



**UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS**  
**NATURALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**“EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL AGUA MAGNETIZADA EN EL  
DESARROLLO DE PLANTAS DE QUINUA (*Chenopodium quinoa*) VARIEDAD  
INIAP “PATA DE VENADO” EN LA ETAPA FENOLÓGICA DE CRECIMIENTO  
EN SALACHE - COTOPAXI”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de  
Ingeniero Agrónomo

Autor:

Nelson Bryan García Sanmartín

Tutor:

Ing. Mg. Sc. Giovana Paulina Parra Gallardo

Latacunga - Ecuador

Febrero 2020

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

**Nelson Bryan García Sanmartín**, con C.I. **172251085-4**, declaro ser autor del presente proyecto de investigación: “EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL AGUA MAGNETIZADA EN EL DESARROLLO DE PLANTAS DE QUINUA (*Chenopodium quinoa*) VARIEDAD PATA DE VENADO EN LA ETAPA FENOLÓGICA DE CRECIMIENTO EN SALACHE - COTOPAXI” siendo **Ing. Mg. Sc. Giovana Paulina Parra Gallardo**, tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

.....  
**Nelson Bryan García Sanmartín**

**C.I.: 1722510854-4**

.....  
**Ing. Mg. Sc. Giovana Paulina Parra Gallardo**

**C.I.: 180226703-7**

## **CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR**

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte García Sanmartín Nelson Bryan, identificada/o con C.C. N°172251085-4, de estado civil **soltero** y con domicilio de Guamaní, a quien en lo sucesivo se denominará **LA/EL CEDENTE**; y, de otra parte, el Ing. MBA. Cristian Fabricio Tinajero Jiménez, en calidad de Rector y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez Barrio El Ejido Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

**ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA.- LA/EL CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de **Ingeniería Agronómica**, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL AGUA MAGNETIZADA EN EL DESARROLLO DE PLANTAS DE QUINUA (*Chenopodium quinoa*) VARIEDAD PATA DE VENADO EN LA ETAPA FENOLÓGICA DE CRECIMIENTO EN SALACHE - COTOPAXI” la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad según las características que a continuación se detallan:

Historial académico. Abril 2015 – Febrero 2020

Aprobación CD. – 15 de Noviembre del 2019

Tutor. - Ing. Mg. Sc. Giovana Paulina Parra Gallardo

Tema: “EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL AGUA MAGNETIZADA EN EL DESARROLLO DE PLANTAS DE QUINUA (*Chenopodium quinoa*) VARIEDAD PATA DE VENADO EN LA ETAPA FENOLÓGICA DE CRECIMIENTO EN SALACHE - COTOPAXI”

**CLÁUSULA SEGUNDA. - LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

**CLÁUSULA TERCERA.** - Por el presente contrato, **LA/EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

**CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **LA/EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- f) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

**CLÁUSULA QUINTA.** - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA/EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

**CLÁUSULA SEXTA.** - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

**CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD.** - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA/EL CEDENTE** podrá utilizarla.

**CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS.** - **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA/EL CEDENTE** en forma escrita.

**CLÁUSULA NOVENA.** - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

**CLÁUSULA DÉCIMA.** - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

**CLÁUSULA UNDÉCIMA.** - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 12 días del mes de Febrero del 2020.

.....  
**EL CEDENTE**

Ing. MBA. Cristian Tinajero Jiménez  
**EL CESIONARIO**

Latacunga 7 de Febrero del 2020

## **AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación con el título:

“EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL AGUA MAGNETIZADA EN EL DESARROLLO DE PLANTAS DE QUINUA (*Chenopodium quinoa*) VARIEDAD PATA DE VENADO EN LA ETAPA FENOLÓGICA DE CRECIMIENTO EN SALACHE - COTOPAXI”, de Nelson Bryan García Sanmartín, de la carrera de Ingeniería Agronómica, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la Pre defensa.

---

Firma del Tutor

**Ing. Mg. Sc. Giovana Paulina Parra Gallardo**  
CC: 180226703-7

Latacunga 7 de febrero del 2020

## **AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

En calidad de Lectores del Proyecto de Investigación con el título:

“EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL AGUA MAGNETIZADA EN EL DESARROLLO DE PLANTAS DE QUINUA (*Chenopodium quinoa*) VARIEDAD PATA DE VENADO EN LA ETAPA FENOLÓGICA DE CRECIMIENTO EN SALACHE - COTOPAXI”, de Nelson Bryan García Sanmartín, de la carrera de Ingeniería Agronómica, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la Pre defensa.

---

**Lector 1 (Presidente)**  
**Ing. Marco Antonio Rivera Moreno.**  
**C.I.: 050151895-5**

---

**Lector 2**  
**Ing. Mg. Guido Euclides Yaulí Chicaiza**  
**C.I.: 050160440-9**

---

**Lector 3 (Secretaria)**  
**Ing. Mg. Alexandra Isabel Tapia Borja**  
**CC: 050266175-4**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por la sabiduría prestada para culminar mis estudios.

Expreso mi sincera gratitud a la Universidad Técnica de Cotopaxi, a la Carrera de Agronomía, por haberme facilitado un espacio para la ejecución de éste estudio, asimismo a los docentes por sus enseñanzas durante mi formación profesional.

A mi tutora. Ing. Giovana Parra y lectores. Ing. Marco Rivera, Ing. Guido Yauli e Ing. Alexandra Tapia; por no haber perdido la fe en el proyecto de investigación, por su paciencia, orientación, colaboración, sugerencias realizadas durante la investigación y redacción de éste documento.

Un especial agradecimiento a mis queridos padres Rafael y Nancy. A mí querida abuela Luz Narváez, por todo su apoyo tanto económico, como moral.



## **DEDICATORIA**

Dedico a mis queridos padres Rafael y Nancy, quienes me apoyaron incondicionalmente, forjaron mi espíritu sin miedo y me enseñaron a luchar por los sueños.

A mis amigos y familia por sus palabras de motivación y por mostrarme que siempre debo ser el mejor.

*Fácil no fue, más sigo aquí.*

“EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL AGUA MAGNETIZADA EN EL DESARROLLO DE PLANTAS DE QUINUA (*Chenopodium quinoa*) VARIEDAD PATA DE VENADO EN LA ETAPA FENOLÓGICA DE CRECIMIENTO EN SALACHE - COTOPAXI”

**RESUMEN**

El proyecto se llevó a cabo en el Campus Experimental Salache de la Universidad Técnica de Cotopaxi vinculado al proyecto Granos Andinos e Invernadero Inteligente. Teniendo como objetivo general: Evaluar el efecto del agua magnetizada en el desarrollo de plantas de quinua (*Chenopodium quinoa*) variedad Pata de Venado en la etapa fenológica de crecimiento en Salache - Cotopaxi. Objetivos específicos: Determinar la demanda neta del agua magnetizada para el cultivo de quinua variedad Pata de Venado; Analizar el comportamiento de los parámetros químicos que se producen en el agua magnetizada y sustrato usado; Caracterizar el comportamiento agronómico de las plantas de quinua en la etapa fenológica de crecimiento con la aplicación del agua magnetizada. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro tratamientos y cinco repeticiones. Los tratamientos 1, 2 y 3 son agua magnetizada con intensidad de 1000, 3000 y 5000 Gauss, mientras que el tratamiento 0 es agua sin someter a campos magnéticos. Se utilizó sustrato. Se determinó la demanda neta de riego  $53.61 \text{ l/m}^2 \cdot \text{mes}$  aplicando la metodología de Oudinn. Los resultados del comportamiento de las propiedades químicas del agua con el uso de campos magnéticos mostraron influir en el pH de 5.5-6.5 a 8.50 y conductividad eléctrica al subirlos en el T3. En lo que se refiere a la dureza bajó de 308.8 del T0 a 120.3  $\text{CaCo}_3 \text{ dS/m}$  del T1, mientras que los parámetros RAS, Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio y Sulfuro bajan sus valores. El boro aumenta su valor. Los resultados del comportamiento de las propiedades químicas del sustrato con el uso de agua magnetizada a los 25 días muestra diferencias entre T0, T1, T2 y T3, para los compuestos residuales como N el cual valora 30, 25, 31 y 24 ppm; P valora 46, 39, 35 y 33 ppm; K valora 0.45, 0.36, 0.36, 0.36 y 0.26 meq/100ml; Ca valora 23.60, 18.20, 24.50 y 19.60 meq/100ml; Mg valora 2.40, 2.30,

2.20 y 2.20 meq/100ml; y del parámetro pH valora 6.07, 4.97, 5.92 y 5.73. La etapa fenológica de crecimiento fue hasta los 25 días, para el registro de las variables. En cuanto a las variables agronómicas en el porcentaje de germinación se encontró diferencias significativas para los 4, 5 y 6 días con rango A, B, AB y C respectivamente; en altura de planta a los 10, 15, 20, 25 y 30 días con rango A, B y C; en diámetro de tallo a los 10, 15, 20 y 25 días con rango A, B y ABC respectivamente; en número de hojas a los 10, 15, 20 y 25 días con rangos A, B, C, AB y BC; en longitud de raíz a los 10, 15, 20 y 25 días con rangos A, B, AB y C; en área foliar a los 10, 15, 20, 25 y 30 días con rangos A, B, C y AB; el contenido de clorofila con rangos A, B y AB respectivamente. La irrigación con agua magnetizada es favorable para el resultado de las variables agronómicas hasta los 25 días después de la siembra, ya que esta fue modificada en sus propiedades.

**Palabras clave:** tratamiento, campos magnéticos, significativo, influir

“EVALUATION OF THE EFFECT OF WATER MAGNETIZED IN THE DEVELOPMENT OF QUINUA PLANTS (*Chenopodium quinoa*) VARIETY IN THE GROWTH STAGE IN SALACHE. LATACUANGA. COTOPAXI”

**ABSTRACT**

This project was carried out at the Salache Experimental campus at the Universidad Técnica de Cotopaxi linked to the Andean Grains and Smart Greenhouse project. Of the research objectives are: To evaluate the effect of magnetized water on the development of quinoa plants Pata de Venado variety in the phenological stage of growth To determine the net demand of the magnetized water for the quinoa cultivation variety Pata de Venado to Characterize the agronomic behavior of the Pata de Venado quinoa plants in the phenological stage of growth with the application of magnetized water; To analyze the behavior of chemical parameters of the substrate with the use of magnetized water. A randomized complete block design with four treatments and five repetitions was used. Treatments 1, 2 and 3 are magnetized water with intensity of 1000, 3000 and 5000 Gauss. While treatment 0 is water without subjecting to magnetic fields. It was determined the net demand for irrigation 53.61 l / m<sup>2</sup> \* month applying the Oudin methodology. The results of the behavior of the chemical properties of water with the use of magnetic fields were shown to influence the pH of 5.5-6.5 to 8.50 and electrical conductivity when rising in T3. In terms of hardness, it fell from 308.8 of T0 to 120.3 CaCo<sub>3</sub> dS / m of T1, while RAS, Calcium, Magnesium, Sodium, Potassium and Sulfide parameters lower their values. Boron increases its value. The results of the behavior of the chemical properties of the substrate with the use of magnetized water at 25 days shows differences between T0, T1, T2 and T3, for residual compounds such as N which values 30, 25, 31 and 24 ppm; P values 46, 39, 35 and 33 ppm; K values 0.45, 0.36, 0.36, 0.36 and 0.26 meq / 100ml; Ca values 23.60, 18.20, 24.50 and 19.60 meq / 100ml; Mg values 2.40, 2.30, 2.20 and 2.20 meq / 100ml; and of the pH parameter it values 6.07, 4.97, 5.92 and 5.73. The phenological stage of

growth was up to 25 days, for the registration of the variables. Regarding the agronomic variables in the germination percentage, significant differences were found for 4, 5 and 6 days with rank A, B, AB and C respectively; at plant height at 10, 15, 20, 25 and 30 days with range A, B and C; in stem diameter at 10, 15, 20 and 25 days with range A, B and ABC respectively; in number of sheets at 10, 15, 20 and 25 days with ranges A, B, C, AB and BC; in root length at 10, 15, 20 and 25 days with ranges A, B, AB and C; in leaf area at 10, 15, 20, 25 and 30 days with ranges A, B, C and AB; the chlorophyll content with ranges A, B and AB respectively. Irrigation with magnetized water is favorable for the result of agronomic variables up to 25 days after sowing, since it was modified in its properties.

**Keywords:** treatment, magnetic fields, significant, influence

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|   |      |
|---|------|
| DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....  | ii   |
| CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....                         | iii  |
| AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....                                 | vi   |
| AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....                           | vii  |
| AGRADECIMIENTO .....  | viii |
| DEDICATORIA.....  | ix   |
| RESUMEN .....   | x    |
| ABSTRACT .....  | xii  |
| 1. INFORMACIÓN GENERAL .....  | 1    |
| 2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO .....   | 3    |
| 3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO .....   | 3    |
| 3.1. Beneficiarios directos: .....  | 3    |
| 3.2. Beneficiarios indirectos .....   | 3    |
| 4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....  | 4    |
| 5. OBJETIVOS .....  | 5    |
| 5.1. GENERAL.....   | 5    |
| 5.2. ESPECIFICOS.....   | 5    |
| 6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS<br>PLANEADOS. .... | 6    |
| 7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....   | 7    |
| 7.1. Origen y Generalidades de la Quinoa ( <i>Chenopodium quinoa</i> ).....       | 7    |
| 7.2. Clasificación Taxonómica .....   | 7    |
| 7.3. Características de la Quinoa ( <i>Chenopodium quinoa</i> ).....              | 7    |
| 7.4. Evolución de la producción en Ecuador .....                                  | 8    |
| 7.5. Rendimiento a nivel mundial, regional y local.....                           | 9    |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 7.6.  | Sistemas de producción .....   | 9  |
| 7.7.  | Variedad INIAP “Pata de Venado” .....  | 10 |
| 7.8.  | Descriptores de intereses morfológicos, agronómicos y de calidad de INIAP “Pata de Venado” ..... | 10 |
| 7.9.  | Descripción botánica .....   | 11 |
| 7.10. | Condiciones agroclimáticas .....   | 12 |
| 7.11. | Campo magnético .....  | 12 |
| 7.12. | Aplicación de campos magnéticos a la agricultura.....  | 13 |
| 7.13. | Campos magnéticos en las plantas.....  | 13 |
| 7.14. | Agua magnetizada. Proceso de los cambios en las propiedades físico-químicas del agua             | 14 |
| 7.15. | Efectos del agua magnetizada en la nutrición de las plantas .....                                | 15 |
| 7.16. | Beneficios de tratamiento magnético del agua en la agricultura .....                             | 16 |
| 7.17. | Agua magnetizada en el suelo.....  | 17 |
| 8.    | HIPÓTESIS .....  | 17 |
| 9.    | MATERIALES .....   | 18 |
| 9.1.  | Material biológico.....  | 18 |
| 9.2.  | Materiales de Campo .....  | 18 |
| 9.3.  | Material de escritorio.....  | 19 |
| 9.4.  | Sistema de riego.....  | 19 |
| 9.5.  | Equipo magnetizador.....   | 19 |
| 10.   | METODOLOGÍA.....   | 20 |
| 10.1. | Ubicación del área experimental.....   | 20 |
| 10.2. | Diseño experimental .....  | 21 |
| 10.3. | Adeva .....  | 21 |
| 10.4. | Factores en estudio.....   | 21 |
| 10.5. | Formulación de tratamientos.....   | 22 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 10.6. | Esquema.....  | 22 |
| 11.   | Manejo específico del experimento.....                            | 24 |
| 11.1. | Preparación del ensayo .....                                      | 24 |
| 11.2. | Montaje y toma de datos .....                                     | 28 |
| 11.3. | Variables de Respuesta .....                                      | 28 |
| 11.4. | Descripción de variables.....                                     | 29 |
| 12.   | ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....                          | 31 |
| 12.1. | Requerimiento hídrico de las plantas de quinua .....              | 31 |
| 12.2. | Análisis del comportamiento químico del agua.....                 | 34 |
| 12.3. | Análisis del comportamiento de los elementos del sustrato .....   | 40 |
| 12.4. | Efecto del agua magnetizada sobre las variables agronómicas ..... | 45 |
| 13.   | IMPACTOS .....  | 65 |
| 13.1. | Tecnológico.....  | 65 |
| 13.2. | Social.....   | 65 |
| 13.3. | Económico .....   | 65 |
| 13.4. | Ambiental.....  | 65 |
| 14.   | CONCLUSIONES.....   | 66 |
| 15.   | RECOMENDACIONES .....   | 67 |
| 16.   | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                  | 68 |
| 17.   | ANEXOS .....  | 78 |



## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1.</b> Objetivos y actividades a realizar .....   | 6  |
| <b>Tabla 2.</b> Taxonomía de la Quinoa ( <i>Chenopodium quinoa</i> ) .....   | 7  |
| <b>Tabla 3.</b> Descriptores de interés morfológico de la Quinoa ( <i>Chenopodium quinoa</i> ) .....                       | 10 |
| <b>Tabla 4.</b> Efecto del agua magnetizada a diferentes intensidades, aplicada como agua para riego en los cultivos ..... | 16 |
| <b>Tabla 5.</b> Análisis de varianza.....  | 21 |
| <b>Tabla 6.</b> Descripción de los tratamientos.....   | 22 |
| <b>Tabla 7.</b> Descripción del equipo magnetizador Mineral Magnet II.....   | 24 |
| <b>Tabla 8.</b> Descripción del equipo magnetizador de Neodimio.....   | 24 |
| <b>Tabla 9.</b> Parámetros del agua de riego.....  | 25 |
| <b>Tabla 10.</b> Parámetros del sustrato.....  | 27 |
| <b>Tabla 11.</b> Índice de kc para la quinoa.....  | 31 |
| <b>Tabla 12.</b> Registro del porcentaje a la emergencia .....   | 83 |
| <b>Tabla 13.</b> Registro de la altura de planta .....   | 83 |
| <b>Tabla 14.</b> Registro del diámetro de tallo.....   | 84 |
| <b>Tabla 15.</b> Registro del número de hojas .....  | 85 |
| <b>Tabla 16.</b> Registro de longitud de raíz.....   | 85 |
| <b>Tabla 17.</b> Registro del área foliar .....  | 86 |
| <b>Tabla 18.</b> Registro del contenido de clorofila.....  | 87 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1.</b> Niveles de pH con diferentes intensidades de magnetismo .....                                    | 36 |
| <b>Figura 2.</b> Niveles de Conductividad eléctrica y RAS con diferentes intensidades de magnetismo.....          | 36 |
| <b>Figura 3.</b> Niveles de Dureza con diferentes intensidades de magnetismo .....                                | 37 |
| <b>Figura 4.</b> Niveles de Calcio y Magnesio con diferentes intensidades de magnetismo.....                      | 38 |
| <b>Figura 5.</b> Niveles de Sodio, Cloro y Sulfato con diferentes intensidades de magnetismo .....                | 38 |
| <b>Figura 6.</b> Niveles de Boro con diferentes intensidades de magnetismo .....                                  | 39 |
| <b>Figura 7.</b> Niveles de Potasio con diferentes intensidades de magnetismo .....                               | 40 |
| <b>Figura 8.</b> Niveles de pH en el sustrato con diferentes intensidades de agua magnética.....                  | 42 |
| <b>Figura 9.</b> Niveles de Nitrógeno y Fósforo en el sustrato con diferentes intensidades de agua magnética..... | 42 |
| <b>Figura 10.</b> Niveles de Potasio en el sustrato con diferentes intensidades de agua magnética.                | 43 |
| <b>Figura 11.</b> Niveles de Magnesio en el sustrato con diferentes intensidades de agua magnética .....          | 44 |
| <b>Figura 12.</b> Niveles de Calcio en el sustrato con diferentes intensidades de agua magnética ..               | 44 |
| <b>Figura 13.</b> Cuadro evolutivo del porcentaje de Germinación.....   | 47 |
| <b>Figura 14.</b> Cuadro evolutivo del crecimiento de las plantas según tratamientos .....                        | 50 |
| <b>Figura 15.</b> Cuadro evolutivo de diámetro de tallo según tratamientos hasta los 30 días .....                | 53 |
| <b>Figura 16.</b> Cuadro evolutivo del número de hojas según tratamientos .....                                   | 56 |
| <b>Figura 17.</b> Cuadro evolutivo de la longitud de la raíz .....  | 59 |
| <b>Figura 18.</b> Cuadro evolutivo del área foliar.....   | 62 |
| <b>Figura 19.</b> Contenido de clorofila en CCI .....   | 64 |
| <b>Figura 21.</b> Registro de temperatura promedio del invernadero inteligente de Granos Andinos. ....            | 87 |

## ÍNDICE DE IMÁGENES

|  |    |
|--|----|
| <b>Imagen 1.</b> Ubicación del invernadero de granos andinos ..... | 20 |
| <b>Imagen 2.</b> Distribución de las unidades experimentales.....  | 23 |
| <b>Imagen 3.</b> Imán mineral magnet II .....                      | 24 |
| <b>Imagen 4.</b> Imán de neodimio .....                            | 24 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|   |    |
|---|----|
| <b>Anexo 1.</b> Análisis de agua por los diferentes tratamientos de inducción magnética ..... | 78 |
| <b>Anexo 2.</b> Análisis de agua por tratamiento sin someter a campos magnéticos.....         | 78 |
| <b>Anexo 3.</b> Análisis de suelos .....  | 79 |
| <b>Anexo 4.</b> Temperatura calculada con la radiación global .....                           | 79 |
| <b>Anexo 5.</b> Llenado de fundas.....  | 80 |
| <b>Anexo 6.</b> Siembra.....  | 80 |
| <b>Anexo 7.</b> Ensayo implantado.....  | 80 |
| <b>Anexo 8.</b> Riego.....  | 80 |
| <b>Anexo 9.</b> Porcentaje de germinación.....  | 81 |
| <b>Anexo 10.</b> Altura de planta.....  | 81 |
| <b>Anexo 11.</b> Diámetro de tallo .....  | 81 |
| <b>Anexo 12.</b> Longitud de raíz.....  | 81 |
| <b>Anexo 13.</b> Número de hojas .....  | 82 |
| <b>Anexo 14.</b> Área foliar.....   | 82 |
| <b>Anexo 15.</b> Contenido de clorofila .....   | 82 |

## **1. INFORMACIÓN GENERAL**

**Título del Proyecto:** EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL AGUA MAGNETIZADA EN EL DESARROLLO DE PLANTAS DE QUINUA (*Chenopodium quinoa*) VARIEDAD PATA DE VENADO EN LA ETAPA FENOLÓGICA DE CRECIMIENTO EN SALACHE - COTOPAXI

**Fecha de inicio:**

Octubre - 2019

**Fecha de finalización:**

Febrero - 2020

**Lugar de ejecución:**

**Institución:** Universidad Técnica de Cotopaxi

**Campus:** Salache

**Cantón:** Latacunga

**Provincia:** Cotopaxi

**Institución, unidad académica y carrera que auspicia**

Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; Ingeniería Agronómica.

**Carrera que auspicia:**

Carrera de Ingeniería Agronómica.

**Proyecto de investigación vinculado:**

Proyecto Granos Andinos: Fortalecimiento de los sistemas productivos en comunidades de la provincia Cotopaxi a través de la generación de tecnología para la producción y procesamiento de granos andinos (chocho, quinua y amaranto).

Proyecto Invernadero Inteligente

**Equipo de Trabajo:**

**Autor del proyecto:**

**Apellidos y Nombres:** García Sanmartin Nelson Bryan.

**Cedula:** 1722510854

**Correo electrónico:** bryanpropio@hotmail.com

**Tutor de titulación:**

**Apellidos y Nombres:** Ing. Mg. Sc. Parra Gallardo Giovana Paulina

**Lector 1:**

**Apellidos y Nombres:** Ing. Marco Antonio Rivera Moreno

**Lector 2:**

**Apellidos y Nombres:** Ing. Mg. Guido Euclides Yauli Chicaiza

**Lector 3:**

**Apellidos y Nombres:** Ing. Mg. Alexandra Isabel Tapia Borja

**Área de Conocimiento:**

Agricultura – silvicultura y pesca – biodiversidad

**Línea de investigación:**

Desarrollo y Seguridad Alimentaria

**Sub líneas de investigación de la Carrera:**

Producción Agrícola Sostenible; Tecnologías aplicadas a la agricultura

**Línea de Vinculación**

Gestión de recursos naturales, biodiversidad, biotecnología y genética para el desarrollo humano social.

## **2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

Es un desafío para el sector agrícola producir alimentos con escasez de agua y además de mala calidad, para ellos se opta de nuevas estrategias que permitan garantizar una producción limpia y productiva. Este estudio se realiza para mejorar las propiedades del agua con el uso de campos magnéticos, en el desarrollo del cultivo de quinua, ya que este cultivo juega un importante papel en la actividad económica y nutricional. “En Ecuador los resultados obtenidos muestran un tasa de alta productividad de quinua con  $1.36 \text{ t ha}^{-1}$ , utilizando semillas de INIAP variedad Tunkahuan y Chimborazo” (Guerrero, 2016).

La producción de la quinua con un sistema de riego a base de agua magnetizada creará nuevas expectativas en la zona, ya que es una alternativa amigable con el medio ambiente, puesto que, contrarresta el uso de compuestos químicos y ablandadores para mejorar la calidad del agua, como también llega a ser rentable económicamente para los productores.

Por esta razón, es necesario utilizar tecnologías sencillas e innovadoras, para mejorar la calidad de agua en los cultivos, generar alternativas ecológicas con el propósito fundamental de contribuir al mejoramiento de la producción de los cultivos de quinua.

## **3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO**

### **3.1. Beneficiarios directos:**

Los beneficiarios directos de este proyecto de investigación son los productores de quinua a nivel nacional. De acuerdo a las estadísticas del MAGAP, el país siembra alrededor de 2 mil hectáreas de quinua al año, con una producción total de 1.400 toneladas métricas (MAGAP, 2017).

### **3.2. Beneficiarios indirectos**

Los beneficiarios indirectos de este proyecto son los consumidores.

#### 4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El uso irracional e intensivo de los suelos y la degradación de los ecosistemas en general, ha causado diversificaciones en el ciclo hidrológico en conjunto de sus características físicas, químicas y biológicas del agua. El agua es un gran disolvente de materias orgánicas e inorgánicas. El agua dura reduce el crecimiento de la planta, afecta el rendimiento de los cultivos en comparación con el cultivo de agua normal y también daña la estructura del suelo (Rawson, 2001). Desproporciona la disponibilidad de ciertos nutrientes que son absorbidos por las raíces de la planta.

En la Universidad Técnica de Cotopaxi campus Salache las vertientes han tenido un recorrido por lugares donde la contaminación humana está presente más la ayuda de otras materias hace que el agua sea dura. En la publicación sobre el río Cutuchi se recalcó que “En el último estudio que realizó la Corporación Francesa a cargo de los estudios de la obra del Plan Maestro de Alcantarillado, se evidenciaron cerca de 300 descargas que salen de industrias de manera ilegal sobre este río” (La Hora, 2019) “Las aguas del río Cutuchi alimentan el reservorio del CEASA que tiene un área de 625.06m<sup>2</sup>, un volumen de 3000 m<sup>3</sup>.” (Fonseca & Clairand, 2018).

La dureza del agua ha influido en los cultivos, que siendo regados con esta agua el desarrollo fisiológico de la planta es limitado, y no se expresa el verdadero desarrollo fenológico de la planta por ese motivo se desarrollan nuevas alternativas para bajar la dureza del agua y una de estas es el uso de agua magnetizada. Esta problemática afecta al círculo de producción - consumidor en sentido económico, ambiental, social, salud, etc. En los ríos de la provincia de Cotopaxi se encuentra altas cantidades de calcio, magnesio y contaminantes mismos que son los causantes del agua de mala calidad.

De acuerdo a las estadísticas del MAGAP, el país siembra alrededor de 2 mil hectáreas de quinua al año, con una producción total de 1.400 toneladas métricas (MAGAP, 2017). Esta debe ser mayor su producción total y parte es por el agua que utilizan.



## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. GENERAL**

Evaluar el efecto del agua magnetizada en el desarrollo de plantas de quinua (*Chenopodium quinoa*) variedad Pata de Venado en la etapa fenológica de crecimiento en Salache - Cotopaxi.

### **5.2. ESPECIFICOS**

- Determinar la demanda neta del agua magnetizada para el cultivo de quinua variedad Pata de Venado.
- Analizar los cambios de los parámetros químicos que se producen en el agua con la magnetización
- Analizar el comportamiento de los parámetros químicos del sustrato con el uso de agua magnetizada.
- Caracterizar el comportamiento agronómico de las plantas de quinua variedad Pata de Venado en la etapa fenológica de crecimiento con la aplicación del agua magnetizada.

## 6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANEADOS.

Tabla 1. Objetivos y actividades a realizar

| Objetivo 1   | Actividad (tareas)   | Resultado de la investigación   | Medios de verificación  |
|--|--|---|---|
| Determinar la demanda neta del agua magnetizada para el cultivo de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> ) variedad pata de venado. | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Toma de datos del sistema de riego</li> <li>- Obtención de las condiciones meteorológicas.</li> <li>- Cuantificar el agua requerida para cubrir las necesidades hídricas de la planta de quinua.</li> </ul> | Determinación del agua requerida para el cultivo de quinua en el periodo que dure el ensayo   | Fotografías   |
| <b>Objetivo 2</b>  |  |   |   |
| Analizar los cambios de los parámetros químicos que se producen en el agua con la magnetización                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tomar muestras de agua</li> <li>- Llevar al laboratorio</li> <li>- Interpretar los resultados</li> </ul>  | <p>Muestras envasadas en botellas de plástico limpias</p> <p>Muestras enviadas al laboratorio del INIAP</p> <p>Calificación de los datos del análisis</p> | <p>Fotografías</p> <p>Informe del análisis</p> <p>Comparaciones de los análisis</p> |
| <b>Objetivo 3</b>  |  |   |   |
| Analizar el comportamiento de los parámetros químicos del sustrato con el uso de agua magnetizada.                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tomar muestras del sustrato</li> <li>- Enviar al laboratorio.</li> <li>- Interpretar los resultados.</li> </ul>   | <p>Muestras envasadas en botellas de plástico limpias</p> <p>Muestras enviadas al laboratorio del INIAP.</p> <p>Calificación los datos del análisis</p>   | <p>Fotografías</p> <p>Informe del análisis</p> <p>Comparaciones de los análisis</p> |
| <b>Objetivo 4</b>  |  |   |   |
| Caracterizar el comportamiento agronómico de las plantas de quinua con la aplicación del agua magnetizada.                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Siembra en fundas para vivero</li> <li>- Diseñar libro de campo y toma de datos de las variables agronómicas.</li> <li>- Interpretación de resultados</li> </ul>  | <p>Libro de campo</p> <p>Registro de las variables</p> <p>Gráficas interpretativas</p>  | <p>Libro de campo</p> <p>Libro de campo</p> <p>Libro de campo</p>                   |

Elaborado por: García. N, 2020

## 7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

### 7.1. Origen y Generalidades de la Quinoa (*Chenopodium quinoa*)

La quinoa, la kañiwa y las especies de *Amaranthus* comestibles constituyeron en conjunto un importante componente de la alimentación de los pueblos prehispánicos en las tierras altas de los Andes (Tapia, y otros, 1979).

Existen evidencias de que fue alimento básico para las poblaciones pre-hispánicas hasta la época de la conquista (Pando & Castellanos, 2016).

Según Pando y Castellanos (2016) “el cambio de los hábitos alimenticios y la preferencia por alimentos nutritivos y orgánicos a nivel global promovieron el reconocimiento y la revaloración de la quinoa, dando lugar al incremento de su producción” (p. 1).

### 7.2. Clasificación Taxonómica

La FAO. (2019), clasifica al cultivo de la quinoa de la siguiente manera

**Tabla 2.** Taxonomía de la Quinoa (*Chenopodium quinoa*)

|           |                           |
|-----------|---------------------------|
| Reino:    | Plantae                   |
| División: | Magnoliophyta             |
| Clase     | Magnoliopsida             |
| Subclase: | Caryophyllidae            |
| Orden:    | Caryophyllales            |
| Familia:  | Chenopodiaceae            |
| Género:   | <i>Chenopodium</i>        |
| Especie:  | <i>Chenopodium quinoa</i> |

Fuente: (FAO, 2019)

### 7.3. Características de la Quinoa (*Chenopodium quinoa*)

Las quinuas de Latacunga, Carchi, Ambato, Riobamba y Cuenca son de grano chico, en general de porte elevado y de grano bastante amargo (Tapia, y otros, 1979).

En los agroecosistemas andinos, la quinua es un componente importante de los sistemas de producción de pequeños, medianos y grandes agricultores (Mazón, Rivera, Peralta, Estrella, & Tapia, 2001).

La quinua pertenece a la familia de las Chenopodiáceas, es tetraploide, con 36 cromosomas. Sus plantas son ginomonoicas y con un elevado porcentaje de autogamia (Mazón, Rivera, Peralta, Estrella, & Tapia, 2001).

La quinua tiene un alto valor nutritivo, con altas cantidades de proteínas y aminoácidos, entre ellos se encuentra la lisina que está presente en el cerebro. Al ser comparada con otros granos esta los supera en por lo menos 1.5 veces más de calcio (Suquilanda, 2007). “La quinua posee saponina que la misma tiene propiedades antioxidantes y terapéuticas, previene el cáncer, entre otras” (Gomez & Aguilar, 2015).

#### **7.4. Evolución de la producción en Ecuador**

Al finalizar los años 80 la quinua andina cultivada no sobrepasaba una superficie de 36000 ha, principalmente producida en Bolivia y Perú, sin embargo Ecuador participa de este dato con un 4%. (PROINPA, 2011). Ahora la quinua es popular en el mundo con una amplia producción creciente.

La superficie cultivada llega a poco menos de 1.300 hectáreas, de manera que luego de una marcada reducción, se ha recuperado la extensión cultivada. En efecto, en el año 2000 la superficie plantada alcanzó 1.300 hectáreas, para luego caer a la mitad, de manera que solamente en el año 2011 se ha recuperado el área bajo cultivo a un nivel similar al del año 2000 (FAO & ALADI, 2014).

“En el año 2013 la producción en sistemas diversificados llegó a las 2000 ha” (MAGAP, 2015). Además se encontró que 6 provincias del Ecuador son centro de producción de la quinua por su alta frecuencia y superficie cultivada, estas son: Cotopaxi, Chimborazo e Imbabura; con menor producción está, Pichincha, Tungurahua y Carchi; Y en lugares del Azuay y Cañar el cultivo está desapareciendo (Peralta, 2009).

Estos avances en el desarrollo agrícola para la producción de quinua se dan por el Plan de Mejora Competitiva (PMC) compuesto por personal del MAGAP, y colaboración de otras entidades como la Corporación de Promoción de Exportaciones del Ecuador (CORPEI) (Representantes del sector privado); y el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) (MAGAP, 2016).

### **7.5. Rendimiento a nivel mundial, regional y local**

“La expansión de la quinua ha llegado a países como: Italia, Francia, Inglaterra, Suecia, Holanda y Dinamarca. Son más de 70 países incluidos en la producción de este pseudocereal” (FAO, 2017). Como muestra Jacobsen. (2003), en su investigación “Vietnam tuvo un rendimiento de 1.1 y 1.6 t ha<sup>-1</sup>. Kenia por su parte tuvo un rendimiento de 4 t ha<sup>-1</sup> con resultados mayores en los valles interandinos” (p.169).

Por otro lado la región andina tiene el gran reto de alimentar a la población mundial y tuvo en 2009 una producción de 70000 toneladas, sobre todo por la problemática del cambio climático. Se recomienda cultivar la quinua en lugares que son afectados por la seguridad alimentaria. (FAO, 2017).

“En Ecuador los resultados obtenidos muestran un tasa de alta productividad de quinua con 1.36 t ha<sup>-1</sup>, utilizando semillas de INIAP variedad Tunkahuan y Chimborazo” (Guerrero, 2016).

### **7.6. Sistemas de producción**

La quinua no siempre se encuentra en monocultivo, sin embargo este se asocia frecuentemente con “Maíz (57,7%), con papa, oca, melloco, en menor porcentaje, los sistemas múltiples en los que se encuentran más de dos cultivos representan el 21%, mientras que los monocultivos apenas el 10%, este último es muy frecuente en el Cantón Otavalo” (Santamaria, 1984). Las rotaciones muy pocos lo practican y para preparar el terreno consta de arado, rastra y surcada, utilizando el tractor.

### 7.7. Variedad INIAP “Pata de Venado”

La variedad INIAP “Pata de Venado”, en 2001 se caracterizó y evaluó la colección nacional de quinua de grano blanco y de acuerdo con la precocidad, resistencia a mildiu, contenido de saponina y potencial de rendimiento (INIAP, 2008).

### 7.8. Descriptores de intereses morfológicos, agronómicos y de calidad de INIAP “Pata de Venado”

7. **Tabla 3.** Descriptores de interés morfológico de la Quinua (*Chenopodium quinoa*)

|                                   |                   |
|-----------------------------------|-------------------|
| Hábito de crecimiento             | Erecto            |
| Ramificación                      | Ausente           |
| Color de la panoja                | Rosada            |
| Tipo de panoja                    | Terminal          |
| Tamaño de panoja (promedio)       | 29.0 cm           |
| Altura de planta                  | 68.6 cm           |
| Acame a la cosecha                | Bajo              |
| Color de grano                    | Blanco            |
| Peso de 100 semillas (promedio)   | 0.36 g            |
| Contenido de saponina             | 0.0 %             |
| Días a la floración               | 70                |
| Días a la cosecha                 | 151               |
| Rendimiento por planta (promedio) | 7.6 g             |
| Rendimiento por ha (Promedio)     | 1200 kg           |
| Adaptación (altitud)              | 2800 a 3800 m     |
| Época de siembra                  | Diciembre y Enero |
| Cantidad de semillas por Ha       | 14 a 16 kg        |

Fuente (INIAP, 2008)

El género *Chenopodium* es el principal dentro de la familia *Chenopodiaceae* y tiene amplia distribución mundial, con cerca de 250 especies (Planchuelo, 1975).

## 7.9. Descripción botánica

- **Planta:** Erguida, y crece desde los 0.60 y van hasta los 3 m, depende de la variedad, genotipos, condiciones ambientales y suelos fértiles (Apaza, Cáceres, Estrada, & Pinedo, 2013).
- **Raíz:** Pivotante y profunda. Con gran cantidad de raíces laterales y ramificadas, pueden medir entre 0.8 a 1.5 m (Gomez & Aguilar, 2015).
- **Tallo:** Es circular en la sección baja y es angular en la parte superior (Tapia, 2000). La altura siempre varía y esta va de 0.7 m hasta los 2.70 m, según su medio. (Gomez & Aguilar, 2015). Este puede tener ramas o no, en dependencia de la variedad y densidad del sembrado (PROMUEVE, 2010).
- **Hojas:** Son polimórficas en una sola planta, romboides las hojas basales y lanceoladas las hojas superiores (Tapia, 2000). Los bordes son dentados y por esta característica esta puede ser identificada por razas (Gandarillas, 1968).
- **Inflorescencia:** Una panícula (panoja) por tener un eje principal más desarrollado y de este salen los ejes secundarios (Tapia, 2000). Esta además puede ser tipo amarantiforme y relacionada directamente al tamaño del grano. Hay flores hermafroditas y femeninas en una sola inflorescencia. La polinización es cruzada por lo que la quinua es autogama para su fecundación (Bonifacio, 2006).
- **Fruto:** Cubierto por el pericarpio y a su vez envuelta por el epispermo (Gomez & Aguilar, 2015). El embrión lo forman los cotiledones y la radícula lo cual constituye casi la totalidad de la semilla que envuelve al perisperma (Mujica, Izquierdo, Marathe, & Jacobsen, 2001).

## **7.10. Condiciones agroclimáticas**

Actualmente el Ecuador produce cerca de 2.000 ha de quinua por año, pero dada su gran tolerancia a condiciones ambientales extremas, se estima que el cultivo se podría alcanzar las 90.000 ha (Jacobsen & Sherwood, 2002).

La precipitación según la FAO. (2011), establece que “en los Andes ecuatorianos es de 600 a 880 mm” (pág. 2). Y “La quinua puede adaptarse a climas calurosos, desérticos y la humedad relativa con la que se desarrolla va desde un 40% hasta un 88% y temperaturas máximas de 38° C y mínimas de 4°C” (FAO, 2011).

## **7.11. Campo magnético**

La tierra tiene dos campos magnéticos por tener hierro fundido en el centro, además de influir contundentemente a los seres vivos.

Los reinos vegetal y animal desde los inicios de los tiempos han sido afectados por variaciones que ocurren en el campo magnético terrestre, o a su vez inversiones podemos relacionarlas con la aparición y extinción de especies, por tales motivos determinamos que los organismos vivos están todos cobijados por el campo magnético de la tierra (Maffei, 2014).

“El campo magnético terrestre ejerce una fuerza que varía de 30 hasta 60 microteslas ( $\mu\text{T}$ ) (equivalente a 0,3 y 0,6 Gauss) que se originan por el movimiento y convección de los fluidos en el interior de la tierra” (Occhipinti, Santis, & Maffei, 2014). “Sin embargo esta fuerza ha variado y se reducido notablemente un 9% del campo magnético terrestre” (Wang, Kent, & Rochette, 2015).

“El campo magnético es una región del espacio en la cual una carga eléctrica puntual que se desplaza, sufre los efectos de una fuerza que es perpendicular a su desplazamiento” (Ríos, Calderón, & Parra, 2012). Esto quiere decir que se repelen las fuerzas por sus polos similares.



“Los campos magnéticos superiores a los 1.000 Gauss son considerados de alta intensidad. Los de baja intensidad son aquellos que se encuentran debajo de los 100 nanoteslas (nT) (equivalente a 0,001 Gauss) hasta menos de 1.000 Gauss” (Heldman & Moraru, 2003); (Maffei, 2014).

Además Pietruszewski & Kania. (2010), mencionan que “tenemos campos magnéticos artificiales, los cuales tenemos estáticos que son las bobinas alimentadas por corriente e imanes permanentes; sin olvidarnos que también están los campos variables en el tiempo que son procedentes con bobinas que usan corriente alterna” (págs. 297-302).

### **7.12. Aplicación de campos magnéticos a la agricultura**

En la agricultura se puede usar tratamientos con campos electromagnéticos que son estimulaciones externas y de bajo costo (Domínguez Pacheco, y otros, 2010). Y “Para plantas que son cultivadas hay que tener en cuenta todos los factores que presenta un campo magnético” (Martinez, Carbonell, & Flórez, 2003).

### **7.13. Campos magnéticos en las plantas**

Las especies vegetales son evaluadas al someterse a un campo magnético para conseguir resultados deseables que “Cada especie de planta reacciona de diferentes maneras a los campos geomagnéticos, así sean campos alternos o continuos, hablando magnéticamente” (Flórez, Martínez, & Carbonell, 2010).

Se considera que las plantas reaccionan de diferente forma cuando pasan por un campo magnético, los mecanismos que ocurren son la elevada actividad enzimática y de muchos procesos que se relacionan directamente a la división celular. No obstante, los investigadores reafirman que primero empieza por los cambios ocurrentes en la permeabilidad de las membranas y agilidad que se da en los mecanismos de transporte a través de las mismas, los iones que son involucrados en procesos bio-eléctricos se desplazan con eficiencia cuando son influenciados por un campo electromagnético. (Heredia, y otros, 2009).

Los campos geomagnéticos regulan la movilidad de la membrana, por lo tanto hay una mejor absorción de nutrientes (Goodman, Chizmadzhev, & Shirley-Henderson, 1993); a su vez actúa sobre materia y organismos biológicos en las diferentes etapas, desde la germinación (Domínguez Pacheco, y otros, 2010).

Los campos magnéticos incrementan la energía contenida en los cloroplastos debido a sus propiedades paramagnéticas. Esto estimula a los átomos de los cloroplastos para ser alineados hacia la dirección del campo magnético externo lo que seguido a eso acelera el metabolismo y la germinación por el acopio de energía (Moussa, 2011). En influencia de campos magnéticos a nivel celular se determinó que ocurren transformaciones de células apicales y con una fuerte permeabilidad de la membrana plasmática dependiendo de la intensidad del campo magnético.

#### **7.14. Agua magnetizada. Proceso de los cambios en las propiedades físico-químicas del agua**

La magneto hidrodinámica es el principio básico del agua magnetizada, cuando el agua es sometida a un campo magnético las partículas se cargan en energía. Lo que quiere decir que la fuerza del campo magnético atrae las cargas positivas y negativas a los extremos magnéticos o llamados polos (Abdelaziz & Abdelrazig, 2014).

Este tratamiento se basa en los cambios físicos y químicos que a su vez lo haces apropiada para el consumo humano, vegetal y animal. Lo cual modifica los enlaces de hidrógeno, tensión superficial, pH, polaridad, y solubilidad de sales. (Hozayn, ABD EL Monem, & El-Hameid, 2011).

Al pasar el agua por un campo magnético este tiene un momento magnético de 24 a 48 horas, dependiendo las características modificadas del agua (Hilal, El-Fakhrani, Mabrouk, Mohamed, & Ebead, 2013). Es más, con solo someter el agua a campos magnéticos por fracciones de segundo, está ya se modifica en sus propiedades. Por otra parte mencionamos que los cambios o variaciones en las propiedades del agua dependen de: la gradiente del campo magnético e

intensidad, velocidad, movimiento del agua, forma de los polos y tamaño, instalación y concentración de iones. (RedVet, 2009).

El agua cuando es sometida a un campo magnético hace que el carbonato de calcio se transforme en microcristales de aragonito, ya que estos son arrastrados en forma de barros. (Martinez, Carbonell, & Flórez, 2003).

### **7.15. Efectos del agua magnetizada en la nutrición de las plantas**

Regar con agua sometida a un campo magnético es una técnica eficiente y económica para la producción sobre todo porque modifica las propiedades físico químicas del agua y suelo (Hozayn, ABD EL Monem, & El-Hameid, 2011). De la misma forma las moléculas del agua se ordenan cuando una corriente de agua cruza por un campo magnético con cierta intensidad y dirección lo cual cambia en sus propiedades. (Martinez, Carbonell, & Flórez, 2003). “Las plantas absorben los nutrientes de mejor manera y por ende su rendimiento productivo es favorable” (Babu, 2010).

Según DSS. (2004), el tratamiento magnético genera:

- **Acción Ionizante.** Favorece la ionización frente a las sales. Sobre todo porque los iones son la forma en la cual la planta absorbe los nutrientes.
- **Regulación de pH.** Cuando tenemos un pH muy ácido este tiende a elevarlo, por el contrario baja cuando tenemos el pH básico. Como sabemos con un pH extremo los iones reaccionan químicamente para evitar la absorción de nutrientes.
- **Disminución de la tensión superficial.** El agua magnética posee menor tensión superficial lo que agiliza la osmosis de los nutrientes de la planta (pág. 9).

**Tabla 4.** Efecto del agua magnetizada a diferentes intensidades, aplicada como agua para riego en los cultivos

| <b>Especie</b>              | <b>Intensidad de campo magnético (Gauss)</b> | <b>Efecto</b>   | <b>Referencia</b>                 |
|-----------------------------|--|---|-----------------------------------|
| Haba (Vicia faba)           | 1000   | Incremento en los constituyentes químicos, actividad fotosintética y en altura y peso de las plantas.                                 | (Ibrahim, 2006),<br>(Sayed, 2014) |
| Garbanzo (Cicer arietinum)  | 500; 1000; 1500; 2500                        | Aumento en los constituyentes químicos, producción.   | (Vashisth & Nagarajan, 2008)      |
| Lechuga (Lactuca sativa)    | 600; 1200                                    | Incremento en germinación y desarrollo de la planta.  | (Matos & Blanco, 2012)            |
| Frijol (Phaseolus vulgaris) | 300  | Estimulación de la actividad enzimática y fotosintética, incremento en la eficiencia de translocación y en el rendimiento productivo. | (Moussa, 2011)                    |

Fuente: (González, 2016)

### **7.16. Beneficios de tratamiento magnético del agua en la agricultura**

El Riego con agua magnetizada según Rojas. (2008), “Aumenta la producción en un 50%, suelos con menos acumulación de sales, desarrollo de raíces y osmosis, eficiencia de fertilizantes y una radical eficacia de intercambio catiónico (pág. 8).

La DSS. (2004), afirma que “Varios experimentos captaron los beneficios del agua magnetizada utilizada para riego agrícola y estos fueron:

- Agiliza el crecimiento vegetal
- Osmosis facilitada al disminuir la tensión superficial
- Frutos altamente desarrollados en su tamaño

- Promueve una resistencia a plagas y ciertas enfermedades
- Alta solubilidad de nutrientes en el suelo
- Raíces con alta capacidad de absorción
- Ahorro hasta en un 50% de agua de riego
- Durabilidad en procesos de conservación y almacenamiento de las cosecha
- Amplía las sustancias orgánicas en las plantas” (pág. 9).

### 7.17. Agua magnetizada en el suelo

“En el suelos los microorganismos benéficos pueden acelerar su acción dinámica al pasar por un campo magnético ya que modifican los propiedades químico – biológico por la salinidad del suelo” (CVC - UNIVALLE, 2009).

Los suelos que han sido aplicados con agua magnetizada mejoran sus propiedades físicas, su compactación es menor y la estructura del mismo mejora. Además disminuye la tensión superficial, la solubilidad de sales aumenta y genera una movilidad de iones. (Zúñiga, Osorio, Cuero, & Peña, 2011).

El suelo comprimido se rompe y destapa al ser expuesto al agua magnética en donde las raíces pueden crecer con facilidad y según el principio que reduce la tensión superficial esta estimular a las raíces para una mayor penetración (Rojas, 2012).

## 8. HIPÓTESIS

**H0.:** El agua magnetizada no producirá efectos en las plantas de quinua (*Chenopodium quinoa*) variedad Pata de Venado en la etapa fenológica de crecimiento.

**H1.:** El agua magnetizada si producirá efectos en las plantas de quinua (*Chenopodium quinoa*) variedad Pata de Venado en la etapa fenológica de crecimiento.

**H0.:** Con la magnetización no se producirá cambios de los parámetros químicos del agua.

**H1.:** Con la magnetización se producirá cambios de los parámetros químicos del agua.

**H0.:** Con la aplicación de agua magnetizada no habrá variaciones de los parámetros químicos del sustrato.

**H1.:** Con la aplicación de agua magnetizada no habrá variaciones de los parámetros químicos del sustrato.

**H0.:** Con la aplicación de agua magnetizada no habrá variación en el comportamiento agronómico de las plantas de quinua.

**H1.:** Con la aplicación de agua magnetizada habrá variación en el comportamiento agronómico de las plantas de quinua.

## **9. MATERIALES**

### **9.1. Material biológico**

- Semilla de quinua de variedad INIAP Pata de Venado (*Chenopodium quinoa*).

### **9.2. Materiales de Campo**

- Plástico
- Fundas para vivero
- Cinta métrica
- Calibrador pie de rey
- Cámara fotográfica
- Flexómetro
- Libro de campo

- Sustrato de la marca klasmann-deilmann
- Medidor de clorofila (CMM 200 Plus)

### **9.3. Material de escritorio**

- Libro de campo
- Material bibliográfico
- Equipo de computación
- Impresora

### **9.4. Sistema de riego**

- Sistema de micro aspersión automatizado

### **9.5. Equipo magnetizador**

- 1 imán de 1000 Gauss
- 2 imanes de 2000 Gauss cada uno

## 10. METODOLOGÍA

### 10.1. Ubicación del área experimental

#### 10.1.1. Ubicación política

- Provincia: Cotopaxi
- Cantón: Latacunga
- Parroquia: Salache

#### 10.1.2. Ubicación geográfica

- Latitud:  $0^{\circ}59'55,95''\text{S}$
- Longitud:  $78^{\circ}37'25,42''\text{O}$
- Altitud: 2733 m.s.n.m.

**Imagen 1.** Ubicación del invernadero de granos andinos



Fuente: Google earth pro



## 10.2. Diseño experimental

Para la investigación se utilizó un diseño de bloques completamente al azar, el cual permite controlar en campo ciertos factores que dan variabilidad a la investigación (Ochoa, 2009).

Los datos de los 4 tratamientos resultantes del arreglo 4 x 1 (Cuatro tratamientos de riego y un cultivo) con 5 repeticiones, se tabularon y analizaron con el programa estadístico Info Stat (versión 2019).

## 10.3. Adeva

**Tabla 5.** Análisis de varianza

| <b>Fuente de variación</b> | <b>Grados de libertad</b> |
|----------------------------|---------------------------|
| Total                      | 19                        |
| Tratamientos               | 3                         |
| Repeticiones               | 4                         |
| Error experimental         | 12                        |

Elaborado por: García, N. 2020

## 10.4. Factores en estudio

**Factor A:** Intensidad de los campos magnéticos

- 1000 Gauss
- 3000 Gauss
- 5000 Gauss

## 10.5. Formulación de tratamientos

**Tabla 6.** Descripción de los tratamientos.

| <b>Tratamientos</b> | <b>Descripción</b>   |
|---------------------|--|
| <b>T0</b>           | Agua sin someter a campos magnéticos.                                    |
| <b>T1</b>           | Agua magnetizada con 1 imán de neodimio (1000 Gauss).                    |
| <b>T2</b>           | Agua magnetizada con 1 imán de neodimio + 1 imán mineral (3000 Gauss).   |
| <b>T3</b>           | Agua magnetizada con 1 imán de neodimio + 2 imanes mineral (5000 Gauss). |

Elaborado por: García, N. 2020

La **tabla 6** muestra la descripción de los tratamientos: El tratamiento 1 es agua magnetizada con un imán de neodimio de 1000 Gauss de intensidad, por otro lado, el tratamiento 2 muestra al agua magnetizada con un imán de neodimio más un imán mineral obteniendo una intensidad de 3000 Gauss, el tratamiento 3 es agua magnetizada con un imán de neodimio, más dos imanes minerales que dan una intensidad de 5000 Gauss y para finalizar, el tratamiento 0 no contiene ninguna acción magnética.

## 10.6. Esquema

El área experimental fue delimitada de acuerdo al diseño de investigación constituido de 5 repeticiones, constituidos cada uno por cuatro tratamientos y a su vez estos tienen 20 plantas puestas en fundas para vivero por tratamiento.

Imagen 2. Distribución de las unidades experimentales



Elaborado por: García. N, 2020

- Tratamientos: 4
- Repeticiones: 5
- Total unidades experimentales por tratamiento: 20
- Tamaño de fundas: 12 x 8

## 11. Manejo específico del experimento

### 11.1. Preparación del ensayo

#### 11.1.1. Diseño del equipo magnetizador

Tabla 7. Descripción del equipo magnetizador Mineral Magnet II

|                                      |                    |  |
|--------------------------------------|--------------------|--|
| <b>Producto</b>                      | Imán de mineral    | <b>Imagen 3.</b> Imán mineral magnet II<br> |
| <b>Dimensiones</b>                   | 11.4 x 14 x 6.4 cm |  |
| <b>Peso</b>                          | 454 g              |  |
| <b>Intensidad de campo magnético</b> | 2000 Gauss         |  |

Elaborado por García. N, 2020

La **tabla 7** muestra la descripción del imán de mineral, el mismo que tiene una dimensión de 11.4 x 14 x 6.4 cm, con un peso de 454 g y una intensidad de campo magnético de 2000 Gauss.

Tabla 8. Descripción del equipo magnetizador de Neodimio

|                                      |                  |   |
|--------------------------------------|------------------|---|
| <b>Producto</b>                      | Imán de neodimio | <b>Imagen 4.</b> Imán de neodimio<br> |
| <b>Dimensiones</b>                   | 10 x 10 x 5 cm   |   |
| <b>Peso</b>                          | 354 g            |   |
| <b>Intensidad de campo magnético</b> | 1000 Gauss       |   |

Elaborado por García. N, 2020

La **tabla 8** describe al imán de neodimio, mismo que tiene las siguientes dimensiones 10 x 10 x 5 cm, con un peso de 354 g y para finalizar con una intensidad de campo magnético de 1000 Gauss.

### 11.1.2. Identificación de las propiedades físico – químicas del agua de riego (por tratamientos)

**Tabla 9.** Parámetros del agua de riego

| Parámetro                            | Tratamiento 0 | Tratamiento 1 | Tratamiento 2 | Tratamiento 3 |
|--------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| pH                                   | 7.74          | 8.45          | 8.44          | 8.50          |
| C.E. (dS/m)                          | 1.04          | 1.26          | 1.27          | 1.29          |
| Dureza (CaCO <sub>3</sub> mg/l)      | 308.8         | 23534         | 122           | 120.3         |
| RAS                                  | 2.4           | 2.34          | 2.83          | 2.70          |
| Calcio (Ca) (mg/l)                   | 44.76         | 31            | 33            | 31            |
| Magnesio (Mg) (mg/l)                 | 47.88         | 40            | 41            | 40            |
| Sodio (Na) (mg/l)                    | 96.23         | 82.4          | 72            | 68            |
| CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (mg/l) | 13.52         | 13.7          | 13.6          | 13.1          |
| Cloro (Cl)                           | 370.9         | 377.2         | 383.7         | 377.2         |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l) | 161.8         | 110.9         | 126.6         | 123.7         |
| Boro (Bo) (mg/l)                     | 0.9           | 8.6           | 8.7           | 8.2           |

Fuente: INIAP

La **tabla 9** señala el índice de dureza del agua, por lo que para el tratamiento 3 baja a 120.3 mg/l de CaCO<sub>3</sub> valorada como media, pH de 8.50 siendo muy básico, conductividad eléctrica de 1.29 en rango permisible, minerales de Ca en 31.0, Mg 40.0, Na 68.0, K 13.1, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 0, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 377.2, Cl<sup>-</sup> 57.51, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 123.7, B 8.6.

Para el tratamiento 2 la dureza baja a 122.0 mg/l de CaCO<sub>3</sub> y también se considera como media, pH de 8.44 muy básico, conductividad eléctrica de 1.27 en rango permisible, minerales de Ca en 33.0, Mg 41.0, Na 72.0, K 13.6, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 0, 0, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 383.7, Cl<sup>-</sup> 58.22, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 126.6, B 8.7.

Para el tratamiento 1 la dureza se encuentra en 235.4 mg/l de CaCO<sub>3</sub> esta es calificada como agua dura. pH de 8.45 muy básico, conductividad eléctrica de 1.26 en rango permisible, minerales de Ca en 31.0, Mg 40.0, Na 82.4, K 13.7, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 0, 0, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 377.2, Cl<sup>-</sup> 57.51, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 110.9, B 8.6.

### 11.1.3. Determinación del requerimiento hídrico de la planta

Se obtuvo un registro de las temperaturas, radiación solar y precipitación, para determinar el requerimiento hídrico de la planta, obteniendo como resultado a la evapotranspiración del cultivo. Finalmente, se utilizó el sistema de riego de micro aspersión, en el que se movieron los imanes según los tratamientos.

Las fórmulas que se emplearon fueron las siguientes:

$$Eto = 0.0135(t. media + 17.78) * Rs \text{ (Hargreaves \& Samani, 1985)}$$

$$Etc = Eto * kc \text{ (Ponce, 1989)}$$

### Terminología

- ET0: Evapotranspiración potencial
- Kc: Coeficiente de cultivo
- Er: Eficiencia de riego
- ETC: Evapotranspiración del cultivo
- Nb: Necesidad bruta
- Dist. Hilera: Distancia entre hilera
- Dist. Planta: Distancia entre planta
- N°/m<sup>2</sup>: Número de aspersores por metro cuadrado
- Q aspersor= Caudal del aspersor

## Fórmulas

$Eto = 0.0135(t. media + 17.78) * Rs$  (Hargreaves & Samani, 1985)

$Etc = Eto * kc$  (Ponce, 1989)

$Nb = Etc - Precipitación$

$N^{\circ}/100 = \text{Número de aspersores por metro cuadrado} / (\text{Distancia entre Hilera} * \text{Distancia entre planta})$

$$Tr = \frac{\frac{l}{m^2} * N^{\circ} \text{ de aspersores} * m^2}{Q \text{ aspersor} * N^{\circ} \text{ emisores}} * 60$$

### 11.1.4. Parámetros químicos del sustrato

**Tabla 10.** Parámetros del sustrato

| Parámetro | Cantidad  |
|-----------|-----------|
| pH        | 5.5 a 6.5 |
| NPK       | 1.5       |
| Fósforo   | 160 ppm   |
| Magnesio  | 100 ppm   |
| Nitrógeno | 140 ppm   |
| Potasio   | 180 ppm   |

Fuente: AgroGowShop

La **tabla 10** presenta los parámetros de pH, NPK, Fósforo, Magnesio, Nitrógeno y Potasio con sus respectivas cantidades del sustrato utilizado.

### 11.1.5. Prueba de germinación de las semillas de quinua

El resultado de la prueba de germinación dio como resultado un 80%, lo que significa ser apta para la investigación.

## **11.2. Montaje y toma de datos**

### **11.2.1. Siembra**

Para cada tratamiento, se utilizó 20 fundas, las mismas que tuvieron 5 repeticiones, teniendo un total de 300 fundas, en el proceso de la siembra cada funda contenía 4 semillas, para después descartar el exceso de semillas germinadas, dejando una planta por funda. Las fundas contenían sustrato hasta un 70% de su capacidad.

### **11.2.2. Toma de datos**

La toma de datos de las variables para determinar el comportamiento agronómico de las plantas, se realizó cada 5 días después de haber determinado el porcentaje de germinación hasta los 10 días. La determinación del contenido de clorofila se lo realizó 28 días después de la siembra.

## **11.3. Variables de Respuesta**

### **11.3.1. Variables agronómicas**

- Porcentaje de emergencia.
- Altura de planta (cm).
- Diámetro de tallo (cm).
- Longitud de la raíz (cm).
- Área foliar (cm<sup>2</sup>).
- Número de hojas.
- Contenido de clorofila (CCI).

### **11.3.2. Variables del agua y sustrato**

- pH
- Dureza del agua
- Conductividad eléctrica
- Nutrientes del sustrato



## **11.4. Descripción de variables**

### **11.4.1. Variables agronómicas**

- **Porcentaje de germinación.**

Se contabilizó el porcentaje de germinación, hasta los 10 días.

- **Altura de planta (cm)**

Se midió la altura en cm desde el cuello de la planta hasta el ápice con ayuda de un flexómetro, esta actividad se la realizó cada 5 días después de haber finalizado el porcentaje de germinación.

- **Diámetro de tallo (cm)**

Se midió en centímetros utilizando un calibrador pie de rey, realizando la medición desde el cuello de la planta en el primer entre nudo desarrollado, esta actividad se la realizó cada 5 días después de haber finalizado el porcentaje de germinación.

- **Longitud de la raíz (cm)**

Se midió la raíz en centímetros utilizando un flexómetro, realizando la medición desde el cuello de la planta hasta la cofia de la raíz, esta actividad de medición se la realizó cada 5 días mediante un muestreo destructivo después de haber finalizado el porcentaje de germinación.

- **Área foliar (cm<sup>2</sup>)**

Se tomó el área foliar usando papel milimetrado contado cada milímetro usado por las hojas de cada unidad experimental realizando la toma de datos cada 5 días después de haber finalizado el porcentaje de germinación..

- **Número de hojas**

El número de hojas son contadas en cada unidad experimental, cada 5 días después de haber finalizado el porcentaje de germinación.

- **Contenido de clorofila**

Se determinó usando un medidor de clorofila (CCM 200 Plus) a los 25 días después de la siembra.

#### **11.4.2. Variables de suelo y agua**

- **pH.**

Se realizó la toma de muestras del sustrato y agua para ser analizadas al inicio y al final del ensayo.

- **Dureza del agua**

Se realizó la toma de muestras del agua según los tratamientos para ser analizadas al inicio del ensayo.

- **Conductividad eléctrica**

Se realizó la toma de muestras del agua según los tratamientos para ser analizadas al inicio del ensayo.

- **Elementos del sustrato**

Se realizó la toma de muestras del sustrato según los tratamientos para ser analizadas al final del ensayo.

## 12. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 12.1. Requerimiento hídrico de las plantas de quinua

La **tabla 11** muestra el coeficiente de cultivo (kc) en las fases de crecimiento de la quinua calculada (Penman-Monteith) y (Garcia, Raes, & Jacobsen, 2003). Para la fase inicial el Kc es de 0.52, en la fase de maduración el Kc aumenta a 1.00 y para la fase de senescencia es 0.70.

**Tabla 11.** Índice de kc para la quinua.

| Parámetro       | Valor |
|-----------------|-------|
| Kc fase inicial | 0.52  |
| Kc maduración   | 1.00  |
| Kc Senescencia  | 0.70  |

Fuente: (Garcia, Raes, & Jacobsen, 2003)

Para determinar el Et0 se utilizó la fórmula Hargreaves

$$Et_0 = 0.0135(t_{media} + 17.78) * R_s \text{ (Hargreaves \& Samani, 1985)}$$

$$\text{Radiación global } 345.88 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} / \text{día} = 139.54 \text{mm} / \text{día}$$

$$Et_0 = 0.0135 * (\text{Temperatura} + 17.78) * \text{Radiación global} \text{ (Hargreaves \& Samani, 1985)}$$

$$Et_0 = 0.0135 * (15.1C^\circ + 17.78) * 139.54 \frac{\text{mm}}{\text{día}}$$

$$Et_0 = 61.86 \frac{\text{mm}}{\text{mes}}$$

La temperatura diaria fue tabulada en promedios durante el mes de noviembre y diciembre con una media de 15,05 °C, utilizando este resultado para abastecer las necesidades hídricas de la planta. Para el potencial de evapotranspiración se utilizó una tabla que determina la radiación solar, insertando la temperatura y precipitación en la fórmula.

## Cálculo de riego para la fase inicial del cultivo de quinua

Desde los 1 hasta los 38 días.

$K_c$  etapa inicial de la quinua = 0.52

$E_{tc} = E_{to} * k_c$  (Ponce, 1989)

$$E_{tc} = 32.16 \frac{mm}{mes}$$

$$E_{tc} = 1.07 \frac{mm}{día}$$

$E_r = 0.6$

$$N_b = \frac{E_{tc}}{E_r}$$

$$N_b = \frac{1.07224}{0.6}$$

$$N_b = \frac{1.78mm}{día}$$

$$N_b = \frac{1.78l}{día/m^2}$$

$N^{\circ}/m^2 = 1$

Dist. hilera = 0.1m

Dist. entre planta = 0.1m

$$N^{\circ} = \frac{N^{\circ}}{m^2} / (Dist. hilera * Dist. entre planta)$$

$N^{\circ} = 1/(0.1 * 0.1)$

Caudal del aspersor = 5l/min

$N^{\circ}$  de aspersor/m<sup>2</sup> = 1

$N^{\circ}$  de emisores = 1

Constante = 60

$$Tr = \frac{Nb * N^{\circ} \text{ de aspersor} / m^2}{\text{Caudal de aspersor} * N^{\circ} \text{ de emisores}} * \text{Constante}$$

$$Tr = \left( \frac{1.7870667 \frac{mm}{día} * \frac{1}{m^2}}{5 \frac{l}{min} * 1} \right) * 60$$

$$Tr = 21.44 \text{ minutos}$$

### **Cálculo de riego para la fase de maduración del cultivo de quinua**

Desde los 39 hasta los 97 días.

Kc etapa inicial de la quinua = 1

Etc = Eto \* kc (Ponce, 1989)

$$Etc = 61.86 \frac{mm}{mes}$$

$$Etc = 2.062 \frac{mm}{día}$$

$$Er = 0.6$$

$$Nb = \frac{Etc}{Er}$$

$$Nb = \frac{2.062}{0.6}$$

$$Nb = 3.43 \frac{l}{día/m^2}$$

$$N^{\circ}/m^2 = 1$$

$$\text{Dist. hilera} = 0.1m$$

$$\text{Dist. entre planta} = 0.1m$$

$$N^{\circ} = \frac{N^{\circ}}{m^2} / (\text{Dist. hilera} * \text{Dist. entre planta})$$

$$N^{\circ} = 1/(0.1 * 0.1)$$

$$\text{Caudal del aspersor} = 5l/min$$

$$N^{\circ} \text{ de aspersor}/m^2 = 1$$

$$N^{\circ} \text{ de emisores} = 1$$

$$\text{Constante} = 60$$

$$Tr = \frac{Nb * N^{\circ} \text{ de aspersor}/m^2}{\text{Caudal de aspersor} * N^{\circ} \text{ de emisores}} * \text{Constante}$$

$$Tr = \left( \frac{3.436 \frac{mm}{día} * \frac{1}{m^2}}{5 \frac{l}{min} * 1} \right) * 60$$

$$Tr = 41.24 \text{ minutos}$$

## 12.2. Análisis del comportamiento químico del agua

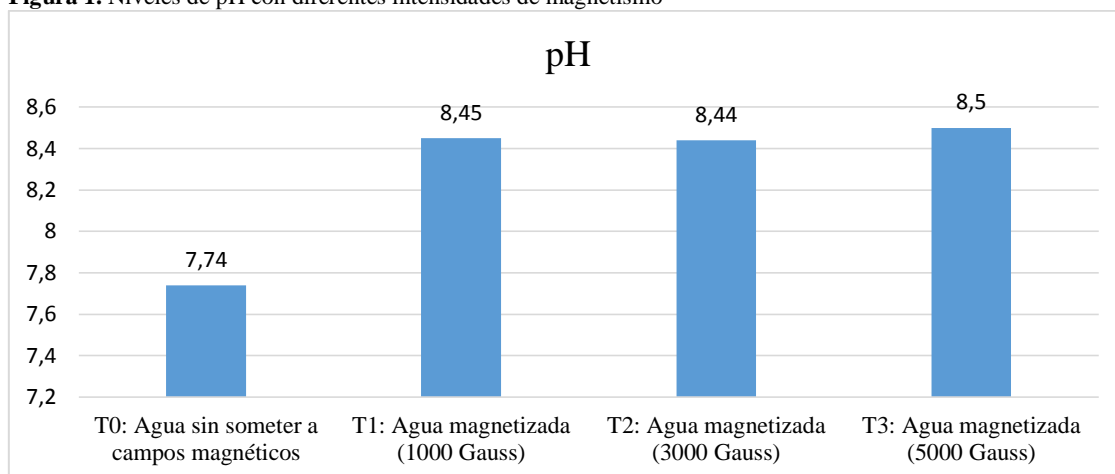
Elementos del agua antes de ser sometidos a campos magnéticos y después de ser sometidos a campos magnéticos (35 días después de la siembra).

**Cuadro 1.** Comportamiento químico del agua

| Parámetros          | T0: Agua sin someter a campos magnéticos | T1: Agua magnetizada (1000 Gauss) | T2: Agua magnetizada (3000 Gauss) | T3: Agua magnetizada (5000 Gauss) |
|---------------------|--|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| pH                  | 7.74                                     | 8.45                              | 8.44                              | 8.5                               |
| C.E. (dS/m)         | 1.04                                     | 1.26                              | 1.27                              | 1.29                              |
| Dureza (CaCo3 mg/l) | 308.8                                    | 235.4                             | 122                               | 120.3                             |
| RAS                 | 2.4                                      | 2.34                              | 2.83                              | 2.7                               |
| Ca mg/l             | 44.76                                    | 31                                | 33                                | 31                                |
| Mg mg/l             | 47.88                                    | 40                                | 41                                | 40                                |
| Na mg/l             | 96.23                                    | 82.4                              | 72                                | 68                                |
| K mg/l              | 13.52                                    | 13.7                              | 13.6                              | 13.1                              |
| Cl mg/l             | 69.5                                     | 57.51                             | 58.22                             | 56.8                              |
| S mg/l              | 161.8                                    | 110.9                             | 126.6                             | 123.7                             |
| B mg/l              | 0.9                                      | 8,6                               | 8.7                               | 8.2                               |

El criterio para evaluar el pH (**figura 1**) según Ayers & Westcot. (1985), es de 6 a 8.5. El pH del agua de riego utilizada en el tratamiento 0 es 7.74 respectivamente, esta cambia al ser inducida por campos magnéticos con valores de 8.45 para el T1, para T2 el valor varió a 8.44 y por último el tratamiento 3 marcó un pH de 8.5. Esto coincide con los resultados de Haq, y otros. (2016), donde obtuvo un incremento de 7.5 a 7.82 utilizando un imán de 2110 Gauss durante una hora; por el contrario Gonzales. (2016), en sus estudio el pH con agua magnetizada redujo 0.32 unidades en promedio, que pasó de 6.81 a 6.49 al utilizar una intensidad magnética de 5200 Gauss.

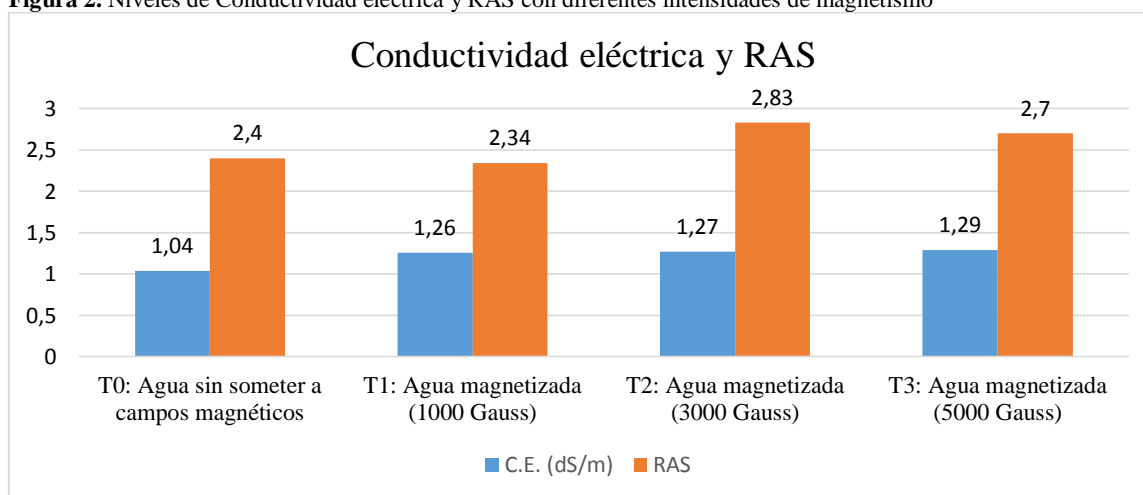
**Figura 1.** Niveles de pH con diferentes intensidades de magnetismo



Elaborado por: García. N, 2020

Autores como Ayers & Westcot. (1985), establecen rangos usuales para la conductividad eléctrica de 0 a 3 dS/m. La conductividad eléctrica de agua de riego sin someter a campos magnéticos es de 1.04 dS/m, los T1, T2 y T3 que someten a campos magnéticos suben a 1.26 dS/m, 1.27 dS/m y 1.29 dS/m respectivamente. La conductividad eléctrica del agua magnetizada (0.000653 dS/m) no es significativamente diferente al agua sin someter a campos magnéticos (0,000668 dS/m) cuando el contenido de sales minerales disueltas en el agua es baja (González, 2016). No obstante Pang, Deng y Tang. (2012), encontraron que la conductividad eléctrica del agua magnetizada es mayor que la del agua normal e incrementa a medida se aumenta el tiempo de exposición.

**Figura 2.** Niveles de Conductividad eléctrica y RAS con diferentes intensidades de magnetismo

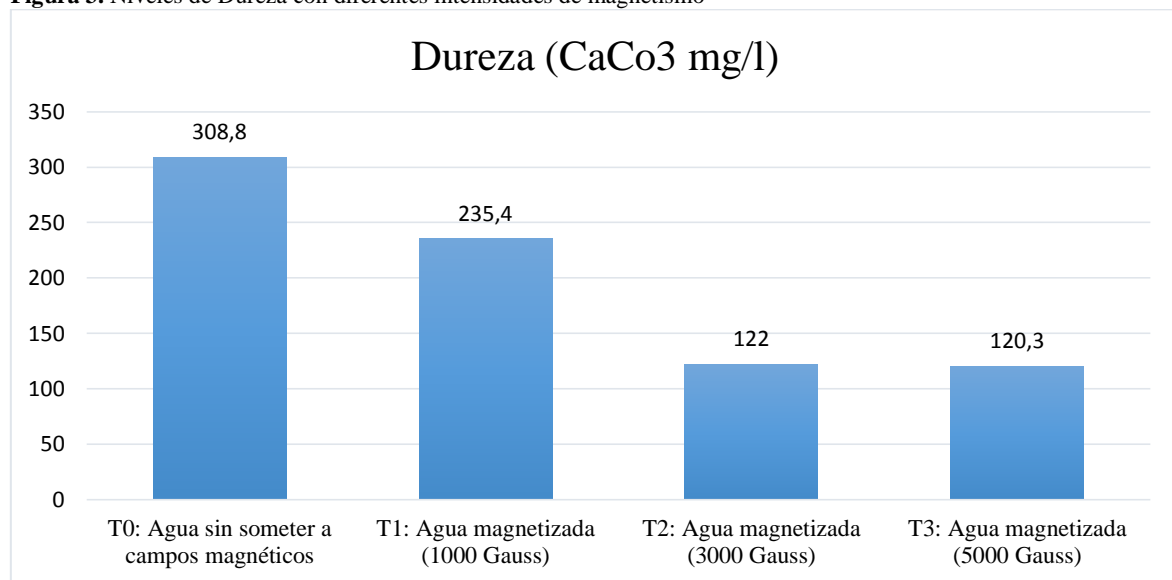


Elaborado por: García. N, 2020



EL parámetro RAS (**figura 2**) en el T2 es el promedio más alto con 2.83, sin embargo los parámetros de los niveles de la calidad del agua para riego nos indican grados de restricción para valores de 3.0 catalogados en rangos de ninguno a ligero (Ministerio del Ambiente, 2003). Lo cual el agua magnetizada tiende a aumentar el RAS mas no se llega a tener problemas con este parámetro en ninguna intensidad de campo magnético establecido en este estudio.

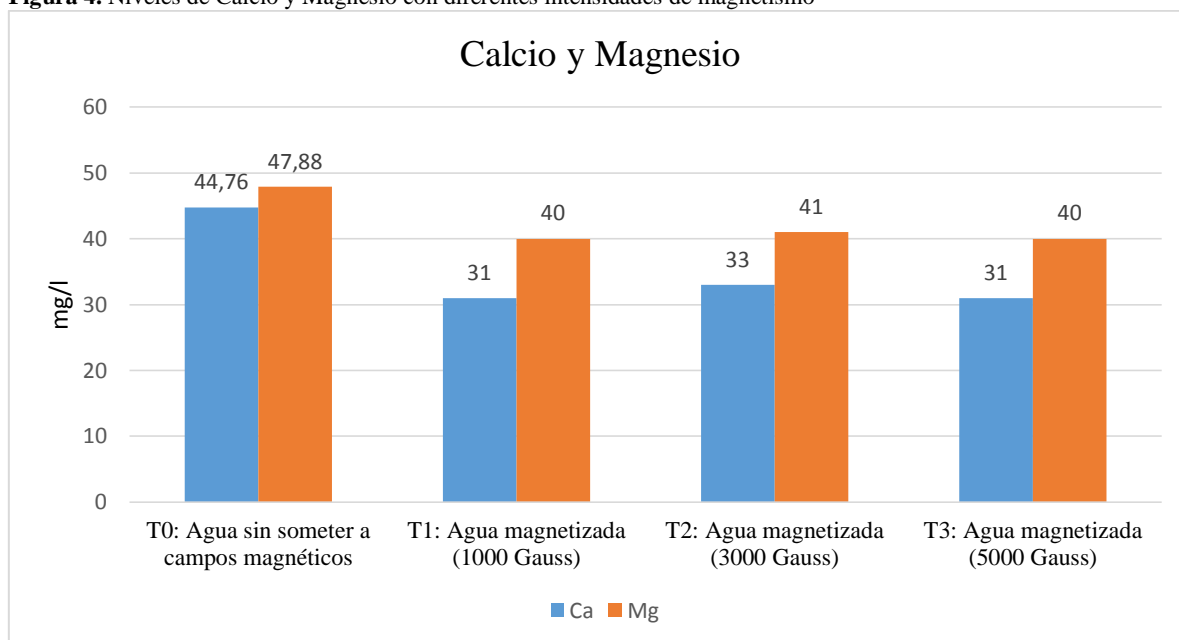
**Figura 3.** Niveles de Dureza con diferentes intensidades de magnetismo



La dureza (**figura 3**) del T0 es de 308,8 mg/l CaCO<sub>3</sub> (dura), mientras que para los T1, T2 y T3 los resultados consiguieron 235 mg/l (dura), 122 mg/l (media), 120,3 mg/l (media) de CaCO<sub>3</sub>. Estos parámetros de índice de dureza son avalados por (Ruíz, 2017). Según Viltre, y otros. (1999), sugieren utilizar agua sometida a campos magnéticos de 1200 Gauss, esta baja la dureza cálcica del 62.25% al 20.28% con una temperatura de 30°.

Se conoce como sólidos totales disueltos a sales, minerales, metales, carbonatos y otro tipo de compuestos orgánicos e inorgánicos. En la investigación de Gonzales. (2016), los sólidos totales disueltos en el agua sin magnetizar muestran un resultado de 46,32 ppm y con agua magnetizada el resultado es de 46,37 ppm, lo cual no tiene significancia. Esto coincide Kotb. (2013), al sugerir que la cantidad de sólidos totales disueltos no varía cuando se somete al agua a un campo magnético. Por el contrario Haq, y otros. (2016), encontraron resultados favorables en la calidad del agua al reducir el oxígeno disuelto, los carbonatos y sólidos totales disueltos en general.

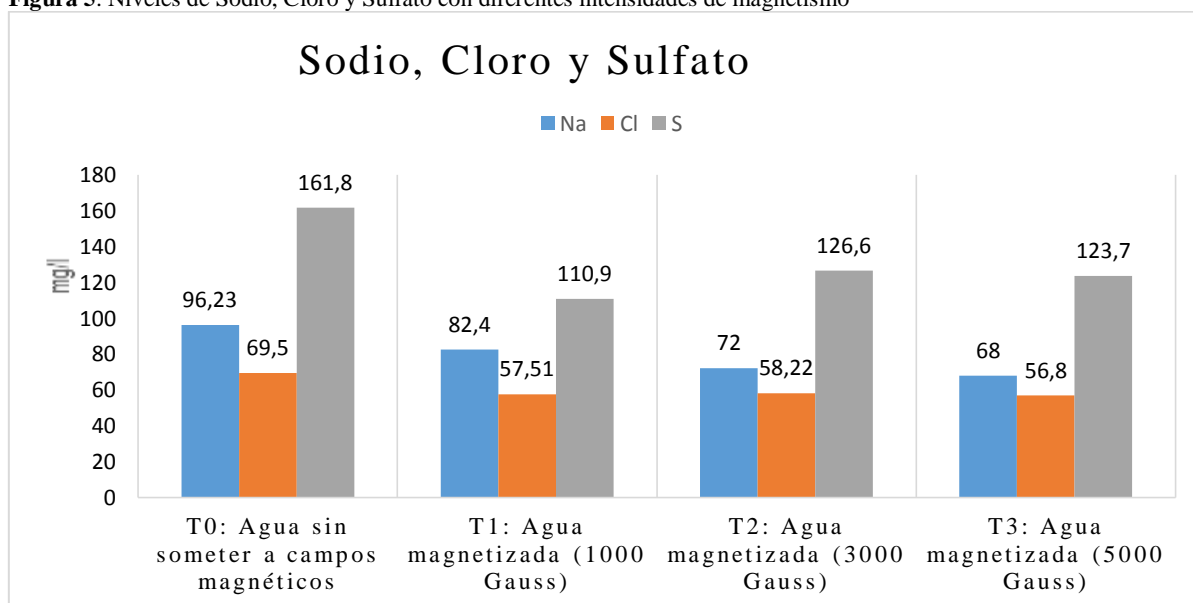
**Figura 4.** Niveles de Calcio y Magnesio con diferentes intensidades de magnetismo



Elaborado por: García. N, 2020

El calcio (**figura 4**) bajó su concentración con el uso de campos magnéticos en el agua de riego de 44.76 a 31 – 33 mg/l, así mismo el magnesio bajó de 47.88 a 40 – 41 mg/l. Concluyendo que el agua magnetizada sin relacionarse con la intensidad del campo magnético producirá un descenso en sus niveles. Sin embargo las altas concentraciones de calcio, magnesio y bicarbonatos en el agua de riego aumentan el riesgo de taponamientos y el mal funcionamiento del sistema (Feigin, Ravina, & Shalhevet, 1991).

**Figura 5.** Niveles de Sodio, Cloro y Sulfato con diferentes intensidades de magnetismo



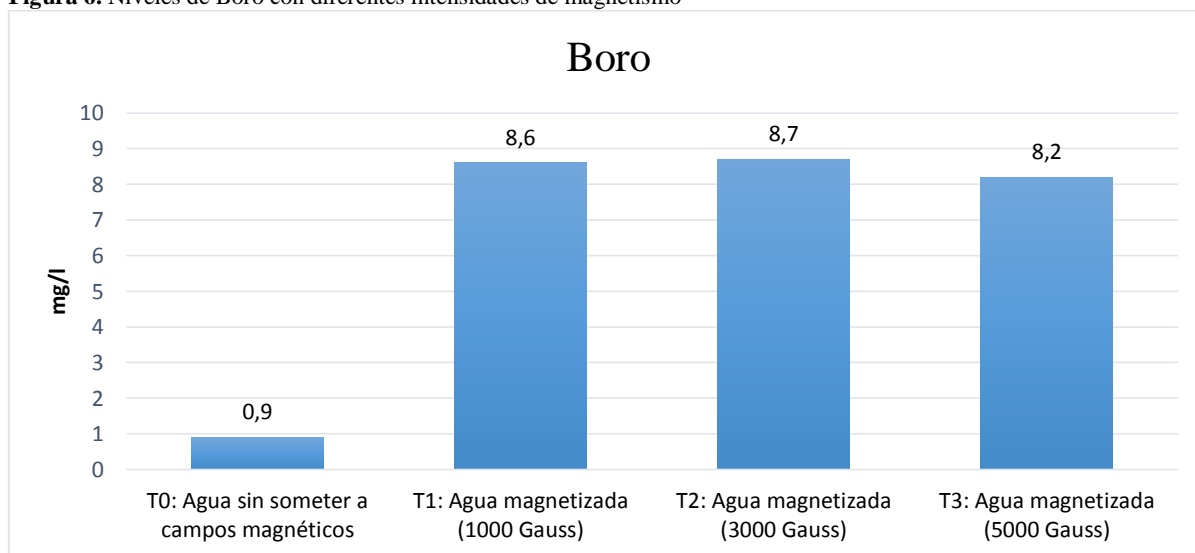
Elaborado por: García. N, 2020

Los elementos sodio cloro y azufre en la **figura 5** muestran bajar sus concentraciones cuando el agua es sometida a un campo magnético. En el caso del sulfato el T0 posee el valor más alto con 161.8 mg/l, mientras que los T1, T2 y T3 tienen 110.9 mg/l, 126.6 mg/l y 123.7 mg/l, se observa el mayor descenso para el T1. Los valores normales del sulfato para agua de riego establecen rangos de concentración de 0 a 960.6 mg/l (Sancha, Espinoza, & Mena, 2005).

El elemento sodio contenido en el T0 posee un valor de 96,23 mg/l, mientras que para los T1, T2 y T3 los valores bajan a 82.4 mg/l, 72 mg/l y 68 mg/l, observando un descenso continuo a medida que aumenta la intensidad del campo magnético en el agua

El agua magnetizada influye en el elemento cloro, el T0 posee 69.5 mg/l, sin embargo los T1, T2 y T3 bajan los valores a 57.51 mg/l, 58.22 mg/l y 56.8 mg/l. Se denota que la influencia de campos magnéticos en este elemento no varía según la intensidad. La medida de buena relación según Bojórquez. (2008), establece aproximadamente 69 ppm de sodio y 71 ppm de cloro.

**Figura 6.** Niveles de Boro con diferentes intensidades de magnetismo

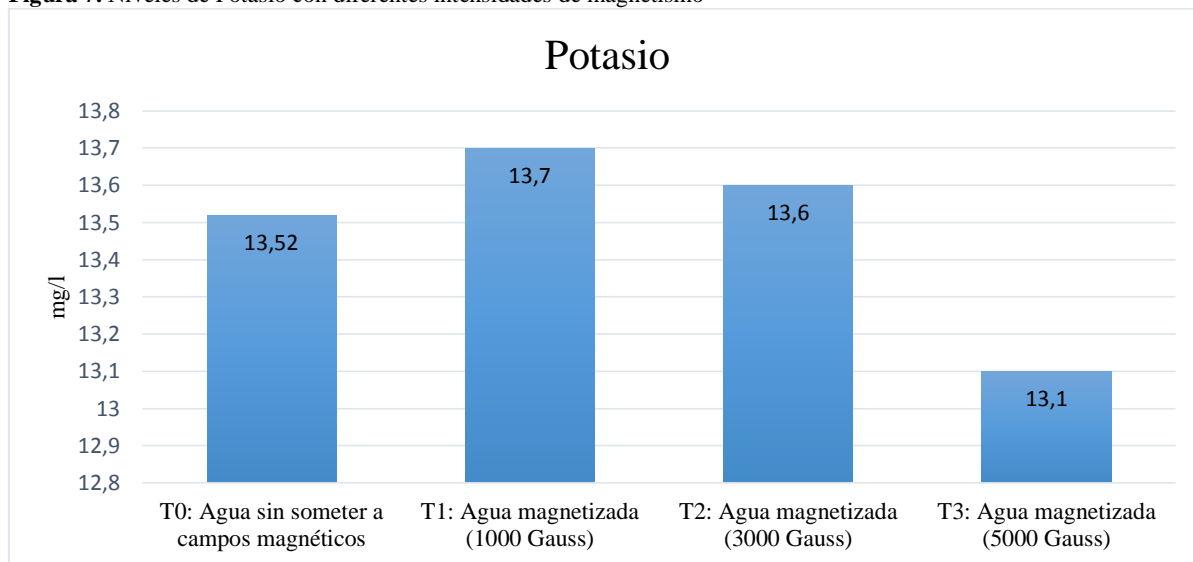


Fuente: García. N, 2020

La concentración del elemento boro (**figura 6**) en el T0 es de 0.9 mg/l, sin embargo en los T1, T2 y T3 se aumentan notablemente los valores a 8.6 mg/l, 8.7 mg/l y 8.2 mg/l. El grado de restricción evaluado como severo para agua de riego es >3 mg/l (Ministerio del Ambiente, 2003). Sin embargo Antonio. (2016), los síntomas de toxicidad van desde un amarillamiento de los bordes de las hojas y extremidades que progresa con quemaduras entre los nervios laterales hacia la nervadura central y evoluciona con un oscurecimiento y posterior necrosis,

cayendo las hojas prematuramente. No obstante en la investigación no se llegó a apreciar los síntomas por toxicidad por ser hasta la etapa fenológica de desarrollo.

**Figura 7.** Niveles de Potasio con diferentes intensidades de magnetismo



Fuente: García. N, 2020

Por último el parámetro potasio (**figura 7**) en los T0, T1 y T2 tienen valores de 13.52 mg/l, 13.7 mg/l y 13.6 mg/l, no obstante el T3 tiene 13.1 mg/l. Esto refleja una reducción de las concentraciones de potasio cuando someten campos magnéticos de 5000 Gauss al agua de riego. Según Bojórquez. (2008), los rangos deseables para agua de riego son 10 ppm de potasio.

Según la FAO. (2011), la precipitación de la quinua es de 41,66 mm/mes para los andes, en los cálculos realizados la necesidad bruta del cultivo es 102,9 mm/mes, lo que es lógico por estar en un invernadero con temperaturas altas. Sin embargo Vizcaíno. (2015), el requerimiento hídrico de las plantas de quinua es de 500 – 800 mm por ciclo de cultivo. No obstante Juvenal. (2003), determinó una precipitación óptima de 25 y 41 mm/mes en zonas andinas del Altiplano Perú-boliviano. Bajo estas condiciones se realizó el riego para el ensayo.

### **12.3. Análisis del comportamiento de los elementos del sustrato**

Los elementos del sustrato antes de ser sometida el agua a campos magnéticos (antes de la siembra) y elementos del sustrato después de ser sometida el agua a campos magnéticos (35 días después de la siembra).

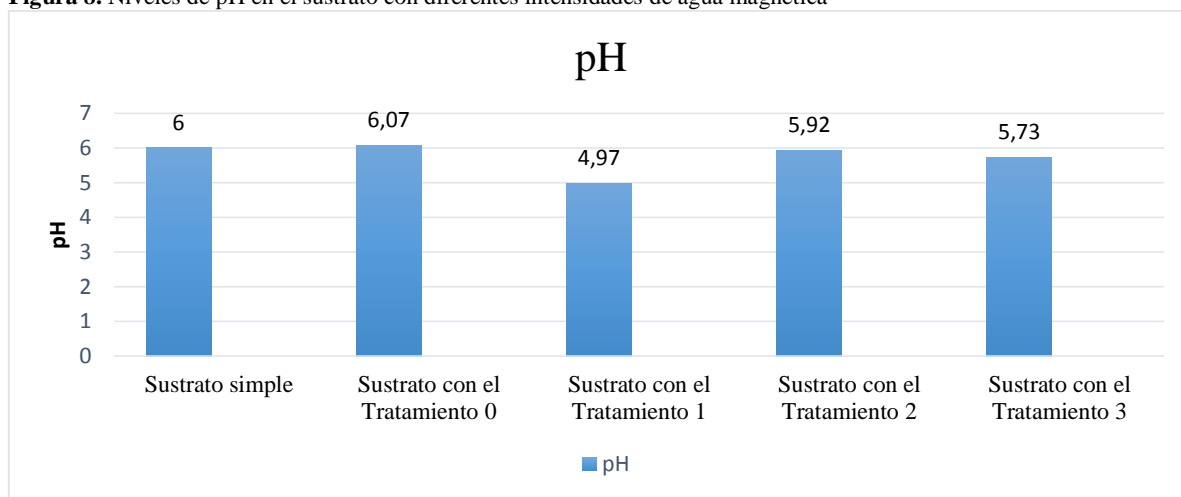
**Cuadro 2.** Elementos del sustrato antes y después de ser usado con agua magnetizada

| <b>Parámetro</b>      | <b>Sustrato simple</b> | <b>Sustrato 35 días después de la siembra con riego de ser sometidos con agua magnetizada</b> |                                      |                                      |                                      |
|-----------------------|------------------------|---|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
|                       |                        | <b>Sustrato con el Tratamiento 0</b>  | <b>Sustrato con el Tratamiento 1</b> | <b>Sustrato con el Tratamiento 2</b> | <b>Sustrato con el Tratamiento 3</b> |
| <b>pH</b>             | 5.5 – 6,5              | 6.07  | 4.97                                 | 5.92                                 | 5.73                                 |
| <b>NH<sub>4</sub></b> | 140 ppm                | 30 ppm  | 25 ppm                               | 31 ppm                               | 24 ppm                               |
| <b>P</b>              | 160 ppm                | 46 ppm  | 39 ppm                               | 35 ppm                               | 33 ppm                               |
| <b>K</b>              | 180 ppm                | 0,45<br>meq/100ml   | 0,36<br>meq/100ml                    | 0,36<br>meq/100ml                    | 0,26<br>meq/100ml                    |
| <b>Ca</b>             |                        | 23,60<br>meq/100ml  | 18,20<br>meq/100ml                   | 24,50<br>meq/100ml                   | 19,60<br>meq/100ml                   |
| <b>Mg</b>             | 100 ppm                | 2,40<br>meq/100ml   | 2,30<br>meq/100ml                    | 2,20<br>meq/100ml                    | 2,20<br>meq/100ml                    |

Elaborado por: INIAP, 2020

Como criterio básico del pH (**figura 8**) para el crecimiento y la producción de quinua en el suelo varía de 6.5 a 8.5 (Juvenal, 2003). El **cuadro 15** expresa el pH del sustrato antes de ser expuesto al riego con agua magnetizada marcando de 5.5 a 6.5 y el pH del sustrato al ser sometido al riego con agua magnetizada, mientras que el T0 obtuvo 6.07, el T1 promedia 4.97, el T2 promedia 5.92 y finalmente el T3 promedia 5.73. Del T0 al T1 se observa un claro descenso, mientras que la comparación para de los T2 y T3 el descenso es mínimo. En general el pH del suelo fue alterado por el agua magnetizada, por lo que, el sustrato ya no es apto para la producción de quinua.

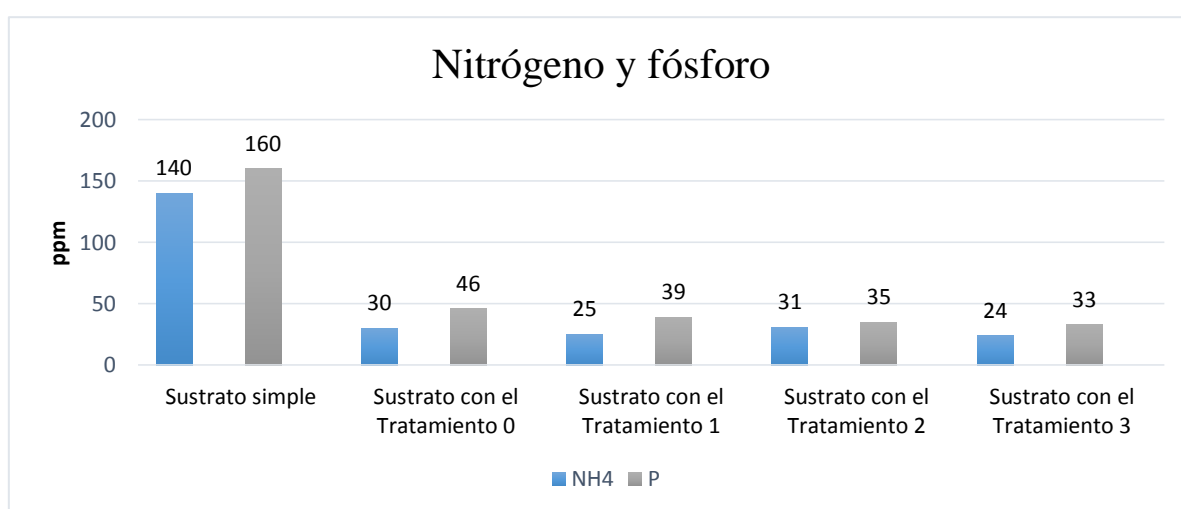
**Figura 8.** Niveles de pH en el sustrato con diferentes intensidades de agua magnética



Elaborado por: García. N, 2020

En el caso del nitrógeno (**figura 9**) se observa el consumo de este mineral de gran magnitud, sin embargo, entre el tratamiento sin agua magnetizada y los tratamientos con agua magnetizada a diferentes intensidades no se distingue una diferencia clara, solo se refleja un contraste de 7 unidades entre el T2 y T3 catalogados como medio y bajo. Por el contrario de Zúñiga, Osorio, Cuero y Peña. (2011), concretan una disminución de la tensión superficial, la solubilidad de sales aumenta y genera una movilidad de iones al usar campos magnéticos en el agua.

**Figura 9.** Niveles de Nitrógeno y Fósforo en el sustrato con diferentes intensidades de agua magnética

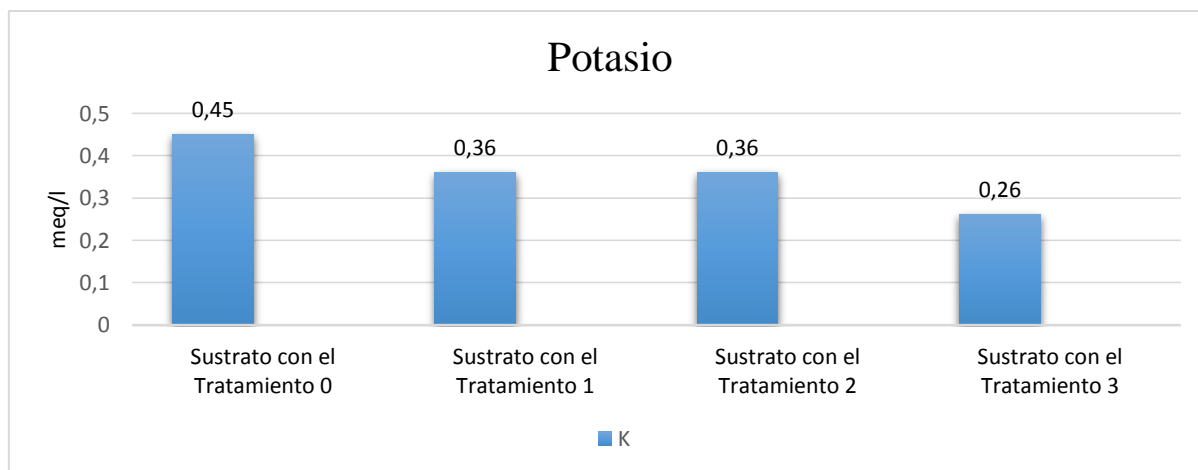


Para el fósforo (**figura 9**) los resultados del T0 (agua sin someter a campos magnéticos) marca los 46 ppm y el T1, T2 y T3 (agua sometida a campos magnéticos) marcan valores de 39 ppm,

35 ppm y 33 ppm, estos resultados son valorados con altos. Se refleja el consumo mayoritario de los tratamientos de agua magnetizada, con mayor asimilación del elemento por parte del T3, cabe mencionar que el elemento del sustrato se encuentra calificado con valores altos para todos los tratamientos. De tal forma El-Kholy, y otros. (2015), analizaron el efecto del agua magnetizada en banano con dos niveles diferentes de nitrógeno, fósforo y potasio (100 y 80% de la dosis recomendada) encontrando un incremento positivo en todos los parámetros de estudio en comparación con las plantas regadas con agua sin tratar.

El elemento potasio (**figura 10**) en el sustrato del T0 (agua sin someter a campos magnéticos) tiene un valor de 0,45 meq/100ml calificado como alto, mientras que los T1, T2 y T3 (agua sometida a campos magnéticos) marcan 0.36 meq/100ml, 0.36 meq/100ml y 0.26 meq/100ml calificados como medios, no variando los resultados del T1 y T2; no obstante el T3 es el más bajo lo que significa que la planta asimiló mayormente el elemento. Según Sadanandan & Hamza. (1996), la producción de rizomas secos de 5.5 t/ha usa 245 kg de K, siendo el nutriente de mayor absorción. No obstante Zuñiga, y otros. (2016), con el tratamiento 156 mT-30 min la planta alcanzó la mayor altura con respecto a los otros tratamientos y control, esto podría indicar un aumento en la disponibilidad del potasio por el riego con agua magnetizada. De igual forma Hilal. (2013), en su investigación determinó usar agua de riego magnetizada para incrementar significativamente las concentraciones de K en comparación al testigo, halló los mejores resultados de 15 a 30 cm debajo del suelo.

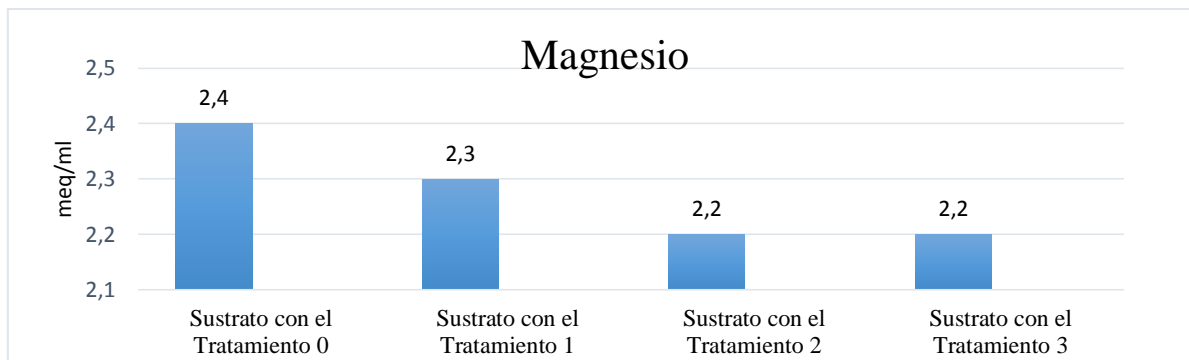
**Figura 10.** Niveles de Potasio en el sustrato con diferentes intensidades de agua magnética



Elaborado por: García. N, 2020

El contenido de calcio y magnesio (**figura 11**) en el sustrato del T0 (agua sin someter a campos magnéticos) tienen valores de 23.60 meq/100ml y 2.40 meq/100ml, ambos calificados como altos, mientras que los T1, T2 y T3 (agua sometida a diferentes intensidades de campos magnéticos) promedian 18.20 y 2.30 meq/100ml, 24.50 meq/100ml y 2.20 meq/ml, 19.60 meq/100ml y 2.20 meq/100ml.

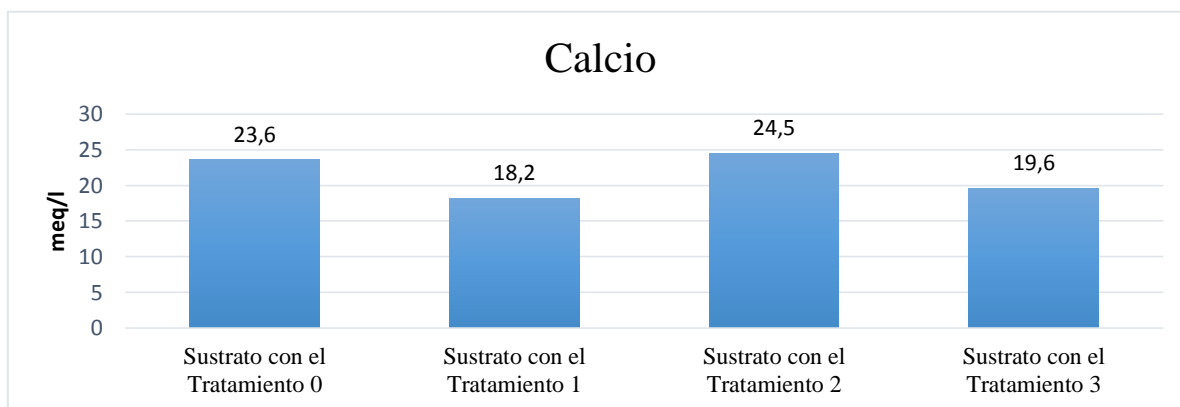
**Figura 11.** Niveles de Magnesio en el sustrato con diferentes intensidades de agua magnética



Elaborado por: García. N, 2020

Las diferencias del contenido de calcio (**figura 12**) entre el tratamiento más alto y bajo son de 6 unidades, los contenidos del mineral en los sustratos en base a los diferentes tratamientos no muestran una relación con la intensidad del campo magnético, además se los considera como alto para todos. En cambio las diferencias del contenido de magnesio entre el tratamiento más alto y bajo son de 0,20 unidades, los contenidos del mineral en los sustratos en base a los diferentes tratamientos no muestran un cambio notorio ya que siguen siendo catalogados como altos. Los campos geomagnéticos regulan la movilidad de la membrana, por lo tanto hay una mejor absorción de calcio y magnesio (Goodman, Chizmadzhev, & Shirley-Henderson, 1993).

**Figura 12.** Niveles de Calcio en el sustrato con diferentes intensidades de agua magnética



Fuente: García. N, 2020



Martinez, y otros. (2007), en su investigación al aplicar campos magnéticos (2190 Gauss) al suelo señaló La variación de la densidad de la corriente inducida en relación con la conductividad eléctrica presentó un alto coeficiente de correlación de 0.983 y un comportamiento prácticamente lineal, lo que demuestra lo acertado de emplear la excitación magnética como medio para estimar la conductividad eléctrica aparente del suelo. Teniendo en cuenta una estrecha relación de la conductividad eléctrica con la fertilidad de los suelos, tales como la textura del suelo, la capacidad de intercambio de cationes, la concentración de calcio y magnesio; y otros.

## 12.4. Efecto del agua magnetizada sobre las variables agronómicas

### 12.4.1. Porcentaje de germinación

El análisis de varianza (**Cuadro 3**) para el porcentaje de germinación a los 4 días, presentó diferencias significativas entre tratamientos y con un coeficiente de variación del 19.15%, lo cual es un valor dentro del rango de confiabilidad. A los 5 y 6 días después de la siembra presentó diferencias altamente entre tratamientos y mostraron coeficientes de variación del 17.39% y 12.57% lo cual son valores dentro del rango de confiabilidad. Por último a los 7 y 10 días después de la siembra no presentaron diferencias significativas entre tratamientos con un coeficiente de variación del 7.47% y 2.56%, valores dentro del rango de confiabilidad.

**Cuadro 3.** Análisis de la Varianza para el porcentaje de germinación

| Análisis de la Varianza para el porcentaje de variación |    | 4 días   | 5 días    | 6 días   | 7 días    | 10 días   |
|---|----|----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| F.V.  | GL | CM       | CM        | CM       | CM        | CM        |
| Tratamientos  | 3  | 515.28 * | 1003.30 * | 345.54 * | 50.52 N.S | 11.97 N.S |
| Error   | 12 | 48.81    | 87,17     | 73.79    | 37.54     | 6.36      |
| Total   | 19 |          |           |          |           |           |
|   |    | CV=19.15 | CV=17.39  | CV=12.57 | CV=7.47   | CV=2.56   |

NS= No significativo

(\*\*) Altamente significativo

La prueba Tukey al 5% para el porcentaje de germinación presentado en el **Cuadro 4**, a los 4 días demuestra un rango, para los T0 y T1 con promedios de 25.34% y 26.66%; no obstante hay otro rango significativo para el T2 y T3, con promedios de 41.33 y 45.33%. Para los 5 días

después de la siembra se observan tres rangos, el primero para el T1 y T0, con un promedio de 41.34% y 42.66%; un segundo rango intermedio para el T0 y T2 con promedios de 42,66% y 60,00% y un tercer rango para el T3 que es significativo con una media de 70,66%. A los 6 días después de la siembra hay dos rangos diferenciados, el primero para el T1, T0 y T2 con promedios de 60.02%, 62.66% y 73.36%; y el segundo rango para el T2 y T3 con medias de 62.66%, 73.36% y 77.36%, cabe mencionar que los T0 y T2 se encuentran en las dos rangos. Para los 7 días después de la siembra se observa un rango para los T1, T0, T2 y T3 con promedios de 78.66%, 80.00%, 84.00% y 85.34%. Por último a los 10 días después de la siembra se observa un rango para los T0, T2, T3 y T1 con promedios de 97.32%, 97.32%, 100% y 100% de germinación.

**Cuadro 4.** Prueba Tukey al 5% para el porcentaje de germinación

| 4 días       |        |       | 5 días |       |        | 6 días |        |       | 7 días |       | 10 días |  |
|--------------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|---------|--|
| Tratamientos | Medias | Tukey | Medias | Tukey | Medias | Tukey  | Medias | Tukey | Medias | Tukey |         |  |
|              | (%)    |       | (%)    |       | (%)    |        | (%)    |       | (%)    |       |         |  |
| T0           | 25.34  | A     | 42.66  | A B   | 62.66  | A B    | 80.00  | A     | 97.32  | A     |         |  |
| T1           | 26.66  | A     | 41.34  | A     | 60.02  | A      | 78.66  | A     | 100    | A     |         |  |
| T2           | 41.33  | B     | 60.00  | B     | 73.36  | A B    | 84.00  | A     | 97.32  | A     |         |  |
| T3           | 45.33  | B     | 70.66  | C     | 77.32  | B      | 85.34  | A     | 100    | A     |         |  |
| Total Prom   | 34.66  |       | 53.66  |       | 68.34  |        | 82     |       | 98.66  |       |         |  |

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )*

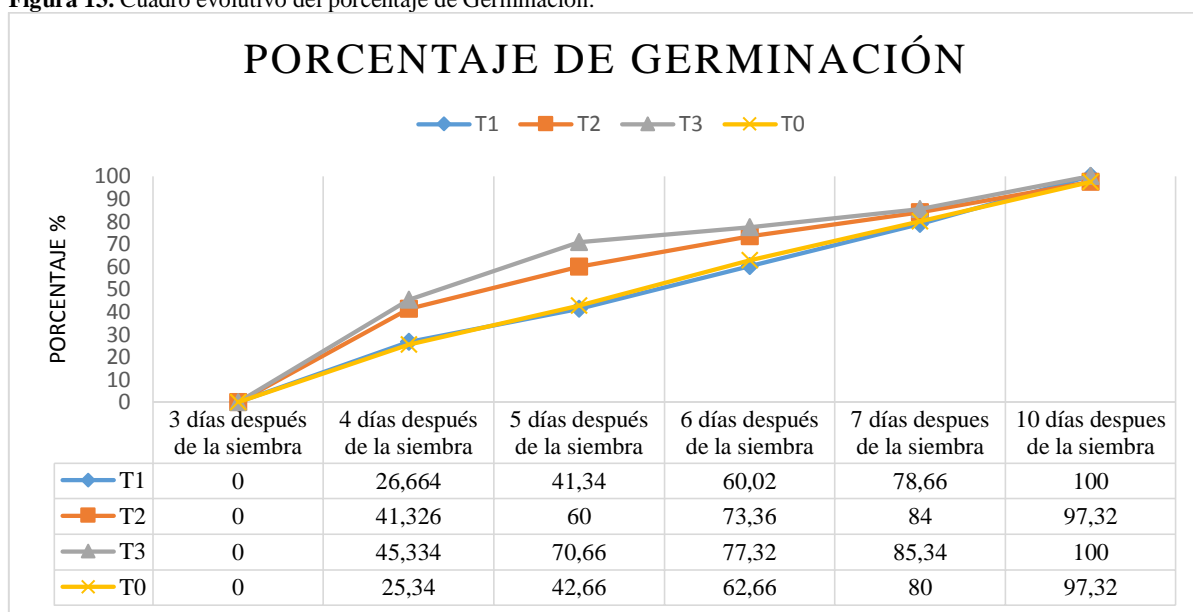
En la **figura 1**, se muestra el porcentaje de germinación de las semillas de quinua, aquí se denota a los 4 días después de la siembra los promedios de los tratamientos 0, 1, 2 y 3 son 25.34%, 26.66%, 41.32% y 45.33% respectivamente, mostrando una significancia para el tratamiento 2 y 3. Después a los 5 días después de la siembra las semillas presentaron una germinación del 41.34%, 42.66% 60% y 70.66% según los tratamientos 1, 0, 2 y 3.

En el sexto y séptimo día después de la siembra el porcentaje de germinación tiende a igualarse, teniendo como resultado en el sexto día una diferencia del 17%, entre el tratamiento 3 que marca un 77% y el tratamiento 1 que tiene 60% de emergencia. Sin embargo en el día 7 refleja una diferencia del 8% entre el tratamiento con mayor y menor emergencia, el tratamiento 1

registra un 80% y el tratamiento 3 registra un 85%, es decir que la diferencia va disminuyendo. Para el décimo día después de la siembra ya se ha cumplido el porcentaje de germinación de todos los tratamientos, la **figura 13** muestra que el tratamiento 1 y 3 tienen el 100%, mientras que el tratamiento 2 y 0 obtuvieron un resultado del 97.32%.

En general los resultados muestran un alto porcentaje de germinación para todos los tratamientos, no obstante, es evidente que el uso del agua sometida a campos magnéticos de 5000 Gauss genera una germinación precoz por lo que empieza el desarrollo, mientras que los tratamientos 1, con intensidad magnética de 1000 Gauss; y tratamiento 0, sin someter a campos magnéticos, evidenciaron una demora en el porcentaje de germinación.

**Figura 13.** Cuadro evolutivo del porcentaje de Germinación.



Elaborado por: García. N, 2019

Dichos resultados son avalados por Domínguez, Pacheco, y otros. (2010), al determinar que usar campos magnéticos desde la germinación, actúa con un aumento en el porcentaje de germinación (Krawie, y otros, 2013). Se determina que el porcentaje de germinación toma menos tiempo si se someten a un riego magnético de 5000 Gauss. Por el contrario Matos y Blanco. (2012), obtuvieron resultados favorables al utilizar una intensidad de campo magnético de 2540 Gauss.

La influencia de campos magnéticos en las plantas, sensible a él, aumenta su energía. Más tarde, esta energía se distribuye entre los átomos y provoca un metabolismo acelerado y, en consecuencia, una mejor germinación (Turker, Temirci, Battal, & Erez, 2006).

#### 12.4.2. Altura de planta

El análisis de varianza (**Cuadro 5**) para la altura de la planta a los 10 días presentó diferencias altamente significativas entre tratamientos y con un coeficiente de variación del 20.30%, lo cual es un valor fuera del rango de confiabilidad. A los 15, 20 y 25 días después de la siembra presentó diferencias altamente significativas entre tratamientos y mostraron coeficiente de variación del 10.69%, 8.61% y 6.35% lo cual son valores dentro del rango de confiabilidad. Por último en el día 30 después de la siembra presentó diferencias significativas entre tratamientos con un coeficiente de variación del 7.42%, valor dentro del rango de confiabilidad.

**Cuadro 5.** Análisis de la Varianza para la altura de planta

| Análisis de la Varianza para altura de planta |    | 10 días  | 15 días  | 20 días  | 25 días  | 30 días |
|---|----|----------|----------|----------|----------|---------|
| F.V.  | GL | CM       | CM       | CM       | CM       | CM      |
| Tratamientos                                  | 3  | 3.99 **  | 4.57 **  | 15,62 ** | 28.31 ** | 0.54 *  |
| Error   | 12 | 0.18     | 0.18     | 0,39     | 0.43     | 0.06    |
| Total   | 19 |          |          |          |          |         |
|   |    | CV=20.30 | CV=10.69 | CV=8.61  | CV=6.35  | CV=7.42 |

NS= No significativo

(\*\*) Altamente significativo

La prueba Tukey al 5% de altura de planta presentado en el **Cuadro 6**, demuestra un rango, para los T1 y T4 con promedios de 1.35 y 1.38 cm, no obstante hay otro rango significativo para el T2 y T3, con promedios de 2.46 y 3.19 cm de altura de planta. Para los 15 días después de la siembra se observan tres rangos, un primer rango para el T4 y T1, con un promedio de 3.17 y 3.2 cm; un segundo rango intermedio para el T3 con un promedio de 4.29 cm y un tercer rango para el T2 altamente significativo con una media de 5.15 cm. A los 20 días después de la siembra hay dos rangos diferenciados, la primera para el T4 y 1 con promedios de 5.54 cm y 6.03 cm y el segundo rango para el T2 y T3 con medias de 8.28 cm y 9.22 cm. Para los 25 días después de la siembra se observan tres rangos, un primer rango para T4 y T1, con un promedio de 8.14 cm y 8.42 cm; un segundo rango intermedio para T2 con un promedio de 11.64 cm de altura y una tercer rango para T3 altamente significativo con una media de 13.02 cm.

Finalmente a los 30 días se observa un rango para los T0 y T1 con un promedio de 11.02 cm y 11.77 cm y un segundo rango para T2 y T3 con medias de 16.07 cm y 17.28 cm de altura.

**Cuadro 6.** Prueba Tukey al 5% de altura de planta (cm)

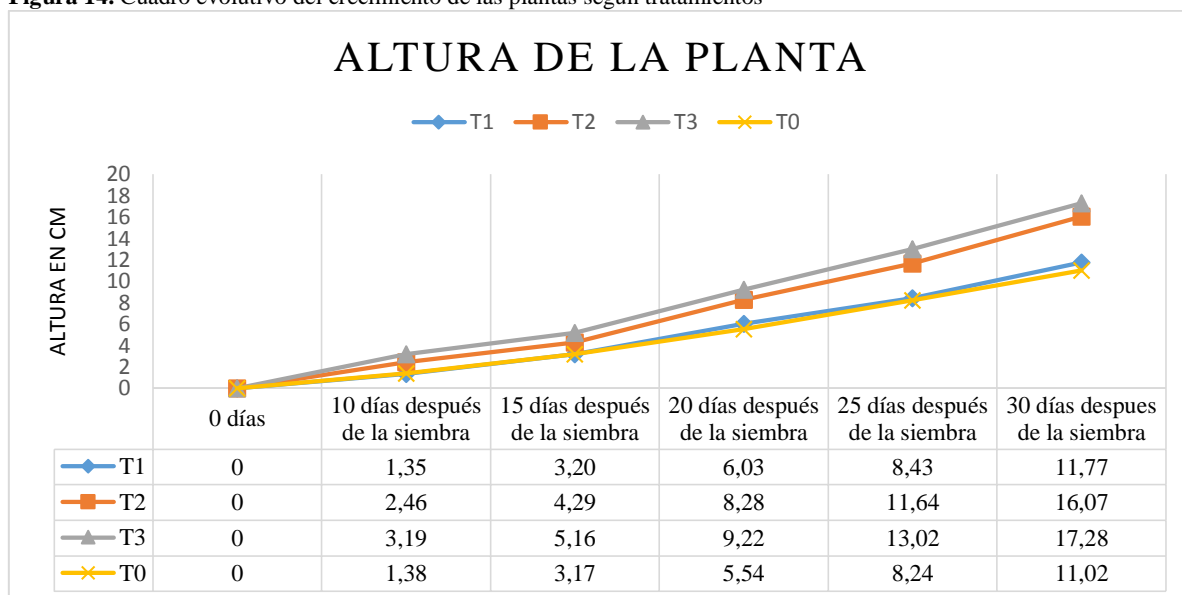
| 10 días           |           | 15 días |        | 20 días |        | 25 días |        | 30 días |        |       |
|-------------------|-----------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|-------|
| Tratamientos      | Altura    | Tukey   | Altura | Tukey   | Altura | Tukey   | Altura | Tukey   | Medias | Tukey |
|                   | <b>T0</b> | 1.38    | A      | 3.17    | A      | 5.54    | A      | 8.14    | A      | 11.02 |
| <b>T1</b>         | 1.35      | A       | 3.2    | A       | 6.03   | A       | 8.42   | A       | 11.77  | A     |
| <b>T2</b>         | 2.46      | B       | 5.15   | C       | 8.28   | B       | 11.64  | B       | 16.07  | B     |
| <b>T3</b>         | 3.19      | B       | 4.29   | B       | 9.22   | B       | 13.02  | C       | 17.28  | B     |
| <b>Total prom</b> | 2.09      |         | 3.95   |         | 7.26   |         | 10.30  |         | 14.03  |       |

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )*

La diferencia de alturas que muestran los tratamientos en los 25 días después de la siembra (**Figura 14**) en esta investigación, se atribuyen a la diferencia de tratamientos, podemos afirmar que al usar el agua magnetizada para el riego esta influye directamente al crecimiento de la planta.

La **figura 14** muestra una clara evolución del crecimiento entre tratamientos según tratamientos, dejando juzgar que el T3 manifestó ser el de mayor crecimiento hasta los 30 días después de la siembra con una altura de 17.28 cm, mientras que el T4 data un desarrollo lento y quedándose con una altura de 11.02 cm.

**Figura 14.** Cuadro evolutivo del crecimiento de las plantas según tratamientos



Fuente: García. N, 2020

El agua magnetizada penetra el suelo, aumenta la retención de humedad, tiene una alta solubilidad de los nutrientes en el suelo. Afirmación que recalca Calvache. (2000), cuando la humedad en el suelo es deficiente la planta empieza a transpirar rápidamente, la absorción de agua por las raíces es lenta, lo que retrasa el desarrollo de los tallos y crecimiento de otros órganos. Por el contrario en el estudio de Zúñiga, y otros. (2016), el tratamiento de agua magnetizada con una intensidad de 1560 Gauss – 30 mins mostró mejores resultados en todas las mediciones de altura de planta en comparación a tratamientos de 1560 Gauss – 15 mins y 1560 Gauss – 10 mins. Lo mismo adiciona Alvarado & Blanco. (2012), con solamente 1200 Gauss en el agua, la plantas de romero y llantén tuvieron mejor desarrollo morfológico en sus alturas. No obstante Marei, Rdaydeh, Karajeh, & Abu-Khalaf . (2014), no encontraron efectos significativos claros sobre la altura de planta, número de frutos, tamaño de frutos, número y grosor de las paredes de chile (*Capsicum annuum*).

### 12.4.3. Diámetro de tallo

El análisis de varianza (**Cuadro 7**) para el diámetro de tallo a los 10 días presentó diferencias no significativas y un coeficiente de variación del 3.30%, lo cual es un valor dentro del rango de confiabilidad. A los 15 y 20 días después de la siembra se presentaron diferencias altamente significativas entre tratamientos y mostraron un coeficiente de variación del 6.22% y 8.6%, lo cual son valores dentro del rango de confiabilidad. En el día 25 después de la siembra se encuentra diferencias significantes entre tratamientos y un coeficiente de variación del 10.42%. Por último el día 30 después de la siembra no se presentó diferencias significativas entre tratamientos con un coeficiente de variación del 9.83%, valor dentro del rango de confiabilidad.

**Cuadro 7.** Análisis de Varianza para el diámetro de tallo

| Análisis de la Varianza para diámetro de tallo |    | 10 días    | 15 días | 20 días | 25 días  | 30 días     |
|--|----|------------|---------|---------|----------|-------------|
| F.V.   | GL | CM         | CM      | CM      | CM       | CM          |
| Tratamientos                                   | 3  | 0.00035 NS | 0.14 ** | 0.68 ** | 0.39 *   | 0.00035 N.S |
| Error  | 12 | 0.0011     | 0.0049  | 0.02    | 0.04     | 0.0011      |
| Total  | 19 |            |         |         |          |             |
|  |    | CV=3.30    | CV=6.22 | CV=8.6  | CV=10.42 | CV=9.83     |

NS= No significativo

(\*\*) Altamente significativo

La prueba Tukey al 5% para el diámetro de tallo presentado en el **Cuadro 6**, demuestra un solo rango para los T1, T2, T3 y T0 con promedios de 0.99 cm, 0.99 cm, 1 cm y 0.97 cm. Para los 15 días después de la siembra se observan dos rangos, un primer rango para el T0 y T1, con un promedio de 0,97 cm y 1 cm y un segundo rango para el T3 y T2 con un promedios de 1.27 cm y 1.9 cm. A los 20 días después de la siembra hay dos rangos, el primero para el T1 y T0 con promedios de 1.37 cm y 1.43 cm y el segundo rango para el T2 y T3 con promedios de 1.99 cm y 2.08 cm. Sin embargo a los 25 días después de la siembra se observan tres rangos, el primer rango para el T1 y T0, con un promedio de 1.7 cm y 1.84 cm, un segundo rango intermedio para el T0 y T2 con un promedio de 1.84 cm y 2.17 cm y un tercer rango para los T2 y T3 siendo altamente significativos con un promedio de 2.17 cm y 2.08 cm. Finalmente en el día 30 después de la siembra la prueba Tukey al 5% demuestra 2 rangos, el primero para los T0 y T1 con promedios de 2.09 cm y 2.21 cm y el segundo para los T2 y T3 con promedios de 2.61 cm y 2.79 cm de diámetro de tallo.

**Cuadro 8.** Prueba Tukey al 5% para el diámetro de tallo (cm)

| 10 días      |        | 15 días |        | 20 días |        | 25 días |        | 30 días |        |       |   |
|--------------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|-------|---|
| Tratamientos | Medias | Tukey   | Medias | Tukey   | Medias | Tukey   | Medias | Tukey   | Medias | Tukey |   |
|              | T0     | 0.97    | A      | 0.97    | A      | 1.43    | A      | 1.84    | A B    | 2.09  | A |
|              | T1     | 0.99    | A      | 1       | A      | 1.37    | A      | 1.7     | A      | 2.21  | A |
|              | T2     | 0.99    | A      | 1.29    | B      | 1.99    | B      | 2.17    | B C    | 2.61  | B |
|              | T3     | 1       | A      | 1.27    | B      | 2.08    | B      | 2.3     | C      | 2.79  | B |
| Total prom   | 0.98   |         | 1.13   |         | 1.71   |         | 2      |         | 9.7    |       |   |

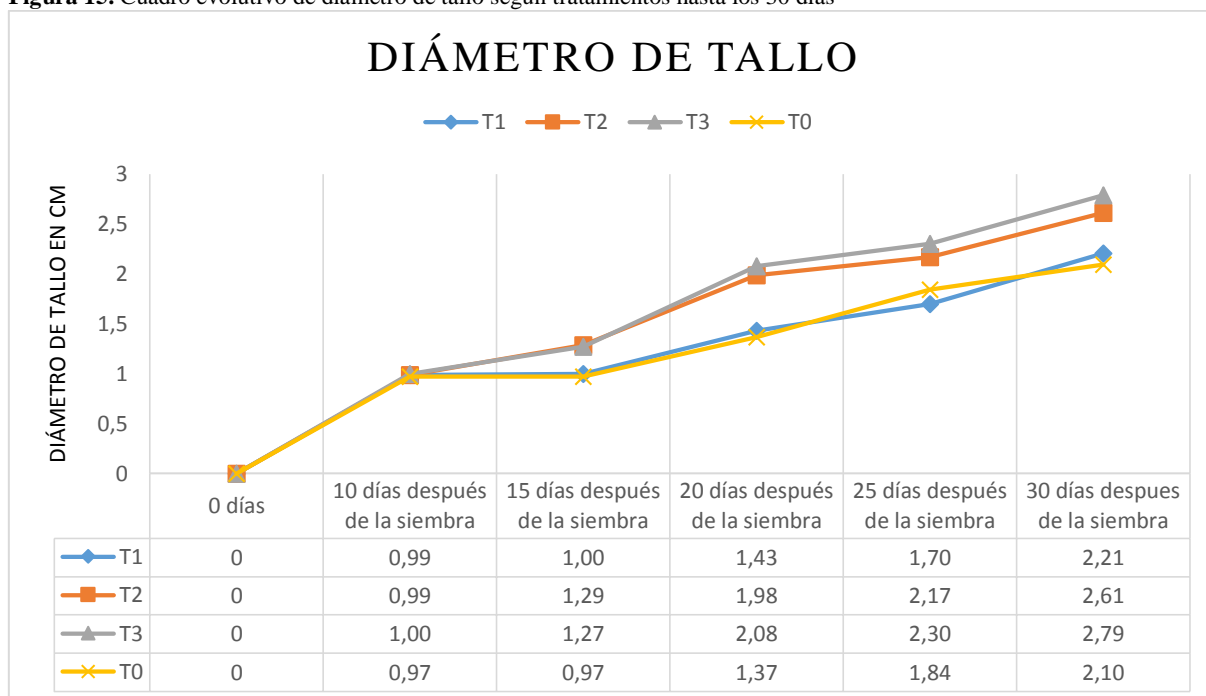
*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )*

Nuevamente se expresa la diferencia entre tratamientos con agua magnetizada a diferentes intensidades, el tratamiento de agua magnetizada con 5000 Gauss desarrolla el diámetro de tallo en comparación de los otros tratamientos con menor intensidad magnética en el agua.

La **figura 15** interpreta los datos obtenidos de diámetro de tallo hasta el día 30 después de la siembra. La diferencia entre tratamientos no se hace evidente hasta el día 15 en donde los T1 y T0 tienen resultados bajos con 1 cm y 0.97 cm, en comparación al T2 y T3 que tienen valores de 1.29 y 1.27 cm. Sin embargo para el día 20 después de la siembra los T2 y T3 obtienen mayores promedios con 1.98 cm y 2.08 cm, mientras que los T0 y T1 promedian 1.37 cm y 1.43 cm. Como siguiente el día 25 después de la siembra los T2 y T3 promedian valores de 2.17 cm y 2.30 cm, mientras que los T0 y T1 promedian 1.84 cm y 1.70 cm respectivamente. Finalmente para el día 30 después de la siembra continúan los resultados bajos de los T1 y T0 con promedios de 2.21 cm y 2.10 cm, mientras que los T2 y T3 promedian valores de 2.61 cm y 2.79 cm. La diferencia entre el tratamiento más desarrollado y el menor oscila en los 0.69 cm, determinando que la diferencia no es significativa como resultado del último día.



**Figura 15.** Cuadro evolutivo de diámetro de tallo según tratamientos hasta los 30 días



Fuente: García. N, 2020

La aplicación de campos magnéticos al agua de riego supone mejoras en las características de altura, diámetro de tallo, brotes, entre otras (Maheshwari & Grewal, 2009); lo cual refleja en los resultados obtenidos comparando los tratamiento de agua magnetizada al tratamiento de agua sin someter a un tratamiento magnético. Sin embargo Mujica, Izquierdo, Marathee & Jacobsen. (2001), establecen la variabilidad del diámetro de tallo con los genotipos, distanciamiento de siembra, fertilización, condiciones de cultivo, variando de 1 a 8 cm de diámetro.

#### 12.4.4. Número de hojas

El análisis de varianza (**Cuadro 9**) para el número de hojas a los 10 días presentó diferencias altamente significantes y con un coeficiente de variación del 28.94%, lo cual es un valor fuera del rango de confiabilidad. A los 15 días presentó diferencias altamente significativas entre tratamientos y el coeficiente de variación es de 13.44%, lo cual es un valor dentro del rango de confiabilidad. A los 20 días presentó diferencias altamente significativas entre tratamientos y el coeficiente de variación es de 7.49%, lo cual es un valor dentro del rango de confiabilidad. En el día 25 después de la siembra presentó diferencias significativas entre tratamientos, el coeficiente de variación es de 9.16%, lo cual es un valor dentro del rango de confiabilidad.

Finalmente el día 30 después de la siembra presentó diferencias altamente significativas entre tratamientos, el coeficiente de variación es de 4.90%, lo cual es un valor dentro del rango de confiabilidad.

**Cuadro 9.** Análisis de la Varianza para número de hojas

| Análisis de la Varianza para número de hojas |    | 10 días  | 15 días  | 20 días | 25 días | 30 días |
|--|----|----------|----------|---------|---------|---------|
| <b>F.V.</b>                                  | GL | CM       | CM       | CM      | CM      | CM      |
| <b>Tratamientos</b>                          | 3  | 2.34 **  | 2.42 *   | 5.08 ** | 0.39 *  | 8.24 ** |
| <b>Error</b>                                 | 23 | 0.14     | 0.18     | 1.25    | 0.04    | 0.32    |
| <b>Total</b>                                 | 19 |          |          |         |         |         |
|  |    | CV=28.94 | CV=13.44 | CV=7.49 | CV=9.16 | CV=4.90 |

NS= No significativo

(\*\*) Altamente significativo

La prueba Tukey al 5% para el número de hojas presentado en el **Cuadro 10** a los 10 días después de la siembra, demuestra dos rangos para los T1 y T0 con similitud en sus promedios (0.56 y 0.88); no obstante hay otro rango para los T2 y T3 con promedios de 1.58 y 2.08 de número de hojas. Para el día 15 demuestra dos rangos para los T1 y T0 con similitud en sus promedios (2.47 y 2.71); sin embargo hay otro rango para T2 y T3, no diferenciados entre ellos, con promedios de 3.51 y 3.97. En el día 20 la prueba Tukey al 5% demuestra tres rangos bien diferenciados, un primer rango para los T1 y T0, con un promedio de 4.8 y 4.98, un segundo rango intermedio para el T2 con un promedio de 6.12 y un tercer rango para el T3 con una media de 6.94. Por último 30 días después demuestra dos rangos, una para los T1 y T0 con similitud en sus promedios (10.15 y 10.84), y el segundo rango significativo para los T2 y T3, no diferenciados entre ellos, con promedios de 12.25 y 12.96 de número de hojas.

**Cuadro 10.** Prueba Tukey al 5% de número de hojas

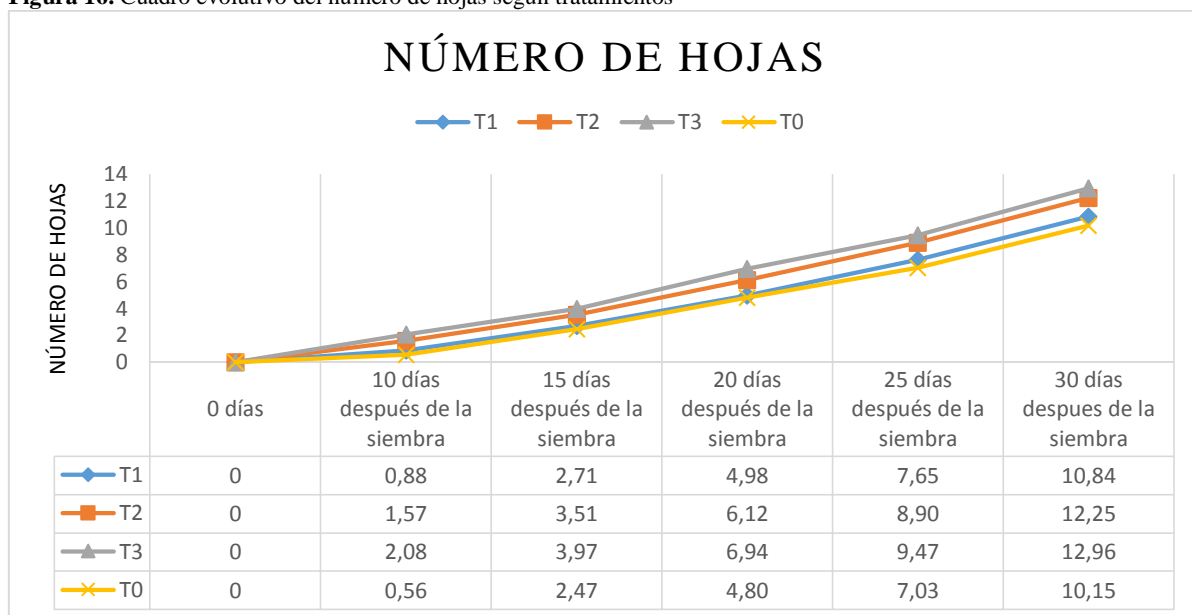
|              | 10 días |       | 15 días |       | 20 días |       | 25 días |       | 30 días |       |
|--------------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| Tratamientos | Medias  | Tukey | Medias  | Tukey | Medias  | Tukey | Medias  | Tukey | Medias  | Tukey |
| T0           | 0.88    | A     | 2.71    | A     | 4.98    | A     | 7.65    | A B   | 10.84   | A     |
| T1           | 0.56    | A     | 2.47    | A     | 4.8     | A     | 7.03    | A     | 10.15   | A     |
| T2           | 1.58    | B     | 3.51    | B     | 6.12    | B     | 8.9     | B C   | 12.25   | B     |
| T3           | 2.08    | B     | 3.97    | B     | 6.94    | C     | 9.47    | C     | 12.96   | B     |
| Total prom   | 1.27    |       | 3.16    |       | 5.71    |       | 8.26    |       | 11.55   |       |

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )*

Las diferencias del número de hojas según los diferentes tratamientos de agua magnetizada (**figura 16**) señalan al T3 de agua sometida a campos magnéticos de 5000 Gauss tener mayor resultado en el brote de hojas, seguido por el T2 la cual contiene agua magnetizada de 3000 Gauss, después el T1 con una intensidad magnética de 1000 Gauss en el agua, y por último el T0 con los resultados más bajos al poseer agua sin sometimiento magnético.

La **figura 16** muestra la evolución del número de hojas cuando se tiene riego de agua sometida a diferentes intensidades de magnetismo. Las diferencias se presentan desde el día 10 después de la siembra al manifestar los datos del T3 lo cual promedia 2.8 y el T0 promedia 0.56 con una diferencia de 1.52 unidades y los tratamientos intermediarios T1 y T2 promedian 0.88 y 1.57 unidades respectivamente. El día 15 después de la siembra nos expone los T0 y T3 con promedios de 2.47 y 3.97 unidades, estando con una diferencia de 1.50 unidades mientras que los T1 y T2 promedian 2.71 y 3.51 unidades. A los días 20 y 25 el comportamiento sigue la misma tendencia. El día 30 después de la siembra los resultados del T3 fueron 12.96 y para el T0 promedia 10.15 unidades de número de hojas.

**Figura 16.** Cuadro evolutivo del número de hojas según tratamientos



Fuente: García. N, 2020

Consideramos que el agua magnetizada tuvo impacto positivo en el brote de hojas, esto corrobora **Alvarado & Blanco.** (2012), en sus estudio donde aplica agua magnetizada en romero (*Rosmarinus officinalis*) y llantén (*Plantago lanceolata*). **Hozayn, y otros.** (2011), al regar con agua magnetizada los cultivos de trigo, lino, garbanzo con agua tratada magnéticamente, encontraron que las plantas exhibieron un incremento notable en el desarrollo vegetativo.

#### 12.4.5. Longitud de raíz

El análisis de varianza (**Cuadro 11**) para la longitud de raíz a los 10 días presentó diferencias significativas entre tratamientos, el coeficiente de variación es de 19.99% lo cual es un valor dentro del rango de confiabilidad. 15 días después de la siembra presentó diferencias significativas entre tratamientos, el coeficiente de variación es de 14.05% lo cual es un valor dentro del rango de confiabilidad. A los 20 días después de la siembra presentó diferencias significativas entre tratamientos, el coeficiente de variación es de 16.43% lo cual es un valor dentro del rango de confiabilidad. 25 días después de la siembra presentó diferencias altamente significativas entre tratamientos, el coeficiente de variación es de 6.54% lo cual es un valor dentro del rango de confiabilidad. Finalmente a los 30 días después de la siembra presentó diferencias significativas entre tratamientos, el coeficiente de variación es de 12.10% lo cual es un valor dentro del rango de confiabilidad.

**Cuadro 11.** Análisis de Varianza para longitud de raíz

| Análisis de la Varianza para Longitud de raíz |    | 10 días  | 15 días  | 20 días  | 25 días  | 30 días  |
|---|----|----------|----------|----------|----------|----------|
| F.V.  | GL | CM       | CM       | CM       | CM       | CM       |
| Tratamientos                                  | 3  | 3.79 *   | 6.56 *   | 6.08 *   | 10.89 ** | 16.18 *  |
| Error   | 12 | 0.4      | 0.43     | 0.96     | 0.27     | 1.99     |
| Total   | 19 |          |          |          |          |          |
|   |    | CV=19.99 | CV=14.05 | CV=16.43 | CV=6.54  | CV=12.10 |

NS= No significativo

(\*\*) Altamente significativo

La prueba Tukey al 5% para la longitud de raíz presentado en el **Cuadro 12**, demuestra dos rangos, un para los T0, T1 y T2 con similitud en sus promedios (2.56 cm, 2.6 cm y 3.02 cm), no obstante hay otro rangos para el T3 con promedios de 4.46 cm. A los 10 días después de la siembra la prueba demuestra dos rangos, uno para los T0, T1 y T2 con similitud en sus promedios (3.78 cm, 3.8 cm y 4.88 cm), sin embargo hay otro rangos para el T3 con promedio de 6.22 cm. A los 15 días después de la siembra demuestra dos rangos, uno para los T0, T1 y T2 con similitud en sus promedios (3.78 cm, 3.8 cm y 4.88 cm), y el otro rango para el T3, con promedio de 6.2 cm. 20 días después de la siembra la prueba determina dos rangos, uno para los T0, T1 y T2 con similitud en sus promedios (4.48 cm, 5.26 cm y 6.22 cm) y el segundo rango para los T2 y T3 con promedios de 6.22 y 7.12 cm. A los 25 días después de la siembra la prueba demuestra tres rangos bien diferenciadas, un primer rango para los T4 y T1 con promedios de 6.56 y 6.94 cm de longitud, un segundo rango intermedio para el T2 con un promedio de 8.62 cm y una tercer rango para el T3 con una media de 9.72 cm. Por último a los 30 días después de la siembra la prueba Tukey al 5% demuestra dos rangos, uno para los T1, T0 y T2 con similitud en sus promedios (9.92 cm, 10.46 cm y 12.42cm) y el otro para el T3 que presentó un promedio de 13.82 cm en longitud de raíz.

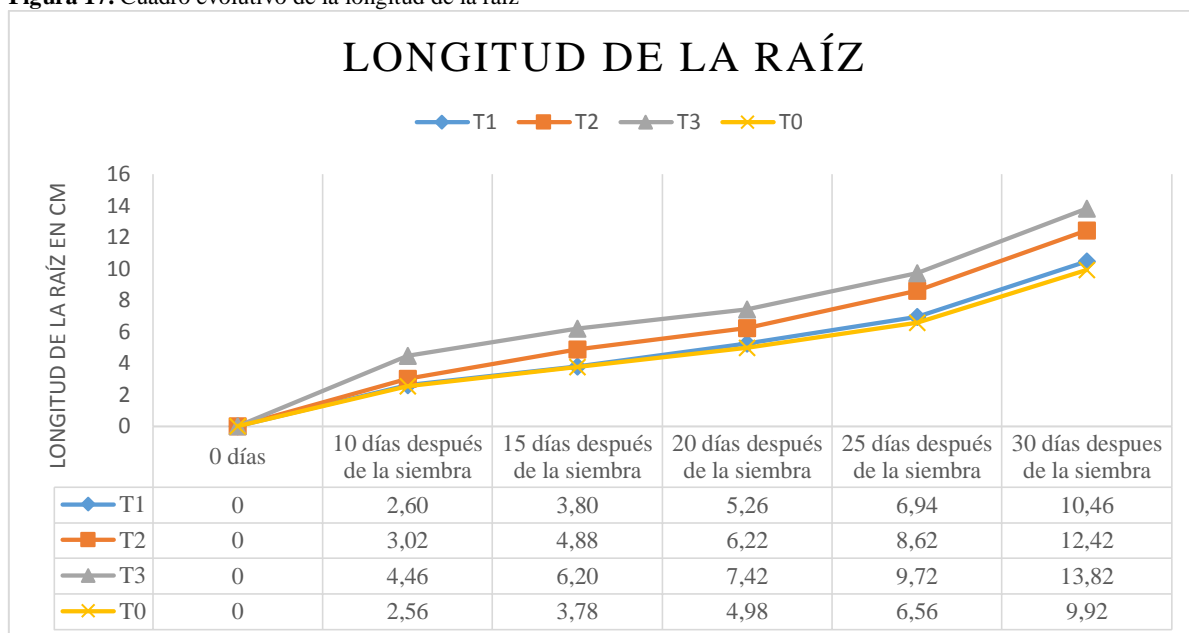
**Cuadro 12.** Prueba Tukey al 5% para longitud de raíz (cm)

| <b>10 días</b>      |              | <b>15 días</b> |              | <b>20 días</b> |              | <b>25 días</b> |              | <b>30 días</b> |              |       |
|---------------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|-------|
| <b>Tratamientos</b> | Medias Tukey |                | Medias Tukey |                | Medias Tukey |                | Medias Tukey |                | Medias Tukey |       |
|                     | <b>T0</b>    | 2.56           | A            | 3.78           | A            | 4.98           | A            | 6.56           | A            | 10.46 |
| <b>T1</b>           | 2.6          | A              | 3.8          | A              | 5.26         | A              | 6.94         | A              | 9.92         | A     |
| <b>T2</b>           | 3.02         | A              | 4.88         | A              | 6.22         | A B            | 8.62         | B              | 12.42        | A     |
| <b>T3</b>           | 4.46         | B              | 6.2          | B              | 7.12         | B              | 9.72         | C              | 13.82        | B     |
| <b>Total prom</b>   | 3.16         |                | 5.66         |                | 5.89         |                | 7.96         |                | 11.65        |       |

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )*

En la **figura 17** indica la evolución de la longitud de la raíz hasta los 25 días después de la siembra. Desde los primeros 10 días después de la siembra el T3 marca un crecimiento radicular longitudinal precoz con promedios de 4.46 cm, mientras que los T1, T2 y T3 mantienen promedios bajos (2.60 cm, 3.02 cm y 2.56 cm). 15 días después de la siembra el comportamiento de los tratamientos es semejante al anterior. A los 20 días después de la siembra el comportamiento del T1 sube notablemente hasta los 5.26 cm de promedio, el T2 con resultados de 6.22 cm, el T3 encabezando con 7.42 cm y por último el T0 con 4.98 cm de promedio. Luego a los 25 días después de la siembra el T3 marca los 9.72 cm, siguiéndole el T2 con 8.62 cm, después el T1 con 6.94 cm y por último el T0 con 6.56 cm de promedio. Para la última fecha de registro el T3 promedia los 13.82 cm, el T2 con 12.42 cm, después el T1 con 10.46 cm y finalmente el T0 promedia 9.92 cm de longitud de raíz.

**Figura 17.** Cuadro evolutivo de la longitud de la raíz



Fuente: García. N, 2020

**Velez & Pirovorova.** (1993) Detallan que el agua magnetizada para riego favorece el desarrollo de la raíz, también contribuye a la regulación tanto de la afinidad de los transportes de iones, a través de las membranas de la raíz. Los efectos del agua tratada con campo magnético según **Quiala, y otros.** (2011), en su estudio, muestran una longitud radicular de 122.7 cm con tratamiento de agua magnetizada con una inducción magnética de 500 Gauss a diferencia del tratamiento sin inducción magnética que marco 82.2 cm de longitud radicular en el cultivo de *Cucumis Sativus*. **Fung, y otros.** (2008) Determinaron en su investigación que al tratar agua con una intensidad magnética de 1200 Gauss a plantas de romero, la longitud de la raíz se desarrolla mejor que agua sin someter a campos magnética. Lo que contrario a esta investigación que marcan resultados favorables para el T3 con agua magnetizada de 5000 Gauss con 13.82 cm a los 30 días después de la siembra.

#### 12.4.6. Área foliar

El análisis de varianza (**Cuadro 13**) para el área foliar a los 10 días presentó diferencias altamente significativas entre tratamientos, el coeficiente de variación es de 14.88% lo cual es un valor dentro del rango de confiabilidad. A Los 15 días después de la siembra presentó diferencias altamente significativas entre tratamientos, el coeficiente de variación es de 9.82% lo cual es un valor dentro del rango de confiabilidad. 20 días después de la siembra presentó diferencias altamente significativas entre tratamientos, el coeficiente de variación es de 7.84%

lo cual es un valor dentro del rango de confiabilidad. A los 25 días después de la siembra demostró diferencias altamente significativas entre tratamientos, el coeficiente de variación es de 12.04% lo cual es un valor dentro del rango de confiabilidad. Finalmente a los 30 días después de la siembra demostró diferencias altamente significativas entre tratamientos, el coeficiente de variación es de 19.71% lo cual es un valor dentro del rango de confiabilidad.

**Cuadro 13.** Análisis de Varianza para área foliar

| Análisis de la Varianza para área foliar |    | 10 días  | 15 días   | 20 días    | 25 días    | 30 días   |
|--|----|----------|-----------|------------|------------|-----------|
| F.V.                                     | GL | CM       | CM        | CM         | CM         | CM        |
| Tratamientos                             | 3  | 76.35 ** | 644.23 ** | 2214.44 ** | 3896.77 ** | 6520.76 * |
| Error                                    | 12 | 1.93     | 14.15     | 30.95      | 142.05     | 1117.58   |
| Total                                    | 19 |          |           | 29.33      |            |           |
|  |    | CV=14.88 | CV=9.82   | CV=7.78    | CV=12.04   | CV=19.71  |

NS= No significativo

(\*\*) Altamente significativo

La prueba Tukey al 5% para el área foliar presentado en el **Cuadro 14**, a los 10 días demuestra dos rangos, uno para el T1 y T0 con similitud en sus promedios ( $6.32 \text{ cm}^2$  y  $5.84 \text{ cm}^2$ ), para la segundo rango para los T2 y T3 con promedios de  $11.3$  y  $13.88 \text{ cm}^2$ . A los 15 días demuestra tres rangos bien diferenciadas, un primer rango para los T0 y T1, con un promedio de  $25.94 \text{ cm}^2$  y  $32.66 \text{ cm}^2$ ; un segundo rango intermedio para el T2 con un promedio de  $42.8 \text{ cm}^2$  y un tercer rango para el T3 con una media de  $51.78 \text{ cm}^2$ . A los 20 días la prueba demuestra dos rangos, para los T0 y T1 con similitud en sus promedios con  $48.9 \text{ cm}^2$  y  $53.22 \text{ cm}^2$ , no obstante hay otro rango para el T2 y T3 con promedios de  $83.40$  y  $90.64 \text{ cm}^2$ . 25 días después de la siembra la prueba demuestra dos rangos, uno para el T1 y T0 con similitud en sus promedios  $71.32 \text{ cm}^2$  y  $79.96 \text{ cm}^2$  y el segundo rango para los T2 y T3, con promedios de  $114.72$  y  $130.02 \text{ cm}^2$ . Finalmente a los 30 días la prueba determina dos rangos para el T1, T0 y T2 con similitud en sus promedios  $131.11 \text{ cm}^2$ ,  $147.53 \text{ cm}^2$  y  $192.22 \text{ cm}^2$ ; no obstante hay otro rango significativo para los T0, T2 y T3, no diferenciados entre ellos, con promedios de  $147.53 \text{ cm}^2$ ,  $192.22 \text{ cm}^2$  y  $207.45 \text{ cm}^2$  de área foliar.



**Cuadro 14.** Prueba Tukey al 5% para área foliar (cm<sup>2</sup>)

| 10 días      |        |       | 15 días |       | 20 días |       | 25 días |        | 30 días |        |     |
|--------------|--------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|--------|---------|--------|-----|
| Tratamientos | Medias | Tukey | Medias  | Tukey | Medias  | Tukey | Medias  | Tukey  | Medias  | Tukey  |     |
|              | T0     | 5.84  | A       | 25.94 | A       | 48.90 | A       | 71.32  | A       | 147.53 | A   |
|              | T1     | 6.32  | A       | 32.66 | A       | 53.22 | A       | 79.96  | A       | 131.11 | A B |
|              | T2     | 11.30 | B       | 42.80 | B       | 83.40 | B       | 114.72 | B       | 192.22 | A B |
|              | T3     | 13.88 | B       | 51.78 | C       | 90.64 | B       | 130.02 | B       | 207.45 | B   |
| Total prom   | 9.33   |       | 38.29   |       | 48.78   |       | 98.98   |        | 169.57  |        |     |

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )*

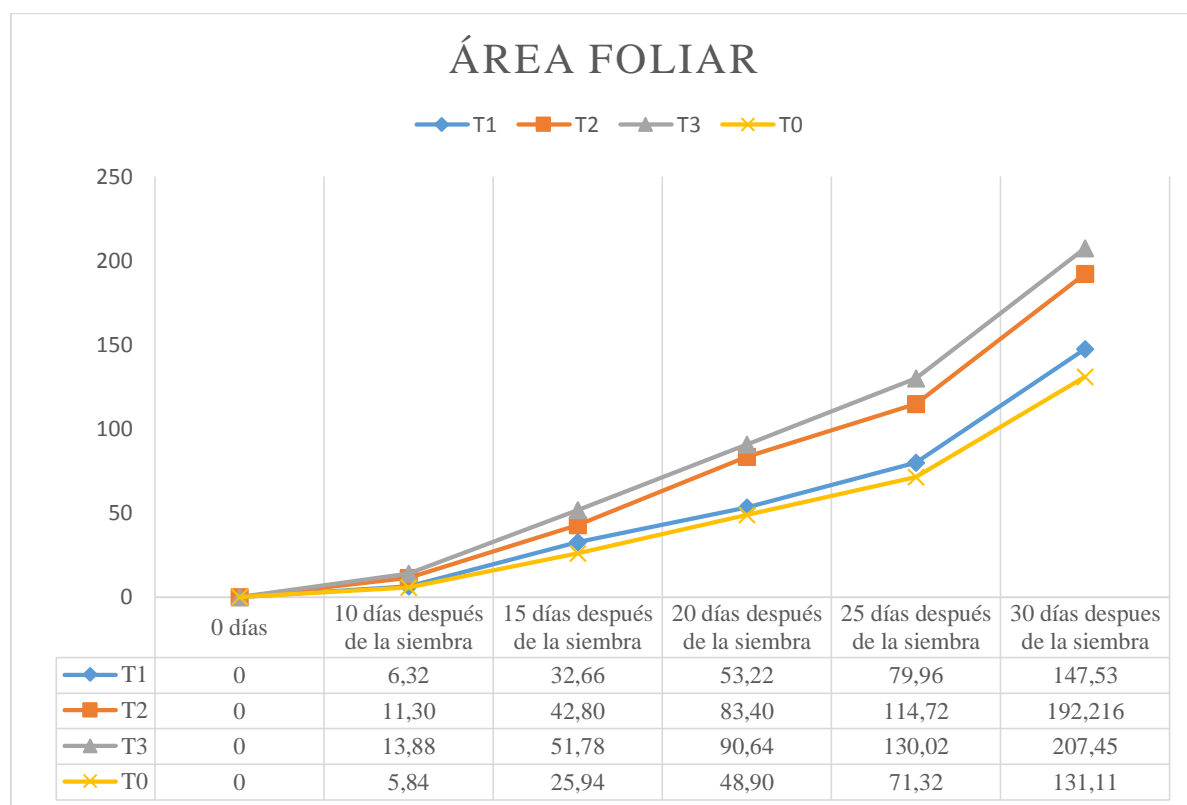
Los tratamientos de agua magnetizada con distintos niveles intensidad magnética expresan resultados favorables a comparación del tratamiento 0. Podemos afirmar que el riego con agua magnetizada influye directamente en el área foliar de las plantas de quinua.

La **figura 18** muestra al T3 de agua magnetizada con 5000 Gauss, con mayores resultados de área foliar, desde los 10 días después de la siembra se diferencia el T3 (13.88 cm<sup>2</sup>) de los T1, T2 y T0 que promedian 6.32 cm<sup>2</sup>, 11.30 cm<sup>2</sup> y 5.84cm<sup>2</sup>. Después a los 15 días después de la siembra el área foliar empieza a distinguirse según los tratamientos, los cual expresa el T3 con resultados de 51.78 cm<sup>2</sup> siendo el promedio más alto, siguiéndole los T2 y T1 con promedios de 42.80 cm<sup>2</sup> y 32.66 cm<sup>2</sup> y por último el T0 con promedio de 25.94 cm<sup>2</sup> de área foliar. Para los 20 días después de la siembra se empieza a diferenciar los T2 y T3 con valores de 83.40 cm<sup>2</sup> y 90.64 cm<sup>2</sup> de los T1 y T0 con valores de 53.22 cm<sup>2</sup> y 48.90 cm<sup>2</sup> de promedio. Como siguiente el día 25 después de la siembra los T3 y T2 encabezan con resultados de 130.02 cm<sup>2</sup> y 114.72 cm<sup>2</sup> de promedios, luego los T1 y T0 con resultados 79.96 cm<sup>2</sup> y 71.32 cm<sup>2</sup> de promedios, siendo los dos tratamientos no significativos entre ellos.

Finalmente a los 30 días después de la siembra el T3 destacándose llegó a tener 207.45 cm<sup>2</sup>, seguido por el T2 con 192.21 cm<sup>2</sup>, después el T1 con 147.53 cm<sup>2</sup>, y por último el T0 con 131.11 cm<sup>2</sup>. Mostrando una diferencia de 75.89 cm<sup>2</sup> entre el T3 y T0.

Dichos resultados son respaldados por Fu. (2012), encontró diferencias significativas en tamaño y crecimiento de la hoja al usar campos magnéticos de 3300 y 4900 Gauss en la agricultura. De igual forma Gonzáles. (2016), muestra mayor número de hojas y longitud de hoja ( $6.3 \pm 0.7$ ) y ( $11.7 \pm 1.2$  cm) al usar agua magnetizada de 5200 Gauss y por ende mayor área foliar a comparación del tratamiento control (riego sin agua inducida magnéticamente) ( $6.5 \pm 1.1$ ) y ( $11.3 \pm 0.9$  cm) en el cultivo de rábano. Por el contrario Fung, y otros. (2008), obtienen resultados favorables para el tratamiento con solamente 1200 Gauss de inducción magnética al agua, con un valor 5.58 veces mayor al tratamiento control; y 1.80 veces para el tratamiento 600 Gauss de inducción magnética al agua de riego.

**Figura 18.** Cuadro evolutivo del área foliar



Fuente: García. N, 2020

#### 12.4.7. Contenido de clorofila

El análisis de varianza (**Cuadro 15**) para el contenido de clorofila presentó diferencias significativas entre tratamientos y repeticiones. El coeficiente de variación es de 16.95% lo cual es un valor dentro del rango de confiabilidad.

**Cuadro 15.** Análisis de la Varianza para el contenido de clorofila

| F.V.         | SC       | GL | CM   | p-valor |
|--------------|----------|----|------|---------|
| Tratamientos | 258.36   | 3  | 8612 | *       |
| Error        | 89.99    | 12 | 7.5  |         |
| Total        | 452.9    | 19 |      |         |
|              | CV=16.95 |    |      |         |

NS= No significativo

(\*\*) Altamente significativo

La prueba Tukey al 5% presentado en el **Cuadro 16**, demuestra dos rangos, no diferenciadas para el T1, T0 y T2 con similitud en sus promedios (12.98, 13.12 y 16.69 CCI) en área foliar. No obstante hay otro rango significativo para el T2 y T3, no diferenciados entre ellos, con promedios de 16.69 y 21.82 CCI de cantidad de clorofila.

**Cuadro 16.** Prueba Tukey al 5% del contenido de clorofila

| Tratamientos | Medias | Tukey |   |
|--------------|--------|-------|---|
| T1           | 12.98  | A     |   |
| T0           | 13.12  | A     | B |
| T2           | 16.69  | A     | B |
| T3           | 21.82  |       | B |
| Total prom   | 16.15  |       |   |

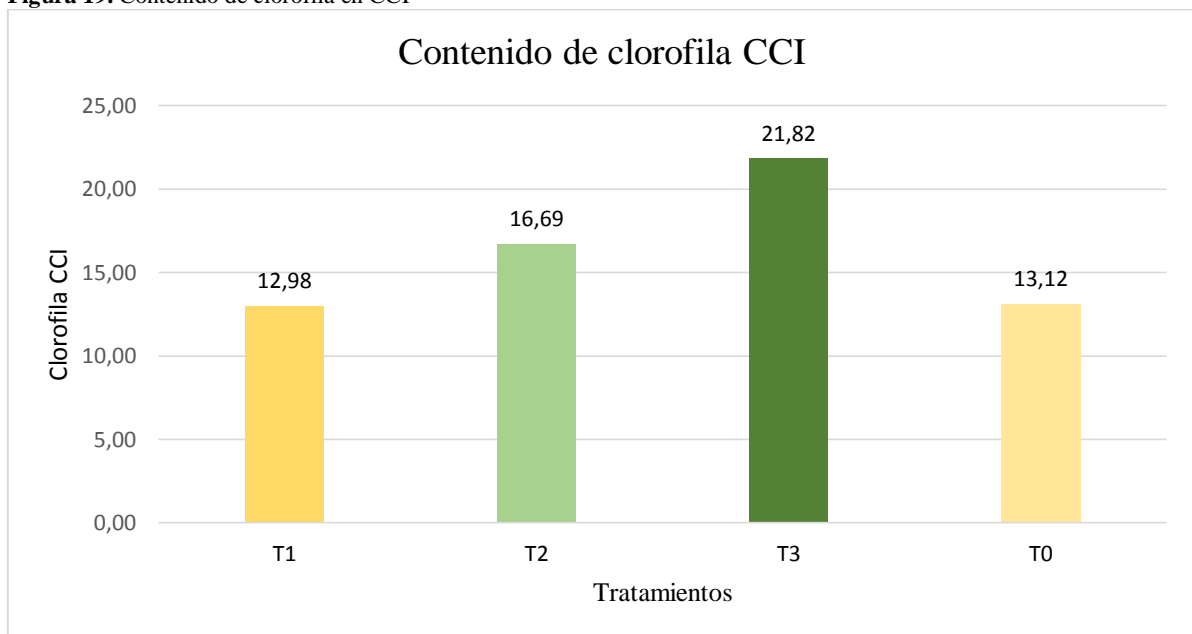
*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )*

Se encuentra significancia para el contenido de clorofila en el agua sometida a campos magnéticos de 5000 Gauss, siendo esta variable proporcional a la luz, disminuye la tensión superficial, regula el consumo de los nutrientes por la planta y funciones como la fotosíntesis son realizadas con normalidad. El contenido de clorofila presente en la quinua según el riego con tratamiento magnético (**figura 19**) presentan las cantidades de 21.82 CCI para el T3, el T2 marca 16.69, el T0 tiene 13.12 CCI y finalmente el T1, que no es diferencial con el T0, promedia 23.98 CCI.

Vélez y Pirovarova. (1993), determinan que la planta absorbe de mejor manera los nutrientes ya que cambia las propiedades físico – químicas del agua al someter a campos magnéticos, en el caso del nitrógeno al carecer la planta se vuelve de color verde pálido a lo se detalla cómo contenido reducido de clorofila. Asimismo Mousa. (2011), describe al tratamiento de agua magnetizada como un estimulante de la actividad enzimática y fotosintética. Además, Hozayn

& Qados. (2010), demostró los efectos positivos del agua magnética en el pigmento fotosintético (Chl a, Chl b, Chl a+b, carotenoides y pigmento total del contenido; con porcentajes de incremento del 17,6%, 11.37%, 15%, 25%, 3.03% y 12.25% respectivamente. En ese sentido **Belyavskaya** (2001), informó sobre el agua magnetizada en la inducción significativa del metabolismo celular y la mitosis de células meristemáticas de lentejas y lino.

**Figura 19.** Contenido de clorofila en CCI



Es importante la elección del momento en la temporada y del sector en los cuales se realizarán las mediciones, principalmente por la alta variabilidad en los contenidos de clorofila que se presentan en los brotes, aconsejándose realizarlo en las hojas del sector basal del brote (bajo la inserción del racimo) a partir de plena flor (Callejas, Kania, Contreras, Cecelia, & Luis, 2013).

## **13. IMPACTOS**

### **13.1. Tecnológico**

El proyecto de investigación aplica tecnologías limpias, por tal motivo reduce costos de producción y mejora la calidad del agua.

### **13.2. Social**

Incremento de producción, incrementa la tasa de empleo.

### **13.3. Económico**

La producción de plantas de quinua de mejor calidad, genera mayores ingresos económicos, aumentando la comercialización.

### **13.4. Ambiental**

Disminuye el uso de agroquímicos para mejorar las propiedades del agua de riego, lo cual evita contaminar el medio ambiente.

## 14. CONCLUSIONES

- La demanda neta del agua magnetizada calculada por el método de Oudin es de 53.61 l/m<sup>2</sup>\*mes lo cual es un riego eficiente, sin estresar a las plantas de quinua, ni producir desperdicios del recurso hídrico.
- Los parámetros del agua del agua cambian al someter a campos magnéticos, como resultado el pH y conductividad eléctrica suben de 7.74 y 1.04 del T0 a 8.50 y 1.29 en el T3, en cuanto a dureza esta baja su concentración del T0 el cual valora 308.8 mg/l a 120.3mg/l del T3. El RAS del T0 valora 2.4 y este sube a 2.70 en el T3 no habiendo ningún grado de restricción en relación con la conductividad eléctrica. Los elementos calcio, magnesio, sodio y sulfuro bajan sus unidades al someterse al agua magnetiza promediando 31mg/l, 40 mg/l, 68mg/l y 123.7 mg/l en T3 respectivamente. Sin embargo el cloro y boro suben sus unidades de 370.9 mg/l y 0.9 mg/l a 377.2 mg/l y 8.2 mg/l en T3.
- Los resultados del comportamiento de las propiedades químicas del sustrato con el uso de agua magnetizada mostraron influir en el pH del T1 al acidificarlo a 4.97 en comparación del sustrato inicial que valoraba un pH de 5.5 a 6.5. En cuanto al nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio estos promediaron inicialmente de 140 ppm, 160 ppm, 180 ppm y 100 meq/100ml a 24 ppm, 33 ppm, 0,26 ppm y 2.20 meq/100ml respectivamente en el T3, para magnesio las diferencias entre tratamientos no son claras. El calcio del sustrato del T2 fue consumido en mayor cantidad con promedio de 28.20 meq/100ml.
- En cuanto a las variables agronómicas en el porcentaje de germinación se encontró diferencias significativas para los 4, 5 y 6 días después de la siembra. Para la altura de planta se encontró diferencias altamente significativas a los 5, 10, 15 y 20 días, sin embargo a los 25 días se encontró diferencias significativas. El diámetro de tallo presentó diferencias altamente significativas a los 10 y 15 días, sin embargo a los 20 días se encontraron diferencias significativas, mientras que a los 5 y 25 días las diferencias no fueron significativas. Se encontró diferencias altamente significativas en la variable número de hojas a los 5, 15 y 25 días, no obstante a los 10 y 20 días las diferencias fueron significativas. La longitud de raíz presentó diferencias significativas a los 5, 10, 15 y 25 días, mientras que a los 20 días las diferencias fueron altamente significativas. El área foliar presentó diferencias altamente significativas a los 5, 10, 15 y 20 días, sin embargo a los 25 días las diferencias fueron significativas.

## 15. RECOMENDACIONES

- Utilizar el recurso hídrico en base al requerimiento de la planta en su respectiva etapa fenológica, por medio de un sistema de riego y cálculo de las condiciones agroclimáticas
- Realizar un análisis de suelos para la continuidad de la investigación en la siguiente etapa fenológica del cultivo.
- Realizar análisis químicos de las plantas para enriquecer la información del consumo específico de los elementos en las plantas de quinua expuestas a los diferentes tratamientos.
- Realizar estudios de los niveles de boro liberados en el cultivo de quinua por el uso de agua magnetizada.
- Realizar investigaciones para determinar una intensidad específica del uso de campos magnéticos en el agua de riego en el cultivo de quinua en campo.

## 16. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdelaziz, A., & Abdelrazig, M. (2014). Impact of magnetized water on elements contents in plants seeds. *International Journal of Scientific Research and Innovative Technology*, 12-21.
- Alvarado, K., & Blanco, A. (2012). Efecto del agua magnetizada en algunos parámetros morfológicos de las especies romero (*Rosmarinus officinalis*) y llantén menor (*Plantago lanceolata*). *Centro Agrícola*, 81-86.
- Antonio, A. (2016). EL BORO COMO NUTRIENTE ESENCIAL. *Dpto. Producción Agraria. Área Edafología y Química Agrícola. ETSIA. Universidad Politécnica de Cartagena* .
- Apaza, V., Cáceres, G., Estrada, R., & Pinedo, R. (2013). *Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú*. Recuperado el Octubre de 2019, de Perú: FAO: <http://www.fao.org/3/a-as890s.pdf>
- Ayers, R., & Westcot, D. (1985). Water quality for agriculture. *FAO Irrigation and Drainage paper 29*, 156.
- Babu, C. (2010). Use of magnetic water and polymer in agriculture. *Tropical Research Institute*, ID 08- 806-001.
- Belyavskaya, N. (2001). Ultrastructure and calcium balance in meristem cell of pea roots to extremely low magnetic fields. *Advances in Space Research*, 645-650.
- Bojórquez, F. (3 de Noviembre de 2008). *Hortalizas*. Obtenido de Parámetros de agua de riego: <https://www.hortalizas.com/irrigacion/parametros-de-agua-de-riego/>
- Bonifacio, A. (2006). *El futuro de los productos andinos en la región alta y los valles centrales*. Recuperado el Noviembre de 2019, de Bolivia: ONIDI: [http://www.unido.org/fileadmin/import/58567\\_granos\\_final.pdf](http://www.unido.org/fileadmin/import/58567_granos_final.pdf)



- Callejas, R., Kania, E., Contreras, A., Cecelia, P., & Luis, M. (2013). Evaluación de un método no destructivo para estimar las concentraciones de clorofila en hojas de variedades de uva de mesa. *IDESIA*, 19-26.
- Calvache. (2000). *Necesidades de agua de los Cultivos. Memorias del VII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*. Quito: Editorial Primera Imprenta.
- CVC - UNIVALLE. (2009). *Diseño y promoción de tecnologías y prácticas para la recuperación de áreas con suelos degradados por erosión y salinidad*. Cali: Univalle.
- Domínguez Pacheco, A., Hernandez Aguilar, C., Cruz Orea, A., Carballo Carballo, A., Zepeda Bautista, R., & Martínez Ortíz, E. (2010). Influences of the electromagnetic field in maize seed vigor (in Spanish). *Fitotecnia Mexicana.*, 183-188.
- DSS. (2004). *Tratamiento magnético del agua (TMA). Absorción de iones y nutrición de las plantas*. Cuba: Ingeniería para un Desarrollo Sostenible.
- El-Kholy, M., Samia, S., & Farang, A. (2015). Effect of magnetic water and different levels of NPK on growth, yield and fruit quality of Williams banana plant. *Nature and Science*, 94-101.
- FAO. (2011). *La Quinua: cultivo milenario para contribuir a la seguridad Alimentaria mundial*. Oficina Regional para América Latina y el Caribe.
- FAO. (2017). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*.  
Obtenido de Quinoa: <http://www.fao.org/quinoa/es/>
- FAO. (2019). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura* .  
Obtenido de <http://www.fao.org/in-action/quinoa-platform/quinoa/biodiversidad-de-la-quinua/es/>
- FAO, & ALADI. (2014). *TENDENCIAS Y PERSPECTIVAS DEL COMERCIO INTERNACIONAL DE QUINUA*. Santiago: FAO; ALADI.

- Feigin, A., Ravina, I., & Shalhevet, J. (1991). Irrigation with treated sewage effluent. Management for Environmental Protection. *Advances Series in Agricultural Sciences* 17.
- Flórez, M., Martínez, E., & Carbonell, V. (2010). Effect of Magnetic Field Treatment on Germination of Medicinal Plants *Salvia officinalis* L. and *Calendula officinalis* L. *Polish Journal of Environmental Studies*, 57-63.
- Fonseca, K., & Clairand, M. (2018). Caracterización preliminar de la calidad del agua del Reservorio del Centro Experimental Académico Salache. *Universidad Técnica de Cotopaxi*, 62.
- Fu, E. (2012). The effects of magnetic fields on plant growth and health. *Young Scientists Journal*, 38-42.
- Fung, Y., Isaac, E. F., & Botta, A. (2008). Riego con agua tratada magnéticamente en *Rosmarinus officinalis* L. (romero) como alternativa en la propagación convencional. *Centro agrícola*, 23-27.
- Gandarillas, H. (1968). *Razas de quinua*. *Boletín Experimental N° 34*. La Paz: Ministerio de Agricultura.
- Garcia, M., Raes, D., & Jacobsen, S.-E. (2003). Análisis de la Evapotranspiración de Referencia en el Altiplano Boliviano y Determinación de los Requerimientos de Riego de Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). *Agricultural Water Management*, 119-134.
- Gomez, L., & Aguilar, E. (2015). Guía de cereales menores y granos nativos. 2 da parte. Lima: Programa de cereales de la UNALM.
- González, I. J. (Noviembre de 2016). Efecto de la aplicación de agua y semilla magnetizada en el cultivo de rábano (*Raphanus sativus*). *Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras*.

- Goodman, R., Chizmadzhev, & Shirley-Henderson, A. (1993). Electromagnetic fields and cells. *J Cell Biochem*, 436-441.
- Guerrero, M. A. (2016). *Rendimientos de Quinoa en el Ecuador 2016 (octubre 2015 - agosto 2016)*. Quito: Dirección de Análisis y Procedimiento de la Información, Coordinación General del Sistema de Información Nacional, Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca.
- Haq, Z. u., Iqbal, M., Jamir, Y., Anwar, H., Younis, A., Afir, M., . . . Hussain, F. (2016). Magnetically treated water irrigation effect on turnip seed germination, seedling growth and enzymatic activities. *Information Processing in Agriculture*, 99-106.
- Hargreaves, G., & Samani, Z. (1985). Reference Crop Evapotranspiration from Ambient Air Temperature. *American Society of Agricultural Engineers*, 85.
- Heldman, D., & Moraru. (2003). *Encyclopedia of agricultural, food and biological engineering*. New York: (No. 630.03 E5).
- Heredia, A., Rodriguez, A., Rodriguez, L., Santoyo, M., Castañeda, E., & Gonzales, M. (2009). La Vida Secreta de las Plantas: Respuesta a campos electromagnéticos. *Boletín Planta. Departamento de Botánica de la Facultad de Ciencias Biológicas, UANL*, 6-7.
- Hilal, M., El-Fakhrani, S., Mabrouk, A., Mohamed, & Ebead, B. (2013). Response of some food crops to irrigation with magnetized water under greenhouse condition. *Australian Journal Basic Applied Sciences*, 36-44.
- Hozayn, M., & Qados, A. M. (2010). Magnetic water application for improving wheat (*Triticum aestivum* L.) crop production. *Agricultura and Biology Journal of North America*, 677-682.
- Hozayn, M., ABD EL Monem, A. Q., & El-Hameid, A. (2011). Response of some food crops to irrigation with magnetized water under greenhouse condition. *Australian Journal of basic and applied Sciences*, 29-36.

- Ibrahim, M. (2006). Effect of irrigation with magnetically treated water on faba bean growth and composition. *International Journal of Agricultural Policy and Research*, 24-40.
- INIAP. (Quito de 2008). *INIAP "Pata de Venado*. Obtenido de <http://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2614/1/iniapscpl261.pdf>
- Jacobsen, S.-E. (2003). The Worldwide Potential for Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Food Reviews International*, 167-177.
- Jacobsen, S.-E., & Sherwood, S. (2002). *Cultivos de granos andinos en Ecuador*. Quito: CIP y FAO.
- Juvenal, L. H. (2003). *Cultivo de la Quinoa en Puno-Perú Descripción, Manejo y Producción*. Puno: Ciencias Agrarias UNA PUNO.
- Kotb, A. (2013). Magnetized Water and Memory Meter. *Scientific Research*, 422-426.
- Krawiec, M., Kornarzynski, K., Palonka, S., Kaplan, M., Baryla, P., & Kiczorowski, P. (2013). Does the magnetic field improve the quality of radish seeds? *Scientiarum Plonorum Hortorum Cultus*, 93-102.
- La Hora. (2019). *El río Cutuchí en estado crítico*. Latacunga: LA Hora.
- Maffei, M. (2014). Magnetic fields effects on plant growth, development, and evolution. *Frontiers in Plant Science*, 1-15.
- MAGAP. (2015). *Estrategia Fomento a la Producción de la Quinoa en la Sierra Ecuatoriana*. Obtenido de Subsecretaría de Agricultura: [http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2015/10/PROTEC\\_AS2015\\_QUINUA.pdf](http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2015/10/PROTEC_AS2015_QUINUA.pdf)
- MAGAP. (2016). *2017 año clave para Ecuador en exportación de quinoa*. Obtenido de <http://www.agricultura.gob.ec/2017-ano-clave-paraecuador-en-exportacion-de-quinua/>

- MAGAP. (2017). *Ministerio de Agricultura y Ganadería*. Recuperado el 3 de Junio de 2019, de <https://www.agricultura.gob.ec/2017-ano-clave-para-ecuador-en-exportacion-de-quinua/>
- Maheshwari, B., & Grewal, H. (2009). Magnetic treatment of irrigation water: Its effects on vegetable crop yield and water productivity. *Agricultural Water Management*, 1229-1236.
- Marei, A., Rdaydeh, D., Karajeh, D., & Abu-Khalaf, N. (2014). Effect of Using Magnetic Brackish Water on Irrigated Bell Pepper Crop (*Capsicum annuum* L.) Characteristics in Lower Jordan Valley/West Bank. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 830-838.
- Martinez, E., Carbonell, V., & Flórez, M. (2003). Estimulación de la germinación y el crecimiento por exposición a campos magnéticos. *Investigación y ciencia*, 28.
- Martinez, R., Ramos, E., Gasking, B., Guerra, M., & Díaz, J. (2007). Simulación de un campo magnético en el suelo por el método de los Elementos Finitos. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 58-60.
- Matos, K., & Blanco, A. (2012). Influencia del agua tratada magnéticamente en la germinación y desarrollo morfoproductivo de semillas de lechuga. 75-79.
- Mazón, N., Rivera, M., Peralta, E., Estrella, J., & Tapia, C. (2001). *Catálogo del banco de germoplasma de Quínoa (*Chenopodium quinoa* willd.) de INIAP*. Quito: Estación experimental Santa Catalina, programa nacional de leguminosas y granos andinos.
- Ministerio del Ambiente. (2003). Reforma TULSMA. En *NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA LIBRO VI ANEXO 1* (págs. 1-54). Quito: Presidencia de la república.
- Morton, F. I. (1983). Operational estimates of areal evapotranspiration and their significance to the science and practice of hydrology. *Journal of Hydrology*, 1-76.

- Moussa, H. (2011). The impact of magnetic water application for improving common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) production. *New York Science Journal*, 15-20.
- Mujica, A., Izquierdo, J., Marathee, J.-P., & Jacobsen, S.-E. (2001). *Cultivos Andinos*. Santiago: FAO.
- Occhipinti, A., Santis, A. D., & Maffei, M. (2014). Magnetoreception: An unavoidable step for plant evolution. *Trends in Plant Science*, 1-4.
- Ochoa, R. (2009). Diseños experimentales. *Facultad de Agronomía*, 263.
- Oudin, L., Frédéric, H., Michel, C., Perrin, C., Andréassian, V., Anktil, F., & Loumagne, C. (2005). Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall–runoff model?: Part 2—Towards a simple and efficient potential evapotranspiration model for rainfall–runoff modelling. *Journal of hidrology*, 290-306.
- Pando, L. G., & Castellanos, E. A. (2016). *Guía de cultivo de quinua*. Lima: FAO.
- Pang, X., Deng, B., & Tang, B. (2012). Influences of Magnetic Field on Macroscopic Properties of Water. *Modern Physics Letters B*, 1250069 (13).
- Peralta, E. I. (2009). La quinua en Ecuador. "Estado del Arte". *PRONALEG-GA, INIAP*, 1-20.
- Pietruszewski, S., & Kania, K. (2010). Effect of magnetic field on germination and yield of wheat. *Int. Agrophys*, 297-302.
- Planchuelo, A. M. (1975). Estudio de los frutos y semillas del género *Chenopodium* en la Argentina. *Darwiniana*, 528-565.
- Ponce, V. (1989). *Engineering Hydrology, Principles and Practices*. Prentice Hall.
- PROINPA. (2011). *La quinua: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial*. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/017/aq287s/aq287s.pdf>
- PROMUEVE. (2010). *Perfil producto quinua y derivados*. Recuperado el Noviembre de 2019, de <http://www.promueve.gob.bo/DocPDF/PerfilProducto/QUINUA YDERIVADOS.pdf>

- Quiala, R., Alemán, E., Ricardo, F., Regueiferos, I., & Montero, G. (2011). Efecto del agua tratada con campo magnético estático sobre. *Centro Agrícola*, 83-87.
- Rawson, H. (2001). Trigo Regado. *FAO*.
- RedVet. (2009). Efecto del agua tratada magnéticamente sobre los procesos biológicos. *Redvet. Revista Electrónica Veterinaria*. Recuperado el 18 de Noviembre de 2020, de <https://www.redalyc.org/pdf/636/63611961010.pdf>
- Ríos, H. B., Calderón, E. R., & Parra, E. R. (2012). *Física Principios de Electricidad y Magnetismo*. Manizales: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MANIZALES FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES.
- Rojas. (2012). *Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. Riego y Drenaje. División de Tierra y Agua*. Roma.
- Rojas, M. (2008). *Tratamiento magnético del agua de regadío. Incremento de la producción, disminución del consumo de agua, fertilizantes y energía eléctrica*. Ciudad de México: Terrein - Cohauila.
- Ruíz, C. (2017). *La Dureza del Agua y su Importancia en el Riego por Goteo*. Técnicos de INTAGRI. México: INTAGRI.
- Sadanandan, A., & Hamza, S. (1996). Response of four turmeric (*Curcuma longa* L.) varieties to nutrients in an oxisol on yield and curcumin content. *Journal Plantation Crops*, 120-125.
- Sancha, A. C., Espinoza, C., & Mena, M. (2005). *CRITERIOS DE CALIDAD DE SUELOS Y DE AGUAS O EFLUENTES TRATADOS PARA USO EN RIEGO*. Santiago: División de Recursos Hídricos y Medio Ambiente.
- Santamaria, G. M. (1984). *Dignóstico de la situación actual y perspectivas de producción de Quinoa en el Ecuador*. Riobamba: INIAP.

- Sayed, H. (2014). Impact of Magnetic Water Irrigation for Improve the Growth, Chemical Composition and Yield Production of Broad Bean (*Vicia faba* L.) Plant. *American Journal of Experimental Agriculture*, 476-496.
- Suquilanda, M. (2007). Producción orgánica de cultivos andinos (Manual técnico). 191-216,203.
- Tapia, M. (2000). Cultivos Andinos Subexplorados y su aporte a la alimentación. Santiago: Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe.
- Tapia, M., Gandarillas, H., Alandia, S., Cardozo, A., Mujica, A., Ortiz, R., . . . Zanabria, E. (1979). *La quinua y la kañiwa*. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo.
- Turker, M., Temirci, C., Battal, P., & Erez, M. (2006). The effects of an artificial and static magneticfield on plant growth, chlorophyll and phytohormone levels in maize and sunflowerplants. *Phyton (Horn, Austria)*, 271-284.
- Vashisth, A., & Nagarajan, S. (2008). Exposure of seeds to static magnetic field enhances germination and early growth characteristics in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Bioelectromagnetics*, 571–578.
- Vélez, R., & Pirovorova. (1993). Aplicación de campos magnéticos en líquidos y soluciones acuosas. *Conferencias. Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado*. Santiago de Cuba.
- Viltre, R., Vega, E., Mesa, J., Sanfeliz, M., & Isabel, A. (1999). EFECTO DEL TRATAMIENTO MAGNÉTICO DEL AGUA SOBRE LA SOLUBILIDAD DEL CARBONATO DE CALCIO Y MAGNESIO PRESENTES EN UNA MUESTRA DE INCRUSTACIÓN A DIFERENTES TEMPERATURAS. *Tecnología Química*, 54-59.
- Vizcaíno, D. A. (2015). *GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS PARA QUINUA RESOLUCIÓN 0104*. Agrocalidad.



- Wang, H., Kent, D. V., & Rochette, P. (2015). Weaker axially dipolar time-averaged paleomagnetic field based on multidomain-corrected paleointensities from Galapagos lavas. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112.
- Zúñiga, O., Benavides, A., Jiménez, C., Gutiérrez, M., & Torres, C. (2016). Efecto del agua tratada magnéticamente en el desarrollo y la producción de cúrcuma (*Curcuma lonja* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 176-185.
- Zúñiga, O., Osorio, J., Cuero, R., & Peña, J. (2011). Evaluación de tecnologías para la recuperación de suelos degradados por salinidad. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 5769-5779.

## 17. ANEXOS

### Anexo 1. Análisis de agua por los diferentes tratamientos de inducción magnética

|   |  |   |      |                               |                               |                 |                               |                               |                 |                               |    |    |    |    |      |      |        |         |        |
|---|--|---|------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|----|----|----|----|------|------|--------|---------|--------|
|    | <b>ESTACIÓN EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA"</b><br><b>DEPARTAMENTO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS</b><br><b>LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS Y AGUAS</b><br>Panamericana sur Km. 1. Apartado 17-01-340<br>Teléfono: 3007284. Email: laboratorio.dmsa@iniap.gob.ec<br>Mejía -Ecuador |    |      |                               |                               |                 |                               |                               |                 |                               |    |    |    |    |      |      |        |         |        |
| <b>REPORTE DE ANÁLISIS DE AGUAS</b>   |  |   |      |                               |                               |                 |                               |                               |                 |                               |    |    |    |    |      |      |        |         |        |
| <b>DATOS DEL PROPIETARIO</b><br>Nombre : Edison García<br>Dirección : Latacunga<br>Ciudad :<br>Teléfono : 0987782820<br>Fax : | <b>DATOS DE LA PROPIEDAD</b><br>Nombre : Cessa<br>Provincia : Cotopaxi<br>Cantón : Latacunga<br>Parroquia : Salache<br>Ubicación :   | <b>PARA USO DEL LABORATORIO</b><br>No. Muestra Lab. : 2183-2185<br>Fecha de Muestreo : 05/11/2019<br>Fecha de Ingreso : 05/11/2019<br>Fecha de Salida : 08/11/2019  |      |                               |                               |                 |                               |                               |                 |                               |    |    |    |    |      |      |        |         |        |
| <b>No. Muestra Lab.</b>   | <b>Identificación de la muestra</b>  | <b>mg/l</b>   |      | <b>dS/m</b>                   |                               | <b>mg/l</b>     |                               |                               |                 |                               |    |    |    |    |      |      |        |         |        |
|   |  | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Ca</td><td>Mg</td><td>Na</td><td>K</td><td>CO<sub>3</sub><sup>2-</sup></td><td>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></td><td>Cl<sup>-</sup></td><td>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></td><td>B</td><td>Fe</td><td>Zn</td><td>Cu</td><td>Mn</td> </tr> </table> | Ca   | Mg                            | Na                            | K               | CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | B  | Fe | Zn | Cu | Mn   | pH   | C.E.   | RAS     | Dureza |
| Ca  | Mg   | Na  | K    | CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | B                             | Fe              | Zn                            | Cu | Mn |    |    |      |      |        |         |        |
| 2183  | 1 litro poquito  | 31.0  | 46.0 | 82.4                          | 13.7                          | 0.0             | 377.2                         | 57.51                         | 110.9           | 8.6                           |    |    |    |    | 8.45 | 1.26 | 2.34 R | 235.4 D |        |
| 2184  | 3 litros   | 33.0  | 41.0 | 72.0                          | 13.6                          | 0.0             | 383.7                         | 58.22                         | 126.6           | 8.7                           |    |    |    |    | 8.44 | 1.27 | 2.83 R | 122.0 M |        |
| 2185  | 3 litros   | 31.0  | 46.0 | 68.0                          | 13.1                          | 0.0             | 377.2                         | 56.80                         | 123.7           | 8.2                           |    |    |    |    | 8.50 | 1.29 | 2.70 R | 120.3 M |        |

|   |   |  |
|---|---|--|
| <b>Unidades</b><br>mg/l : miligramos/litro = ppm : partes por millón.<br>dS/m : deciSiemens/metro = mmhos/cm : milimhos/centímetro. | <b>RAS</b><br>Menos de 1 : Excelente (E).<br>De 1 a 2 : Buena (B).<br>De 2 a 4 : Regular (R).<br>De 4 a 8 : Mala (M).<br>Más de 15 : Inapropiada (I). | <b>Dureza</b><br>De 0 a 15 : Muy suave (MS).<br>De 16 a 75 : Suave (S).<br>De 76 a 150 : Media (M).<br>De 151 a 300 : Dura (D).<br>Más de 300 : Muy dura (MD). |
|---|---|--|

  
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO

  
 LABORATORISTA

Fuente: (INIAP, 2019)

### Anexo 2. Análisis de agua por tratamiento sin someter a campos magnéticos

|  |  |   |       |                               |                               |                 |                               |                               |                 |                               |    |    |    |    |      |      |       |          |        |
|--|--|---|-------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|----|----|----|----|------|------|-------|----------|--------|
|   | <b>ESTACIÓN EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA"</b><br><b>DEPARTAMENTO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS</b><br><b>LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS Y AGUAS</b><br>Panamericana sur Km. 1. Apartado 17-01-340<br>Teléfono: 3007284. Email: laboratorio.dmsa@iniap.gob.ec<br>Mejía -Ecuador |    |       |                               |                               |                 |                               |                               |                 |                               |    |    |    |    |      |      |       |          |        |
| <b>REPORTE DE ANÁLISIS DE AGUAS</b>  |  |   |       |                               |                               |                 |                               |                               |                 |                               |    |    |    |    |      |      |       |          |        |
| <b>DATOS DEL PROPIETARIO</b><br>Nombre : Jhonny Bladimir Chicaiza<br>Dirección : Latacunga<br>Ciudad :<br>Teléfono : 0981226098<br>Fax : | <b>DATOS DE LA PROPIEDAD</b><br>Nombre : S/N<br>Provincia : Cotopaxi<br>Cantón : Latacunga<br>Parroquia : Salache<br>Ubicación :   | <b>PARA USO DEL LABORATORIO</b><br>No. Muestra Lab. : 20-0477<br>Fecha de Muestreo : 15/01/2020<br>Fecha de Ingreso : 15/01/2020<br>Fecha de Salida : 28/01/2020  |       |                               |                               |                 |                               |                               |                 |                               |    |    |    |    |      |      |       |          |        |
| <b>No. Muestra Lab.</b>  | <b>Identificación de la muestra</b>  | <b>mg/l</b>   |       | <b>dS/m</b>                   |                               | <b>mg/l</b>     |                               |                               |                 |                               |    |    |    |    |      |      |       |          |        |
|  |  | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Ca</td><td>Mg</td><td>Na</td><td>K</td><td>CO<sub>3</sub><sup>2-</sup></td><td>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></td><td>Cl<sup>-</sup></td><td>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></td><td>B</td><td>Fe</td><td>Zn</td><td>Cu</td><td>Mn</td> </tr> </table> | Ca    | Mg                            | Na                            | K               | CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | B  | Fe | Zn | Cu | Mn   | pH   | C.E.  | RAS      | Dureza |
| Ca   | Mg   | Na  | K     | CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | B                             | Fe              | Zn                            | Cu | Mn |    |    |      |      |       |          |        |
| 20-0477  | Muestra de Agua  | 44.76   | 47.88 | 96.23                         | 13.52                         | 0.0             | 370.9                         | 69.5                          | 161.8           | 0.9                           |    |    |    |    | 7.74 | 1.04 | 2.4 R | 308.8 MD |        |



|   |   |  |
|---|---|--|
| <b>Unidades</b><br>mg/l : miligramos/litro = ppm : partes por millón.<br>dS/m : deciSiemens/metro = mmhos/cm : milimhos/centímetro. | <b>RAS</b><br>Menos de 1 : Excelente (E).<br>De 1 a 2 : Buena (B).<br>De 2 a 4 : Regular (R).<br>De 4 a 8 : Mala (M).<br>Más de 15 : Inapropiada (I). | <b>Dureza</b><br>De 0 a 15 : Muy suave (MS).<br>De 16 a 75 : Suave (S).<br>De 76 a 150 : Media (M).<br>De 151 a 300 : Dura (D).<br>Más de 300 : Muy dura (MD). |
|---|---|--|

  
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO

  
 LABORATORISTA

Fuente: INIAP, 2019

Anexo 3. Análisis de suelos

|  |   |  |             |   |              |           |   |                |  |  |  |  |  |
|--|---|--|-------------|---|--------------|-----------|---|----------------|--|--|--|--|--|
| <br><b>INIAP</b><br><small>INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS</small> | <b>ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA"</b><br><b>LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS</b><br>Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340<br>Quito- Ecuador Telf.: 690-691/92/93 Fax: 690-693 |   |             |   |              |           |   |                |  |  |  |  |  |
| <b>REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS</b>   |   |  |             |   |              |           |   |                |  |  |  |  |  |
| <b>DATOS DEL PROPIETARIO</b><br>Nombre : Nelson Bryan Garcia<br>Dirección : Latacunga<br>Ciudad :<br>Teléfono : 0981226098<br>Fax :  | <b>DATOS DE LA PROPIEDAD</b><br>Nombre : S/N<br>Provincia : Cotopaxi<br>Cantón : Latacunga<br>Parroquia : Salache<br>Ubicación :  | <b>PARA USO DEL LABORATORIO</b><br>Cultivo Actual :<br>Fecha de Muestreo : 13/01/2020<br>Fecha de Ingreso : 14/01/2020<br>Fecha de Salida : 24/01/2020 |             |   |              |           |   |                |  |  |  |  |  |
| <b>N° Muest.</b><br>Laborat.   | meq/100ml<br>Al+H    Al    Na   | dS/m<br>C.E.   | (%)<br>M.O. | Ca<br>Mg<br>Ca+Mg<br>meq/100ml<br>Σ Bases | Mg<br>K<br>K | ppm<br>Cl | Textura (%)<br>Arena    Limo    Arcilla | Clase Textural |  |  |  |  |  |
| 20-0450  |   |  |             | 7,91                                      | 6,39         | 56,94     | 20,86                                   |                |  |  |  |  |  |
| 20-0451  |   |  |             | 11,14                                     | 6,11         | 74,17     | 27,06                                   |                |  |  |  |  |  |
| 20-0452  |   |  |             | 8,91                                      | 8,46         | 83,85     | 22,06                                   |                |  |  |  |  |  |
| 20-0453  |   |  |             | 9,83                                      | 5,33         | 57,78     | 26,45                                   |                |  |  |  |  |  |

|  |   |  |
|--|---|--|
| <b>INTERPRETACION</b>                                |   |  |
| Al+H, Al y Na<br>B = Bajo<br>M = Medio<br>T = Tóxico | C.E.<br>NS = No Salino    S = Salino<br>LS = Lig. Salino    MS = Muy Salino | M.O. y Cl<br>B = Bajo<br>M = Medio<br>A = Alto |


  


|   |  |  |
|---|--|--|
| <b>ABREVIATURAS</b>   |  |  |
| C.E. = Conductividad Eléctrica<br>M.O. = Materia Orgánica<br>RAS = Relación de Adsorción de Sodio |  |  |


  

|  |  |  |
|--|--|--|
| <b>METODOLOGIA USADA</b>   |  |  |
| C.E. = Pasta Saturada<br>M.O. = Dicromato de Potasio<br>Al+H = Titulación NaOH |  |  |

  
**RESPONSABLE LABORATORIO**



  
**LABORATORISTA**

Fuente: INIAP, 2019

Anexo 4. Temperatura calculada con la radiación global

|                                |                   |                                   |                             |
|--------------------------------|-------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| <b>Latitude (degree):</b> 15,4 |                   |                                   | <b>Annual PE (mm/y)</b> 4,6 |
| <b>Temperature (°C)</b>        | <b>Julian day</b> | <b>teta</b>                       | <b>cosGz</b>                |
| 15,1                           | 15                | 0,373                             | 0,995                       |
| 14,5                           | 45                | 0,241                             | 1,000                       |
|                                | 75                | 0,047                             | 0,976                       |
|                                | 105               | 0,160                             | 0,910                       |
|                                | 135               | 0,325                             | 0,829                       |
|                                | 165               | 0,406                             | 0,781                       |
|                                | 195               | 0,380                             | 0,797                       |
|                                | 225               | 0,255                             | 0,866                       |
|                                | 255               | 0,064                             | 0,945                       |
|                                | 285               | 0,144                             | 0,992                       |
|                                | 315               | 0,314                             | 0,999                       |
|                                | 345               | 0,403                             | 0,991                       |
|                                |                   | <b>cosOM</b>                      | <b>OM</b>                   |
|                                |                   | <b>Eta</b>                        | <b>cosPz</b>                |
|                                |                   | <b>Global radiation (MJ/m2/d)</b> | <b>PE (mm/d)</b>            |
|                                |                   | 485,65                            | 485,65                      |
|                                |                   | 473,96                            | 473,96                      |
|                                |                   | 442,29                            | 442,29                      |
|                                |                   | 392,21                            | 392,21                      |
|                                |                   | 341,88                            | 341,88                      |
|                                |                   | 314,28                            | 314,28                      |
|                                |                   | 322,00                            | 322,00                      |
|                                |                   | 361,02                            | 361,02                      |
|                                |                   | 412,86                            | 412,86                      |
|                                |                   | 455,43                            | 455,43                      |
|                                |                   | 478,19                            | 478,19                      |
|                                |                   | 485,94                            | 485,94                      |

Fuente: (Oudin, y otros, 2005), (Morton, 1983)

**Anexo 5. Llenado de fundas**



Fuente: García. N, 2020

**Anexo 7. Ensayo implantado**



Fuente: García. N, 2020

**Anexo 6. Siembra**



Fuente: García. N, 2020

**Anexo 8. Riego**



Fuente: García. N, 2020



**Anexo 9.** Porcentaje de germinación



Fuente: García. N, 2020

**Anexo 11.** Diámetro de tallo



Fuente: García. N, 2020

**Anexo 10.** Altura de planta



Fuente: García. N, 2020

**Anexo 12.** Longitud de raíz



Fuente: García. N, 2020

**Anexo 13.** Número de hojas



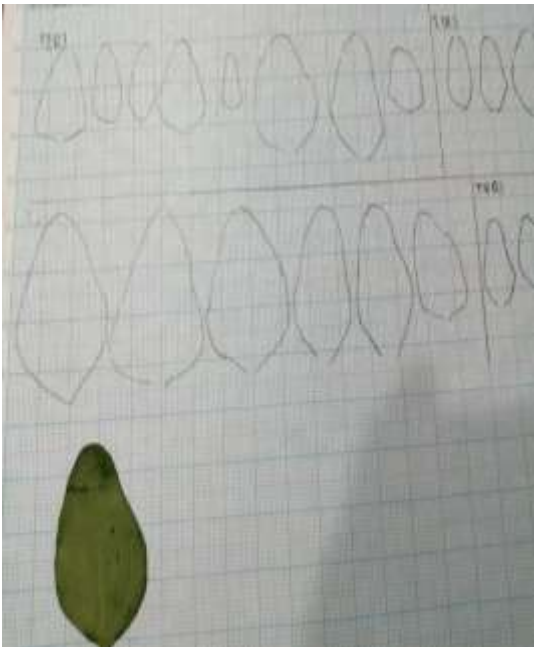
Fuente: García. N, 2020

**Anexo 15.** Contenido de clorofila



*Fuente: García. N, 2020*

**Anexo 14.** Área foliar



Fuente: García. N, 2020

**Tabla 12.** Registro del porcentaje a la emergencia

| Tratamientos | Repeticiones | Porcentaje a la emergencia (%) |                              |                              |                              |                              |                               |
|--------------|--------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
|              |              | 3 días después de la siembra   | 4 días después de la siembra | 5 días después de la siembra | 6 días después de la siembra | 7 días después de la siembra | 10 días después de la siembra |
| T1           | 1            | 0                              | 33,33                        | 46,7                         | 66,7                         | 86,7                         | 100                           |
| T2           | 1            | 0                              | 33,33                        | 60                           | 80                           | 80                           | 100                           |
| T3           | 1            | 0                              | 40                           | 66,7                         | 73,3                         | 80                           | 100                           |
| T4           | 1            | 0                              | 26,7                         | 53,3                         | 66,7                         | 80                           | 100                           |
| T1           | 2            | 0                              | 13,33                        | 40                           | 60                           | 80                           | 100                           |
| T2           | 2            | 0                              | 40                           | 53,3                         | 66,7                         | 86,7                         | 100                           |
| T3           | 2            | 0                              | 46,67                        | 73,3                         | 80                           | 86,7                         | 100                           |
| T4           | 2            | 0                              | 33,3                         | 53,3                         | 66,7                         | 80                           | 100                           |
| T1           | 3            | 0                              | 33,33                        | 33,3                         | 46,7                         | 73,3                         | 100                           |
| T2           | 3            | 0                              | 53,3                         | 66,7                         | 86,7                         | 93,3                         | 93,3                          |
| T3           | 3            | 0                              | 53,33                        | 80                           | 80                           | 93,3                         | 100                           |
| T4           | 3            | 0                              | 20                           | 40                           | 53,3                         | 73,3                         | 93,3                          |
| T1           | 4            | 0                              | 20                           | 40                           | 60                           | 80                           | 100                           |
| T2           | 4            | 0                              | 40                           | 60                           | 66,7                         | 80                           | 100                           |
| T3           | 4            | 0                              | 40                           | 73,3                         | 80                           | 86,7                         | 100                           |
| T4           | 4            | 0                              | 20                           | 20                           | 53,3                         | 80                           | 93,3                          |
| T1           | 5            | 0                              | 33,33                        | 46,7                         | 66,7                         | 73,3                         | 100                           |
| T2           | 5            | 0                              | 40                           | 60                           | 66,7                         | 80                           | 93,3                          |
| T3           | 5            | 0                              | 46,67                        | 60                           | 73,3                         | 80                           | 100                           |
| T4           | 5            | 0                              | 26,7                         | 46,7                         | 73,3                         | 86,7                         | 100                           |

**Tabla 13.** Registro de la altura de planta

| Tratamientos | Repeticiones | Altura de planta (cm)         |                               |                               |                               |                               |
|--------------|--------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|              |              | 10 días después de la siembra | 15 días después de la siembra | 20 días después de la siembra | 25 días después de la siembra | 30 días después de la siembra |
| T1           | 1            | 1,85                          | 3,35                          | 6,46                          | 8,12                          | 11,50                         |
| T2           | 1            | 2,29                          | 4,02                          | 7,65                          | 11,44                         | 15,65                         |
| T3           | 1            | 3,35                          | 5,04                          | 8,75                          | 12,96                         | 16,29                         |
| T4           | 1            | 1,97                          | 3,79                          | 6,14                          | 8,39                          | 10,72                         |
| T1           | 2            | 1,29                          | 3,20                          | 5,88                          | 8,45                          | 12,55                         |
| T2           | 2            | 1,92                          | 3,95                          | 7,49                          | 10,99                         | 16,01                         |
| T3           | 2            | 2,89                          | 5,04                          | 9,54                          | 12,77                         | 17,27                         |
| T4           | 2            | 0,76                          | 2,62                          | 4,73                          | 6,76                          | 9,78                          |
| T1           | 3            | 1,82                          | 4,05                          | 7,15                          | 10,33                         | 13,35                         |
| T2           | 3            | 3,36                          | 5,40                          | 10,19                         | 13,98                         | 18,36                         |

|    |   |      |      |       |       |       |
|----|---|------|------|-------|-------|-------|
| T3 | 3 | 4,46 | 6,54 | 11,24 | 15,71 | 20,14 |
| T4 | 3 | 1,89 | 3,64 | 6,62  | 10,51 | 13,16 |
| T1 | 4 | 0,78 | 2,52 | 5,45  | 7,09  | 10,48 |
| T2 | 4 | 2,71 | 4,49 | 8,78  | 11,63 | 17,13 |
| T3 | 4 | 2,03 | 4,19 | 8,02  | 10,93 | 15,55 |
| T4 | 4 | 0,87 | 2,55 | 4,84  | 7,54  | 10,48 |
| T1 | 5 | 1,01 | 2,87 | 5,22  | 8,13  | 10,97 |
| T2 | 5 | 2,00 | 3,60 | 7,31  | 10,17 | 13,18 |
| T3 | 5 | 3,21 | 4,96 | 8,56  | 12,75 | 17,15 |
| T4 | 5 | 1,41 | 3,24 | 5,36  | 7,99  | 10,97 |

Elaborado por García. N, 2020

**Tabla 14.** Registro del diámetro de tallo

| Tratamientos | Repeticiones | Diámetro de tallo (cm)        |                               |                               |                               |                               |
|--------------|--------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|              |              | 10 días después de la siembra | 15 días después de la siembra | 20 días después de la siembra | 25 días después de la siembra | 30 días después de la siembra |
| T1           | 1            | 0,93                          | 0,93                          | 1,15                          | 1,68                          | 2,29                          |
| T2           | 1            | 1,00                          | 1,36                          | 2,00                          | 2,14                          | 2,80                          |
| T3           | 1            | 1,00                          | 1,14                          | 1,85                          | 2,05                          | 2,72                          |
| T4           | 1            | 1,00                          | 1,00                          | 1,38                          | 1,61                          | 1,96                          |
| T1           | 2            | 1,00                          | 1,00                          | 1,31                          | 1,73                          | 2,14                          |
| T2           | 2            | 1,00                          | 1,29                          | 2,08                          | 2,35                          | 2,77                          |
| T3           | 2            | 1,00                          | 1,35                          | 2,08                          | 2,38                          | 2,73                          |
| T4           | 2            | 1,00                          | 1,00                          | 1,27                          | 2,35                          | 1,91                          |
| T1           | 3            | 1,00                          | 1,00                          | 1,61                          | 1,93                          | 2,53                          |
| T2           | 3            | 1,00                          | 1,29                          | 2,08                          | 2,36                          | 2,66                          |
| T3           | 3            | 1,00                          | 1,28                          | 2,31                          | 2,71                          | 2,85                          |
| T4           | 3            | 0,93                          | 0,93                          | 1,55                          | 2,34                          | 2,52                          |
| T1           | 4            | 1,00                          | 1,07                          | 1,69                          | 1,49                          | 2,16                          |
| T2           | 4            | 1,00                          | 1,36                          | 1,92                          | 2,16                          | 2,63                          |
| T3           | 4            | 1,00                          | 1,35                          | 1,92                          | 1,95                          | 2,90                          |
| T4           | 4            | 0,93                          | 0,93                          | 1,27                          | 1,50                          | 1,69                          |
| T1           | 5            | 1,00                          | 1,00                          | 1,38                          | 1,67                          | 1,92                          |
| T2           | 5            | 0,93                          | 1,14                          | 1,85                          | 1,84                          | 2,19                          |
| T3           | 5            | 1,00                          | 1,21                          | 2,23                          | 2,42                          | 2,74                          |
| T4           | 5            | 1,00                          | 1,00                          | 1,36                          | 1,41                          | 2,39                          |

Elaborado por García. N, 2020



**Tabla 15.** Registro del número de hojas

| Tratamientos | Repeticiones | Número de hojas               |                               |                               |                               |                               |
|--------------|--------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|              |              | 10 días después de la siembra | 15 días después de la siembra | 20 días después de la siembra | 25 días después de la siembra | 30 días después de la siembra |
| T1           | 1            | 1,07                          | 3,00                          | 5,23                          | 7,73                          | 10,60                         |
| T2           | 1            | 1,07                          | 3,14                          | 5,31                          | 8,33                          | 11,27                         |
| T3           | 1            | 2,27                          | 4,43                          | 6,85                          | 9,67                          | 11,82                         |
| T4           | 1            | 0,67                          | 3,36                          | 4,92                          | 7,75                          | 10,00                         |
| T1           | 2            | 0,80                          | 2,57                          | 4,36                          | 7,25                          | 10,27                         |
| T2           | 2            | 1,20                          | 3,14                          | 6,00                          | 8,67                          | 12,18                         |
| T3           | 2            | 2,40                          | 3,71                          | 6,85                          | 8,92                          | 12,00                         |
| T4           | 2            | 0,27                          | 1,86                          | 4,38                          | 8,08                          | 9,36                          |
| T1           | 3            | 1,20                          | 3,43                          | 6,08                          | 9,00                          | 12,77                         |
| T2           | 3            | 2,67                          | 4,57                          | 7,31                          | 9,33                          | 13,00                         |
| T3           | 3            | 2,80                          | 4,71                          | 7,77                          | 10,83                         | 14,82                         |
| T4           | 3            | 1,07                          | 3,00                          | 5,62                          | 6,17                          | 11,45                         |
| T1           | 4            | 0,80                          | 2,57                          | 4,38                          | 6,83                          | 9,64                          |
| T2           | 4            | 1,47                          | 3,43                          | 6,54                          | 9,33                          | 12,73                         |
| T3           | 4            | 1,07                          | 3,00                          | 6,15                          | 9,17                          | 12,80                         |
| T4           | 4            | 0,13                          | 1,57                          | 4,31                          | 6,83                          | 9,50                          |
| T1           | 5            | 0,53                          | 2,00                          | 4,85                          | 7,42                          | 10,91                         |
| T2           | 5            | 1,47                          | 3,29                          | 5,46                          | 8,83                          | 12,09                         |
| T3           | 5            | 1,87                          | 4,00                          | 7,08                          | 8,75                          | 13,36                         |
| T4           | 5            | 0,67                          | 2,57                          | 4,77                          | 6,33                          | 10,45                         |

Elaborado por García. N, 2020

**Tabla 16.** Registro de longitud de raíz

| Tratamientos | Repeticiones | Longitud de raíz (cm)         |                               |                               |                               |                               |
|--------------|--------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|              |              | 10 días después de la siembra | 15 días después de la siembra | 20 días después de la siembra | 25 días después de la siembra | 30 días después de la siembra |
| T1           | 1            | 2,3                           | 4,5                           | 6,2                           | 6,5                           | 9,3                           |
| T2           | 1            | 2,7                           | 4,9                           | 6,1                           | 7,6                           | 13                            |
| T3           | 1            | 4                             | 6                             | 8,7                           | 9,5                           | 13,4                          |
| T4           | 1            | 2,4                           | 3,7                           | 5                             | 7                             | 9,8                           |
| T1           | 2            | 2,7                           | 5                             | 5,4                           | 6                             | 10                            |
| T2           | 2            | 2,9                           | 4,6                           | 4,3                           | 7,3                           | 14,1                          |
| T3           | 2            | 4,3                           | 5,9                           | 7,6                           | 9,7                           | 14                            |
| T4           | 2            | 3,2                           | 3,9                           | 3,9                           | 5,5                           | 10,2                          |
| T1           | 3            | 3,3                           | 4,1                           | 5,3                           | 7                             | 10,3                          |

|    |   |     |     |     |      |      |
|----|---|-----|-----|-----|------|------|
| T2 | 3 | 3,1 | 4,4 | 8,2 | 9    | 11   |
| T3 | 3 | 5,2 | 6,3 | 6,7 | 9,2  | 14   |
| T4 | 3 | 2,3 | 4,1 | 5,2 | 6,5  | 9,3  |
| T1 | 4 | 2,6 | 2,6 | 5,2 | 7,1  | 11,3 |
| T2 | 4 | 3,4 | 5,2 | 6   | 9,2  | 9    |
| T3 | 4 | 3,1 | 6,2 | 6,9 | 9,9  | 12   |
| T4 | 4 | 1,7 | 3,8 | 4,5 | 6,2  | 10,8 |
| T1 | 5 | 2,1 | 2,8 | 4,2 | 8,1  | 11,4 |
| T2 | 5 | 3   | 5,3 | 6,5 | 10   | 15   |
| T3 | 5 | 5,7 | 6,6 | 7,2 | 10,3 | 15,7 |
| T4 | 5 | 3,2 | 3,4 | 6,3 | 7,6  | 9,5  |

Elaborado por García. N, 2020

**Tabla 17.** Registro del área foliar

| Tratamientos | Repeticiones | Área foliar (cm2)             |                               |                               |                               |                               |
|--------------|--------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|              |              | 10 días después de la siembra | 15 días después de la siembra | 20 días después de la siembra | 25 días después de la siembra | 30 días después de la siembra |
| T1           | 1            | 5,01                          | 27,7                          | 59,7                          | 82,6                          | 203,78                        |
| T2           | 1            | 10,7                          | 44,1                          | 79,6                          | 109,4                         | 211,4                         |
| T3           | 1            | 16,2                          | 56                            | 89,7                          | 132,8                         | 214,34                        |
| T4           | 1            | 4,7                           | 25,5                          | 57,1                          | 78,3                          | 179,94                        |
| T1           | 2            | 6                             | 36,7                          | 60,8                          | 79,1                          | 118,3                         |
| T2           | 2            | 12,2                          | 40,9                          | 88,8                          | 110,5                         | 261,1                         |
| T3           | 2            | 11,4                          | 53,1                          | 87,6                          | 99,8                          | 201,79                        |
| T4           | 2            | 5,9                           | 22,8                          | 47,5                          | 69,5                          | 144,37                        |
| T1           | 3            | 7,1                           | 31,2                          | 55,3                          | 80,6                          | 184,69                        |
| T2           | 3            | 10,1                          | 47,3                          | 86,1                          | 124,9                         | 182,73                        |
| T3           | 3            | 13,1                          | 49,7                          | 91,5                          | 158,78                        | 242,14                        |
| T4           | 3            | 5,7                           | 29,4                          | 47,8                          | 87,5                          | 112,69                        |
| T1           | 4            | 6,8                           | 34,1                          | 43,1                          | 77,2                          | 108,08                        |
| T2           | 4            | 13,8                          | 41,8                          | 84,9                          | 130,7                         | 95,36                         |
| T3           | 4            | 14,7                          | 51,3                          | 96,6                          | 145,6                         | 180,87                        |
| T4           | 4            | 6,3                           | 21,3                          | 44,4                          | 65,4                          | 75,72                         |
| T1           | 5            | 6,7                           | 33,6                          | 47,2                          | 80,3                          | 122,79                        |
| T2           | 5            | 9,7                           | 39,9                          | 77,6                          | 98,1                          | 210,49                        |
| T3           | 5            | 14                            | 48,8                          | 87,8                          | 113,12                        | 198,09                        |
| T4           | 5            | 6,6                           | 30,7                          | 47,7                          | 55,9                          | 142,83                        |

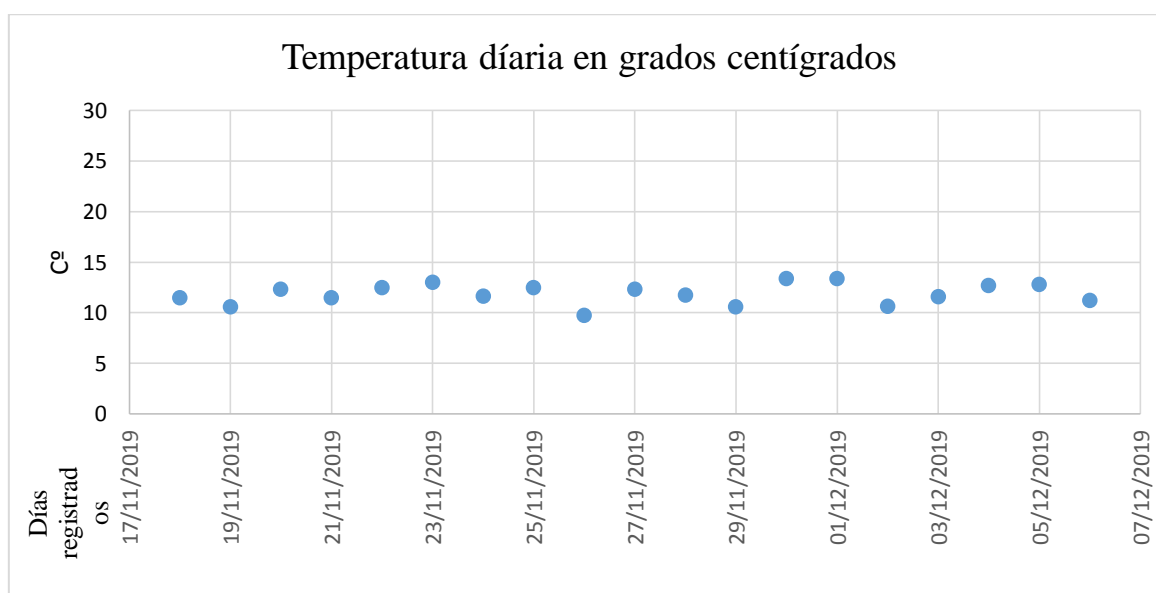
Elaborado por García. N, 2020

**Tabla 18.** Registro del contenido de clorofila

| Tratamientos | Repeticiones | Índice de clorofila (CCI) |
|--------------|--------------|---------------------------|
| T1           | 1            | 12,14                     |
| T2           | 1            | 17,68                     |
| T3           | 1            | 15,36                     |
| T4           | 1            | 13,4                      |
| T1           | 2            | 14,5                      |
| T2           | 2            | 12,3                      |
| T3           | 2            | 21,78                     |
| T4           | 2            | 13,2                      |
| T1           | 3            | 15,52                     |
| T2           | 3            | 21,16                     |
| T3           | 3            | 30,7                      |
| T4           | 3            | 15,24                     |
| T1           | 4            | 11,22                     |
| T2           | 4            | 17,8                      |
| T3           | 4            | 21,64                     |
| T4           | 4            | 11,34                     |
| T1           | 5            | 11,54                     |
| T2           | 5            | 14,52                     |
| T3           | 5            | 19,62                     |
| T4           | 5            | 12,4                      |

Elaborado por García. N, 2020

**Figura 20.** Registro de temperatura promedio del invernadero inteligente de Granos Andinos.



Elaborado por: García, N. 2019