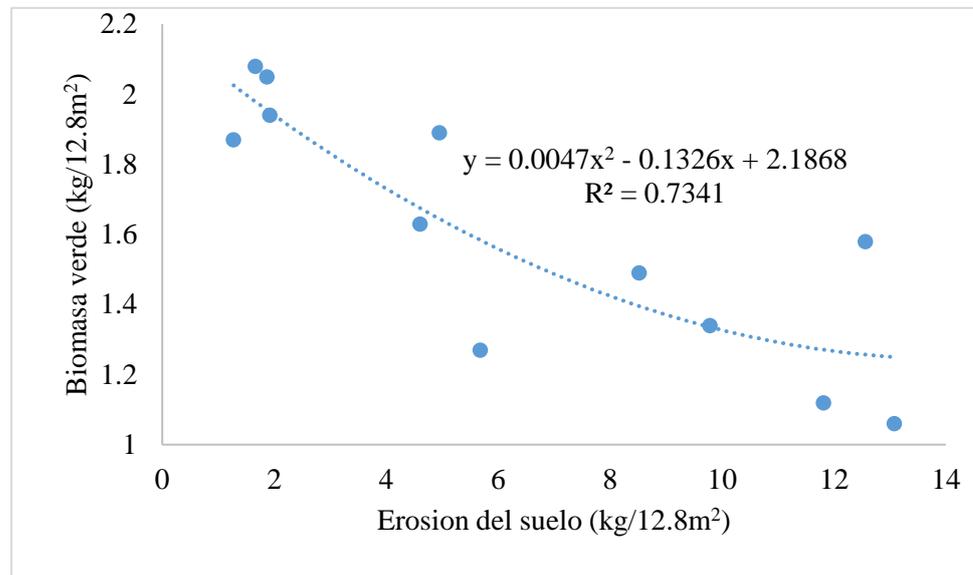
resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación. Esto es reafirmado por Gyssels, Poesen, Bochet y Li (2005), quienes indican que la vegetación controla significativamente las tasas de erosión del suelo.

En la Tabla 7, se muestra la prueba de comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) para la erosión hídrica del suelo donde se muestran que, el tratamiento T2 (cobertura de trébol carretilla) fue estadísticamente diferente ( $P \leq 0.05$ ), con  $1.31 \pm 0.29 \text{ t ha}^{-1}$ , mostrando una menor erosión en comparación con las otras coberturas, seguido de T3 (cobertura de vicia) presentando una erosión media, con  $5.98 \pm 3.71 \text{ t ha}^{-1}$ , en comparación con los tratamientos T4 (cobertura de tarwi) y T1 (sin cobertura) que muestran una mayor erosión, con  $7.88 \pm 3.24$  y  $11.68 \pm 4.47 \text{ t ha}^{-1}$  respectivamente.

**Tabla 7.** Prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) para erosión hídrica del suelo según tratamiento

| Orden | Tratamiento | Promedio $\text{t ha}^{-1}$ | Prueba de Tukey |
|-------|-------------|-----------------------------|-----------------|
| 1     | T2          | $1.31 \pm 0.29$             | a               |
| 2     | T3          | $5.98 \pm 3.71$             | b               |
| 3     | T4          | $7.88 \pm 3.24$             | c               |
| 4     | T1          | $11.68 \pm 4.47$            | d               |

#### 4.1.2.1. Correlación de la biomasa verde de las leguminosas y la erosión del suelo



**Figura 7.** Correlación y dispersión de la erosión del suelo con la biomasa verde de las leguminosas

En la Figura 7, se observa la correlación y dispersión de los valores de la erosión del suelo con la producción de la biomasa verde, mostrándose una relación negativa alta ver Tabla (24), esto resulta que si los valores son mínimos en la erosión del suelo los valores de producción de biomasa verde aumentan considerablemente, la regresión obtenida ajustada con la  $R^2$  no es lineal. Estos resultados guardan relación con Huerta-Olague *et al.* (2018), quienes indican que a una mayor cobertura vegetal de las leguminosas y más tupidas existe una mayor protección del suelo contra la erosión hídrica.

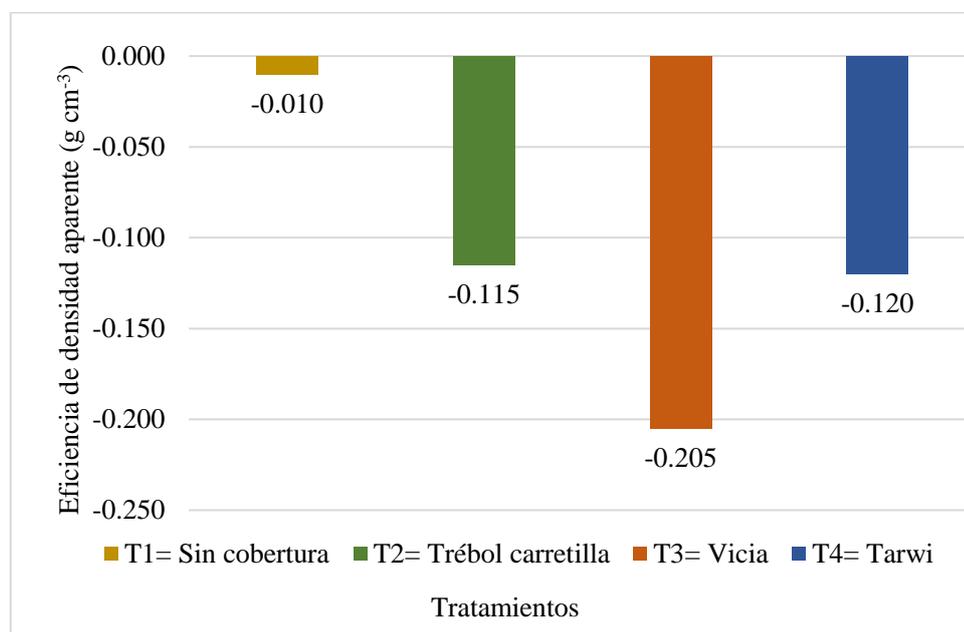
#### 4.1.3. Eficiencia de la densidad aparente del suelo

En la Tabla 8, Se muestra la densidad aparente inicial y final del suelo según tratamientos, donde se observa que el tratamiento T3 (vicia) tuvo una mayor reducción de la densidad aparente, seguido del T4 (tarwi) y T2 (trébol carretilla),

mientras que el tratamiento T1 (sin cobertura) solo tuvo una ligera disminución del mismo.

**Tabla 8.** Densidad aparente inicial y final según los tratamientos en estudio

| DENSIDAD APARENTE ( $\text{g cm}^{-3}$ ) |         |       |            |
|------------------------------------------|---------|-------|------------|
| Tratamiento                              | inicial | final | Diferencia |
| T1                                       | 1.57    | 1.56  | -0.010     |
| T2                                       | 1.57    | 1.46  | -0.115     |
| T3                                       | 1.57    | 1.37  | -0.205     |
| T4                                       | 1.57    | 1.45  | -0.120     |



**Figura 8.** Representación gráfica de la eficiencia de la densidad aparente

En la Figura 8, se muestra las representaciones graficas de las medias de densidad aparente, donde se observa que el tratamiento T3 (vicia) tuvo una mayor reducción de la densidad aparente con ( $-0.205 \text{ g cm}^{-3}$ ), seguido del T4 (tarwi) con ( $-0.120 \text{ g cm}^{-3}$ ), y T2 (trébol carretilla) con ( $-0.115 \text{ g cm}^{-3}$ ), mientras que el tratamiento T1 (sin cobertura) solo tuvo una ligera disminución del mismo con ( $-0.010 \text{ g cm}^{-3}$ ), donde se aprecia que el cultivo de quinua Var. Salcedo INIA y la cobertura con leguminosas influyen sobre las propiedades físicas del suelo, esto se asume que es debido al crecimiento radicular de las leguminosas y la quinua.



Esto es corroborado por Bravo, Lozano, Hernández, Piñango y Moreno (2004), quienes indican que al evaluar la influencia de diferentes especies de cobertura sobre las propiedades físicas de un suelo de sabana con siembra directa de maíz, también disminuyó la densidad aparente del suelo mostrándose diferencias estadísticas entre tratamientos y profundidades. Se utilizó siembra directa de maíz sobre cada una de las siguientes coberturas: 1) *Brachiaria decumbens* (SDM+Bde), 2) *Brachiaria dictyoneura* (SDM+Bdy), 3) *Centrosema macrocarpum* (SDM+Cm) y 4) Vegetación natural (SDM+Vn), como testigo, donde las características físicas iniciales del suelo fueron de  $1.75 \text{ g cm}^{-3}$  para el horizonte superficial (0-15 cm) y  $1.73 \text{ g cm}^{-3}$  en la capa de (15 a 30 cm) y en el análisis final después de dos años la densidad aparente disminuyó obteniéndose para el horizonte superficial (0-15 cm) entre  $1.47$  y  $1.66 \text{ g cm}^{-3}$  y entre  $1.59$  y  $1.80 \text{ g cm}^{-3}$  en la capa de (15 a 30 cm). Observando que estos valores fueron menores a los iniciales, principalmente en el horizonte superficial, lo cual se puede atribuir al efecto de la preparación del suelo para el establecimiento de las coberturas y a una mayor biomasa de raíces de las coberturas. Las mejores condiciones físicas se obtuvieron en la capa superficial del suelo siendo de 0-15 cm y en la cobertura *Brachiaria dictyoneura* (SDM+Bdy).

Así también Lozano, Romero y Bravo (2010), señalan que al evaluar el cambio en las propiedades físicas del suelo típico de una sabana natural por el uso de cultivos de cobertura (*Brachiaria dictyoneura* y *Centrosema macrocarpum*) como residuos para la siembra directa de maíz (*Zea mays* L.) y posterior pastoreo con bovinos, indica que hubo diferencias estadísticas en las propiedades físicas evaluadas, atribuibles al cultivo de cobertura y a la época; especialmente en la densidad aparente del suelo, donde las características físicas iniciales del suelo fueron de  $1.51 \text{ g cm}^{-3}$  para el horizonte superficial (0-5 cm) y  $1.59 \text{ g cm}^{-3}$  en la capa de (5 a 15 cm), los valores en la Da luego de dos años



con manejo de siembra directa de maíz sobre cultivos de cobertura fueron inferiores a los iniciales y a los de cobertura con sabana natural; principalmente en el horizonte superficial la disminución fue mayor en los tratamientos con las coberturas introducidas, lo cual puede atribuirse a una mayor cobertura del suelo o a una mayor biomasa de raíces en comparación con sabana natural. Lo que indica que la introducción de cultivos de cobertura genera cambios significativos en la mayoría de las propiedades físicas del suelo, donde destaca una disminución de la densidad aparente bajo los cultivos de cobertura introducidos.

Así misma manera estos resultados son corroborados por M. B. Pérez, Carmenate, Pérez, Cepero y Cubillas (2001), quienes en su estudio del impacto sobre el suelo de leguminosas herbáceas como mejoradores de las coberturas naturales en plantaciones de cítricos, señalan que el empleo de coberturas de leguminosas mejora las propiedades físicas del suelo. Siendo la leguminosa *Arachis pintoii* cv. CIAT 17434 (*Arachis*) y la *Neonotonia wigthii* cv. tinaroo (*Glycine*) las que influyen positivamente en la densidad del suelo los cuales tienen una tendencia a disminuir y mejoran el estado estructural del suelo a pesar de no hallarse diferencias significativas. Así también, (Reyes, 2010; Rollán y Bachmeier, 2014), quienes mencionan que cuando la densidad aparente del suelo aumenta, se incrementa la compactación y se afectan las condiciones de retención de humedad, limitando a su vez el crecimiento de las raíces.

En la Tabla 9, se muestra la prueba de comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) para la eficiencia de la densidad aparente del suelo, donde se observa que el T3 (vicia) fue estadísticamente diferente ( $P \leq 0.05$ ) con una media de  $-0.205 \pm 0.10 \text{ g cm}^{-3}$  cuya eficiencia disminuye moderadamente en comparación al T1 (sin cobertura), que tuvo una eficiencia casi nula de  $-0.010 \pm 0.06 \text{ g cm}^{-3}$ , los tratamientos T2 (trébol carretilla) y T4



(cobertura de tarwi) con medias  $-0.115 \pm 0.03 \text{ g cm}^{-3}$  y  $-0.120 \pm 0.05 \text{ g cm}^{-3}$  respectivamente, fueron estadísticamente similares ( $p \geq 0.05$ ) y diferentes con el T1 y T4.

**Tabla 9.** Prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) para la eficiencia de densidad aparente en el suelo

| Orden | Tratamiento | Promedio ( $\text{g cm}^{-3}$ ) | Prueba de Tukey |
|-------|-------------|---------------------------------|-----------------|
| 1     | T3          | $-0.205 \pm 0.10$               | a               |
| 2     | T4          | $-0.120 \pm 0.03$               | ab              |
| 3     | T2          | $-0.115 \pm 0.05$               | ab              |
| 4     | T1          | $-0.010 \pm 0.06$               | b               |

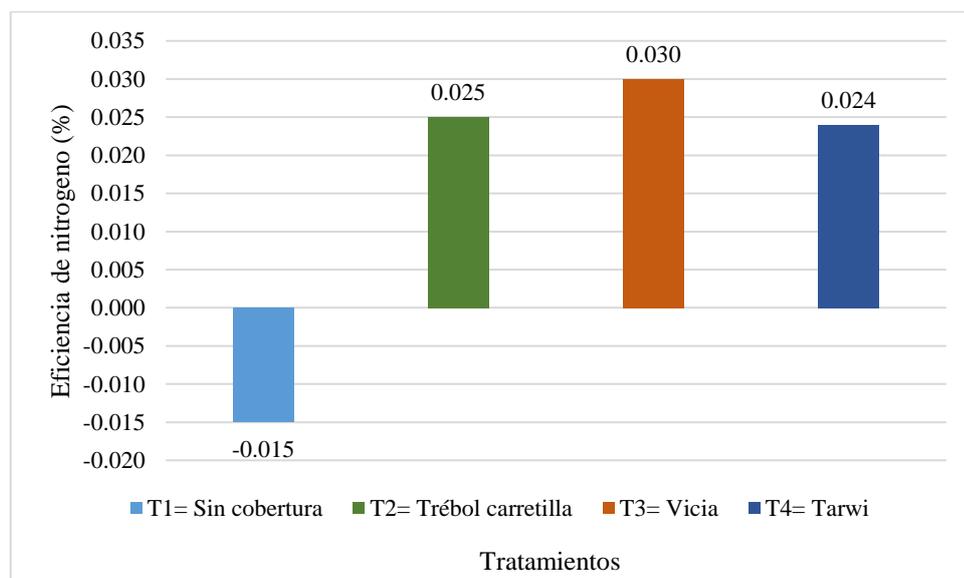
#### 4.2. EFICIENCIA DE NUTRIENTES DEL SUELO CON LA COBERTURA DE LEGUMINOSAS

En la Tabla 10, Se muestra el análisis inicial y final del suelo según tratamientos, donde se observa que el contenido de nitrógeno, fosforo, potasio y materia orgánica presentan un incremento en los tratamientos con coberturas como son T2 (trébol carretilla), T3 (vicia) y T4 (tarwi), mientras que en el tratamiento T1 (sin cobertura) existe una ligera disminución de los nutrientes antes mencionados excepto en contenido de potasio.

**Tabla 10.** Análisis de suelo inicial y final según los tratamientos en estudio

| Parámetro | Unidad de medida | Contenido inicial | Contenido final | Diferencia |
|-----------|------------------|-------------------|-----------------|------------|
| <b>T1</b> |                  |                   |                 |            |
| N         | %                | 0.10              | 0.09            | -0.015     |
| P         | ppm              | 7.64              | 7.44            | -0.21      |
| K         | ppm              | 144.56            | 176.43          | 31.87      |
| M.O.      | %                | 2.12              | 2.03            | -0.09      |
| <b>T2</b> |                  |                   |                 |            |
| N         | %                | 0.10              | 0.13            | 0.025      |
| P         | ppm              | 7.64              | 10.65           | 3.01       |
| K         | ppm              | 144.56            | 200.37          | 55.81      |
| M.O.      | %                | 2.12              | 2.51            | 0.39       |
| <b>T3</b> |                  |                   |                 |            |
| N         | %                | 0.10              | 0.13            | 0.030      |
| P         | Ppm              | 7.64              | 10.24           | 2.60       |
| K         | Ppm              | 144.56            | 228.23          | 83.67      |
| M.O.      | %                | 2.12              | 2.43            | 0.31       |
| <b>T4</b> |                  |                   |                 |            |
| N         | %                | 0.10              | 0.12            | 0.024      |
| P         | Ppm              | 7.64              | 9.74            | 2.10       |
| K         | Ppm              | 144.56            | 190.27          | 45.71      |
| M.O.      | %                | 2.12              | 2.41            | 0.29       |

#### 4.2.1. Eficiencia del nitrógeno (N)



**Figura 9.** Representación gráfica de la eficiencia del nitrógeno en el suelo



En la Figura 9, se muestra las representaciones graficas de las medias de la eficiencia del nitrógeno, donde se observa que el T1 testigo (sin cobertura) con -0.015% disminuye ligeramente a comparación con T2 (trébol carretilla) con 0.025% , T3 (vicia) con 0.030% y T4 (tarwi) con 0.024% que aumentan moderadamente, lo cual se asume que fue debido al proceso de mineralización nitrogenada del humus del suelo y a cobertura con leguminosas, estos se caracterizan por ser fijadoras de nitrógeno, indica que el contenido del nitrógeno es muy variable ya que la acumulación depende de factores como clima, precipitación, temperatura, humedad, vegetación, manejo del suelo, entre otros. Por otra parte, en el T1 testigo (sin coberturas) la disminución o pérdida de nitrógeno se asume que fue debido a la pérdida de suelo y escorrentía en forma de nitratos y una parte de nitrógeno fue absorbido por las plantas de quinua para su nutrición.

Estos resultados coinciden con Guerra (2012), quien señala que al investigar la acumulación de nitrógeno en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) y la asociación papa-tarwi (*Lupinus mutabilis*) en la Comunidad de Patarani, Provincia Aroma, donde obtuvo diferencias significativas estadísticamente entre los tres tratamientos, donde en el cultivo asociado T2 (50% papa + 50% tarwi) deja mayor cantidad de nitrógeno total en el suelo para la siguiente campaña agrícola con  $904.13 \text{ kg ha}^{-1}$  a diferencia del T1 (100% papa) con  $1572.8 \text{ kg ha}^{-1}$  y el T3 (100% tarwi) con  $3203.07 \text{ kg ha}^{-1}$ , lo cual demuestra que la asociación de leguminosas con cultivos influyen en la cantidad de nitrógeno en el suelo, esto comprando con el presente trabajo, donde se observa que el porcentaje de nitrógeno aumenta al utilizar coberturas con leguminosas debido a sus beneficios que brinda al suelo como el aporte de nitrógeno, el reciclaje y el retorno de nutrientes al suelo y sucede todo lo contrario en un suelo sin cobertura donde en contenido de nitrógeno disminuye.

De la misma manera Contto y Gonzalez (2005), indican que al investigar el efecto de tres leguminosas sobre la cantidad de materia orgánica, aporte de NPK y la incidencia

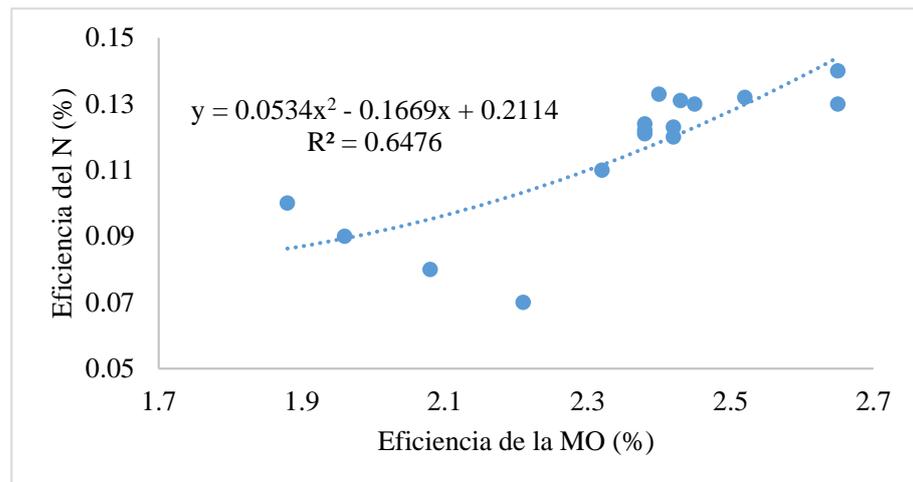
de malezas sobre el crecimiento de la pitahaya, señala que antes de establecer las leguminosas los rangos de nitrógeno en los diferentes tratamientos oscilaba entre 61 y 89 kg ha<sup>-1</sup>, en donde el tratamiento manejo tradicional (testigo) presenta la mayor cantidad de este nutriente. En el segundo análisis la cantidad de nitrógeno vario en todos los tratamientos, aumentando la cantidad de este elemento a excepción del manejo tradicional (testigo), el tratamiento *Cajanus cajan* (L.) Millsp presento 74 kg ha<sup>-1</sup>, seguido de *Canavalia ensiformis* (L.) DC con 73 kg ha<sup>-1</sup> y en tercer lugar el tratamiento con *vigna radiata* (L) Wilczek, con 69 kg ha<sup>-1</sup>, donde señala que el aporte de materia orgánica por parte de estas especies aumentan la disponibilidad de este nutriente y el manejo tradicional disminuyo hasta 59 kg ha<sup>-1</sup>. Demostrándose la influencia de la cobertura con leguminosas en el aporte de nitrógeno al suelo. Esto se ve reflejado en los resultados del trabajo de investigación donde se demuestra la importancia de las leguminosas en mantener y aumentar el nitrógeno en el suelo.

En la Tabla 11, se muestra la prueba de comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ); para la eficiencia del nitrógeno, en donde se observa los tratamientos de cobertura con leguminosas T3 (vicia), T2 (trébol carretilla) y T4 (tarwi) fueron estadísticamente similares cuyas medias fueron  $0.030 \pm 0.00\%$ ,  $0.025 \pm 0.01\%$  y  $0.024 \pm 0.00\%$  respectivamente, las eficiencia es estas aumentan ligeramente y son estadísticamente diferentes en comparación al T1 testigo (sin cobertura) cuya media fue de  $-0.015 \pm 0.01\%$  respectivamente.

**Tabla 11.** Prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) para la eficiencia de nitrógeno en el suelo

| Orden | Tratamiento | Promedio %        | Prueba de Tukey |
|-------|-------------|-------------------|-----------------|
| 1     | T3          | $0.030 \pm 0.00$  | a               |
| 2     | T2          | $0.025 \pm 0.01$  | a               |
| 3     | T4          | $0.024 \pm 0.00$  | a               |
| 4     | T1          | $-0.015 \pm 0.01$ | b               |

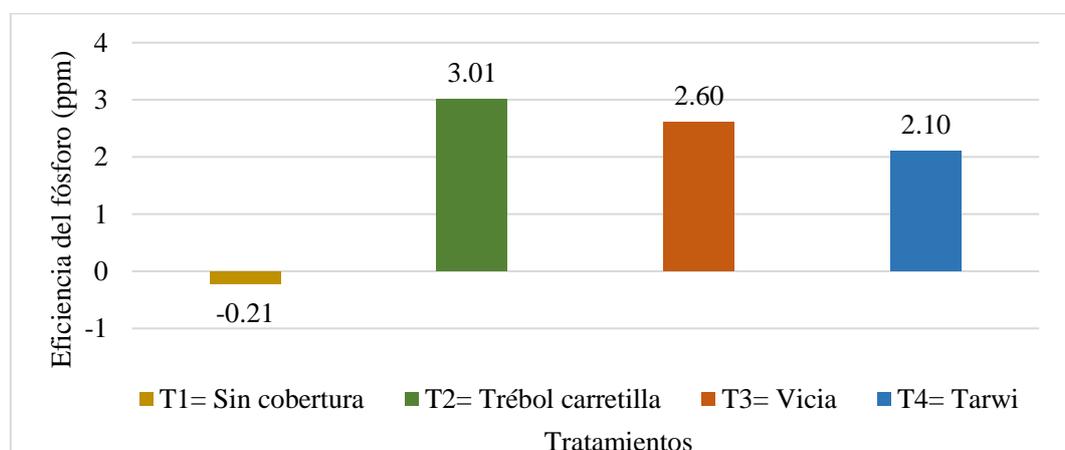
#### 4.2.1.1. Correlación entre la eficiencia de N (%) y la eficiencia de MO (%)



**Figura 10.** Correlación y dispersión de la eficiencia de la materia orgánica con la eficiencia del nitrógeno en el suelo

En la Figura 10, se observa la correlación y dispersión de la eficiencia de la materia orgánica con la eficiencia del nitrógeno, en lo cual se aprecia que, a menor eficiencia de la materia orgánica, menor es la eficiencia del nitrógeno, y a mayor eficiencia de la materia orgánica, mayor es la eficiencia del nitrógeno, además la regresión obtenida ajustada con la  $R^2$  es no lineal y tiene una relación positivo alta ver Tabla (24). Esto es confirmado por Herrera (2010), quien señala que el contenido de nitrógeno en el suelo guarda relación con el contenido de materia orgánica del suelo, tal como sucede en los suelos del altiplano peruano.

#### 4.2.2. Eficiencia del fósforo ( $P_2O_5$ )



**Figura 11.** Representación gráfica de la eficiencia del fósforo en el suelo



En la Figura 11, se muestra las representaciones graficas de las medias de la eficiencia del fósforo, donde se observa que los tratamientos T2 (trébol carretilla) presenta 3.01 ppm, T3 (vicia) con 2.60 ppm y T4 (tarwi) con 2.10 ppm aumentan altamente a comparación al testigo T1 (sin cobertura) que disminuye ligeramente, por lo cual se asume que el aumento alta del fosforo fue debido a la cobertura con leguminosas que influyeron en la liberación de fósforo no disponible a disponible y gracias a los microorganismos del suelo que establecen simbiosis con las leguminosa, por otro lado en el testigo T1 (sin cobertura) se asume que hubo arrastre ligero de fósforo por la erosión hídrica. Esto es corroborado por Cifuentes, Escobar, Hernández y González (2001), quienes recientemente demostraron que la asociación lupino-maíz en la nutrición fosfatada en un andosol, que en condiciones de limitado suministro de fosforo, algunas plantas como el *Lupinus arboreus*, además de autoabastecerse de fosforo, dejan disponible una fracción para otros cultivos que se encuentren en asociación con ellas. De la misma manera (FAO, 2017), señala que las leguminosas contribuyen de forma natural a enriquecer los suelos con nutrientes aumentando los rendimientos de los cultivos. Así también Mercado (2016), señala que el fósforo (como base intercambiable), dentro de las plantas pueden movilizarse sin dificultad, absorbiéndose rápidamente y ser traslocados a diferentes partes de la planta, la diferencia, es que estos elementos son más estables por la participación y actividad microbiana en el suelo.

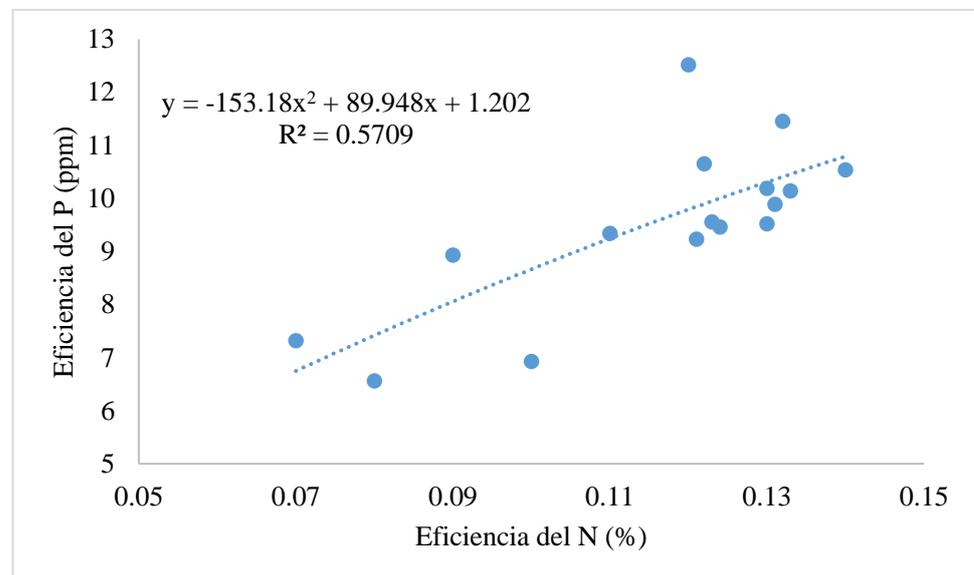
En la Tabla 12, se muestra la prueba de comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) para la eficiencia fósforo disponible, en donde se observa que los tratamientos con cobertura de leguminosas T2 (trébol carretilla), T3 (vicia) y T4 (tarwi) con medias de  $3.01 \pm 1.35$  ppm,  $2.60 \pm 0.86$  ppm y  $2.10 \pm 0.62$  ppm respectivamente fueron estadísticamente similares, a comparación al T1 testigo (sin cobertura) con media de -

0.21±1.04 ppm en donde la eficiencia disminuye ligeramente a comparación a los otros tratamientos que las eficiencias aumentan.

**Tabla 12.** Prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) para la eficiencia de fósforo en el suelo

| Orden | Tratamiento | Promedio (ppm) | Prueba de Tukey |
|-------|-------------|----------------|-----------------|
| 1     | T2          | 3.01±1.35      | a               |
| 2     | T3          | 2.60±0.86      | a               |
| 3     | T4          | 2.10±0.62      | a               |
| 4     | T1          | -0.21±1.04     | b               |

#### 4.2.2.1. Correlación entre el p (ppm) y la eficiencia del N (%)



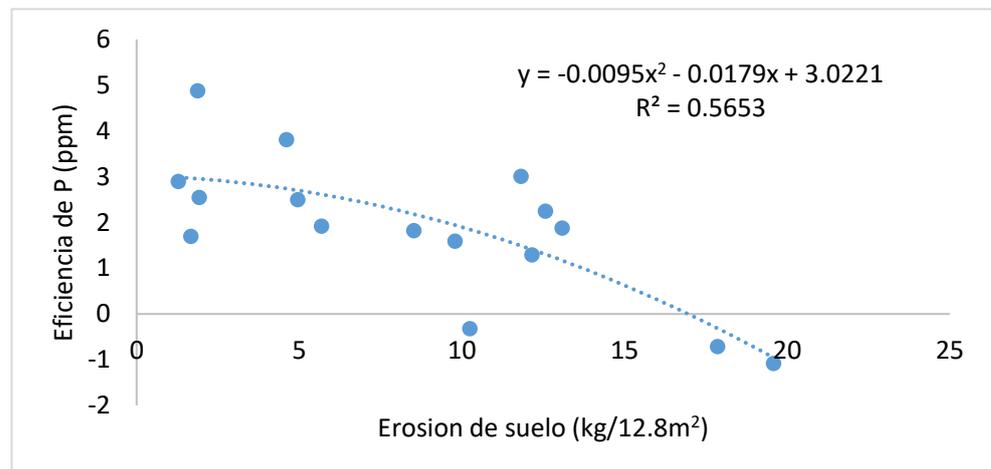
**Figura 12.** Correlación y dispersión de la eficiencia del nitrógeno con la eficiencia del fosforo

En la Figura 12, se observa la correlación y dispersión de la eficiencia del nitrógeno con la eficiencia del fosforo, en lo cual se aprecia que, a menor eficiencia del nitrógeno, menor es la eficiencia del fosforo, y a mayor eficiencia del nitrógeno, mayor es la eficiencia del fosforo, además la regresión obtenida ajustada con la  $R^2$  es no lineal y tiene una relación positivo alta ver Tabla (24).

Al respecto Pastor (1992), afirma que la pérdida de nutrientes del suelo es causada por erosión hídrica, siendo esta la causa de la baja fertilidad natural del suelo. Además Benites y Bot (2014), afirma que la cobertura vegetal es esencial

para la agricultura de conservación, para la protección del suelo contra los impactos de gotas de lluvia, así también para el reciclaje de los nutrientes, conduciendo a la reducción en el uso de agroquímicos y, por tanto, de costos de producción.

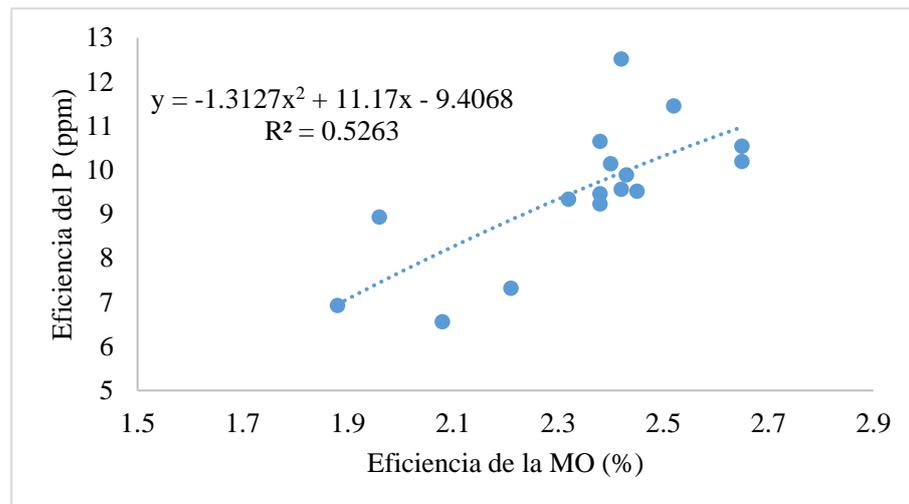
#### 4.2.2.2. Correlación entre la eficiencia de fósforo y erosión del suelo



**Figura 13.** Correlación y dispersión de la erosión del suelo con la eficiencia del fosforo

En la Figura 13, se observa la correlación y la dispersión de erosión de suelo y la eficiencia de fosforo, resultando una correlación negativa alta ver Tabla (24), esto resulta que a mayor erosión del suelo el contenido de fosforo en el suelo disminuye. Esto es ratificado por Tirabanti (2017), quien recalca la importancia que las leguminosas en recuperar la fertilidad de los suelos, además de ser una fuente proveedora de nutrientes.

#### 4.2.2.3. Correlación entre la eficiencia de P (ppm) y la eficiencia de MO (%)

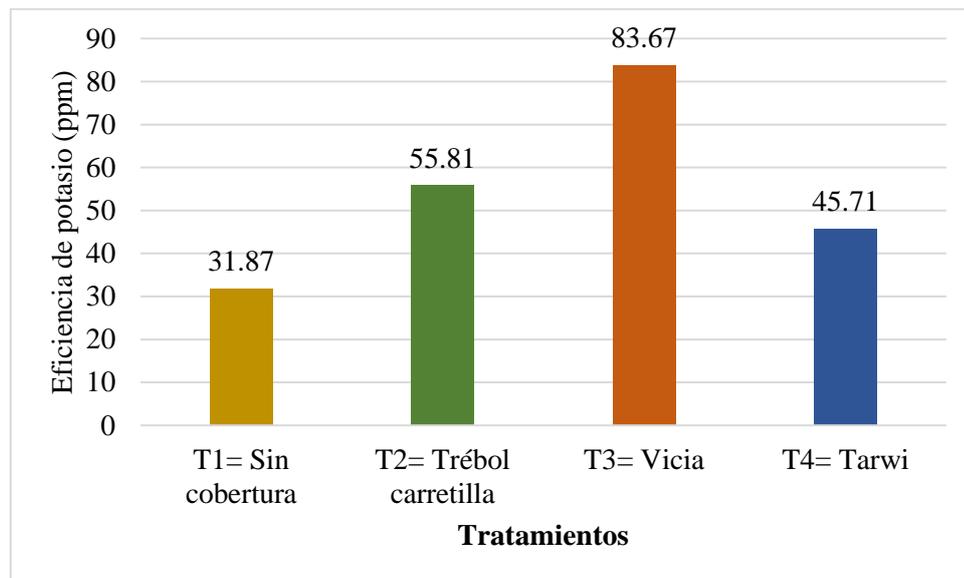


**Figura 14.** Correlación y dispersión de la materia orgánica con la eficiencia del fósforo

En la Figura 14, se observa la correlación y dispersión de la eficiencia de la materia orgánica con la eficiencia del fósforo, en lo cual se aprecia que, a menor eficiencia de la materia orgánica, menor es la eficiencia del fósforo, y a mayor eficiencia de la materia orgánica, mayor es la eficiencia del fósforo, además la regresión obtenida ajustada con la  $R^2$  es no lineal y tiene una relación positivo alta ver Tabla (24).

Al respecto Sanzano (2006), señala que el fósforo es un elemento fundamental para la nutrición de las plantas ya que desempeña un papel indispensable como acumulador de energía y combustible para todas las actividades bioquímicas de las células vivientes al formar parte de adenosín trifosfato (ATP). Así también Tirabanti (2017), quien indica que las coberturas con leguminosas, funcionan como fuente proveedora de nutrientes y materia orgánica.

#### 4.2.3. Eficiencia del potasio ( $K_2O$ )



**Figura 15.** Representación gráfica de la eficiencia del potasio en el suelo

En la Figura 15, se muestra las representaciones graficas de las medias de la eficiencia del potasio, donde se observa que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos donde el T1 (sin cobertura) presento 31.87 ppm, T2 (trébol carretilla) con 55.81 ppm, T3 (vicia) con 83.67 ppm y T4 (tarwi) con 45.71ppm las eficiencias aumentan, con lo cual se asume que el cultivo de quinua Var. Salcedo INIA y la cobertura con leguminosas ayuda en la capacidad de intercambio catiónico del suelo, donde el potasio intercambiable se pone disponible en el suelo.

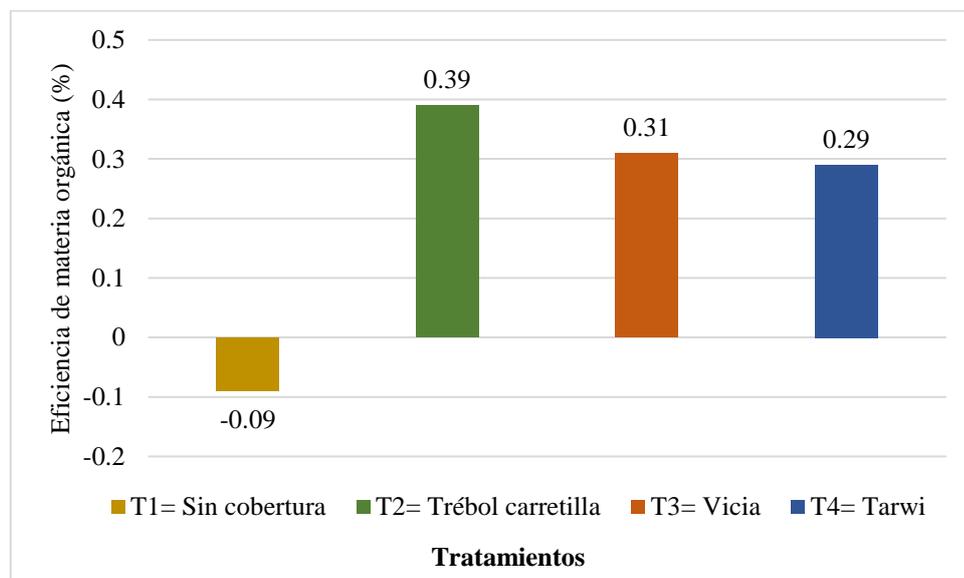
Esto es ratificado por Higuera (2008), quien señala que gran parte del potasio del suelo es retenida, quedando una sola parte que es soluble y otra fracción se fija quedando no intercambiable, pero gracias a las bacterias especialmente de las leguminosas las cuales son capaces de solubilizar el potasio, mediante la liberación de ácidos orgánicos o inorgánicos que reaccionan con los minerales que los contienen. Estos microorganismos son capaces de liberar parte del potasio contenido en ellos. A esto se debería la explicación del aumento del potasio en el presente trabajo de investigación.

En la Tabla 13, se muestra la prueba de comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ), para la eficiencia del potasio disponible, en donde se observa que los tratamientos T3 (vicia), T2 (trébol carretilla), T4 (tarwi) y T1 (sin cobertura) fueron estadísticamente similares ( $P \geq 0.05$ ), cuyas medias fueron  $83.67 \pm 52.75$  ppm,  $55.81 \pm 40.30$  ppm,  $45.71 \pm 54.37$  ppm y  $31.87 \pm 69.22$  ppm.

**Tabla 13.** Prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) para la eficiencia de potasio en el suelo

| Orden | Tratamiento | Promedio (ppm)    | Prueba de Tukey |
|-------|-------------|-------------------|-----------------|
| 1     | T3          | $83.67 \pm 52.75$ | a               |
| 2     | T2          | $55.81 \pm 40.30$ | a               |
| 3     | T4          | $45.71 \pm 54.37$ | a               |
| 4     | T1          | $31.87 \pm 69.22$ | a               |

#### 4.2.4. Eficiencia de la materia orgánica (MO)



**Figura 16.** Representación gráfica de la eficiencia de la materia orgánica

En la Figura 16, se muestra las representaciones graficas de las medias de la eficiencia de la materia orgánica, donde se observa que los tratamientos T2 (trébol carretilla) presento 0.39%, T3 (quinua con vicia) con 0.31% y T4 (quinua con tarwi) con 0.29% aumentan moderadamente a comparación al T1 testigo (sin cobertura) con -0.09% que disminuye ligeramente, por lo cual se asume que fue debido a la cobertura con



leguminosas que influyeron en la descomposición de la materia orgánica del suelo a humus habiendo así un proceso de mineralización moderada favoreciendo así a la biodiversidad microbiana del suelo. Esto es corroborado por Ruiz y López (2014), quienes indican que las leguminosas aportan materia orgánica, especialmente en forma de humus. En cambio, en el tratamiento T1 (sin cobertura) hubo un ligero arrastre de materia orgánica por la erosión hídrica, siendo así que solo cultivando cultivo de quinua se pierde materia orgánica.

Esto es confirmado por Contto y Gonzalez (2005), quienes indican que al investigar el efecto de tres leguminosas sobre la cantidad de materia orgánica, aporte de NPK y la incidencia de malezas sobre el crecimiento de la pitahaya, para medir este aporte realizaron dos muestreos de suelo uno antes de establecer el ensayo, presentando el testigo la mayor concentración de materia orgánica, no así en el segundo muestreo de suelo presentando los mayores aportes las leguminosas *Cajanus cajan* (L.) Millsp, seguido de *Canavalia ensiformis* (L.) DC con 74480, 72520 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente. Donde demuestra que la asociación de leguminosas es ventajosa ya que aumenta los contenidos de materia orgánica. Así también Ruiz y López (2014), indica que las leguminosas brindan al suelo abundantes cantidades de materia orgánica una vez que mueren o son cortadas además el incremento de esta materia favorece la acumulación en el suelo de ácidos húmicos.

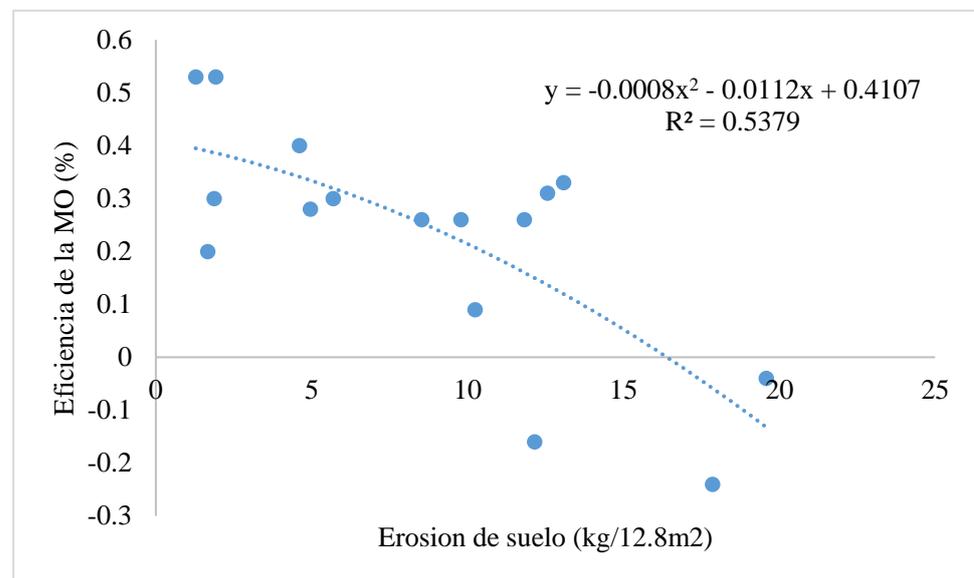
En la Tabla 14, se muestra la prueba de comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ), para la eficiencia de la materia orgánica, en donde se observa que los tratamientos con cobertura de leguminosas T2 (trébol carretilla), T3 (vicia) y T4 (tarwi) con medias de  $0.39 \pm 0.17\%$ ,  $0.31 \pm 0.06\%$  y  $0.29 \pm 0.03\%$  respectivamente fueron estadísticamente similares y diferentes a comparación al T1 (sin cobertura) con media de

-0.09±0.14%, en donde la eficiencia disminuye ligeramente a comparación a los otros tratamientos que las eficiencias aumentan.

**Tabla 14.** Prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) para la eficiencia de materia orgánica en el suelo

| Orden | Tratamiento | Promedio (%) | Prueba de Tukey |
|-------|-------------|--------------|-----------------|
| 1     | T2          | 0.39±0.17    | a               |
| 2     | T3          | 0.31±0.06    | a               |
| 3     | T4          | 0.29±0.03    | a               |
| 4     | T1          | -0.09±0.14   | b               |

#### 4.2.4.1. Correlación entre la eficiencia de % MO y la erosión del suelo



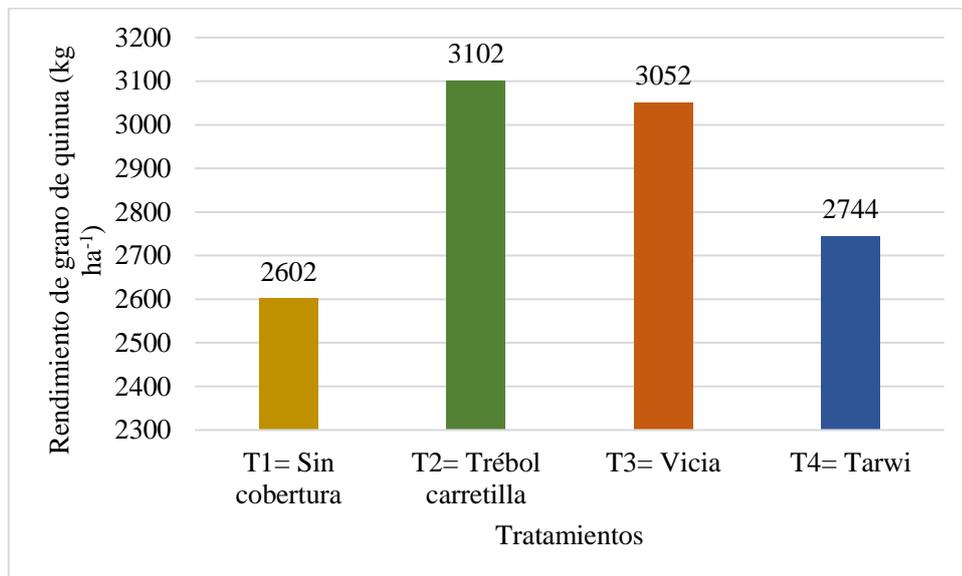
**Figura 17.** Correlación y dispersión de la erosión del suelo con la eficiencia de la materia orgánica

En la Figura 17, se observa la correlación y dispersión de erosión del suelo con eficiencia de la materia orgánica, resultando en una relación negativa alta ver Tabla (24), donde se puede decir que a mayor erosión del suelo el contenido de materia orgánica en el suelo disminuye y en casos extremos de erosión se pierde grandes cantidades de materia orgánica del suelo. Esto es ratificado por Tirabanti (2017), quien indica que las coberturas con leguminosas, que se asocian con los cultivos, cumplen una gran función en la protección de la erosión y recuperar la

fertilidad de los suelos, ya que funcionan como fuente proveedora de nutrientes y materia orgánica.

#### 4.3. RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE QUINUA EN GRANO VARIEDAD

##### SALCEDO INIA



**Figura 18 .** Representación gráfica del rendimiento de grano de quinua

En la Figura 18, se muestran las representaciones gráficas de las medias del rendimiento de grano de quinua variedad salcedo INIA, donde se observa que los tratamientos T2 (trébol carretilla) y T3 (vicia) tuvieron de 3102 y 3052 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente, siendo mayores en rendimientos a comparación del tratamiento T1 (sin cobertura) con 2602 kg ha<sup>-1</sup> ; por lo que se asevera que el cultivo de quinua asociado con leguminosas trébol carretilla y vicia es influenciado en el crecimiento y desarrollo de las plantas, debido a que las coberturas de las leguminosas mantienen la humedad y mejoran la disponibilidad de nutrientes en el suelo, obteniéndose mejores rendimientos de grano de quinua, mientras tanto en el T4 ( tarwi) se obtuvo un rendimiento promedio de 2744 kg ha<sup>-1</sup> en comparación a los otros tratamientos.

Al respecto INIA (2013), señala que el rendimiento de grano de quinua varía 2.5 – 4.0 t ha<sup>-1</sup>, comparando con los resultados obtenidos estaría dentro del promedio ya que



los resultados se encuentran en ese rango. Mientras Galindo (2017), al determinar los niveles de aplicación del abono foliar en la productividad de quinua Salcedo INIA (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el distrito de Mañazo, donde obtiene un mayor rendimiento de grano en el tratamiento D2 (25 ml/20L de agua) con 2760 kg ha<sup>-1</sup> y el rendimiento menor fue D0 (00 ml abono foliar/20L de agua) con 1916.67 kg ha<sup>-1</sup> y como mejor dosis también resulto D2 logrando un rendimiento mayor en comparación con los demás tratamientos. Comparando estos resultados con el rendimiento de grano del trabajo de investigación; serian superiores probablemente a la influencia de la asociación con leguminosas obteniendo mejores resultados.

Mientras que Guerra (2012), señala que al investigar la acumulación de nitrógeno en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) y la asociación papa-tarwi (*Lupinus mutabilis*) en la Comunidad de Patarani, Provincia Aroma, el rendimiento de tubérculo en cultivo papa asociado con tarwi en kg ha<sup>-1</sup> el T2 (50% papa + 50% tarwi) alcanzo rendimientos significativamente superiores con 3151.03 kg ha<sup>-1</sup> comparado al T1 (100% papa) que presento un rendimiento menor con 2653.41 kg ha<sup>-1</sup>, donde se ve la influencia de la asociación de leguminosas mejorando los rendimientos con cultivos. Esto coincide con los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación.

Así también Bedoussac *et al.* (2015), indica en su estudio realizadas con cereales: cebada (*Hordeum vulgare*), trigo blando (*Triticum aestivum* L.) y de trigo duro (*Triticum turgidum* L.) intercalados con leguminosas como: guisante (*Pisum sativum* L.) o haba (*Vicia faba* L.), que el cereal intercalado es más productivo independientemente de la estrategia de cultivo. Además, cuanto más aumenta el rendimiento de grano del cereal intercalado, menos produce la leguminosa, lo que sugiere que existe una compensación entre cultivos. Así de la misma manera se ve reflejado la importancia de la asociación de cultivo con leguminosas puesto a que incrementa el rendimiento de grano, esto también



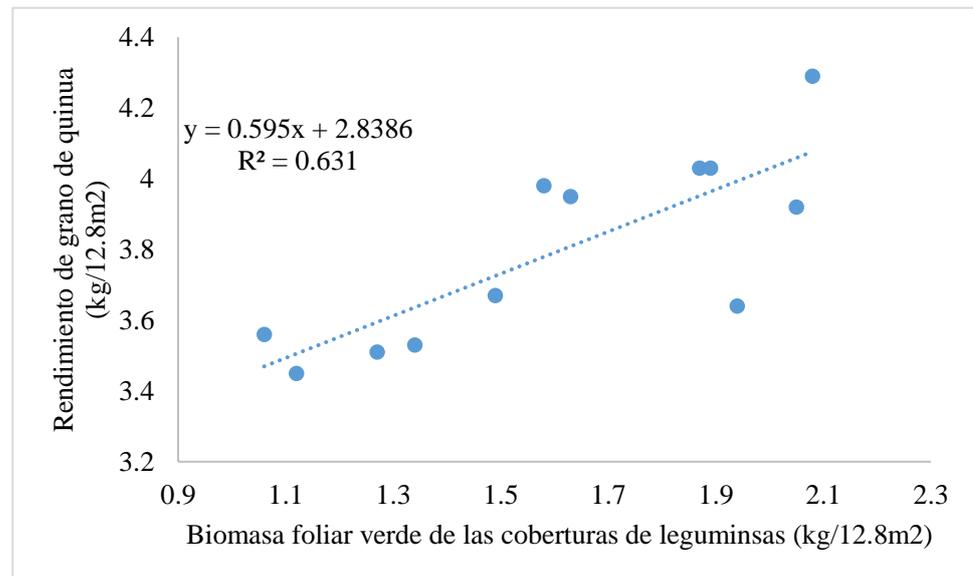
se puede observar en el presente trabajo de investigación teniendo mejores rendimientos de grano esto comparado con un cultivo sin asociar ya que el rendimiento es menor.

En la Tabla 15, se muestra la prueba de comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ); para el rendimiento de grano de quinua variedad Salcedo INIA asociados con las coberturas de leguminosas y sin cobertura de leguminosa, en donde se observa que el T2 (trébol carretilla) y T3 (vicia) siendo sus medias estadísticamente similares con  $3102 \pm 0.27 \text{ kg ha}^{-1}$  y  $3053 \pm 0.16 \text{ kg ha}^{-1}$  y siendo estadísticamente diferentes con T1 testigo (sin cobertura) y T4 (tarwi) cuya media fue  $2602 \pm 0.29$  y  $2744 \pm 0.05 \text{ kg ha}^{-1}$  respectivamente.

**Tabla 15.** Prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) para rendimiento de grano de quinua según Tratamiento

| Orden | Tratamiento | Promedio $\text{kg ha}^{-1}$ | Prueba de Tukey |
|-------|-------------|------------------------------|-----------------|
| 1     | T2          | $3102 \pm 0.27$              | a               |
| 2     | T3          | $3053 \pm 0.16$              | a               |
| 3     | T4          | $2744 \pm 0.05$              | ab              |
| 4     | T1          | $2602 \pm 0.29$              | b               |

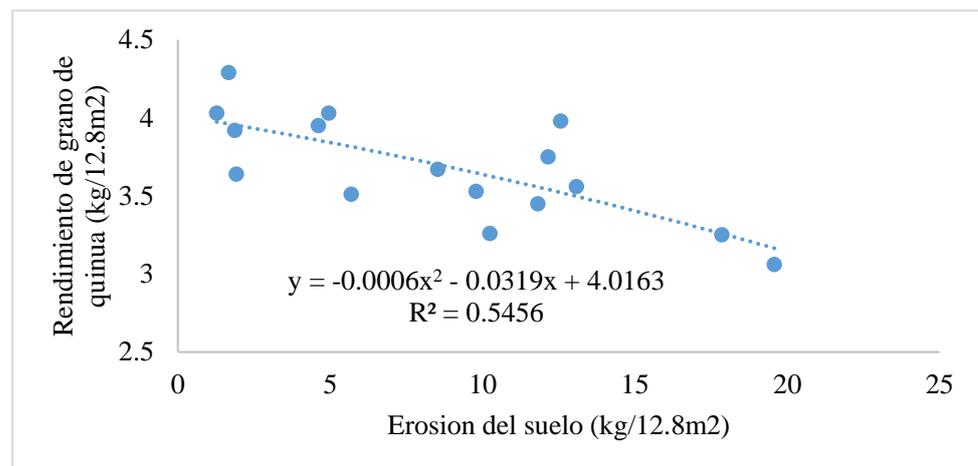
#### 4.3.1. Correlación entre el rendimiento de grano de quinua y biomasa foliar de las leguminosas



**Figura 19.** Correlación y dispersión de la biomasa verde las leguminosas con el rendimiento de grano de quinua

En la Figura 19, se observa la correlación y dispersión de los valores de la producción de biomasa verde con el rendimiento de grano de quinua variedad Salcedo INIA mostrándose una relación positiva alta ver Tabla (24), esto resulta que si los valores son mínimos en la biomasa verde los valores de rendimiento de grano de quinua disminuyen considerablemente y si los valores de la biomasa verde son altas los valores de rendimiento de grano de quinua aumentan considerablemente, la regresión obtenida ajusta con la  $R^2$  es lineal. Esto es corroborado por Chunhuay (2017), quien indica que el empleo de cultivos de cobertura asociado con cultivos permiten obtener un mayor rendimiento.

#### 4.3.2. Correlación entre el rendimiento de grano de quinua y erosión del



suelo

**Figura 20.** Correlación y dispersión de la erosión del suelo con el rendimiento de grano de quinua

En la Figura 20, se observa la correlación y dispersión de la erosión del suelo con el rendimiento de grano de quinua variedad Salcedo INIA, en lo cual se aprecia que a menor erosión del suelo, mayor es el rendimiento de grano de quinua, y a mayor erosión del suelo, menor es el rendimiento de grano de quinua, además la regresión obtenida ajustada con la  $R^2$  es no lineal y tiene una relación negativa alta ver Tabla (24).

Al respecto Colque (2021) indica que la pérdida de elementos nutritivos en los suelos es a causa de la erosión hídrica. De tal modo que la disminución de los elementos nutritivos en el suelo juntamente con la pérdida de la capa superficial del suelo, disminuyen la fertilidad del suelo y en consecuencia influyen en el bajo rendimiento de los cultivos.



## V. CONCLUSIONES

De los resultados se obtuvieron las siguientes conclusiones:

1. Para la determinación de la influencia de la cobertura vegetal con leguminosas en la erosión hídrica del suelo, se concluye que el tratamiento T2 (trébol carretilla) tuvo una mayor biomasa foliar verde con  $19850 \text{ kg ha}^{-1}$  y quien presento una menor biomasa verde fue el tratamiento T4 (tarwi) con  $11975 \text{ kg ha}^{-1}$ . En cuanto a la erosión hídrica del suelo, el terreno presento una pendiente de 5-15% donde el tratamiento T2 (trébol carretilla) produjo una menor pérdida del suelo con  $1.31 \text{ t ha}^{-1}$ ; en comparación a el testigo T1 (sin cobertura) donde hubo una mayor pérdida de suelo con  $11.69 \text{ t ha}^{-1}$ . Por lo tanto, se puede observar la influencia de la cobertura vegetal en la reducción de la pérdida del suelo, este resultado nos muestra la importancia de la cobertura vegetal en las praderas.
2. La eficiencia de nutrientes del suelo con la cobertura de leguminosas; los resultados indican que la cobertura vegetal con mayor eficiencia en el aporte de nitrógeno total fue el tratamiento T3 (vicia) con 0.030%, en fósforo lo obtuvo el T2 (trébol carretilla) con 3.01 ppm y en potasio obtuvo el T3 (vicia) con 83.67 ppm, todos estos en comparación al tratamiento T1 testigo (sin cobertura) donde las eficiencias disminuyen en nitrógeno y fosforo con (-0.015% y -0.21ppm) y en potasio se tiene una menor eficiencia con 31.87 ppm. Esto indica que las leguminosas mejoran la calidad del suelo y la disponibilidad de nutrientes en suelo.
3. En la determinación del efecto de la cobertura vegetal con leguminosas en el rendimiento del cultivo de quinua Var. Salcedo INIA se concluye que, el tratamiento T2 (trébol carretilla) tuvo un mayor rendimiento con  $3102 \text{ kg ha}^{-1}$



<sup>1</sup>, seguido del T3 (vicia) con 3053 kg ha<sup>-1</sup>, mientras que el tratamiento T1 testigo (sin cobertura) presento un menor rendimiento con 2602 kg ha<sup>-1</sup>. Por lo tanto, la cobertura con leguminosas en el cultivo de quinua generó un mejor efecto en el crecimiento y desarrollo de las plantas y mejoro los rendimientos de grano de quinua.



## VI. RECOMENDACIONES

1. Realizar trabajos de investigación similares con las mismas leguminosas, utilizando solo como cobertura vegetal y/o asociado con otros cultivos en pendientes mayores a 20 % para verificar cuál de estas leguminosas es quien protege mejor el suelo de la erosión.
2. Realizar trabajos de investigación con las mismas coberturas de leguminosas, pero utilizando como abono verde para el suelo y poder saber cuál es el aporte de nitrógeno que brinda cada una de estas leguminosas.
3. Realizar la asociación de estas leguminosas con otros cultivos para ver la influencia que tiene cada una de ellas en el rendimiento del cultivo y comparar con estos resultados.



## VII. REFERENCIAS

- Acosta, C. (2007). El suelo agrícola, un ser vivo. *Inventio, la génesis de la cultura universitaria en Morelos*, 3(5), 55-60.
- Acuña, O. (1996). *Manejo y tecnología de la FBN (fijación biológica de nitrógeno) en leguminosas de importancia agrícola*. Paper presented at the En: X Congreso Nacional Agronómico /III Congreso de Fitopatología /II Congreso Nacional de Suelos. Volumen III pp 89-94.
- Agrobanco. (2012). Edición especial del cultivo de quinua. *Revista Técnica Agropecuaria*, 20.
- Alegre, J. C., Morales, C. F., & La Torre, B. (1990). Soil erosion studies in Peru. *Journal of soil and water conservation*, 45(3), 417-420.
- Alfaro, R. (1979). Fertilidad del suelo. Texcoco, México: Universidad Autónoma de Chapingo.
- Almorox, A., López, F., & Rafaelli, S. (2011). *La degradación de los suelos por erosión hídrica. Métodos de estimación* (Editum ed. Vol. 4). España: Universidad de Murcia.
- Álvarez, C. R., & Rimski-Korsakov, H. (2016). Manejo de la fertilidad del suelo en planteos orgánicos: Capítulo. 6 Nitrógeno. *Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires, Argentina*, 70-85 pp.
- Ares, M. G., & Varni, M. (2016). ¿ Que es la erosión hídrica y cómo la estudiamos en el IHLLA ?. <https://www.unicen.edu>.
- Arias, A. C. (2007). *Suelos Tropicales* (primera ed.). Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia.



- Barrientos, L., Montenegro, A., & Pino, I. (2002). Evaluación de la fijación simbiótica de nitrógeno de *Lupinus albus* y *L. angustifolius* en un Andisol Vilcun del sur de Chile. *Terra Latinoamericana*, 20(1), 39-44.
- Bedoussac, L., Journet, E.-P., Hauggaard-Nielsen, H., Naudin, C., Corre-Hellou, G., Jensen, E. S., . . . Justes, E. (2015). Ecological principles underlying the increase of productivity achieved by cereal-grain legume intercrops in organic farming. A review. *Agronomy for sustainable development*, 35(3), 911-935.
- Benites, J. R., & Bot, A. (2014). *Agricultura de Conservacion, una práctica innovadora con beneficios económicos y medioambientales* (B. Agropecuario Ed.). Lima-Perú.
- Bienes, R. (2006). *La erosión hídrica: Importancia y clases. Parámetros climáticos condicionantes de la erosión (intensidad, torrencialidad, aridez, déficit hídrico, tamaño gota)* (R. Bienes & M. J. Marqués Eds. 1ra ed.). Conservación del medio ambiente: Revegetación, recuperación del suelo y empleo de residuos en el control de erosion Consejería de Econoía e Innovación Tecnológica, Comunidad de Madrid.
- Bloodnick, E. (2020). La función del sodio y el cloruro en el cultivo de plantas. <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-funcion-del-sodio-y-del-cloruro-en-el-cultivo-de-plantas>.
- Bravo, C., Lozano, Z., Hernández, R. M., Piñango, L., & Moreno, B. (2004). Efecto de diferentes especies de coberturas sobre las propiedades físicas de un suelo de sabana con siembra directa de maíz. *Bioagro*, 16(3), 163-172.
- Caicedo, C., & Peralta, E. (2001). *El cultivo de chocho *Lupinus mutabilis* Sweet: Fitonutricion, enfermedades y plagas, en el Ecuador: Estacion Experimental Santa Ctalina (INIAP)*.



- Canihua, J., & Salcedo, S. (2016). *Nutricion y fertilidad de suelos*. Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA, Estación Experimental Agraria Illpa, Puno, Perú.
- Casas, R. (2007). Cultivos de cobertura: una alternativa sustentable. *Suplemento El Campo*. <https://www.lanacion.com.ar/economia/campo/cultivos-de-cobertura-una-alternativa-sustentable>.
- Cerdà, A. (2001). La erosión del suelo y sus tasas en España. *Revista ecosistemas*, 10(3), 1-16.
- Cerón, E. (2000). *Cultivo de quinua*. . Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrarias: San Juan de Pasto.
- Cespedes, C. M. (2010). Manejo de la fertilidad del suelo. *Boletin INIA-Instituto de Investigaciones Agropecuarias*.
- Cifuentes, A. R., Escobar, R. N., Hernández, V. E., & González, G. A. (2001). Asociación lupino-maíz en la nutrición fosfatada en un andosol. *Terra Latinoamericana*, 19(2), 141-154.
- Cisneros, J., Cholaky, C., Cantero, A., González, J., Reynero, M., Diez, A., & Degioanni, A. (2012). *Erosión hídrica principios y técnicas de manejo* (UNIRIO Ed.): Universidad Nacional de Río Cuarto. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Servicio de Conservación y Ordenamiento Territorial de Tierras (SECYOT). Colección Académico-Científico.
- Colque, C. (2021). *Determinación de la pérdida de suelo y nutrientes por erosión hídrica mediante parcelas de escorrentía y microparcels de varillas de erosión*. (tesis de pre grado), Uiversidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Agrarias, Puno, Perú.
- Contto, C. F., & Gonzalez, L. A. (2005). *Efecto de tres leguminosas sobre la cantidad de materia orgánica, aporte de NPK y la incidencia de malezas sobre el crecimiento*



- de la pitahaya*. (Tesis Doctoral), Universidad Nacional Agraria, UNA, Managua-Nicaragua.
- Córdoba, E. M., González-Verdejo, C. I., & Nadal, S. (2016). *Guías de Cultivo. Serie leguminosas: la Veza Común* Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (pp. 1-16). <https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca>.
- Correa, S. W., Mello, C. R., Chou, S. C., Curi, N., & Norton, L. D. (2016). Soil erosion risk associated with climate change at Mantaro River basin, Peruvian Andes. *CATENA*, 147, 110-124. doi: 10.1016/j.catena.2016.07.003
- Chunhuay, Y. (2017). *Evaluación del rendimiento del maíz amiláceo mediante la aplicación del guano de islas y trébol asociado al maíz en Allpas-Acobamba*. (Tesis de pre grado), UNAH, Huancavelica, Perú.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Gonzalez, L., Tablada, E., Diaz, M., Robledo, C., & Balzarini, M. (2016). *Estadística para las Ciencias Agropecuarias* (Séptima ed.). Córdoba, Argentina.
- Docampo, R. (2010). La importancia de la materia orgánica del suelo y su manejo en producción frutícola. *Serie Actividades de Difusión N° 687. Las Brujas: INIA - Estación Experimental "Wilson Ferreira Aldunate*, 81-88.
- FAO. (2002). *Los Fertilizantes y Su uso una Guía de Bolsillo para los Oficiales de Extension* (Cuarta ed.). Roma: Asociación internacional de la industria de los fertilizantes.
- FAO. (2017). Legumbres y Suelos - Promover la Simbiosis a través de la Rotación de los cultivos. <http://www.fao.org/pulses-2016/news/news-detail/es/c/462422/>
- FAO. (2019). Detengamos la Erosión del Suelo para Garantizar la Seguridad Alimentaria en el Futuro. <http://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1193735/>



- Ferrera, R., & Alarcón, A. (2001). La microbiología del suelo en la agricultura sostenible. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 8(2), 10.
- Frere, M., Rea, J., & Rijks, J. Q. (1975). *Proyecto Interinstitucional en agroclimatología. Estudio agroclimatológico de la zona andina: Informe técnico*. Roma: FAO/UNESCO/OMS.
- Gaitan, J. J., Navarro, M. F., Vuegen, L. M., Pizarro, M. J., & Carfagno, P. (2017). *Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina* (INTA ed.).
- Galindo, V. Y. (2017). *Niveles de aplicación del abono foliar en la productividad de quinua Salcedo INIA (Chenopodium quinua Willd.) en el distrito de Mañazo*. (Tesis de Pregrado), Universidad Nacional del Altiplano, Puno-Perú.
- García-Fayos, P. (2004). Interacciones entre la vegetación y la erosión hídrica (F. Valladares ed., pp. 309-334). Madrid: Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante, EGRAF.
- Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz Gaistardo, C., Encina Rojas, A., . . . Vargas, R. (2014). *Atlas de suelos de América Latina y el Caribe*. Luxembourg: Comisión Europea-Oficina de Publicaciones de la Unión Europea.
- Geissert, D., Mólgora-Tapia, A., Negrete-Yankelevich, S., & Hunter Manson, R. (2017). Efecto del manejo de la cobertura vegetal sobre la erosión hídrica en cafetales de sombra. *Agrociencia*, 51(2), 119-133.
- Giusti, L. (1970). El Género *Chenopodium* en Argentina: I. Números de Cromosomas. *Darwiniana*, 16, 98-105.
- Gobierno Regional de Puno. (2014). *Plan de desarrollo regional concentrado Puno al 2021*. Puno-Perú.



- Gómez-Rodríguez, O., & Zavaleta-Mejía, E. (2001). La Asociación de Cultivos una Estrategia más para el Manejo de Enfermedades, en Particular con *Tagetes* spp. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 19(1), 94-99.
- Gómez, L., & Aguilar, E. (2016). *Guía de cultivo de la quinua* (Segunda ed.). Lima-Perú: ©FAO y Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Guerra, R. E. (2012). *Acumulación de nitrógeno en el cultivo de papa (Solanum tuberosum) y la asociación papa-tarwi (Lupinus mutabilis) en la Comunidad de Patarani, Provincia Aroma*. (Tesis de Grado), Universidad Mayor de San Andrés, La Paz-Bolivia.
- Gyssels, G., Poesen, J., Bochet, E., & Li, Y. (2005). Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: a review. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 29(2), 189-217. doi: 10.1191/0309133305pp443ra
- Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Møller, I. S., & White, P. (2012). Functions of macronutrients *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (pp. 135-189): Elsevier.
- Heike, V. (2009). Malezas de México, Ficha-Medicago polymorfa L. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/fabaceae/medicago-polymorpha/fichas/ficha.htm>.
- Hernández, T. (2014). Plan de desarrollo concertado de la mancomunidad municipal de qhapaq qolla. <http://portal.apci.gob.pe/noticias/Attach/Presentaciones/2015/FondoEstudios>.
- Herrera, A. (2010). *Suelos: Con énfasis del Altiplano* (Primera ed. Vol. 1). Puno, Perú.
- Higuera, M. D. (2008). Los microorganismos del suelo en la nutrición vegetal. *Investigación aplicada y Desarrollo. Orius Biotecnología*. Villavicencio, Colombia.



- Hudson, N. (1997). *Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía*. Roma: Boletín de suelos de la FAO n° 68.
- Huerta-Olague, J. d. J., Oropeza Mota, J. L., Guevara Gutiérrez, R. D., Ríos Berber, J. D., Martínez Menes, M. R., Barreto García, O. A., . . . Mancilla Villa, O. R. (2018). Efecto de la cobertura vegetal de cuatro cultivos sobre la erosión del suelo. *Idesia (Arica)*, 36(2), 153-162. doi: 10.4067/S0718-34292018005000701
- INIA. (2013). Quinoa Salcedo INIA. *Tríptico producido por la Estación Experimental Agraria Illpa – Puno del Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA*.
- INTAGRI. (2017a). La Conductividad Eléctrica del Suelo en el Desarrollo de los Cultivos. *Serie Nutrición Vegetal. Artículos Técnicos de INTAGRI. México*, 5 p.
- INTAGRI. (2017b). Propiedades Físicas del suelo y el Crecimiento de las plantas. *Serie Suelos. Núm. 29. Artículos Técnicos de INTAGRI. México*. 5 p.
- INTAGRI. (2018). Disponibilidad de Nutrientes y el pH del Suelo. *Serie Nutrición Vegetal. Artículos Técnicos de INTAGRI. México*, 4 p.
- Kumar, S. (2003). Effect of different vegetation systems on soil erosion and soil nutrients in red soil region of southeastern China. *土壤圈: 英文版*, 13(2), 121-128.
- Lal, R. (1994). Métodos y normas para evaluar el uso sostenible de los recursos suelo y agua en el trópico. *SMSS Monografía técnica No. 21. Departamento de Agronomía, Ohio State University, Columbus, OH*, 96.
- León, J. (2003). *Cultivo de la quinua en Puno-Perú. Descripción, manejo y producción*. Universidad Nacional del Altiplano-Facultad de Ciencias Agraria, (63). Puno-Perú.
- Lok, S., Torres, V., & Sarmiento, M. (2019). Efecto de las leguminosas en la dinámica edáfica en áreas ganaderas del occidente de Cuba. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 23(1).



- Lozano, Z., Romero, H., & Bravo, C. (2010). Influencia de los cultivos de cobertura y el pastoreo sobre las propiedades físicas de un suelo de sabana. *Agrociencia*, 44(2), 135-146.
- Lu, Y.-C., Watkins, K. B., Teasdale, J. R., & Abdul-Baki, A. A. (2000). Cover crops in sustainable food production. *Food Reviews International*, 16(2), 121-157. doi: 10.1081/FRI-100100285
- Llerena, C. (1988). Uso de varillas para medir la erosión hídrica. *Revista Forestal, Perú*, 15(2), 47-57.
- Martinez, J. L. (2017). Clase: Erosion hidrica (Diapositiva Powerd Point).
- Mercado, W. J. (2016). *Evaluación de la fijación de nitrógeno y biomasa de tarwi silvestre-Q'ila-Q'ila (Lupinus sp.) bajo laboreo de surcado y carpido en la localidad de K'ipha-K'iphani*. (Tesis de grado), Universidad Mayor de San Andrés, La Paz-Bolivia.
- Michielin de Pieri, A. (1969). Importancia de leguminosas. *Curso de ganado de leche. Santafé de Bogotá*(5), 54-60.
- MINAG. (2011). *Guía técnica de orientación Fertilidad de Suelos: Manejo y fertilidad de suelos*.
- MINAM. (2013). El Perú Lucha Contra la Desertificación y la Sequía. <http://www.minam.gob.pe/notas-de-prensa/el-peru-lucha-contra-la-desertificacion-y-la-sequia>.
- Montgomery, D. C. (2017). *Design and analysis of experiments* (Ninth ed.). Arizona State University: John wiley & sons.
- Mujica, Á. (2015). El origen de la quinoa y la historia de su domesticación *Tierra Adentro*.



- Mujica, Á., Canahua, A., & Saravia, R. (2001). *Agronomía del cultivo de la quinua. Cap 2. En Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) – Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro* (A. Mujica, S.-E. Jacobsen, J. Izquierdo & J. Marathee Eds.). Santiago-Chile.
- Mujica, Á., Izquierdo, J., & Marathee, J. P. (2001). Origen y descripción de la quinua. Cap 1. En *Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) – Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro* In A. Mujica, S.-E. Jacobsen, J. Izquierdo & J. Marathee (Series Eds.), (FAO ed., pp. 253): Santiago-Chile.
- Nieto, C., & Vimos, C. (1992). *La quinua, cosecha y poscosecha: Algunas experiencias en Ecuador*. . Boletín N° 224. Quito-Ecuador: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.
- Núñez, J. (2001). *Manejo y conservación de suelos*. San José, Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia, EUNED.
- Owen, B. (1995). Características físico-químicas del suelo y su incidencia en la absorción de nutrientes, con énfasis en el cultivo de la palma de aceite. *Palmas*, 16(1), 31-39.
- Paredes, M. C. (2013). *Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y gramíneas*. (Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria), Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina.  
<https://core.ac.uk/download/pdf/32621045.pdf>
- Pascual, R., & Venegas, S. (2010). La materia orgánica del suelo; papel de los microorganismos. *Ciencias Ambientales*, 11.
- Pastor, R. (1992). *Evaluación de la erosión hídrica en la zona de Chanchamayo-Junín, utilizando como cobertura vegetal en el cultivo de Camote (Ipomoea batatas L.)*.



- (tesis de pregrado), Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ingeniería Agrícola, Lima, Perú.
- Peinado, F. M., & Sierra, M. (2008). Gestión y conservación de suelos y aguas. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Facultad de Ciencias.
- Pérez, A. (2005). *Manejo del cultivo de quinua en la sierra central* (Primera ed.). Serie Manual N°1. INIA: Lima-Perú
- Pérez Leal, F. (2017). *Fisiología vegetal Parte III Nutrición mineral*. <http://repositorio.unu.edu.pe>.
- Pérez, M., & Pérez, D. (2017). *Comparación del método del plato medidor de la altura comprimida y el método del cuadrante para la determinación del rendimiento de materia seca en praderas sobre los tres mil metros de altitud*. (Tesis de Pre grado), Universidad Central del Ecuador, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Quito, Ecuador.
- Pérez, M. B., Carmenate, R. P., Pérez, A. B., Cepero, R. M., & Cubillas, N. (2001). Impacto sobre el suelo de leguminosas herbáceas como mejoradores de las coberturas naturales en plantaciones decítricos. *Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, 5(2), 93-116.
- Piaggese, A. (2004). *Los microelementos en la nutrición vegetal*. Italia: Meta srl. Lanciano.
- Pizarro, R., & Cuitiño, H. (2002). Método de evaluación de la erosión hídrica superficial en suelos desnudos en Chile. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*(13), 165-170.
- Pla, I. (2012). *Problemas de degradación de suelos en América Latina: Evaluación de causas y efectos*. Paper presented at the X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, Quito, Ecuador.



- Prosdocimi, M., Cerdà, A., & Tarolli, P. (2016). Soil water erosion on Mediterranean vineyards: A review. *CATENA*, *141*, 1-21. doi: 10.1016/j.catena.2016.02.010
- Quispe, T. C. (2018). *Influencia de la cobertura vegetal en la erosión hídrica del suelo en la comunidad San Mateo, Perú*. (Escuela de Posgrado), Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú.
- RAAA. (2002). Estudio integral del proceso de degradación del suelo, uso actual y potencial, y plan de manejo y conservación para la producción sostenible en la zona de Palmapampa, Valle del Río Apurímac (pp. 70). Lima.
- Ramírez, R. (1997). *Propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos*. Santafé de Bogotá, setiembre.
- Renzi, J. P., & Cantamutto, M. A. (2013). *Vicias: Bases agronómicas para el manejo en la Región Pampeana*. INTA.
- Reyes, W. J. (2010). Evaluación de la susceptibilidad a la compactación en cuatro series de suelo bajo uso agrícola en Venezuela. *Bioagro*, *22*(1), 29-36.
- Rodríguez, H., Acosta de la Luz, L., Hechevarría, I., Milanés, M., & Rodríguez, C. A. (2008). Estudio comparativo entre el monocultivo y la asociación de cultivo en varias plantas medicinales *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, *13*(3), 7.
- Rojas, J. (2013). Densidad Aparente: Comparación de métodos de determinación en ensayo de rotaciones en siembra directa. *Centro Regional Chaco Formosa, Estación Experimental Agropecuaria Sáenz Peña. Buenos Aires, Argentina*.
- Rollán, A. d. C., & Bachmeier, O. (2014). Compactación y retención hídrica en Haplustoles de la provincia de Córdoba (Argentina) bajo siembra directa. *Agriscientia*, *31*(1).



- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). *Propiedades físicas del suelo*. Montevideo, Uruguay: Universidad De La República, Facultad de agronomía, Departamento de Suelos y Aguas.
- Ruffo, M., & Parsons, A. (2004). Cultivos de cobertura en sistemas agrícolas. *Informaciones agronómicas del cono sur*, 21(1), 13-15.
- Ruiz, E., & López, D. L. M. (2014). Revisión de literatura sobre beneficios asociados al uso de coberturas leguminosas en palma de aceite y otros cultivos permanentes. *Revista Palmas*, 35(1), 53-64.
- Rzedowski, G. C., & Rzedowski, J. (2001). *Flora fanerogámica del Valle de México* (2da ed.). Pátzcuaro, Michoacán, México: Instituto de Ecología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Sabino, E., Felipe-Obando, O., & Lavado-Casimiro, W. (2017). *Atlas de erosión de suelos por regiones hidrológicas del Perú*. (Nota Técnica 002). Lima, Perú: Dirección Hidrológica.
- Sánchez-Gutiérrez, R. A., Figueroa-González, J. J., Rivera Vázquez, J. S., Reveles-Hernández, M., Gutiérrez-Bañuelos, H., & Espinoza-Canales, A. (2020). Comportamiento productivo y valor nutricional de veza común (*Vicia sativa* L.) durante otoño-invierno en Zacatecas, México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 11(1), 294-303. doi: 10.22319/rmcp.v11i1.5588
- Sánchez, J. (2007). *Fertilidad del suelo y nutrición mineral de las plantas: Conceptos Básicos*: Fertitec S.A.
- Sánchez, P. A. (1981). *Suelos del trópico: características y manejo* (E. Camacho, Trans. Primera ed.). San José- Costa Rica: IICA Biblioteca Venezuela.
- Sanzano, A. (2006). *Fosforo del suelo. Química del suelo. 1-4*.



- Serrato, F. B., Díaz, A. R., Bermúdez, F. L., & Laguna, E. H. (1999). Óptimo de cobertura vegetal en relación a las pérdidas de suelo por erosión hídrica y las pérdidas de lluvia por interceptación. *Papeles de Geografía*(30), 5-15.
- Somarriba, M., Obando, M., & Beltrán, J. A. (2005). Manual de métodos sencillos para estimar erosión hídrica *Documento No. 592, Serie Técnica /2005*. Managua - Nicaragua.
- Stagnari, F., Maggio, A., Galieni, A., & Pisante, M. (2017). Multiple benefits of legumes for agriculture sustainability: an overview. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 4(1). doi: 10.1186/s40538-016-0085-1
- Suárez, J. (2001). *Control de erosión en zonas tropicales*. Bucaramanga-Colombia: Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos - Ingeniería de Suelos.
- Sylvia, D. M., Fuhrmann, J. J., Hartel, P. G., & Zuberer, D. A. (2005). *Principles and applications of soil microbiology* (2da ed.). New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- Taboada, L. (2011). *Prácticas de conservación de suelos en ladera: AGRORURAL*.
- Tamhane, V., Motiramani, D. P., Bali, Y. P., & Donahue, R. L. (1986). *Suelos: su química y fertilidad en zonas tropicales* (4a ed.). Diana, México, D. F.
- Tapia, M. (2015). *El tarwi, lupino andino: Tarwi, Tauri o Chocho (Lupinus mutabilis Sweet)* (Primera ed.). Ancash, Perú: Fondo Italo Peruano.
- Tapia, M., & Fries, A. M. (2007). *Guía de campo de los cultivos andinos* (R. Cadmo Ed. Primera ed.). Lima-Perú: FAO-ANPE.
- Tapia, M., Gandarillas, H., Alandia, S., Cardozo, A., Mujica, R., Ortiz, R., . . . Zanabria, E. (1979). *La quinua y la kañiwa: Cultivos andinos*. CIID-IICA: Bogotá, Colombia.



- Tayupanta, J. R. (1993). *La erosión hídrica: proceso, factores y formas*. Quito-Ecuador: Estación Experimental Santa Catalina. INIAP. Boletín Divulgativo N° 229.
- Tirabanti, J. (2017). Coberturas vivas superficiales *Tecnología 6 . Guía para la producción sostenible de la caficultura en la selva alta*. Lima, Perú: Soluciones prácticas.
- Todorov, N., Pavlov, D., & Kostov, K. (1996). Lupin (*Lupinus spp.*) *Food and Feed from Legumes and Oilseeds* (pp. 113-123): Springer.
- Torres, S., Huaraca, J., Laura, D., & Crisóstomo, R. (2018). Asociación de cultivos, maíz y leguminosas para la conservación de la fertilidad del suelo. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 4(1). doi: 10.17162/rictd.v4i1.1068
- Troeh, F. R., Hobbs, J. A., & Donahue, R. L. (1980). *Soil and water conservation for productivity and environmental protection*: Prentice Hall, Englewood Cliffs NJ.
- Urzúa, H. (2000b). Fijación simbiótica de nitrógeno en Chile: Importante herramienta para una agricultura sustentable. *Proc. XX Reunión Latinoamericana de Rizobiología, Arequipa, Perú*, 211-227.
- Vásquez, A., & Tapia, M. (2011). Cuantificación de la erosión hídrica superficial en las laderas semiáridas de la Sierra Peruana. *Revista INGENIERÍA UC*, 18(3), 42-50.
- Velasquez, J. (2003). El suelo. *Ministerio de Agricultura. Proyecto Subsectorial de Irrigación (PSI). Boletines Técnicos N°1*, 19.
- Zerbino, S., & Altier, N. (2008). La biodiversidad del suelo su importancia para el funcionamiento de los ecosistemas.

## ANEXOS

**Tabla 16.** Análisis de varianza para densidad aparente del suelo

| Fuente de variabilidad | Grados de libertad | Suma de Cuadrados                   | Cuadrado de la media | F-Valor | Ft    |      | Pr > F | SIG |
|------------------------|--------------------|-------------------------------------|----------------------|---------|-------|------|--------|-----|
|                        |                    |                                     |                      |         | 0.01  | 0.05 |        |     |
| BLOQ                   | 3                  | 0.0031514                           | 0.00105047           | 0.58    | 27.35 | 8.81 | 0.6398 | ns  |
| TRAT                   | 3                  | 0.03156528                          | 0.01052176           | 5.86    | 27.35 | 8.81 | 0.0168 | *   |
| Error                  | 9                  | 0.016163                            | 0.00179589           |         |       |      |        |     |
| Total                  | 15                 | 0.05087969                          |                      |         |       |      |        |     |
| CV= 5.43%              |                    | $\bar{x} = 0.780 \text{ g cm}^{-3}$ |                      |         |       |      |        |     |

**Tabla 17.** Análisis de varianza para biomasa foliar verde de leguminosas

| Fuente de variabilidad | Grados de libertad | Suma de Cuadrados                      | Cuadrado de la media | F-Valor | Ft    |      | Pr > F | SIG |
|------------------------|--------------------|----------------------------------------|----------------------|---------|-------|------|--------|-----|
|                        |                    |                                        |                      |         | 0.01  | 0.05 |        |     |
| BLOQ                   | 3                  | 32915.77                               | 10971.92             | 0.95    | 27.35 | 8.81 | 0.4738 | ns  |
| TRAT                   | 2                  | 762171.53                              | 381085.77            | 33.00   | 27.35 | 8.81 | 0.0006 | **  |
| Error                  | 6                  | 69285.94                               | 11547.66             |         |       |      |        |     |
| Total                  | 11                 | 864373.24                              |                      |         |       |      |        |     |
| CV= 8.54%              |                    | $\bar{x} = 1257.81 \text{ kg ha}^{-1}$ |                      |         |       |      |        |     |

**Tabla 18.** Análisis de varianza para materia orgánica del suelo

| Fuente de variabilidad | Grados de libertad | Suma de Cuadrados  | Cuadrado de la media | F-Valor | Ft    |      | Pr > F | SIG |
|------------------------|--------------------|--------------------|----------------------|---------|-------|------|--------|-----|
|                        |                    |                    |                      |         | 0.01  | 0.05 |        |     |
| BLOQ                   | 3                  | 0.00302327         | 0.00100776           | 1.07    | 27.35 | 8.81 | 0.4081 | ns  |
| TRAT                   | 3                  | 0.04047338         | 0.01349113           | 14.37   | 27.35 | 8.81 | 0.0009 | **  |
| Error                  | 9                  | 0.00845047         | 0.00093894           |         |       |      |        |     |
| Total                  | 15                 | 0.05194712         |                      |         |       |      |        |     |
| CV= 4.85%              |                    | $\bar{x} = 0.63\%$ |                      |         |       |      |        |     |

**Tabla 19.** Análisis de varianza para el nitrógeno en el suelo

| Fuente de variabilidad | Grados de libertad | Suma de Cuadrados   | Cuadrado de la media | F-Valor | Ft    |      | Pr > F | SIG |
|------------------------|--------------------|---------------------|----------------------|---------|-------|------|--------|-----|
|                        |                    |                     |                      |         | 0.01  | 0.05 |        |     |
| BLOQ                   | 3                  | 0.00008286          | 0.00002762           | 2.6     | 27.35 | 8.81 | 0.1164 | ns  |
| TRAT                   | 3                  | 0.00084678          | 0.00028226           | 26.59   | 27.35 | 8.81 | <.0001 | **  |
| Error                  | 9                  | 0.00009553          | 0.00001061           |         |       |      |        |     |
| Total                  | 15                 | 0.00102517          |                      |         |       |      |        |     |
| CV= 0.79%              |                    | $\bar{x} = 0.411\%$ |                      |         |       |      |        |     |

**Tabla 20.** Análisis de varianza para fósforo en el suelo

| Fuente de variabilidad | Grados de libertad | Suma de Cuadrados     | Cuadrado de la media | F-Valor | Ft    |      | Pr > F | SIG |
|------------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|---------|-------|------|--------|-----|
|                        |                    |                       |                      |         | 0.01  | 0.05 |        |     |
| BLOQ                   | 3                  | 0.37137581            | 0.12379194           | 1.62    | 27.35 | 8.81 | 0.2533 | ns  |
| TRAT                   | 3                  | 2.69459931            | 0.89819977           | 11.72   | 27.35 | 8.81 | 0.0018 | **  |
| Error                  | 9                  | 0.68945533            | 0.07660615           |         |       |      |        |     |
| Total                  | 15                 | 3.75543045            |                      |         |       |      |        |     |
| CV= 15.62%             |                    | $\bar{x}$ = 1.771 ppm |                      |         |       |      |        |     |

**Tabla 21.** Análisis de varianza para el potasio en el suelo

| Fuente de variabilidad | Grados de libertad | Suma de Cuadrados     | Cuadrado de la media | F-Valor | Ft    |      | Pr > F | SIG |
|------------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|---------|-------|------|--------|-----|
|                        |                    |                       |                      |         | 0.01  | 0.05 |        |     |
| BLOQ                   | 3                  | 37.2205604            | 12.4068535           | 1       | 27.35 | 8.81 | 0.4354 | ns  |
| TRAT                   | 3                  | 30.7097766            | 10.2365922           | 0.83    | 27.35 | 8.81 | 0.5115 | ns  |
| Error                  | 9                  | 111.402672            | 12.3780746           |         |       |      |        |     |
| Total                  | 15                 | 179.333009            |                      |         |       |      |        |     |
| CV= 15.83%             |                    | $\bar{x}$ = 8.429 ppm |                      |         |       |      |        |     |

**Tabla 22.** Análisis de varianza para el rendimiento de grano de quinua

| Fuente de variabilidad | Grados de libertad | Suma de Cuadrados                       | Cuadrado de la media | F-Valor | Ft    |      | Pr > F | SIG |
|------------------------|--------------------|-----------------------------------------|----------------------|---------|-------|------|--------|-----|
|                        |                    |                                         |                      |         | 0.01  | 0.05 |        |     |
| BLOQ                   | 3                  | 4699.75                                 | 1566.58              | 0.04    | 27.35 | 8.81 | 0.9879 | ns  |
| TRAT                   | 3                  | 699248.90                               | 233082.97            | 6.19    | 27.35 | 8.81 | 0.0144 | *   |
| Error                  | 9                  | 338896.40                               | 37655.16             |         |       |      |        |     |
| Total                  | 15                 | 1042845.04                              |                      |         |       |      |        |     |
| CV= 6.75%              |                    | $\bar{x}$ = 2875.00 kg ha <sup>-1</sup> |                      |         |       |      |        |     |

**Tabla 23.** Datos de densidad aparente del suelo, biomasa foliar verde, rendimiento de grano de quinua y erosión del suelo según bloque y tratamiento

| Bloque | Tratamiento | Da g cm <sup>-3</sup> | Biomasa foliar verde kg/m <sup>2</sup> | Rendimiento de grano de quinua kg/12.8m <sup>2</sup> | Erosión del suelo kg/12.8m <sup>2</sup> |
|--------|-------------|-----------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 1      | T1          | 1.48                  | 0                                      | 3.75                                                 | 12.15                                   |
| 1      | T2          | 1.46                  | 1.94                                   | 3.64                                                 | 1.92                                    |
| 1      | T3          | 1.5                   | 1.63                                   | 3.95                                                 | 4.61                                    |
| 1      | T4          | 1.44                  | 1.27                                   | 3.51                                                 | 5.68                                    |
| 2      | T1          | 1.55                  | 0                                      | 3.25                                                 | 17.86                                   |
| 2      | T2          | 1.42                  | 2.05                                   | 3.92                                                 | 1.87                                    |
| 2      | T3          | 1.29                  | 1.89                                   | 4.03                                                 | 4.95                                    |
| 2      | T4          | 1.46                  | 1.12                                   | 3.45                                                 | 11.81                                   |
| 3      | T1          | 1.6                   | 0                                      | 3.26                                                 | 10.24                                   |
| 3      | T2          | 1.48                  | 2.08                                   | 4.29                                                 | 1.66                                    |
| 3      | T3          | 1.3                   | 1.49                                   | 3.67                                                 | 8.52                                    |
| 3      | T4          | 1.39                  | 1.34                                   | 3.53                                                 | 9.79                                    |
| 4      | T1          | 1.61                  | 0                                      | 3.06                                                 | 19.58                                   |
| 4      | T2          | 1.46                  | 1.87                                   | 4.03                                                 | 1.28                                    |
| 4      | T3          | 1.37                  | 1.58                                   | 3.98                                                 | 12.56                                   |
| 4      | T4          | 1.51                  | 1.06                                   | 3.56                                                 | 13.08                                   |



**ANALISIS DE CARACTERIZACION**

**Nombre:** EEA-Illpa-INIA - Efecto de coberturas con leguminosas para reducir la erosión y mejorar la calidad del suelo en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa willd*) – Puno.

**Proyecto:** Programa Presupuestal 0089: Reduccion de la Degradacion de Suelos Agrarios **Procedencia:** Chancarani - Mañazo

**Fecha de Recepción:** 12 de octubre del 2018

**Fecha de Certificación:** 31 de octubre del 2018

Caracterización de propiedades relativamente permanente del suelo.

| N° | Cod.<br>Lab. | MARCAS     | ANALISIS |         | MECANICO |         | CO <sub>2</sub> Ca<br>% | Yeso<br>me/100g | Mat.<br>Org.<br>% | N.<br>TOTAL<br>% |
|----|--------------|------------|----------|---------|----------|---------|-------------------------|-----------------|-------------------|------------------|
|    |              |            | Arena    | Arcilla | Limo     | Textura |                         |                 |                   |                  |
|    |              |            | %        | %       | %        |         |                         |                 |                   |                  |
| 1  | 309P3        | Chancarani | 42,16    | 11,84   | 46,00    | F       | 0,00                    |                 | 2,12              | 0,10             |
| 2  |              |            |          |         |          |         |                         |                 |                   |                  |
| 3  |              |            |          |         |          |         |                         |                 |                   |                  |
| 4  |              |            |          |         |          |         |                         |                 |                   |                  |
| 5  |              |            |          |         |          |         |                         |                 |                   |                  |
| 6  |              |            |          |         |          |         |                         |                 |                   |                  |
| 7  |              |            |          |         |          |         |                         |                 |                   |                  |
| 8  |              |            |          |         |          |         |                         |                 |                   |                  |
| 9  |              |            |          |         |          |         |                         |                 |                   |                  |
| 10 |              |            |          |         |          |         |                         |                 |                   |                  |

Caracterización del Estado de fertilidad y condiciones alterables del suelo.

| N° | Suelo: Agua 1:2.5 |                  | NUTRIENTES DISPONIBLES |            |             |             | Boro<br>Soluble<br>(ppm) | CATIONES CAMBIABLES |               |               |               |              | CIC<br>me/100g | Suma<br>Cationes |
|----|-------------------|------------------|------------------------|------------|-------------|-------------|--------------------------|---------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|----------------|------------------|
|    | pH                | C.E.<br>mmhos/cm | P<br>(ppm)             | K<br>(ppm) | Mn<br>(ppm) | Zn<br>(ppm) |                          | Al<br>me/100g       | Ca<br>me/100g | Mg<br>me/100g | Na<br>me/100g | K<br>me/100g |                |                  |
|    | 1                 | 7,65             | 0,279                  | 7,64       | 144,56      |             |                          |                     | 0,00          | 9,30          | 3,10          | 0,90         |                |                  |
| 2  |                   |                  |                        |            |             |             |                          |                     |               |               |               |              |                |                  |
| 3  |                   |                  |                        |            |             |             |                          |                     |               |               |               |              |                |                  |
| 4  |                   |                  |                        |            |             |             |                          |                     |               |               |               |              |                |                  |
| 5  |                   |                  |                        |            |             |             |                          |                     |               |               |               |              |                |                  |
| 6  |                   |                  |                        |            |             |             |                          |                     |               |               |               |              |                |                  |
| 7  |                   |                  |                        |            |             |             |                          |                     |               |               |               |              |                |                  |
| 8  |                   |                  |                        |            |             |             |                          |                     |               |               |               |              |                |                  |
| 9  |                   |                  |                        |            |             |             |                          |                     |               |               |               |              |                |                  |
| 10 |                   |                  |                        |            |             |             |                          |                     |               |               |               |              |                |                  |

**Referencias:**

Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, División of Agricultural Sciences E.U.A. Sexta reimprisión, Octubre 1968. 195p.

**Conclusiones:**

La muestra analizada de SUELO CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales.(El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo).

**Nota:**

Cualquier corrección y/o enmendadura anula al presente documento.

Los resultados son aplicables a estas muestras.



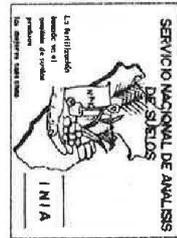
INIA  
ESTACIÓN EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO

Ing° JORGE CARMINA ROJAS  
Jefe Laboratorio Análisis  
S/A L C E P O

Rinconada de Salcedo s/n  
Puno, Puno, Perú  
T: (051) 363-812

www.inia.gob.pe

**Figura 21.** Análisis de caracterización del suelo inicial de la parcela de investigación Chancarani-Mañazo



MINISTERIO DE AGRICULTURA  
INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA-INIA  
LABORATORIO DE ANALISIS  
ESTACION EXPERIMENTAL: AGRARIA ILLPA - PUNO  
ANEXO SALCEDO  
Of. Principal: Av La Molina 1981 - La Molina Lima



MÉTODOS SEGUIDOS EN EL ANÁLISIS DE SUELOS

1. Textura: %de arena, limo y arcilla; método del hidrómetro
2. Salinidad: medida de la conductividad eléctrica (CE) del extracto acuoso en la relación suelto: agua 1:1 ó en el extracto de pasta de saturación(ce).
3. pH: medida en el potenciómetro de la suspensión suelto: agua relación 1:1 ó en suspensión suelto: KCl N, relación 1:2,5.
4. Caloríe total (CaCO<sub>3</sub>): método gaso-volumétrico utilizando un calcinero.
5. Materia orgánica: método Walkley y Black, oxidación del carbono orgánico con dicromato de potasio.
6. Nitrógeno total: método del micro-Kjeldahl.
7. Fósforo disponible: método del Olsen modificado, extracción con NaHCO<sub>3</sub>-0.5M, pH 8.5; Bray I, Bray II.
8. Potasio disponible: extracción con acetato de amonio (CH<sub>3</sub>-COONH<sub>4</sub>) N, pH 7.0.
9. Capacidad de intercambio catiónica (CIC): saturación con acetato de amonio (CH<sub>3</sub>-COOCH<sub>3</sub>) N, pH 7.0.
10. Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> cambiables: reemplazamiento con acetato de amonio (CH<sub>3</sub>-COONH<sub>4</sub>) N, pH 7.0 cuantificación por fotometría de llama y/o absorción atómica Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>; Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> EDTA.
11. Al<sup>3+</sup>-h: método de Yuan. Extracción con KCl, N.
12. Iones solubles: Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> EDTA; Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> fotometría de llama y/o absorción atómica; Cl<sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, volúmetría y colorimetría, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> Turbidimetría con óxido de bario.
13. Boro soluble: extracción con agua, cuantificación con curcumina.
14. Yeso soluble: solubilización con agua y precipitación con acetona.

TABLA DE INTERPRETACION

| Salinidad              | CE(esp) | Clasificación | Nitrógeno % | Materia Orgánica % | Fósforo Disponible ppm P | Potasio Disponible ppm K | Relaciones Cationicas |
|------------------------|---------|---------------|-------------|--------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|
| Muy ligeramente salino | <2      | Bajo          | 0 - 0.1     | <2.0               | <7.0                     | <100                     | Normal                |
| Ligeramente salino     | 2 a 4   | Medio         | 0.1 - 0.2   | 2 a 4              | 7.0 a 14                 | 100-240                  | >0.5                  |
| Moderadamente salino   | 4 a 8   | Alto          | >0.2        | >4.0               | >14                      | >240                     | Deficiente Mg         |
| Fuertemente salino     | >8      |               |             |                    |                          |                          | Deficiente K          |
|                        |         |               |             |                    |                          |                          | >0.2                  |
|                        |         |               |             |                    |                          |                          | >10                   |

| Reacción ó pH          | pH      | Clases Texturales    | Distribución de Cationes  |
|------------------------|---------|----------------------|---------------------------|
| Fuertemente ácido      | <5.5    | A<br>Arena           | Ca <sup>2+</sup><br>50-75 |
| Moderadamente ácido    | 5.5-6.0 | AF<br>Arena franca   | Mg <sup>2+</sup><br>15-20 |
| Ligeramente ácido      | 6.1-6.5 | FA<br>Franco arenoso | K <sup>+</sup><br>3 a 7   |
| Neutro                 | 7.0     | Fr<br>Franco         | Na <sup>+</sup><br><15    |
| Ligeramente alcalino   | 7.1-7.8 | FL<br>Franco limoso  |                           |
| Moderadamente alcalino | 7.9-8.4 | L<br>Limoso          |                           |
| Fuertemente alcalino   | >8.5    |                      |                           |

**Embolvalentadas:**  
1 ppm = 1 mg/kg  
1 mililitro (militro) = 1 decilitro (dl)  
1 miliequivalente (meq) = 1 centímetro cúbico (cc) / kilogramo (kg)  
Sales solubles totales (TSS) en ppm ó mg/kg = 640 x CEes  
CE (1 : 2.5) meq/kg x 2 = CE (es) meq/kg  
T = Traces; T- = Foudo (excesiva presencia de sales, se sugiere realizar análisis de Salinidad, por extracto de saturación).

www.inia.gob.pe



Figura 22. Métodos seguidos en el análisis de suelo y tabla de interpretación



### ANALISIS DE CARACTERIZACION

**Nombre:** EEA-Illpa-INIA - Efecto de coberturas con leguminosas para reducir la erosión y mejorar la calidad del suelo en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa willd*) – Puno.

**Proyecto:** Programa Presupuestal 0089: Reducción de la Degradación de Suelos Agrarios **Procedencia:** Chancaraní - Mañazo

**Fecha de Recepción:** 24 de Mayo del 2019 **Fecha de Certificación:** 17 de Junio del 2019

Caracterización de propiedades relativamente permanente del suelo.

| Nº | Cod. Lab. | MARCAS          | ANALISIS MECANICO |         |       |         | CO <sub>2</sub> Ca % | Yeso me/100g | Mat. Org. % | N. TOTAL % |
|----|-----------|-----------------|-------------------|---------|-------|---------|----------------------|--------------|-------------|------------|
|    |           |                 | Arena             | Arcilla | Limo  | Textura |                      |              |             |            |
|    |           |                 | %                 | %       | %     |         |                      |              |             |            |
| 1  | 311LL1    | Chancaraní BIT1 | 44,16             | 9,84    | 46,00 | F       | 0,00                 | 1,96         | 0,09        |            |
| 2  | 311LL2    | Chancaraní BIT2 | 44,16             | 17,84   | 38,00 | F       | 0,00                 | 2,65         | 0,13        |            |
| 3  | 311LL3    | Chancaraní BIT3 | 42,16             | 11,84   | 46,00 | F       | 0,00                 | 2,52         | 0,13        |            |
| 4  | 311LL4    | Chancaraní BIT4 | 42,16             | 15,84   | 42,00 | F       | 0,00                 | 2,42         | 0,12        |            |
| 5  | 311LL5    | Chancaraní B2T1 | 42,16             | 11,84   | 46,00 | F       | 0,00                 | 1,88         | 0,10        |            |
| 6  | 311M1     | Chancaraní B2T2 | 48,16             | 13,84   | 38,00 | F       | 0,00                 | 2,42         | 0,12        |            |
| 7  | 311M2     | Chancaraní B2T3 | 42,16             | 17,84   | 40,00 | F       | 0,00                 | 2,40         | 0,13        |            |
| 8  | 311M3     | Chancaraní B2T4 | 48,16             | 13,84   | 38,00 | F       | 0,00                 | 2,38         | 0,12        |            |
| 9  | 311M4     | Chancaraní B3T1 | 48,16             | 15,84   | 36,00 | F       | 0,00                 | 2,21         | 0,07        |            |
| 10 | 311M5     | Chancaraní B3T2 | 48,16             | 13,84   | 38,00 | F       | 0,00                 | 2,32         | 0,11        |            |

Caracterización del Estado de fertilidad y condiciones alterables del suelo.

| Nº | Suelo: Agua 1:2.5 |               | NUTRIENTES DISPONIBLES |        |       |       | Boro Soluble (ppm) | CATIONES CAMBIABLES |         |         |         |         | CIC me/100g | Suma Cationes |
|----|-------------------|---------------|------------------------|--------|-------|-------|--------------------|---------------------|---------|---------|---------|---------|-------------|---------------|
|    | pH                | C.E. mmhos/cm | P                      | K      | Mn    | Zn    |                    | Al                  | Ca      | Mg      | Na      | K       |             |               |
|    |                   |               | (ppm)                  | (ppm)  | (ppm) | (ppm) |                    | (ppm)               | me/100g | me/100g | me/100g | me/100g |             |               |
| 1  | 7,59              | 0,094         | 8,93                   | 117,24 |       |       | 0,00               | 8,50                | 2,60    | 0,80    | 0,60    | 13,00   | 12,50       |               |
| 2  | 7,54              | 0,122         | 10,19                  | 175,94 |       |       | 0,00               | 8,50                | 4,30    | 0,90    | 0,80    | 14,80   | 14,50       |               |
| 3  | 7,32              | 0,091         | 11,45                  | 251,84 |       |       | 0,00               | 10,50               | 1,70    | 0,70    | 0,90    | 14,00   | 13,80       |               |
| 4  | 7,47              | 0,088         | 9,56                   | 134,74 |       |       | 0,00               | 8,70                | 4,40    | 0,80    | 0,60    | 14,00   | 14,50       |               |
| 5  | 7,45              | 0,115         | 6,93                   | 175,94 |       |       | 0,00               | 9,20                | 2,90    | 0,50    | 0,70    | 14,60   | 13,30       |               |
| 6  | 7,59              | 0,097         | 12,52                  | 234,58 |       |       | 0,00               | 7,30                | 5,70    | 0,70    | 0,80    | 14,80   | 14,50       |               |
| 7  | 7,54              | 0,141         | 10,14                  | 273,68 |       |       | 0,00               | 9,10                | 4,10    | 0,60    | 0,50    | 14,00   | 14,30       |               |
| 8  | 7,70              | 0,116         | 10,65                  | 215,03 |       |       | 0,00               | 8,70                | 5,60    | 0,30    | 0,40    | 14,00   | 15,00       |               |
| 9  | 7,63              | 0,112         | 7,32                   | 138,85 |       |       | 0,00               | 7,20                | 3,90    | 0,70    | 0,90    | 13,00   | 12,70       |               |
| 10 | 7,75              | 0,098         | 9,34                   | 234,58 |       |       | 0,00               | 9,00                | 3,70    | 0,60    | 0,70    | 14,00   | 14,00       |               |

**Referencias:**

Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, Division of Agricultural Sciences E.U.A. Sexta reimprisión, Octubre 1989. 195p.

**Conclusiones:**

La muestra analizada de SUELO CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales.(El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo).

**Note:**

Cualquier corrección y/o enmendadura anula al presente documento.

Los resultados son aplicables a estas muestras.



INIA  
ESTACIÓN EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO  
Ing° JORGE GARCÍA ROJAS  
Jefe Laboratorio Análisis  
SALCEDO

www.inia.gob.pe

Rinconada de Salcedo s/n  
Puno, Puno, Perú  
T: (051) 363-812

**Figura 23.** Análisis de suelo final según bloques para cada tratamiento



**ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN**

**Nombre:** EEA-Illpa-INIA - Efecto de coberturas con leguminosas para reducir la erosión y mejorar la calidad del suelo en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa willd*) – Puno.

**Proyecto:** Programa Presupuestal 0089: Reducción de la Degradación de Suelos Agrarios **Procedencia:** Chancaraní - Mañazo  
**Fecha de Recepción:** 24 de Mayo del 2019 **Fecha de Certificación:** 17 de Junio del 2019

Caracterización de propiedades relativamente permanente del suelo.

| Nº | Cod. Lab. | MARCAS          | ANÁLISIS |         | MECÁNICO |         | CO <sub>2</sub> Ca % | Yeso me/100g | Mat. Org. % | N. TOTAL % |
|----|-----------|-----------------|----------|---------|----------|---------|----------------------|--------------|-------------|------------|
|    |           |                 | Arcilla  | Arcilla | Limo     | Textura |                      |              |             |            |
|    |           |                 | %        | %       | %        |         |                      |              |             |            |
| 1  | 311N1     | Chancaraní B3T3 | 44,16    | 13,84   | 42,00    | F       | 0,00                 |              | 2,38        | 0,12       |
| 2  | 311N2     | Chancaraní B3T4 | 42,16    | 13,84   | 44,00    | F       | 0,00                 |              | 2,38        | 0,12       |
| 3  | 311N3     | Chancaraní B4T1 | 46,16    | 13,84   | 40,00    | F       | 0,00                 |              | 2,08        | 0,08       |
| 4  | 311N4     | Chancaraní B4T2 | 50,16    | 13,84   | 36,00    | F       | 0,00                 |              | 2,65        | 0,14       |
| 5  | 311N5     | Chancaraní B4T3 | 42,16    | 11,84   | 46,00    | F       | 0,00                 |              | 2,43        | 0,13       |
| 6  | 311O1     | Chancaraní B4T4 | 50,16    | 11,84   | 38,00    | F       | 0,00                 |              | 2,45        | 0,13       |
| 7  |           |                 |          |         |          |         |                      |              |             |            |
| 8  |           |                 |          |         |          |         |                      |              |             |            |
| 9  |           |                 |          |         |          |         |                      |              |             |            |
| 10 |           |                 |          |         |          |         |                      |              |             |            |

Caracterización del Estado de fertilidad y condiciones alterables del suelo.

| Nº | Suelo: Agua 1:2,5 |               | NUTRIENTES DISPONIBLES |         |          |          | Boro Soluble (ppm) | CATIONES CAMBIABLES |            |            |            |           | CIC me/100g | Suma Cationes |
|----|-------------------|---------------|------------------------|---------|----------|----------|--------------------|---------------------|------------|------------|------------|-----------|-------------|---------------|
|    | pH                | C.E. mmhos/cm | P (ppm)                | K (ppm) | Mn (ppm) | Zn (ppm) |                    | Al me/100g          | Ca me/100g | Mg me/100g | Na me/100g | K me/100g |             |               |
|    |                   |               |                        |         |          |          |                    |                     |            |            |            |           |             |               |
| 1  | 7,99              | 0,079         | 9,46                   | 234,56  |          |          | 0,00               | 9,30                | 3,10       | 0,70       | 0,90       | 13,70     | 14,00       |               |
| 2  | 7,58              | 0,132         | 9,23                   | 157,19  |          |          | 0,00               | 8,30                | 4,40       | 0,70       | 0,60       | 15,00     | 14,00       |               |
| 3  | 7,54              | 0,133         | 6,56                   | 273,68  |          |          | 0,00               | 7,70                | 3,80       | 0,50       | 0,50       | 13,00     | 12,50       |               |
| 4  | 7,66              | 0,095         | 10,54                  | 156,39  |          |          | 0,00               | 9,70                | 3,30       | 0,70       | 0,60       | 15,00     | 14,30       |               |
| 5  | 7,80              | 0,085         | 9,89                   | 152,84  |          |          | 0,00               | 9,70                | 4,10       | 0,90       | 0,70       | 14,80     | 15,40       |               |
| 6  | 7,70              | 0,111         | 9,52                   | 254,13  |          |          | 0,00               | 9,70                | 5,90       | 1,00       | 0,90       | 16,90     | 17,50       |               |
| 7  |                   |               |                        |         |          |          |                    |                     |            |            |            |           |             |               |
| 8  |                   |               |                        |         |          |          |                    |                     |            |            |            |           |             |               |
| 9  |                   |               |                        |         |          |          |                    |                     |            |            |            |           |             |               |
| 10 |                   |               |                        |         |          |          |                    |                     |            |            |            |           |             |               |

**Referencias:**

Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, División of Agricultural Sciences E.U.A. Sexta reimprisión, Octubre 1988. 195p.

**Conclusiones:**

La muestra analizada de SUELO CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales. (El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo).

**Nota:**

Cualquier corrección y/o enmendadura anula al presente documento.

Los resultados son aplicables a estas muestras.

www.inia.gob.pe



INIA  
ESTACIÓN EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO

Ing° JORGE CASHUA ROJAS  
Jefe Laboratorio Análisis  
S & U C E O O

Rinconada de Salcedo s/n  
Puno, Puno, Perú  
T: (051) 363-812

**Figura 24.** Análisis de suelo final según bloques para cada tratamiento

- **Correlación de variables**

**Tabla 24.** Coeficientes de correlaciones de Pearson entre variables evaluados

|                                                           | Eficiencia de la Da (g cm <sup>-3</sup> ) | Biomasa verde de las leguminosas (kg/12.8m <sup>2</sup> ) | Erosión del suelo (kg/12.8m <sup>2</sup> ) | Eficiencia de la MO (%) | Eficiencia del N (%) | Eficiencia del P (ppm) | Eficiencia de K (ppm) | Rendimiento de grano de quinua (kg/12.8m <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------|
| Eficiencia de la Da (gr/cm <sup>3</sup> )                 |                                           | 0.12                                                      | -0.41                                      | 0.42                    | 0.67                 | 0.54                   | 0.09                  | 0.55                                                    |
| Biomasa verde de las leguminosas (kg/12.8m <sup>2</sup> ) | ns                                        |                                                           | <b>-0.84</b>                               | 0.25                    | -0.03                | 0.37                   | 0.15                  | <b>0.79</b>                                             |
| Erosión del suelo (kg/12.8m <sup>2</sup> )                | ns                                        | **                                                        |                                            | <b>-0.72</b>            | -0.54                | <b>-0.73</b>           | -0.01                 | <b>-0.74</b>                                            |
| Eficiencia de la MO (%)                                   | ns                                        | ns                                                        | **                                         |                         | <b>0.79</b>          | <b>0.72</b>            | 0.13                  | 0.50                                                    |
| Eficiencia del N (%)                                      | **                                        | ns                                                        | *                                          | **                      |                      | <b>0.75</b>            | 0.19                  | 0.59                                                    |
| Eficiencia del P (ppm)                                    | *                                         | ns                                                        | **                                         | **                      | **                   |                        | 0.17                  | 0.68                                                    |
| Eficiencia de K (ppm)                                     | ns                                        | ns                                                        | ns                                         | ns                      | ns                   | ns                     |                       | 0.12                                                    |
| Rendimiento de grano de quinua (kg/12.8m <sup>2</sup> )   | *                                         | **                                                        | **                                         | ns                      | *                    | **                     | ns                    |                                                         |

Sobre la diagonal: el coeficiente de correlación y debajo de la diagonal: significancia de los valores de Pearson



En la Tabla 24 se muestran las correlaciones de Pearson entre las variables en estudio de eficiencia de densidad aparente (Da), eficiencia nitrógeno (N), eficiencia de fósforo (P), eficiencia de potasio (k), eficiencia de materia orgánica (MO), biomasa foliar verde, erosión de suelo y rendimiento de quinua de quinua. Donde Di Rienzo *et al.* (2016), indica que cuando  $r$  está en la proximidad de 1 o -1 los pares (x, y) se alinean sobre una recta con pendiente positiva o negativa según el signo del coeficiente. Cuando  $r = 0$ , los pares (x, y) están dispersos alrededor del punto (X, Y) sin ninguna dirección predominante.

## PANEL FOTOGRÁFICO



**Figura 25.** Marcado de la parcela de investigación según bloque



**Figura 26.** Abonamiento de la parcela de investigación con guano de isla



**Figura 27.** Siembra de quinua a chorro continuo



**Figura 28.** Aporque de quinua



**Figura 29.** Pesado de las leguminosas Tarwi, trébol carretilla y vicia según tratamiento



**Figura 30.** Siembra de la cobertura de trébol carretilla en la parcela de investigación 04/12/2018



**Figura 31.** Siembra de Tarwi en la parcelas de investigación 04/12/2018



**Figura 32.** Corte de las varilla de erosión a 50 cm y pintado de las varillas



**Figura 33.** Instalación de las varillas de erosión en la parcela de investigación  
19/12/2018



**Figura 34.** Emergencia de las coberturas de leguminosas vicia, trébol carretilla y Tarwi  
04/01/2019



**Figura 35.** Cultivo de quinua asociado con coberturas de trébol carretilla, Tarwi y vicia



**Figura 36.** Cosecha de quinua según bloque y tratamiento



**Figura 37.** Cosecha de quinua separado por tratamientos



**Figura 38.** Medición de la erosión del suelo con wincha métrica



**Figura 39.** Corte de la biomasa foliar verde de las leguminosas con un cuadrante de 1m<sup>2</sup>



**Figura 40.** Muestreo de la densidad aparente del suelo por tratamiento con un cilindro



**Figura 41.** Toma de muestras de suelo según boques para su respectivo análisis



**Figura 42.** Muestras de suelo y densidad aparente boque 1



**Figura 43.** Trillado de quinua 09/05/2019



**Figura 44.** Venteo de quinua según bloques

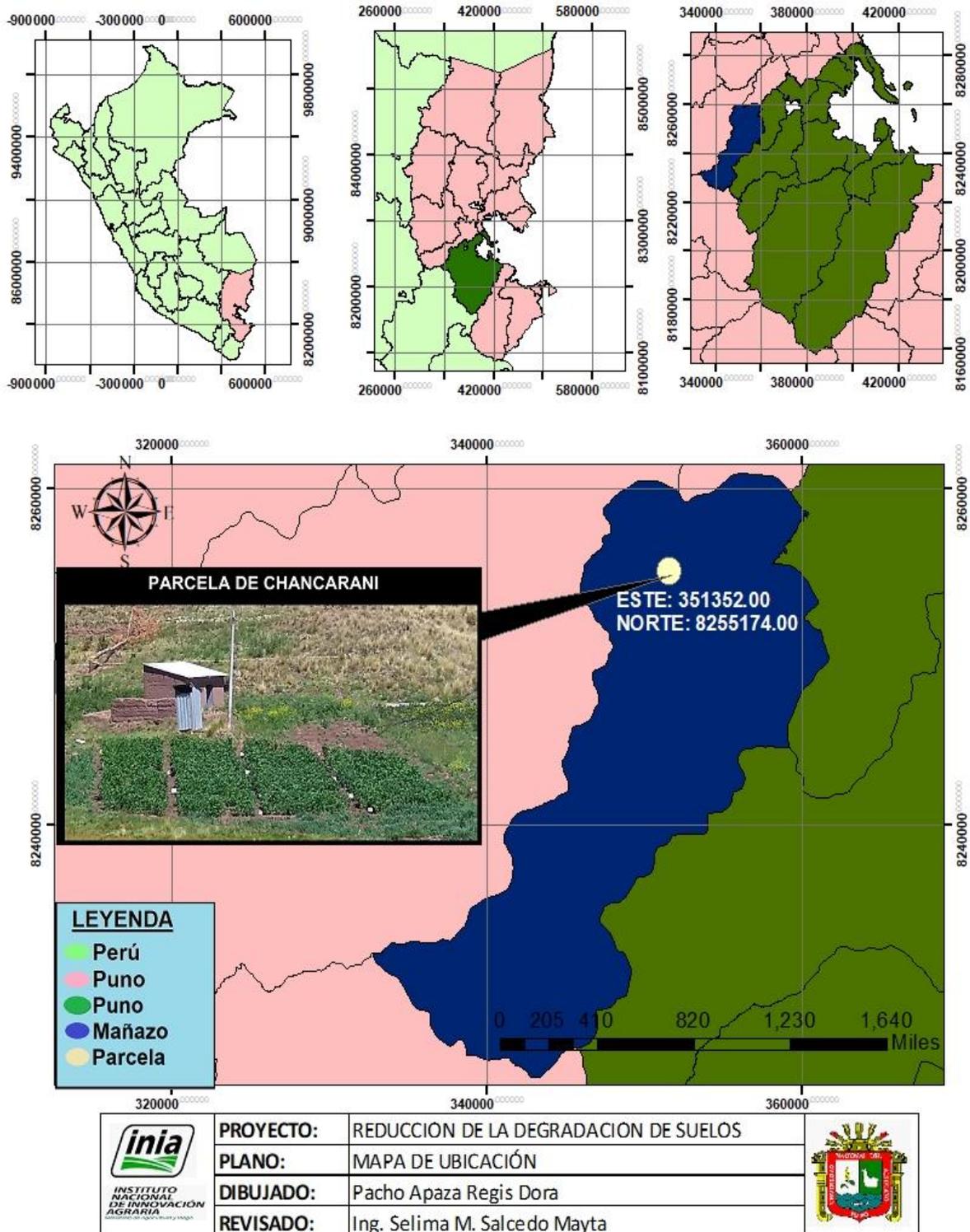


**Figura 45.** Pesado de grano de quinua según tratamiento



**Figura 46.** Muestras de suelo por bloques para su análisis

## MAPA DE UBICACION DE LA PARCELA DE CHANCARANI - MAÑAZO



**Figura 47.** Mapa de ubicación de la parcela de investigación.