



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE GUAYAQUIL**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**ELABORACIÓN DE UN HIDROGEL DE ALOE VERA PARA  
MEJORAR LA HUMEDAD DE LOS SUELOS EN CULTIVOS DE  
MAÍZ**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniero Ambiental

**AUTOR:** Eder Ariel Zamora Balladares

**TUTOR:** Ing. Néstor Marcelo Berrones Rivera, M. I. A.

**Guayaquil - Ecuador**

**2025**

## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Eder Ariel Zamora Balladares con documento de identificación No. 0931621981 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total, o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 3 de febrero del año 2025

Atentamente,



---

Eder Ariel Zamora Balladares

C. I. No. 0931621981

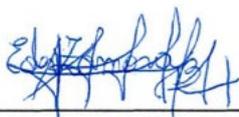
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Eder Ariel Zamora Balladares con documento de identificación No.0931621981, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo experimental: “Elaboración de un hidrogel de aloe vera para mejorar la humedad de los suelos en cultivos de maíz”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 3 de febrero del año 2025

Atentamente,



---

Eder Ariel Zamora Balladares

C. I. No. 0931621981

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Néstor Marcelo Berrones Rivera con documento de identificación No. 0914078290, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “ELABORACIÓN DE UN HIDROGEL DE ALOE VERA PARA MEJORAR LA HUMEDAD DE LOS SUELOS EN CULTIVOS DE MAÍZ”, realizado por Eder Ariel Zamora Balladares con documento de identificación No. 0931621981, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo Experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 3 de febrero del año 2025

Atentamente,



---

Ing. Néstor Marcelo Berrones Rivera, M.I.A.

C. C. No. 0914078290

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a las personas que me me han apoyado durante todo este proceso.

A mis padres Eder y Patricia, por educarme enseñarme e inculcarme todos los valores que me han llevado a ser quien soy ahora, además de apoyarme incondicionalmente en cada momento de mi vida e impulsarme a dar mi mejor esfuerzo en cada paso que doy, gracias por todo el esfuerzo, amor y cariño que me han dado.

A mi abuela Mariana quien, así como mis padres me ha educado y enseñado diferentes valores los cuales han forjado mi carácter preparándome así para enfrentar al mundo.

A mi hermano Axel, por estar a mi lado, y soportarme tal como soy.

A mis amigos, por mostrarme que la vida es más divertida si tienes buenas personas con quien pasar el rato.

A mis maestros, por enseñarme además de conocimientos sobre alguna materia, mostrarme como es el mundo profesional y darme las herramientas para desarrollarme en él.

A mis familiares fallecidos, por cuidarme y vigilarme desde el cielo.

Eder Ariel Zamora Balladares

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por darme la vida, las herramientas para cumplir todas mis metas y a todas las personas que me han acompañado y apoyado en cada segundo de mi vida tanto buenas como malas, deseando que me cuide como lo ha hecho desde que nací.

Le agradezco a mi familia por todos los sacrificios que han hecho y por nunca perder la fe en mí, sus enseñanzas, consejos y correcciones han sido pilar fundamental para alcanzar todas mis metas y logros.

Un agradecimiento a los ingenieros Marcelo Berrones Rivera, Virgilio Ordoñez Ramírez y Carmen Palacios Limones por su guía y enseñanzas durante toda mi estadía en la universidad.

Eder Ariel Zamora Balladares

## RESUMEN

Este estudio se enfoca en la elaboración y comparación de un hidrogel de aloe vera para mejorar la humedad del suelo antes y después de su aplicación en suelos utilizados para el cultivo de maíz. Su objetivo es evaluar la efectividad de este producto como mejorador de la humedad para suelos con baja irrigación, un problema cada vez más frecuente debido al incremento de las temporadas de sequía.

Durante la fase experimental, se analizaron las propiedades del suelo en una parcela de donde se cultiva maíz, evaluando la humedad, el contenido de materia orgánica, el pH y la conductividad eléctrica, con el objetivo de establecer una línea base de sus características.

A partir de estos datos, se elaboraron dos tipos de hidrogel de aloe vera: uno con extracción de los compuestos fenólicos de la planta y otro sin la extracción, con el propósito de evaluar su impacto en el mejoramiento de las características del suelo.

Cada hidrogel fue aplicado en recipientes con muestras individuales del suelo de la parcela, a dos profundidades distintas: 5 cm y 10 cm. Estas profundidades corresponden a la profundidad de arado del suelo y el recorrido promedio de la raíz del maíz antes de alcanzar su fase de mayor demanda hídrica. Las muestras fueron expuestas a condiciones normales de temperatura, humedad y precipitación, replicando el sistema de riego empleado en la parcela durante un período de dos semanas.

Al finalizar el experimento, se analizaron nuevamente las muestras para determinar los cambios en las propiedades del suelo tras la aplicación del hidrogel, permitiendo así comparar los resultados, evaluar su efecto en la retención de agua. Los resultados mostraron que ambos hidrogeles, tanto a 5 cm como a 10 cm de profundidad, lograron incrementar la retención de agua en el suelo, además de mejorar las demás características.

Se concluyó después de analizar las tablas comparativas y de eficiencia que el hidrogel con tratamiento es el mejor debido a que además de mejorar los parámetros del suelo presento una menor pérdida de pH, en ambas profundidades.

**Palabra claves:** hidrogel, aloe vera, compuestos fenólicos, extracción, humedad, conductividad eléctrica, materia orgánica.

## ABSTRACT

This study focuses on the development and comparison of an aloe vera hydrogel to improve soil moisture before and after its application in soils used for maize cultivation. Its objective is to evaluate the effectiveness of this product as a moisture enhancer for soils with low irrigation, a problem that is becoming increasingly frequent due to the rise in drought seasons.

During the experimental phase, soil properties were analyzed in a cultivated plot, assessing moisture, organic matter content, pH, and electrical conductivity to establish a baseline of its characteristics.

Based on this data, two types of aloe vera hydrogel were developed: one with the extraction of the plant's phenolic compounds and another without the extraction, aiming to evaluate their impact on soil improvement.

Each hydrogel was applied to containers with individual soil samples from the plot at two different depths: 5 cm and 10 cm. These depths correspond to the average root penetration of maize before reaching its phase of highest water demand. The samples were exposed to normal conditions of temperature, humidity, and precipitation, replicating the irrigation system used in the plot for a period of two weeks.

At the end of the experiment, the samples were reanalyzed to determine changes in soil properties after the hydrogel application, allowing for comparison of results and evaluation of its effect on water retention. The results showed that both hydrogels, at depths of 5 cm and 10 cm, successfully increased soil water retention while also improving other characteristics.

After analyzing the comparative tables and efficiency, it was concluded that the treated hydrogel was the most effective, as it not only improved soil parameters but also resulted in a lower pH loss at both depths.

**Keywords:** hydrogel, aloe vera, phenolic compounds, extraction, humidity, electrical conductivity, organic matter

## TABLA DE CONTENIDO

<b>CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....</b>	<b>I</b>
<b>CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA .....</b>	<b>II</b>
<b>CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....</b>	<b>III</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>IV</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>V</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>VI</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>VII</b>
<b>INDICE DE TABLAS.....</b>	<b>XIII</b>
<b>INDICE DE ILUSTRACIONES .....</b>	<b>XIV</b>
<b>ÍNDICE DE GRAFICAS .....</b>	<b>XV</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>1. Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Situación Problemática .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1.1 Definición del Problema.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1.2 Justificación.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2 Delimitación .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2.1 Delimitación geográfica.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2.2 Delimitación temporal.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2.3 Delimitación sectorial.....</b>	<b>5</b>
<b>1.3 Objetivos.....</b>	<b>5</b>
<b>1.3.1 Objetivos General.....</b>	<b>5</b>
<b>1.3.2 Objetivos Específicos.....</b>	<b>5</b>

1.4 Marco Hipotético .....	5
1.4.1 Hipótesis general.....	5
1.4.2 Hipótesis específicas .....	6
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>7</b>
<b>2 Marco teórico referencial.....</b>	<b>7</b>
<b>2.1 Fundamentos teóricos.....</b>	<b>7</b>
2.1.2 Suelo.....	7
2.1.3 Tipos de suelo .....	7
2.1.4 Características físicas del suelo .....	8
2.1.5 Características químicas del suelo .....	8
2.1.6 Humedad .....	8
2.1.7 Conductividad eléctrica .....	8
2.1.8 Potencial de hidrógeno .....	8
2.1.9 Carbono orgánico del suelo .....	8
<b>2.2. Hidrogel.....</b>	<b>9</b>
2.2.1 Tipos de hidrogeles .....	9
2.2.2 Estructura de hidrogel .....	9
<b>2.3 El Aloe Vera.....</b>	<b>10</b>
2.3.1 Clasificación del aloe vera.....	10
<b>2.4 Fundamento legal .....</b>	<b>11</b>
2.4.1 Constitución del Ecuador.....	11
2.4.2 Acuerdo Ministerial 061.....	11
2.4.2 Acuerdo Ministerial 097-A.....	12
<b>CAPITULO III .....</b>	<b>13</b>
<b>3. Metodología.....</b>	<b>13</b>
<b>3.1 Tipo y diseño de investigación .....</b>	<b>13</b>
<b>3.2 Reconocimiento del área .....</b>	<b>13</b>

<b>3.3 Metodología para el muestro .....</b>	<b>14</b>
<b>3.3.1 Consideraciones para el muestro de suelo.....</b>	<b>14</b>
<b>3.3.2 Puntos de muestro .....</b>	<b>14</b>
<b>3.3.3 Profundidad de muestreo.....</b>	<b>15</b>
<b>3.3.4 Recorrido para realizar el muestreo .....</b>	<b>16</b>
<b>3.3.5 Recolección de la muestra del suelo .....</b>	<b>16</b>
<b>3.3.6 Conservación de muestras de suelo.....</b>	<b>17</b>
<b>3.4 Metodología para el análisis de las propiedades del suelo .....</b>	<b>17</b>
<b>3.4.1 Análisis de la propiedades físico-químicas del suelo.....</b>	<b>17</b>
<b>3.4.2 Materiales y procedimiento para la humedad .....</b>	<b>18</b>
<b>3.4.3 Materiales y procedimiento para el potencial de hidrógeno.....</b>	<b>19</b>
<b>3.4.3 Materiales y procedimiento para la conductividad eléctrica.....</b>	<b>20</b>
<b>3.4.4 Materiales y procedimiento para la materia orgánica .....</b>	<b>21</b>
<b>3.5 Preparación del hidrogel.....</b>	<b>21</b>
<b>3.6 Fase Experimental .....</b>	<b>23</b>
<b>CAPITULO IV.....</b>	<b>24</b>
<b>4.Resultados.....</b>	<b>24</b>
<b>4.1 Recolección de muestras .....</b>	<b>24</b>
<b>4.2 Caracterización del suelo antes de aplicar el hidrogel .....</b>	<b>24</b>
<b>4.2.1 Resultado de la prueba de humedad antes de la aplicar el hidrogel.....</b>	<b>24</b>
<b>4.2.2 Resultado de la prueba de MO previo a aplicar del hidrogel.....</b>	<b>25</b>
<b>4.2.3 Resultado de la prueba de pH previo a aplicar el hidrogel.....</b>	<b>25</b>
<b>4.2.4 Resultado de la prueba de conductividad previo a aplicar el hidrogel...</b>	<b>26</b>
<b>4.2.5 Valores de los parámetros del suelo previo a aplicar el hidrogel.....</b>	<b>26</b>
<b>4.3 Elaboración del hidrogel.....</b>	<b>27</b>
<b>4.3.1 Elaboración del hidrogel con aloe vera con tratamiento .....</b>	<b>27</b>
<b>4.3.1.1 Limpieza de las hojas de aloe vera.....</b>	<b>27</b>

4.3.1.2	Extracción del acíbar y compuestos fenólicos.....	27
4.3.1.3	Extracción del gel del aloe vera.....	28
4.3.1.4	Obtención del hidrogel con el aloe vera con tratamiento.....	29
4.3.2	Preparación del hidrogel con el aloe vera sin tratamiento.....	29
4.3.2.1	Limpieza de las hojas de aloe vera.....	29
4.3.2.2	Extracción del gel del aloe vera.....	30
4.3.2.3	Obtención del hidrogel con el aloe vera sin tratamiento.....	31
4.3.3	Rendimiento de la planta de aloe vera.....	31
4.4	Aplicación del hidrogel.....	32
4.5	Variables meteorológicas durante la experimentación.....	34
4.5.1	Precipitación.....	34
4.5.3	Humedad.....	36
4.6	Caracterización del suelo después de la aplicación del hidrogel.....	37
4.6.1	Resultados de las pruebas en suelo con hidrogel con tratamiento.....	37
4.6.1.1	Resultados de humedad para las muestras con hidrogel tratado ....	37
4.6.1.2	Resultados de MO para las muestras con hidrogel tratado.....	38
4.6.1.3	Resultados de pH para las muestras con hidrogel con tratado. ....	38
4.6.1.4	Resultado de conductividad para el suelo con hidrogel tratado.....	39
4.6.1.5	Valores de los parámetros suelo con hidrogel con tratado.....	40
4.6.2	Resultados de las pruebas en suelo con hidrogel sin tratamiento.....	40
4.6.2.1	Resultados de humedad para el suelo con hidrogel sin tratar.....	40
4.6.2.2	Resultados de MO para el suelo con hidrogel sin tratar.....	41
4.6.2.3	Resultados de pH para el suelo con hidrogel sin tratar.....	42
4.6.2.4	Resultados de conductividad para el suelo con hidrogel sin tratar..	43
4.6.2.5	Valores de los parámetros de suelo con hidrogel sin tratar.....	43
4.7	Comparación de los resultados del hidrogel.....	44
4.8	Eficiencia de los hidrogeles.....	44

4.8.1 Tabla de eficiencia del hidrogel de aloe vera con tratamiento.....	45
4.8.2 Tabla de eficiencia del hidrogel de aloe vera sin tratamiento.....	45
4.9 Análisis de los resultados de eficiencia.....	45
4.10 Resultados de comprobación de la hipótesis .....	46
4.10.1 Hipótesis general.....	46
4.11 Discusión .....	48
CAPITULO V .....	49
5 Conclusiones y recomendaciones .....	49
5.1 Conclusiones.....	49
5.2 Recomendaciones.....	50
6 Anexos .....	54
6.1 Anexos Fotográficos.....	54

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Coordenadas del área de estudio.....	4
<b>Tabla 2</b> Criterios de calidad del suelo.....	12
<b>Tabla 3</b> Números mínimos de muestreos.....	12
<b>Tabla 4</b> Número de puntos de muestreos.....	14
<b>Tabla 5</b> Profundidad del muestreo.....	15
<b>Tabla 6</b> Parámetros del suelo a analizar.....	17
<b>Tabla 7</b> Valor de humedad antes de la aplicación del hidrogel.....	24
<b>Tabla 8</b> Valor de materia orgánica antes de la aplicación del hidrogel.....	25
<b>Tabla 9</b> Valor de pH del suelo antes de la aplicación del hidrogel.....	26
<b>Tabla 10</b> Valor de conductividad eléctrica del suelo antes de la aplicación de hidrogel.....	26
<b>Tabla 11</b> Resultados de los parámetros analizados antes de la aplicación del hidrogel.....	26
<b>Tabla 12</b> Rendimiento total de la planta de aloe vera.....	31
<b>Tabla 13</b> Rendimiento de las hojas de aloe vera para el hidrogel con tratamiento.....	32
<b>Tabla 14</b> Rendimiento de las hojas de aloe vera para el hidrogel sin tratamiento.....	32
<b>Tabla 15</b> Valores de humedad para suelo con hidrogel con tratamiento.....	37
<b>Tabla 16</b> Valores de materia orgánica en el suelo con hidrogel con tratamiento.....	38
<b>Tabla 17</b> Valores de pH en el suelo con hidrogel con tratamiento.....	39
<b>Tabla 18</b> Valores de conductividad en el suelo con hidrogel con tratamiento.....	39
<b>Tabla 19</b> Valores del suelo con hidrogel con tratamiento a 5 cm de profundidad.....	40
<b>Tabla 20</b> Valores del suelo con hidrogel con tratamiento a 10 cm de profundidad.....	40
<b>Tabla 21</b> Valores de humedad para el suelo con hidrogel sin tratamiento.....	41
<b>Tabla 22</b> Valores de materia orgánica para el suelo con hidrogel sin tratamiento.....	42
<b>Tabla 23</b> Valores de pH para el suelo con hidrogel sin tratamiento.....	42
<b>Tabla 24</b> Valores de conductividad para el suelo con hidrogel sin tratamiento.....	43
<b>Tabla 25</b> Valores del suelo con hidrogel sin tratamiento a 5 cm de profundidad.....	43
<b>Tabla 26</b> Valores del suelo con hidrogel sin tratamiento a 10 cm de profundidad.....	44
<b>Tabla 27</b> Caracterización del suelo antes y después de la aplicación del hidrogel.....	44
<b>Tabla 28</b> Eficiencia del hidrogel con tratamiento.....	45
<b>Tabla 29</b> Eficiencia del hidrogel sin tratamiento.....	45
<b>Tabla 30</b> Resultado de la comprobación de hipótesis.....	47

## INDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1</b>	Delimitación geográfica del área del muestreo.....	4
<b>Ilustración 2</b>	Clasificación del suelo según su textura .....	7
<b>Ilustración 3</b>	Partes de la planta y hoja del aloe vera .....	10
<b>Ilustración 4</b>	Vista actual del área de estudio y muestreo .....	14
<b>Ilustración 5</b>	Forma del recorrido para muestrear .....	16
<b>Ilustración 6</b>	Lavado y limpieza del aloe vera .....	27
<b>Ilustración 7</b>	Pesaje y etiquetado del aloe vera .....	27
<b>Ilustración 8</b>	Remojo inicial del aloe vera en agua destilada.....	28
<b>Ilustración 9</b>	Cambio del agua destilada 24 hora después de remojo inicial .....	28
<b>Ilustración 10</b>	Extracción la cáscara del aloe vera .....	28
<b>Ilustración 11</b>	Extracción del del aloe vera con tratamiento .....	28
<b>Ilustración 12</b>	Obtención del hidrogel de aloe vera con tratamiento .....	29
<b>Ilustración 13</b>	Elaboración de la solución del polímero agar agar.....	29
<b>Ilustración 14</b>	Pesaje y etiquetado del aloe vera .....	30
<b>Ilustración 15</b>	Lavado y limpieza del aloe vera .....	30
<b>Ilustración 16</b>	Extracción de la cáscara del aloe vera .....	30
<b>Ilustración 17</b>	Pesaje del gel de aloe vera sin tratamiento .....	30
<b>Ilustración 18</b>	Elaboración de la solución del polímero de agar agar .....	31
<b>Ilustración 19</b>	Obtención del hidrogel de aloe vera sin tratamiento .....	31
<b>Ilustración 20</b>	Recipientes acrílicos graduados con muestras de suelo.....	33
<b>Ilustración 21</b>	Profundidad de aplicación del hidrogel a 5cm y 10 cm.....	33
<b>Ilustración 22</b>	Aplicación de la capa de hidrogel para profundidades de 5 cm y 10 cm	34
<b>Ilustración 23</b>	Caso de hipótesis.....	47

## ÍNDICE DE GRAFICAS

<b>Grafica 1</b> Precipitación durante el periodo de experimentación .....	34
<b>Grafica 2</b> Temperatura del mes de diciembre del 2024.....	35
<b>Grafica 3</b> Temperatura del mes de enero del 2025 .....	35
<b>Grafica 4</b> Humedad del mes de experimentación diciembre del 2024.....	36
<b>Grafica 5</b> Humedad del mes de experimentación enero 2025.....	36

## **CAPÍTULO I**

### **1. Introducción**

En el contexto actual de cambios climáticos y escasez de recursos hídricos, la disponibilidad del agua en el suelo se ha convertido en un factor determinante para el desarrollo y rendimiento de los cultivos, especialmente en regiones con climas secos o patrones de precipitación irregulares. En respuesta a estos desafíos, el uso de tecnologías innovadoras, como los hidrogeles agrícolas, se presenta como una solución prometedora para mejorar la retención de agua en el suelo, optimizando así su uso y reduciendo el impacto de la sequía en la agricultura.

En este contexto, la sábila se presenta como una materia prima natural, accesible y ecológica para el desarrollo de hidrogeles. Reconocido por su alto contenido de polisacáridos, capacidad de retención de agua y propiedades bioactivas, el aloe vera podría ofrecer una solución sostenible y eficaz para la mejora de las características del suelo. Además, su uso podría contribuir a la recuperación de suelos degradados, mejorando su estructura, capacidad de retención de humedad y fertilidad.

La formulación de hidrogeles con aloe vera destaca por sus propiedades naturales de absorción y retención de humedad, atribuibles a su alto contenido de mucílagos y compuestos bioactivos como vitaminas, aminoácidos y antioxidantes. Estas características no solo permiten mejorar la capacidad de retención de agua en el suelo, sino que también potencian el desarrollo de las raíces y aumentan la resistencia de las plantas frente a condiciones de estrés.

En este estudio, se plantea la elaboración de un hidrogel a base de aloe vera como estrategia para enfrentar la insuficiencia de agua en los suelos agrícolas de la comunidad 24 de Mayo, en la provincia de Manabí. Este enfoque busca no solo mitigar los efectos de las recientes variaciones climáticas, sino también prolongar los periodos entre riegos, reducir el consumo de agua, disminuir los costos de producción y aliviar la presión sobre los recursos hídricos, contribuyendo así al desarrollo de una agricultura más sostenible.

#### **1.1 Situación Problemática**

A nivel global el problema de las sequías se ha convertido en un fenómeno cada vez más consistente con el pasar del tiempo, el aumento del calentamiento global junto con los cambios drásticos en la climatología del planeta, han traído graves consecuencias

económicas y ambientales, reduciendo la productividad de las tierras agrícolas y dañando el suelo recurso fundamental de esta actividad. (Gonzales, 2024)

Durante los últimos cinco años América Latina y el Caribe han presentado fuertes problemas con respecto a la disminución del agua, efectos causados por el cambio climático junto con el Fenómeno de El Niño, el cual altera las condiciones climáticas la temperatura del océano afectando los ciclos de precipitaciones. El Sexto informe de Evaluación del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), indica que el crecimiento de las superficies afectadas por las sequías durante el periodo 2010-2019 en *comparación a períodos pasados han ido en aumento a su vez que los valores de precipitación han caído entre un 30% y 90% en el este de Brasil, las costas de Venezuela, Ecuador y Perú y el sur de Chile y Argentina.* (Castellanos.E, 2022)

En Ecuador, la provincia de Manabí ha enfrentado esta situación desde la década de 1960, un análisis realizado en 2019 hecho por la Universidad de Guayaquil, revela que las variaciones en la productividad y la economía de la región están estrechamente relacionadas con las condiciones climáticas, ya que el suelo, su recurso más valioso, depende directamente de estos factores. (MENDOZA, GARCIA, & SALAZAR, 2019)

Debido a las variaciones climáticas por la que pasa el país en el presente año, se ha ido afectando la calidad de los suelos destinados para producción del maíz, la extensa sequía ha provocado una prolongada falta de hidratación de los suelos produciendo una serie de efectos adversos como es la insuficiencia de humedad, baja absorción de nutrientes, mayor vulnerabilidad a la erosión, etc.

Esta anomalía meteorológica como son las sequías encuentra su origen en la combinación del Cambio Climático con el calentamiento anormal del Océano Atlántico Norte y adicción con el fenómeno del Niño el cual se caracteriza por el aumento en la temperatura en el Océano Pacífico Ecuatorial cada vez más intenso según un artículo de la organización The Amazon We Want. (Flávia R.C. Cosra, 2024)

Es decir que este inconveniente es un factor limitante para los agricultores debido a que su producción ha disminuido, por la descompensación en la cantidad de agua que obtienen

para los suelos, provocando un estrés hídrico durante todo el ciclo del cultivo afectando el crecimiento y producción del grano. (Tarazona-Meza Néstor Leopoldo, 2022)

Si bien las sequías en Ecuador no son algo nuevo, sus consecuencias con el pasar del tiempo se han ido agravando, según un reporte hecho por el diario el Comercio del presente año, se redacta que la afectación en las superficies agrícolas por sequías durante el periodo de enero hasta septiembre se extiende a casi 35 346,26 hectáreas (ha) con un valor en pérdidas económicas equivalente a 1.63 millones de dólares. (Quiroz, 2024)

### **1.1.1 Definición del Problema**

En la comunidad 24 de Mayo, cantón Sucre ubicado en el centro sur de la provincia de Manabí, el suelo destinado a la producción del maíz presenta una humedad base del 14%, dato que se obtuvo en pruebas realizadas en campo por el autor, presentando una insuficiencia del 26% en comparación al estándar que deberían tener por el tipo de suelo que disponen para cultivar (arcilloso), el cual es del 40% según los datos que presenta la EOS Data Analytics. (Analytics, 2024)

### **1.1.2 Justificación**

A la vista de la situación actual, la disponibilidad del agua en el suelo es uno de los factores más críticos para el crecimiento y rendimiento de los cultivos, especialmente en regiones con climas secos o con patrones de lluvia irregulares. La implementación de hidrogeles en la agricultura puede mejorar la retención de agua en el suelo manteniéndola húmeda por más tiempo.

El aloe vera, es conocido por su capacidad de retener agua gracias a su alto contenido de mucílagos, además de presentar características naturales de absorción y retención de humedad que podrían ser adaptadas para la formulación de un hidrogel, la introducción de este producto no solo podría mejorar la capacidad de retener agua, sino también aportaría compuestos bioactivos beneficiosos para la salud de las plantas, tales como vitaminas, aminoácidos y antioxidantes, incrementando el desarrollo de las raíces y mejorar la resistencia de las plantas a condiciones de estrés.

Desde una perspectiva práctica, este estudio busca reducir una erosión más aguda, por la insuficiencia de agua del suelo destinado a la agricultura, en vista de las recientes

variaciones climáticas que sufren los agricultores de la comunidad 24 de Mayo en la provincia de Manabí, además de que al implementar esta tecnología se pueden prolongar los periodos entre riegos y reducir el consumo de agua disminuyendo así los costos de producción y la presión sobre los recursos hídricos.

## 1.2 Delimitación

### 1.2.1 Delimitación geográfica

El área de muestreo y la fuente de información sobre el suelo se especifican en las siguientes coordenadas:

*Tabla 1* Coordenadas del área de estudio

Coordenadas del área		
Puntos	X	Y
Punto 1	562966	9859907
Punto 2	562908	9859965
Punto 3	562922	9859981
Punto 4	562987	9859928

*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*

Dentro de área referenciada en la Tabla1 se realizó el muestreo del suelo, se muestra imagen satelital de referencia sobre la ubicación de las coordenadas

*Ilustración 1* Delimitación geográfica del área del muestreo



*Fuente: Google Earth*

**Lugar de Experimentación:** Las pruebas de experimentales se realizaron los laboratorios de química y vegetación del campus María Auxiliadora de la Universidad Politécnica Salesiana ubicado en el Km 19 vía a la costa.

### **1.2.2 Delimitación temporal**

El presente trabajo experimental se llevó a cabo entre los meses de octubre a diciembre del presente año. Este intervalo fue seleccionado para asegurar el cumplimiento de los objetivos planteados.

### **1.2.3 Delimitación sectorial**

El área de estudio se ha delimitado en una parcela de tierra, ubicada en la comunidad de 24 de Mayo ubicada en el cantón Sucre, en la provincia de Manabí, donde se han identificado zonas con bajos niveles de humedad en el suelo.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivos General**

Elaborar un hidrogel a base de aloe vera mediante pruebas experimentales para mejorar las condiciones de humedad en los suelos de cultivo de maíz.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Identificar las características del suelo mediante ensayos de laboratorio para determinar las condiciones de sus características físicas y químicas.
- Obtener el hidrogel a partir del aloe vera mediante pruebas de laboratorio para aplicarlo en el suelo.
- Realizar pruebas de efectividad del hidrogel mediante pruebas comparativas para establecer si el producto obtenido mejora las propiedades físicas y químicas del suelo.

## **1.4 Marco Hipotético**

### **1.4.1 Hipótesis general**

¿Elaborando un hidrogel a base de aloe vera mejorará las condiciones de humedad de los suelos del cultivo de maíz?

### **1.4.2 Hipótesis específicas**

- ¿Identificando las características del suelo mediante ensayos se determinarán sus características físicas y químicas?
- ¿Obteniendo el hidrogel a base de aloe vera podremos aplicarlo en el suelo?
- ¿Realizando las pruebas de efectividad estableceremos si el hidrogel mejoró las propiedades físico y químicas del suelo?

## CAPÍTULO II

### 2 Marco teórico referencial

#### 2.1 Fundamentos teóricos

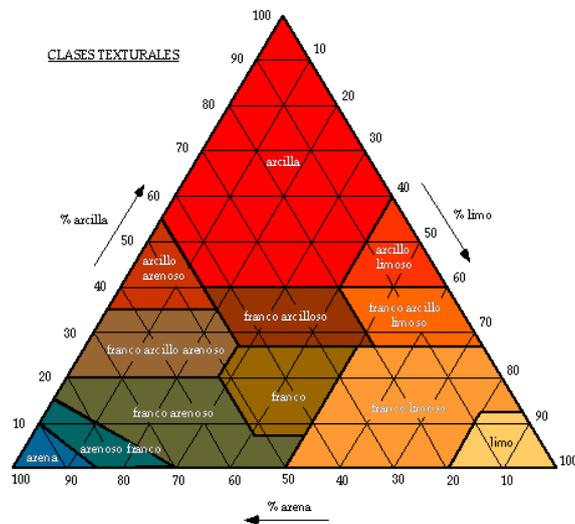
##### 2.1.2 Suelo

El suelo es la fracción más superficial de la corteza terrestre, integrada por restos de rocas provenientes de la erosión química y física provenientes de las eras prehistóricas, además de poseer materia orgánica producto de la actividad biológica que se extiende en la superficie, este ser estructurado siempre permanece en constante cambio y evolución, durante su formación.

##### 2.1.3 Tipos de suelo

Según la Universidad de Pennsylvania se clasifica a los suelos dependiendo en gran medida de las cantidades y porcentajes de las partículas minerales similares que estos contengan, sin embargo, la gran mayoría de este sustrato está compuesto tres minerales esenciales arena, limo y arcilla. Obteniendo una clasificación según su textura de estos suelos en arenosos, limosos, suelos francos y arcillosos según su proporción en el suelo.

*Ilustración 2 Clasificación del suelo según su textura*



*Fuente: (Sánchez, 2020)*

#### **2.1.4 Características físicas del suelo**

Las características físicas del suelo son el resultado de la interacción del medio con el suelo y sus distintas capas, su condición física determina su capacidad de sostenimiento, facilidad de crecimiento de las plantas, drenaje, retención de nutrientes entre otros diversos factores.

#### **2.1.5 Características químicas del suelo**

La química del suelo es el estudio de la concentración o proporciones de los diferentes minerales en el suelo como son la capacidad de intercambio catiónico, el pH del suelo, nutrientes de las plantas, carbono orgánico del suelo entre otras características.

#### **2.1.6 Humedad**

Se refiere a humedad como la cantidad de vapor de agua que se encuentra en el aire o en una sustancia. Este es un factor muy importante para las plantas a lo largo de su desarrollo la falta de agua causa un estrés que deteriora su crecimiento reduciendo su producción y rendimiento.

Por otra parte, el exceso de humedad en el suelo también afecta negativamente a las plantas ya que este puede causar dificultad para airear el suelo, regular su temperatura, reducción de sus procesos microbiológicos.

#### **2.1.7 Conductividad eléctrica**

Dentro de su composición el suelo posee sales y minerales los cuales son aprovechados para conducir la corriente eléctrica en él, este parámetro ayuda a la recepción de minerales hacia las plantas además de interferir en el proceso osmótico del suelo por el cual se relacionan disponibilidad de agua para los cultivos

#### **2.1.8 Potencial de hidrógeno**

Una de las propiedades más importante del suelo es el pH dado a que es un indicador de las diferentes propiedades físico, químicas y biológicas del suelo influyendo principalmente en su fertilidad, ya que las variaciones de pH permiten que varios nutrientes se encuentren en su máxima disponibilidad para ser absorbidos por las plantas.

#### **2.1.9 Carbono orgánico del suelo**

Parámetro fundamental para la sustentabilidad de los sistemas agrícolas afectando principalmente el rendimiento de la producción de cultivos este parámetro esta abarca

todo la cantidad total y disponible de nutrientes en el suelo, además de aumentar la solubilidad de los nutrientes. Esta propiedad no solo afecta a los valores de los nutrientes presentes, sino que también modifica la acidez y alcalinidad de los suelos en adición este modifica la estructura y la distribución de del espacio poroso del suelo afectando a la retención de humedad

## **2.2. Hidrogel**

Según (Chai,2020) es un material polimérico tridimensional que puede absorber y retener grandes cantidades de agua, gracias a su estructura de red entrecruzada algunos hidrogeles que pueden responder a estímulos externos, como el pH, la temperatura o la luz, lo cual amplía su versatilidad en la medicina e industria.

### **2.2.1 Tipos de hidrogeles**

Existen varias clasificaciones para los hidrogeles según su enlace, sensibilidad a estímulos, carga o su tamaño, pero para alinearlo con el objetivo del estudio se optó clasificarlos según su tipo polímero resultando en tres tipos de hidrogeles a base de proteínas, a base de polisacáridos y poliéster natural.

### **2.2.2 Estructura de hidrogel**

Un hidrogel es un material polimérico que puede absorber grandes cantidades de agua y retenerla dentro de su estructura. Esta capacidad se debe a la combinación de sus componentes químicos, que permiten tanto la absorción de agua como la retención de la misma a lo largo del tiempo. Un hidrogel generalmente está compuesto por varios elementos estructurales clave, que incluyen:

- 1) Polímero base:** Goma que formara la estructura básica del hidrogel,
- 2) Grupo funcionales hidrofílicos:** Estructura química afín con el agua que ayudará a absorber y retener grandes cantidades de agua.
- 3) Red tridimensional:** Proceso por el cual se unirán las cadenas poliméricas dando estabilidad a estructura del material.
- 4) Agua componente:** Sustancia principalmente atrapada físicamente dentro de la estructura polimérica permitiendo al hidrogel expedirse y mantener su hidratación.

**5) Aditivos compuestos o sustancias:** modificadores de las propiedades del hidrogel estos modificadores son opcionales en la preparación del hidrogel, su uso dependerá de la persona que utilice este producto.

### 2.3 El Aloe Vera

El Aloe Vera (*Aloe Barbadensis*), pertenece a la familia de las *asfodeláceas* o *liláceas* con hojas en forma de rosetas, esta planta cuyo tamaño puede alcanzar desde unos cuantos centímetros hasta los 50 centímetros de largo, es una planta reconocida a nivel mundial por su importancia botánica y económica. La hoja de la sábila posee numerosos beneficios y componentes químicos. El gel de la sábila es muy utilizado en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica principalmente, debido a que sus propiedades pueden ser una tecnología con alto potencial para productos derivados de la planta y el gel tales como laxantes, antioxidantes, cremas y humectantes.

#### 2.3.1 Clasificación del aloe vera

Su clasificación es muy diversa con aproximadamente 500 tipos de sábilas en todo el mundo, categorización es muy extendida dependiendo de diversos factores no solo la ubicación, clima, suelo hacen que esta posea una categorización muy extendida, sin embargo, las características comunes que agrupan al aloe vera como tal son similitudes en las estructuras.

*Ilustración 3 Partes de la planta y hoja del aloe vera*



*Fuente: Andrés Lindow (2023)*

## **2.4 Fundamento legal**

### **2.4.1 Constitución del Ecuador**

#### **Sección II**

#### **Ambiente Sano**

Publicada el 20 de octubre del 2008 en Montecristi (Manabí)

*Art.14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.*

*Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.*

#### **Sección octava**

#### **Ciencia, Tecnología, innovación y saberes ancestrales**

*Art. 385.- El sistema nacional de ciencia, tecnología, innovación y saberes ancestrales, en el marco del respeto al ambiente, la naturaleza, la vida, las culturas y la soberanía, tendrá como finalidad:*

- 1. Generar, adaptar y difundir conocimientos científicos y tecnológicos.*
- 2. Recuperar, fortalecer y potenciar los saberes ancestrales.*
- 3. Desarrollar tecnologías e innovaciones que impulsen la producción nacional, eleven la eficiencia y productividad, mejoren la calidad de vida y contribuyan a la realización del buen vivir.*

*Art. 386.- El sistema comprenderá programas, políticas, recursos, acciones, e incorporará a instituciones del Estado, universidades y escuelas politécnicas, institutos de investigación públicos y particulares, empresas públicas y privadas, organismos no gubernamentales y personas naturales o jurídicas, en tanto realizan actividades de investigación, desarrollo tecnológico, innovación y aquellas ligadas a los saberes ancestrales.*

*El Estado, a través del organismo competente, coordinará el sistema, establecerá los objetivos y políticas, de conformidad con el Plan Nacional de Desarrollo, con la participación de los actores que lo conforman.*

### **2.4.2 Acuerdo Ministerial 061**

#### **Como reforma del libro VI del texto unificado de legislación secundaria**

Define al suelo como: *La capa superior de la corteza terrestre, situada entre el lecho rocoso y la superficie, compuesto por partículas minerales, materia orgánica, agua, aire*

y organismos vivos y que constituye la interfaz entre la tierra, el aire y el agua, lo que le confiere capacidad de desempeñar tanto funciones naturales como de uso.

## 2.4.2 Acuerdo Ministerial 097-A

### Objeto

La presente norma tiene como objetivo principal preservar la salud de las personas y velar por la calidad ambiental del recurso suelo a fin de salvaguardar las funciones naturales en los ecosistemas, frente a actividades antrópicas con potencial para modificar su calidad, resultantes de los diversos usos del recurso.

Para asegurar un buen proceso agrícola es fundamental asegurar la calidad del suelo tanto para el sector público como privado. Para esto se tiene como referencia la normativa ambiental en su Acuerdo Ministerial 097-A – Anexo 2, que habla sobre criterios de calidad de suelos en la tabla No. 1, donde se expiden los parámetros mínimos para la valorización de la calidad inicial del suelo según su uso.

**Tabla 2** Criterios de calidad del suelo

Parámetro	Unidades*	Valor
<b>Parámetros Generales</b>		
Conductividad	uS/cm	200
pH		6 a 8
Relación de adsorción de Sodio (Índice SAR)		4*

*Fuente: Acuerdo Ministerial 097-A*

En complemento también se usará la tabla No. 3, la cual indica que el número de muestras a tomar con superficies comprendidas entre 01 Ha y 30 Ha.

**Tabla 3** Números mínimos de muestreos

TABLA 3. MUESTREO PARA SUELOS CONTAMINADOS  
(Con superficies comprendidas entre 0.1 Ha y 30 Ha)

Superficie del sitio que se supone contaminado (hectáreas)		Número mínimo de puntos de muestreos
DE	A	
0.1	0.19	6
0.2	0.29	7
0.3	0.39	8
0.4	0.49	9
0.5	0.69	10
0.7	0.99	11
1	1.99	12
2	2.99	14
3	3.99	16
4	4.99	18
5	5.99	19

6	6.99	20
7	7.99	21
8	8.99	22
9	10.99	23
11	11.99	24
12	13.99	25
14	15.99	26
16	17.99	27
18	19.99	28
20	21.99	29
22	24.99	30
25	27.99	31
28	29.99	32

*Fuente: Acuerdo Ministerial 097-A*

## **CAPITULO III**

### **3. Metodología**

#### **3.1 Tipo y diseño de investigación**

Para el desarrollo de este trabajo experimental se dividió en dos fases, la primera fue el reconocimiento y obtención de muestras de suelo, la cual se realizó en una parcela de tierra en la comunidad 24 de Mayo, cantón Sucre ubicado en el centro sur de la provincia de Manabí.

La segunda fase fue la caracterización de muestras de suelo, la elaboración del hidrogel, el análisis comparativo del suelo antes y después de la aplicación del hidrogel con tratamiento del aloe vera y otro sin el tratamiento del aloe vera a diferentes profundidades.

Logrando así emular la profundidad de labrado de la tierra y la profundidad promedio de que toma una raíz de maíz antes de la fase de mayor requerimiento hídrico, dichas etapas se realizarán en los laboratorios de química y entomología de la Universidad Politécnica Salesiana Campus María Auxiliadora, ubicada en el km 19 de la vía a la costa.

La población determinada para este estudio corresponde a una sección de la parcela destinada al cultivo de maíz, de la cual se tomará una muestra compuesta de 3,0 kg del suelo para su análisis en laboratorio. Este procedimiento se realizará de acuerdo con lo establecido en el Acuerdo Ministerial 097-A y la Guía Técnica para Muestreo de Suelo de la Universidad Agraria de Nicaragua.

En el análisis del suelo se evaluarán cuatro variables: la humedad del suelo como variable independiente, y como variables dependientes la conductividad eléctrica, el porcentaje de materia orgánica y el potencial de hidrógeno.

#### **3.2 Reconocimiento del área**

El lugar de donde se obtendrán las muestras de suelo es una parte de la parcela de tierra ubicada en una ladera, la misma será usada para el cultivo de maíz, el área que se utilizará para el estudio será de 80 metros de largo x 25 metros de ancho, obteniendo un espacio aproximado de 2000 m<sup>2</sup>.

*Ilustración 4 Vista actual del área de estudio y muestreo*



*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*

### **3.3 Metodología para el muestro**

#### **3.3.1 Consideraciones para el muestro de suelo**

#### **3.3.2 Puntos de muestro**

Para saber el número de muestras que había que tomar se consideró como referente la Tabla 3 del Anexo 2 del Acuerdo Ministerial 097-A el cual comprende superficies entre 0.1 Ha y 30 Ha.

*Tabla 4 Número de puntos de muestreos*

Superficie del sitio que se supone contaminado (hectáreas)		Número mínimo de puntos de muestreos
DE	A	
0.1	0.19	6
0.2	0.29	7
0.3	0.39	8
0.4	0.49	9
0.5	0.69	10
0.7	0.99	11
1	1.99	12
2	2.99	14
3	3.99	16
4	4.99	18
5	5.99	19
6	6.99	20
7	7.99	21
8	8.99	22
9	10.99	23
11	11.99	24
12	13.99	25
14	15.99	26
16	17.99	27
18	19.99	28
20	21.99	29
22	24.99	30
25	27.99	31
28	29.99	32

*Fuente: Acuerdo Ministerial 097-A*

Según esta tabla y la superficie a estudiar la cual equivaldría a 0.2 Ha, obtenemos que el número mínimo de puntos de muestreo es de 7.

### 3.3.3 Profundidad de muestreo

Para la forma en cómo se recolectará la muestra de suelo se usará como referente la “Guía Técnica para Muestreo de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de Nicaragua”. (Corrales & Espinoza, 2020)

La guía nos indica los valores referenciales de profundidad a los que se debe realizar muestreo, dichos valores se muestran en la tabla 2, sacando de esta tabla una profundidad de 0 a 10 cm para suelos de cultivos anuales con labranza tradicional.

**Tabla 5** Profundidad del muestreo

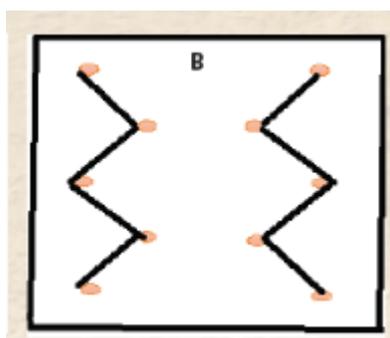
Uso de la tierra	Profundidad (cm)	Observaciones
<b>SUELOS PROFUNDOS EN PLANICIES O VALLES</b>		
Cultivos anuales con labranza tradicional: para fertilidad general o recomendaciones de fertilización (maíz, granos básicos)	0 a 10 ó 0 a 20	Solo la capa arable; muestreo 2 meses previo a la siembra
Hortalizas	0 a 10	Muestreo por lote o bancales
Pastos	0 a 10	Dividir potreros en áreas homogéneas
Plantaciones perennes y frutales	0 a 30 y 30 a 60 0 a 20, 20 a 40 ó 40 a 60	1 mes previo a la floración, tomar muestra en un radio de 50 cm al árbol
Cultivos de siembra directa Para estudio de rutina Para estudio detallado	Tres capas 0 a 5 cm, 5 a 10, y de 10 a 20 cm	Para estudios de rutina se puede muestrear de 0 a 5 cm y de 5 a 10 cm
<b>SUELOS SUPERFICIALES EN LADERAS</b>		
Cultivos anuales de siembra directa. Para manejo de fertilidad	0 a 10	Dividir el lote en áreas uniformes
Cultivos de hortalizas con labranza manual	0 a 10	Tomar muestra del bancal
Pastura en potreros	0 a 10	
Cultivos perennes, frutales y árboles	0 a 15, 15 a 30 y 30 a 50	Únicamente considerar suelo y no roca

Fuente: (Corrales & Espinoza, 2020)

### 3.3.4 Recorrido para realizar el muestreo

Para obtener una representación homogénea del terreno se optó por hacer un recorrido en zigzag horizontalmente en el terreno, con una distancia entre los puntos de muestreo de entre 25 a 30 pasos. Recolectando las submuestras y posteriormente se mezclarán cada una para obtener así una muestra compuesta que sea representativa.

*Ilustración 5 Forma del recorrido para muestrear*



*Fuente: (Corrales & Espinoza, 2020)*

### 3.3.5 Recolección de la muestra del suelo

Una vez obtenido el recorrido de muestras y el número de muestras a tomar se procedió con la recolección de la muestra para esto se utilizó una pala o palín los pasos a seguir fueron:

- 1.-Seleccionar el sitio a muestra.
- 2.-Eliminar la cobertura entomología y piedras de la superficie del terreno.
- 3.- Marcar en la pala la profundidad del muestreo y cavar haciendo una “V”.
- 4.- Realizar un muestreo del suelo a una profundidad de 0 a 10 cm, considerando el uso de la parcela, destinada a cultivos anuales con labranza tradicional.
- 5.-Limpiar, retirar, escombros o desecho en los laterales de la pala formando un pedazo de pastel.
- 6.-Ingresar este corte a un balde; este debe estar limpio de impurezas tales como restos de fertilizantes, cal, estiércol, cemento etc.

7.- Repetir este procedimiento en cada uno de los puntos de muestreo previamente establecidos.

8.- Mezclar las muestras en el balde y luego depositarla en unas fundas plásticas tipo ziploc.

9.- Rotular la funda ziploc.

### 3.3.6 Conservación de muestras de suelo

Una vez etiquetada la muestra de suelo se la puso en refrigeración entre 0-6°C.

## 3.4 Metodología para el análisis de las propiedades del suelo

### 3.4.1 Análisis de la propiedades físico-químicas del suelo

Para determinar la efectividad del hidrogel se realizó una comparación entre las características físicas y químicas del suelo, antes y después de su aplicación, para esto se ejecutó una de análisis de laboratorio para determinar las medidas base que el suelo posee.

*Tabla 6 Parámetros del suelo a analizar*

Parámetros a analizar en el suelo			
Parámetro	Medición	Método	Equipo
Humedad	Se realizó mediciones de la humedad presente por métodos gravimétricos.	Método de secado al horno 690 INEN.	Estufa
Potencial de Hidrógeno (pH)	Se realizó mediciones del pH presente de manera directa en diluciones en sustrato.	Método 9045D-EPA	Potenciómetro
Conductividad Eléctrica	Se realizó mediciones de la conductividad presente de manera	Método de dilución 1:2	Conductímetro

	directa mediante en diluciones de sustrato.		
Materia Orgánica	Se realizaron mediciones de la materia orgánica presente mediante métodos gravimétricos.	Reacción con peróxido de hidrógeno.	Estufa

*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*

### 3.4.2 Materiales y procedimiento para la humedad

Para la determinación de la humedad natural en el suelo se usó el método gravimétrico establecido en la norma INEN-690, en el cual se determinará la cantidad de agua presente en el suelo mediante la diferencia de peso de la muestra al pasar por proceso de secado en una estufa. (Barreta Vera Bryant Arturo, 2022)

Una vez obtenido la tierra se usó a la fórmula establecida en la norma, para sí obtener la cantidad de agua presente en el suelo.

#### **Fórmula:**

$$w = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \cdot 100$$

Siendo

W = El porcentaje de agua presente en las muestras de suelo.

M1=Masa del recipiente en gramo.

M2= masa del recipiente y el suelo húmedo en gramos.

M3= masa del recipiente y el suelo seco en gramos.

#### **Materiales:**

-Estufa o Horno de Secado

-Balanzas

-Recipientes

-Desecador

-Tamiz 2 mm o No.10

**Procedimiento:**

1. Pesar y registrar el peso del recipiente vacío, limpio y seco
2. Pasar por un tamiz 2 mm una porción del suelo
3. Tomar una muestra de 50 gramos de suelo el recipiente anteriormente tarado del suelo tamizado.
4. Colocar cuidadosamente en el recipiente la muestra de suelo a ensayarse, pesar y registrar su masa.
5. Colocar el recipiente con la muestra húmeda en el horno del secado manteniendo una temperatura de  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$  hasta obtener masa constante.
6. Inmediatamente después de sacar del horno el recipiente con la muestra seca, pesar y registrar su masa.

**3.4.3 Materiales y procedimiento para el potencial de hidrógeno**

Para la determinación del pH se empleó la metodología 9045D-EPA, usada por la empresa OMEGA PERU S.A., el cual consiste en hacer una dilución 1:1 de la muestra de suelo para posterior obtener su medida. (S.A., 2021)

**Materiales:**

-Medidor de pH

-Vaso de Precipitado

-Balanza Analítica

-Agua Destilada

-Tamiz 2 mm o No.10

**Procedimiento:**

- 1.-Tamizar y pesar 20 gr de suelo en un vaso de precipitado de 50 ml.
- 2.-Agregar 20 ml de agua desionizada, tapar y agitar la suspensión durante 5 segundos.

- 3.-Dejar en reposo por una hora la suspensión de suelo, para que la mayor parte de los sedimentos se precipiten.
- 4.- Insertar el potenciómetro hasta que se sumerja lo suficiente para estar en contacto con la solución producida, evitando tocar el precipitado.
- 5.- Obtener y registrar la medición.

### **3.4.3 Materiales y procedimiento para la conductividad eléctrica**

La medición de a la conductividad eléctrica se hizo mediante el método de dilución 1:2, para este método se elaboró una dilución de del sustrato recolectado al cual se le agrego una solución extractora, para fijar los minerales, posteriormente se anotó su medida, esta metodología fue implementada en un estudio de suelo para evaluar los modelos de labranza y la afectación en la calidad del suelo por una fundación universitaria en Colombia. (Triviño Pineda, 2021)

#### **Materiales:**

- Conductímetro
- Vaso de Precipitado de 50 ml
- Balanza Analítica
- Agua Destilada
- Acetato de Amonio
- Tamiz 2 mm 0 No.10

#### **Procedimiento:**

1. Tomar un vaso de precipitado, colocarlo en la balanza y tararlo.
2. Utilizando una espátula, medir 20 gr de suelo.
3. Agregar 40 ml de agua desionizada (haciendo que el peso total dentro del vaso de precipitado sea de 60 gr para una dilución 1:2).
4. Agregar 5 gotas de solución extractora de suelo (Acetato de Amonio).
5. Agitar la solución de suelo obtenida durante 1 minuto y dejarla reposar durante 5 minutos.
6. Introducir el conductímetro en la solución producida.
7. Obtener y registrar la medición.

**Observaciones:**

Durante la realización de esta prueba se usó acetato de sodio al 0,5 N, por falta del reactivo solicitado en la metodología en los laboratorios de química y entomología, este reactivo visto desde una perspectiva química cumple con las características de fijación al igual que el acetato de amonio como solución extractora.

**3.4.4 Materiales y procedimiento para la materia orgánica****Materiales:**

- Estufa
- Matraz Erlenmeyer
- Balanza Analítica
- Peróxido de hidrógeno al 6%
- Tamiz 2 mm o No.10
- Probeta de 10 ml

**Procedimiento:**

1. Pesar en la balanza los matraces Erlenmeyer en balanza y registrar los resultados.
2. Pasar por un tamiz 2 mm una porción de la muestra analizar.
3. Tomar una muestra de 2gr y 5 gr del suelo tamizado, colocar las muestras en un matraz Erlenmeyer respectivamente, a continuación, pesarlos en la balanza registrando su cantidad.
4. Agregar con ayuda de una probeta de 10 ml, pequeñas porciones peróxido de hidrógeno hasta alcanzar los 100 ml o no haya efervescencia (este proceso puede acelerarse calentando a baño maría a 60°C).
5. Secar en un horno a 105±°C por 24 horas.
6. Pasadas las 24 horas dejar enfriar los matraces y pesar.
7. Registrar las cantidades obtenidas.

**3.5 Preparación del hidrogel**

Una vez obtenido los valores bases del estado del suelo, se procedió a la fabricación del hidrogel de aloe vera para aplicarlo en muestras de suelo individuales a diferentes profundidades.

En la experimentación se usó dos formas de hidrogel, la primera forma se tratará al aloe vera para extraer los compuestos fenólicos y sustancias propias que producen la planta las cuales podrían afectar la calidad del hidrogel, en la otra forma de hidrogel no se extraerán dichos compuestos.

### **Materiales:**

- Seis hojas de aloe vera
- Cuatro litros de agua desionizada o destilada
- 250 gramos de agar-agar
- Balanza
- Balde
- Cocina
- Licuadora

### **Procedimiento:**

1. Se procede a lavar con agua tres hojas de aloe vera después cortar la base de la hoja, colocar en una bandeja por una hora para la eliminación del exudado.
2. Luego se pasaron a medir, pesar, rotular además se retiraron los bordes y las puntas y se cortaron en trozos.
3. Para la extracción de los compuestos fenólicos se sumergieron los trozos de aloe vera en cuatro litros de agua destilada por dos días con cambio del agua cada veinticuatro horas.
4. Después del remojo se procede a extraer el gel de la hoja cortando la capa verde que lo recubre se pesó el gel obtenido para comparar su rendimiento por cada hoja procesada.
5. Se mezclaron 10 gramos del polímero agar agar con 100 ml de agua oxigenada
6. Se combinaron las soluciones del polímero con el gel del aloe vera con ayuda de licuadora para tener una mayor uniformidad en la mezcla
7. Posteriormente se calentó la mezcla para activar el polímero entre 30-60°C a baño maría.

**Observaciones:**

La cantidad de polímero (agar agar), puede variar en función de la consistencia que desee dejar el hidrogel más líquido o más blando.

Para la elaboración del hidrogel sin aplicar el tratamiento al aloe vera solo es necesario omitir el paso dos y tres.

**3.6 Fase Experimental**

Obtenidas las características iniciales del suelo, se procedió a colocar muestras del sustrato en cuatro recipientes acrílicos graduados, después de esto se colocaron los recipientes en un espacio donde fueron sometidos a condiciones normales atmosféricas, durante un periodo de dos semanas desde el 23 de diciembre del 2024 hasta el 6 de enero del 2025, en el transcurso de este periodo se anotaron las variaciones de temperatura, humedad y precipitación, para ver la fluctuación que provocan estas variables a la capacidad del hidrogel de retener la cantidad de agua en el suelo.

Después de este periodo de se procedió se analizaron de nuevo las características del suelo para ver las variaciones en los parámetros a analizar, además de comprobar la eficiencia de los hidrogeles en la retención de humedad y mejora de los demás parámetros a analizar del suelo.

## CAPITULO IV

### 4.Resultados

#### 4.1 Recolección de muestras

Se recolectaron un total de 7 muestras en total provenientes del área de estudio, las cuales se juntaron en una muestra compuesta en conformidad con lo dictado por la Guía Técnica para Muestreo de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de Nicaragua, la cual menciona que para análisis del suelo se recomienda una muestra compuesta, que comprenda entre seis y doce submuestras por unidad de muestreo.

#### 4.2 Caracterización del suelo antes de aplicar el hidrogel

Obtenidas las muestras de suelo se procedió a caracterizar los parámetros iniciales de humedad, pH, conductividad eléctrica y materia orgánica presentes en el suelo recolectado, las pruebas se realizaron en los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana.

##### 4.2.1 Resultado de la prueba de humedad antes de la aplicar el hidrogel

Las pruebas de humedad desempeñan un papel crucial en la evaluación de las propiedades físicas y químicas del suelo agrícola. Estas mediciones permiten conocer el contenido de agua en el suelo, proporcionando información esencial para optimizar el riego, asegurar la disponibilidad de nutrientes y aumentar la productividad de los cultivos.

Para determinar la humedad de las muestras, se aplicó el método de secado en horno conforme a la norma INEN 690, el cual establece la cantidad de agua presente a partir de la diferencia de peso. Los resultados de esta prueba se presentan a continuación en la siguiente tabla.

*Tabla 7 Valor de humedad antes de la aplicación del hidrogel*

Resultado de la prueba de humedad para el suelo antes de la aplicación del hidrogel						
Muestra	Peso de la muestra			Formula	Resultado	Estándar
	Peso de Recipiente (M1)	Peso del Recipiente + Suelo Húmedo (M2)	Peso del Recipiente + Suelo Seco (M3)			
1	51,6046	100,1389	94, 0276	$\%W = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1}$	14,40%	40%

*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*

#### 4.2.2 Resultado de la prueba de MO previo a aplicar del hidrogel

El análisis de materia orgánica en suelos agrícolas es fundamental para evaluar su fertilidad y capacidad productiva. Estas pruebas permiten cuantificar la presencia de nutrientes esenciales y su disponibilidad para los cultivos.

Para determinar la materia orgánica (MO), se empleó el método de oxidación con peróxido de hidrógeno, el cual descompone la materia orgánica presente en las muestras de suelo. Luego, las muestras fueron secadas en una estufa para eliminar la solución generada durante la reacción, obteniendo así únicamente la fracción inorgánica residual.

*Tabla 8* Valor de materia orgánica antes de la aplicación del hidrogel

<b>Resultado de la prueba de materia orgánica para el suelo antes de la aplicación del hidrogel</b>						
<b>Muestra</b>	<b>Peso de la muestra</b>			<b>Formula</b>	<b>Resultado</b>	<b>Estándar</b>
	<b>Peso de Recipiente (M1)</b>	<b>Peso del Recipiente + Suelo Húmedo (M2)</b>	<b>Peso del Recipiente + Suelo Seco (M3)</b>			
1	199,64	124,64	123,9006	$\%W = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1}$	18,45%	3-6%

*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*

#### 4.2.3 Resultado de la prueba de pH previo a aplicar el hidrogel

El análisis del pH en suelos agrícolas es crucial, ya que refleja la actividad de los iones de hidrógeno y afecta directamente la disponibilidad de nutrientes minerales para las plantas.

Para la medición del pH, se utilizó el método 9045D-EPA, que consiste en la preparación de una dilución de la muestra a analizar, permitiendo así determinar su nivel de acidez o alcalinidad.

**Tabla 9** Valor de pH del suelo antes de la aplicación del hidrogel

<b>Resultado de la prueba de pH para el suelo antes de la aplicación del hidrogel</b>		
<b>Muestra</b>	<b>Resultado</b>	<b>Estándar</b>
1	7,11	6-8

*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*

#### 4.2.4 Resultado de la prueba de conductividad previo a aplicar el hidrogel

La conductividad eléctrica es un factor clave en la calidad del suelo, ya que influye en el esfuerzo que deben realizar las raíces de las plantas para absorber los nutrientes presentes de forma natural o aportados mediante fertilizantes.

Para evaluar este parámetro, se empleó la metodología de dilución 1:2, utilizada para medir la conductividad eléctrica. Los datos obtenidos se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 10** Valor de conductividad eléctrica del suelo antes de la aplicación de hidrogel

<b>Resultado de la prueba de conductividad eléctrica para el suelo antes de la aplicación del hidrogel</b>		
<b>Muestra</b>	<b>Resultado</b>	<b>Estándar</b>
1	21	<200 uS/cm

*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*

#### 4.2.5 Valores de los parámetros del suelo previo a aplicar el hidrogel

En la siguiente tabla se colocan en conjunto los parámetros iniciales del suelo antes la aplicación del hidrogel, además de obtener la línea base del estado del suelo del lugar del muestreo.

**Tabla 11** Resultados de los parámetros analizados antes de la aplicación del hidrogel

<b>Resultado de los análisis de la muestra de suelo antes de la aplicación del hidrogel</b>			
<b>No.</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Resultado</b>	<b>Unidad</b>
1	Humedad	14,4	%
2	Materia orgánica	18,45	%
3	Potencial de hidrógeno	7,11	pH
4	Conductividad	21	uS

*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*

### 4.3 Elaboración del hidrogel

Obtenidas las características bases del suelo se procedió a fabricar los hidrogeles, uno aplicando un tratamiento de limpieza para extraer los compuestos fenólicos y el otro sin la extracción de dichos compuestos.

#### 4.3.1 Elaboración del hidrogel con aloe vera con tratamiento

##### 4.3.1.1 Limpieza de las hojas de aloe vera

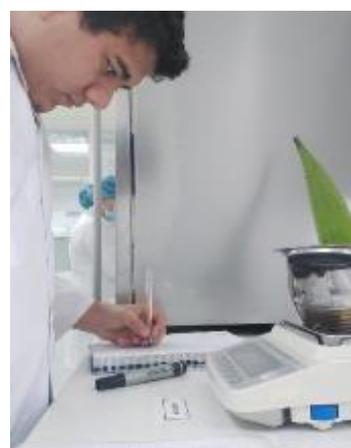
Para evitar que cualquier agente externo afecte el gel o cualquier otra etapa de su preparación se comenzó con un lavado de la penca de aloe vera siguiendo los siguientes pasos.

1. Lavado del aloe vera.
2. Extracción de las puntas, bases y espinas de la hoja.
3. Pesado y etiquetado de las hojas de aloe vera.

*Ilustración 6* Lavado y limpieza del aloe vera



*Ilustración 7* Pesaje y etiquetado del aloe vera



*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*

##### 4.3.1.2 Extracción del acíbar y compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos son cruciales en el metabolismo entomología y poseen propiedades bioactivas como antioxidantes, antiinflamatorias y cicatrizantes. Algunos contienen grupos carboxilos (-COOCH) con características ácidas que pueden transferirse al suelo. Para su eliminación se realizó el siguiente procedimiento:

1. Se dejó reposar el aloe vera por una hora para la extracción del acíbar.
2. Se sumergieron los pedazos de aloe vera anteriormente limpiados y pesados en 5 litros de agua desionizada durante 24 horas.
3. Luego de las 24 horas iniciales se procedió a cambiar los 5 litros de agua desionizada por la misma cantidad.

**Ilustración 8** Remojo inicial del aloe vera en agua destilada



**Ilustración 9** Cambio del agua destilada 24 hora después de remojo inicial



*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*

#### 4.3.1.3 Extracción del gel del aloe vera

Pasado dos días en remojo con agua desionizada se procede a obtener el gel de la hoja del aloe vera para posteriormente convertirla en gel.

1. Secar el exceso de agua de la hoja.
2. Retirar las cáscaras de la hoja.
3. Obtener el gel de la hoja.

**Ilustración 10** Extracción la cáscara del aloe vera



**Ilustración 11** Extracción del aloe vera con tratamiento



*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*

#### 4.3.1.4 Obtención del hidrogel con el aloe vera con tratamiento

Finalmente, para tener el producto final se procede a combinar el gel de la hoja con el polímero, creando así la estructura completa del gel para este proceso se siguieron los siguientes pasos:

1. Tomar el aloe vera cortarlo en trozos más pequeños.
2. Se agregó 20 gr del polímero agar-agar.
3. Agregar 100 de agua destilada.
4. Poner los ingredientes en una licuadora a velocidad media.
5. Pesar y guardar el hidrogel en un recipiente.

*Ilustración 13* Elaboración de la solución del polímero agar agar



*Ilustración 12* Obtención del hidrogel de aloe vera con tratamiento



*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*

#### 4.3.2 Preparación del hidrogel con el aloe vera sin tratamiento

Para la elaboración de este hidrogel se seguirán los pasos realizados con el aloe vera tratado exceptuando la extracción de los compuestos fenólicos.

##### 4.3.2.1 Limpieza de las hojas de aloe vera

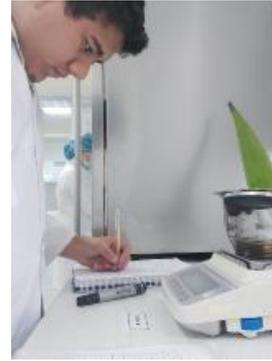
Para evitar que cualquier agente se externó afecte el gel o cualquier otra etapa de su preparación se comenzó con un lavado de la penca de aloe vera siguiendo los siguientes pasos:

1. Lavado del aloe vera.
2. Extracción de las puntas, bases y espinas de la hoja.
3. Pesaje de las hojas de aloe vera.
4. Etiquetado de las hojas de aloe vera.

**Ilustración 15** Lavado y limpieza del aloe vera



**Ilustración 14** Pesaje y etiquetado del aloe vera



*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*

#### **4.3.2.2 Extracción del gel del aloe vera**

Pasado dos días en remojo con agua desionizada se procede a obtener el gel de la hoja del aloe vera para posteriormente convertirla en gel.

1. Secar el exceso de agua de la hoja.
2. Retirar las cascará de la hoja.
3. Obtener el gel de la hoja.

**Ilustración 16** Extracción de la cáscara del aloe vera



**Ilustración 17** Pesaje del gel de aloe vera sin tratamiento



*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*

### 4.3.2.3 Obtención del hidrogel con el aloe vera sin tratamiento

Finalmente, para tener el producto final se procede a combinar el gel de la hoja con el polímero, creando así la estructura completa del gel para este proceso se siguieron los siguientes pasos:

1. Tomar el aloe vera cortarlo en trozos más pequeños.
2. Se agregó 20 gr del polímero agar-agar.
3. Agregar 100 de agua destilada.
4. Poner los ingredientes en una licuadora a velocidad media.

Pesar y guardar el hidrogel en un recipiente.

*Ilustración 18* Elaboración de la solución del polímero de agar agar



*Ilustración 19* Obtención del hidrogel de aloe vera sin tratamiento



*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*

### 4.3.3 Rendimiento de la planta de aloe vera

Para la fabricación de ambos hidrogeles se utilizaron 3 pencas de la planta de aloe vera obteniendo un peso final para el hidrogel con la sábila tratada neto de 863,73 gr y un peso de neto 838,30 gr para el hidrogel sin el aloe vera tratado, el rendimiento para las pencas de aloe vera se muestra en la siguiente tabla:

*Tabla 12* Rendimiento total de la planta de aloe vera

Rendimiento general de la planta de aloe vera con respecto a cada hoja						
Hoja	Largo de la Hoja [cm]	Ancho de la Hoja [cm]	Peso de la Hoja [gr]	Peso del Gel [gr]	Rendimiento del gel [%]	Promedio [%]
1	62	10	578,46	215,1	37,18	47,44
2	65	10	561,08	284,53	50,71	
3	55	8,5	503,75	244,05	48,45	
4	56	9,5	549,05	258,46	47,07	
5	59,5	9	546,95	258,1	47,19	
6	63	9,5	635,25	343,3	54,04	

El rendimiento individual de las hojas de la sábila para cada hidrogel se muestra en las siguientes tablas:

**Tabla 13** Rendimiento de las hojas de aloe vera para el hidrogel con tratamiento

<b>Rendimiento total de las hojas de aloe vera para el hidrogel con tratamiento</b>						
Hoja	Largo de la Hoja [cm]	Ancho de la Hoja [cm]	Peso de la Hoja [gr]	Peso del Gel [gr]	Rendimiento del gel [%]	Promedio [%]
1	62	10	578,46	215,1	37,18	45,45
2	65	10	561,08	284,53	50,71	
3	55	8,5	503,75	244,05	48,45	

*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*

**Tabla 14** Rendimiento de las hojas de aloe vera para el hidrogel sin tratamiento

<b>Rendimiento total de las hojas de aloe vera para el hidrogel sin tratamiento</b>						
Hoja	Largo de la Hoja [cm]	Ancho de la Hoja [cm]	Peso de la Hoja [gr]	Peso del Gel [gr]	Rendimiento del gel [%]	Promedio [%]
4	56	9,5	549,05	258,46	47,07	49,43
5	59,5	9	546,95	258,1	47,19	
6	63	9,5	635,25	343,3	54,04	

*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*

#### **Observaciones:**

1. La variación en el rendimiento de las hojas de hidrogel puede haber sido afectada al por la inadecuada extracción de la cáscara y gel de la planta del aloe vera por parte del autor.
2. La madurez de la planta también puede ser un factor clave al momento de obtener el hidrogel, ya que las hojas del aloe vera crecen y obtienen agua, en medidas diferentes variando una de otra.

#### **4.4 Aplicación del hidrogel**

Durante la fase experimental, con el objetivo de evaluar la efectividad del hidrogel en el incremento de la humedad del suelo, se utilizaron cuatro recipientes acrílicos llenos de tierra proveniente de la zona de estudio. Estos estarán marcados con profundidades de 5, 10, 15 y 20 cm, simulando el recorrido promedio de una raíz de maíz, así como la profundidad de arado utilizada en la preparación del suelo antes del cultivo.

**Ilustración 20** Recipientes acrílicos graduados con muestras de suelo



*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*

La profundidad a la cual se aplicó el hidrogel hace referencia al promedio en cuanto al tratamiento de la tierra antes de la plantación (arado) siendo la máxima cota a los 5 cm y la cota de 10 cm hace referencia a la distancia promedio que penetra la raíz del maíz durante su fase de desarrollo entomología etapa previa a la floración donde el requerimiento de agua por parte de la planta es mayor.

**Ilustración 21** Profundidad de aplicación del hidrogel a 5cm y 10 cm



*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*

Estos límites se aplicaron tanto al hidrogel tratado como al no tratado, dando como resultado cuatro recipientes experimentales: dos con hidrogel tratado colocado a profundidades de 5 y 10 cm, y dos con hidrogel sin tratamiento aplicado a las mismas profundidades.

En todos los recipientes se roció una capa superficial de hidrogel, tanto tratado como sin tratar, con un espesor de 1 cm. Esta capa se colocó en los cuatro recipientes acrílicos, independientemente de si el hidrogel fue colocado a 5 cm o 10 cm de profundidad.

*Ilustración 22* Aplicación de la capa de hidrogel para profundidades de 5 cm y 10 cm



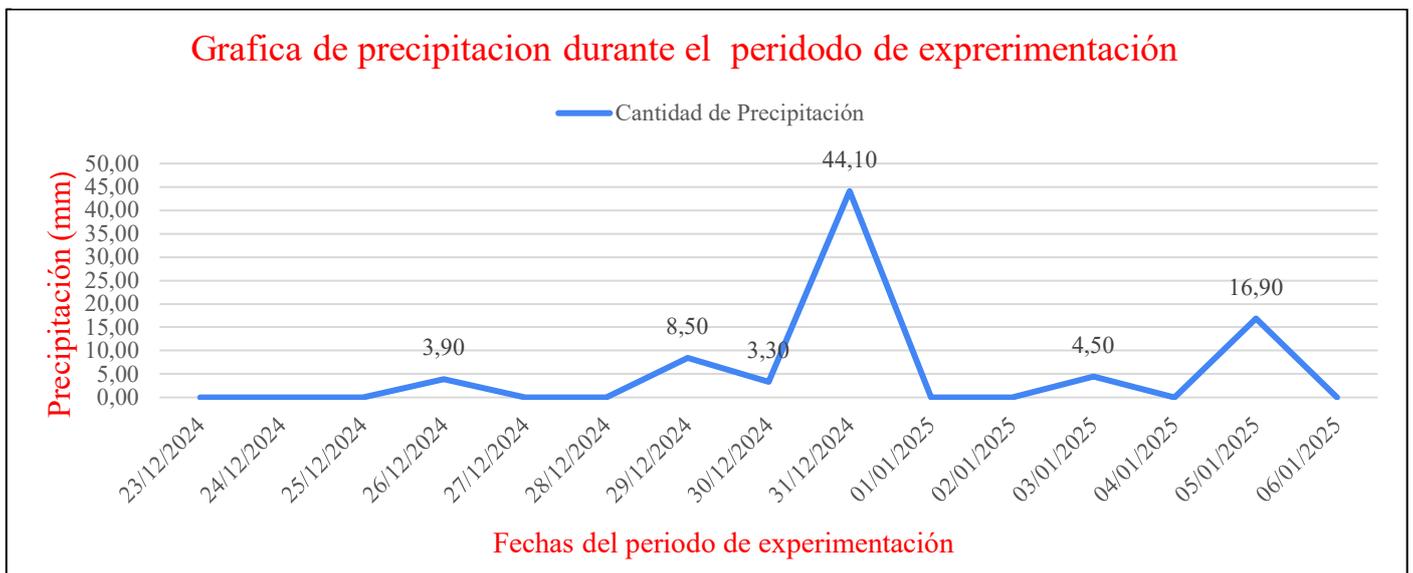
*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*

## 4.5 Variables meteorológicas durante la experimentación

### 4.5.1 Precipitación

Durante este periodo del 23 de diciembre del 2024 al 6 de enero del 2025, se obtuvo un volumen de agua de 81,2 mm de agua según datos del Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada (INOCAR), cuyo valor máximo de lluvia da en el día 31 de diciembre del 2024 con un acumulado de 44,10 mm, mientras el valor mínimo de precipitación fue el 26 de diciembre del 2024 con un valor de 3,90 mm de precipitación.

*Grafica 1* Precipitación durante el periodo de experimentación

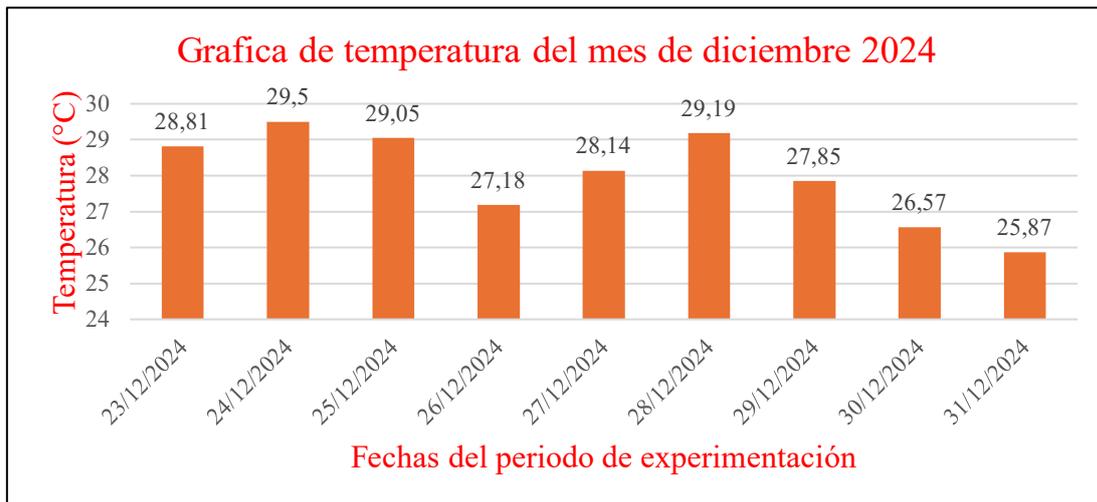


#### 4.5.2 Temperatura

Durante el periodo de prueba también se obtuvieron los valores de temperatura media que se presentaron cada día durante el periodo de pruebas de diciembre y enero dichas temperaturas estarán mostradas en la siguiente graficas.

En el periodo de prueba del mes de diciembre se midió una temperatura promedio de 28,02 °C, con un valor máximo de 29,5°C presentado el día 24 de diciembre y un valor mínimo de 25,87°C.

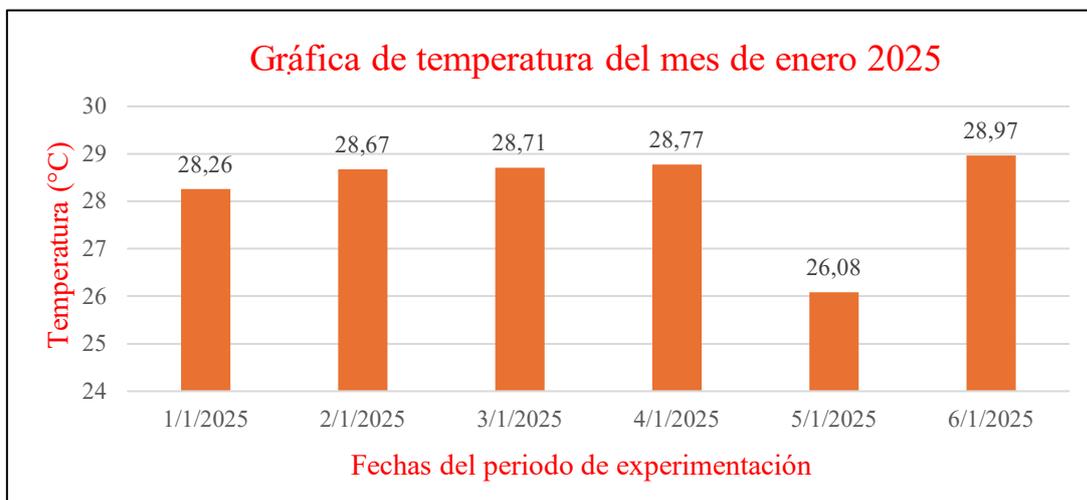
**Grafica 2** Temperatura del mes de diciembre del 2024



*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*

Para el mes de experimentación de enero se presencié una temperatura promedio de 28,02 °C, con un valor máximo de 29,5°C presentado el día 24 de diciembre y un valor mínimo de 25,87°C.

**Grafica 3** Temperatura del mes de enero del 2025.

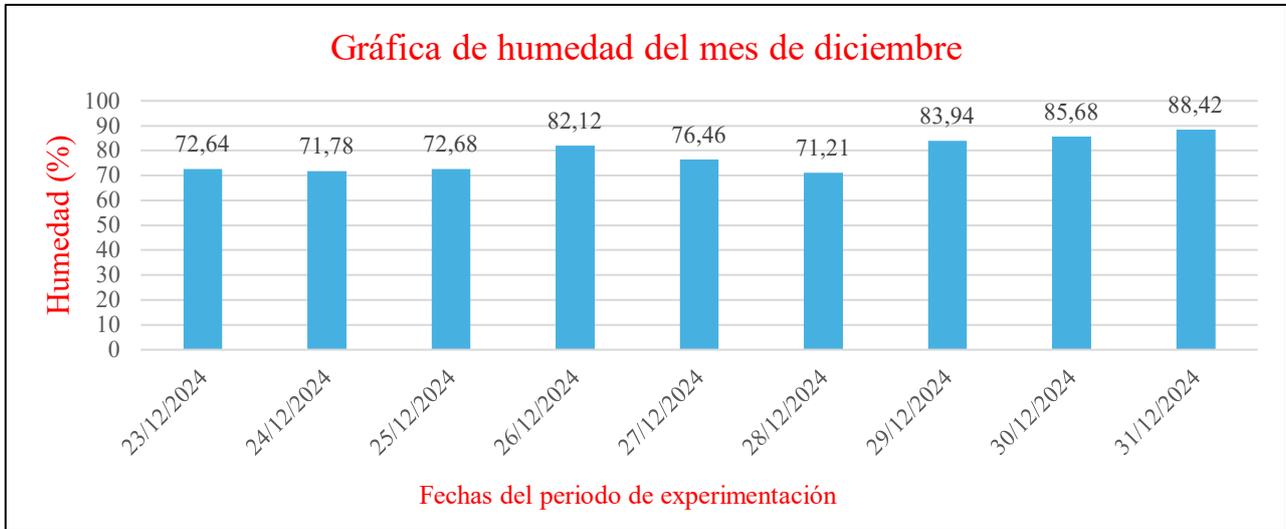


*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*

### 4.5.3 Humedad

En el periodo de experimentación del mes de diciembre se tuvo una humedad promedio de 78,33%, con un valor máximo de 88,42% presentado el día 24 de diciembre y un valor mínimo de 71,21% presentada el día 29 de diciembre.

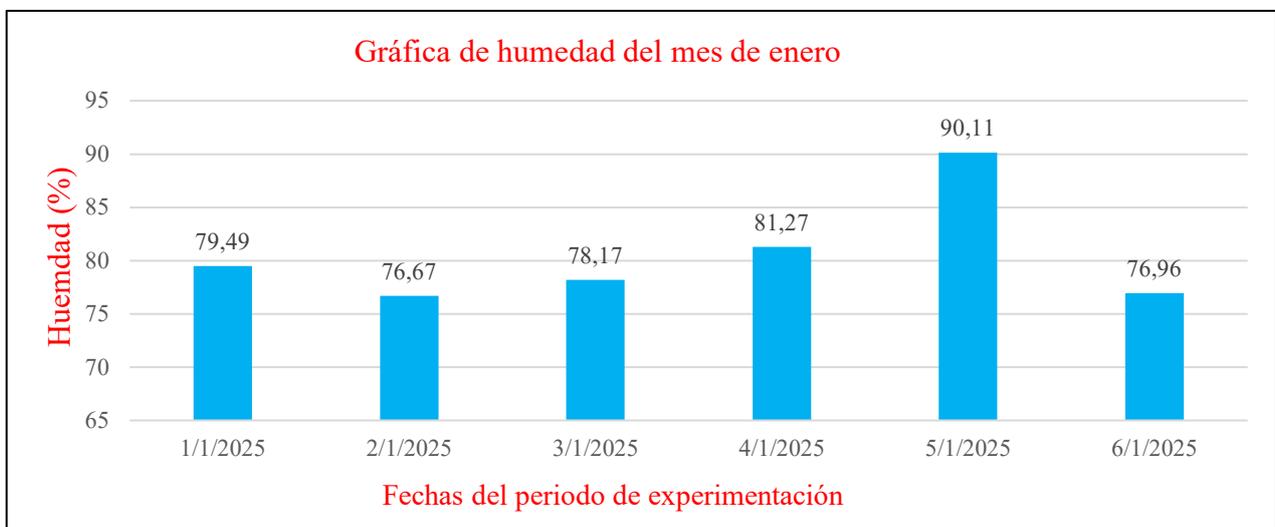
**Grafica 4** Humedad del mes de experimentación diciembre del 2024



Elaborado por: Eder Zamora Balladares

Para el mes de enero humedad promedio durante el periodo de prueba fue de 80,45%, durante este periodo se tuvo un valor máximo de 90,11% presentado el día 5 de enero y un valor mínimo 76,67% presentado el día 2 de enero.

**Grafica 5** Humedad del mes de experimentación enero 2025



Elaborado por: Eder Zamora Balladares

#### 4.6 Caracterización del suelo después de la aplicación del hidrogel

Finalizado el periodo de experimentación de las muestras de suelo en los recipientes acrílicos con los hidrogeles se ejecutaron los análisis de las características de humedad, materia orgánica, conductividad eléctrica y potencial de hidrógeno tanto a la profundidad de arado de 5 cm como a la profundidad 10 cm de crecimiento radicular antes de la fase de más requerimiento hídrico.

##### 4.6.1 Resultados de las pruebas en suelo con hidrogel con tratamiento

###### 4.6.1.1 Resultados de humedad para las muestras con hidrogel tratado

Los resultados de las pruebas de humedad fueron fundamentales para evaluar las condiciones físicas y químicas de las tierras de cultivo. Estas mediciones permiten determinar el contenido de agua en el suelo, proporcionando información clave para optimizar el riego, garantizar la disponibilidad de nutrientes y mejorar la productividad agrícola.

Para obtener la humedad de las muestras se usó el método de secado a horno de la norma INEN 690, la cual determina la cantidad de agua mediante la diferencia de peso, los resultados de esta prueba son mostrados a continuación en la siguiente tabla:

*Tabla 15 Valores de humedad para suelo con hidrogel con tratamiento*

<b>Resultado de humedad para el suelo con hidrogel tratado</b>							
Muestra	Profundidad	Peso de la muestra			Fórmula	Resultado	Estándar
		Peso de Recipiente (M1)	Peso del Recipiente + Suelo Húmedo (M2)	Peso del Recipiente + Suelo Seco (M3)			
1	5 cm	49,4715	99,6566	85,3247	$\%W = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1}$	39,96%	40%
2	10 cm	37,6015	88,3276	73,7315		40,39%	

*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*

Con esta tabla se puede observar que el suelo con el hidrogel puesto a distintas profundidades, tanto de arado como de crecimiento de raíz de la planta de maíz demostraron un aumento igualando el estándar para suelos arcillosos mencionado por la empresa de análisis estadounidense EOS Data Analytics.

#### 4.6.1.2 Resultados de MO para las muestras con hidrogel tratado

Los resultados de las pruebas de materia orgánica en suelos destinados cultivo son clave para evaluar su fertilidad y capacidad productiva. Estos análisis permiten determinar el contenido de nutrientes esenciales y su disponibilidad para los cultivos, así como la calidad del suelo para un manejo sostenible.

Para la determinación de la materia se usó la oxidación con peróxido de oxígeno para consumir la materia orgánica presente en las muestras de suelo para así obtener solo la cantidad de materia inorgánica.

*Tabla 16 Valores de materia orgánica en el suelo con hidrogel con tratamiento*

Resultado pruebas de materia orgánica para muestras de suelo con hidrogel tratado							
Muestra	Profundidad	Peso de la muestra			Fórmula	Resultado	Estándar
		Peso de Recipiente (M1)	Peso del Recipiente + Suelo Húmedo (M2)	Peso del Recipiente + Suelo Seco (M3)			
1	5 cm	65,7707	69,4296	66,7057	$\%M = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1}$	29,10%	3-6%
2	10 cm	64,1811	69,1811	67,8620		35,83%	

*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*

Con la tabla podemos observar que el hidrogel también ha aumentado el porcentaje de la materia orgánica presente en el suelo superando el estándar dicho por la FAO, tanto a profundidad de arado y a profundidad de crecimiento de la raíz.

#### 4.6.1.3 Resultados de pH para las muestras con hidrogel con tratado.

El análisis del potencial de hidrógeno en los suelos destinados a la agricultura es de suma importancia, debido a que este expresa la actividad de iones de hidrógeno en el suelo y su variación influye a la disponibilidad de nutrientes minerales para las plantas.

**Tabla 17** Valores de pH en el suelo con hidrogel con tratamiento

<b>Resultado de la prueba de pH para el suelo con hidrogel tratado</b>			
<b>Muestra</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Resultado</b>	<b>Estándar</b>
1	5 cm	6,87	6-8
2	10 cm	6.73	

*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*

Con ayuda de la **Tabla 17** observa que los valores de pH de las muestras de suelo con el hidrogel con tratamiento tienen una tendencia a ser ácido, sin embargo, los datos obtenidos se encuentran dentro del rango permitido.

#### **4.6.1.4 Resultado de conductividad para el suelo con hidrogel tratado**

La conductividad eléctrica es de suma importancia para el suelo, debido a que influye en gran medida en el esfuerzo que tiene que realizar la raíz de la planta para absorber los nutrientes aportados por el suelo o fertilizantes en caso de su uso.

Para el análisis de este parámetro se implantó la metodología de dilución 1:2 para medir conductividad eléctrica, los datos recolectados se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 18** Valores de conductividad en el suelo con hidrogel con tratamiento

<b>Resultado de la prueba de conductividad eléctrica para el suelo con hidrogel tratado</b>			
<b>Muestra</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Resultado</b>	<b>Estándar</b>
1	5 cm	42	<200 uS/cm
2	10 cm	40	

*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*

#### 4.6.1.5 Valores de los parámetros suelo con hidrogel con tratado

Para una mejor comprensión de los resultados obtenidos en los análisis se adjuntaron los resultados de las pruebas en tablas individuales según la profundidad de la aplicación del hidrogel.

*Tabla 19 Valores del suelo con hidrogel con tratamiento a 5 cm de profundidad*

<b>Resultado de los análisis de la muestra de suelo después de la aplicación del hidrogel con tratamiento a 5 cm de profundidad</b>			
<b>No.</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Resultado</b>	<b>Unidad</b>
1	Humedad	39,37	%
2	Potencial de Hidrógeno	6,87	pH
3	Conductividad	42	uS
4	Materia Orgánica	29,10	%

*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*

*Tabla 20 Valores del suelo con hidrogel con tratamiento a 10 cm de profundidad*

<b>Resultado de los análisis de la muestra de suelo después de la aplicación del hidrogel con tratamiento a 10 cm de profundidad</b>			
<b>No.</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Resultado</b>	<b>Unidad</b>
1	Humedad	40,39	%
2	Potencial de Hidrógeno	6,73	pH
3	Conductividad	42	uS
4	Materia Orgánica	35,83	%

*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*

#### 4.6.2 Resultados de las pruebas en suelo con hidrogel sin tratamiento

##### 4.6.2.1 Resultados de humedad para el suelo con hidrogel sin tratar

La evaluación de la humedad del suelo es fundamental para analizar sus condiciones físicas y químicas en el ámbito agrícola. Estas mediciones permiten determinar el contenido de agua en el suelo, proporcionando información clave para optimizar los sistemas de riego, garantizar la disponibilidad de nutrientes y mejorar la productividad de los cultivos.

Para determinar la humedad de las muestras, se aplicó el método de secado en horno, siguiendo la norma INEN 690. Este procedimiento cuantifica la cantidad de agua presente al calcular la diferencia de peso antes y después del secado. Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 21** Valores de humedad para el suelo con hidrogel sin tratamiento

<b>Resultado de humedad para el suelo con hidrogel sin tratar</b>							
<b>Muestra</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Peso de la muestra</b>			<b>Fórmula</b>	<b>Resultado</b>	<b>Estándar</b>
		<b>Peso de Recipiente (M1)</b>	<b>Peso del Recipiente + Suelo Húmedo (M2)</b>	<b>Peso del Recipiente + Suelo Seco (M3)</b>			
1	5 cm	49,7361	100,2427	84,7414	$\%W = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1}$	44,28%	40%
2	10 cm	49,7319	100,2498	83,8577		48,04%	

*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*

Esta tabla evidencia que el suelo tratado con hidrogel, aplicado a distintas profundidades de arado y en la zona de desarrollo radicular del maíz, experimentó una mejora en sus propiedades. Como resultado, alcanzó el estándar para suelos arcillosos definido por la empresa estadounidense EOS Data Analytics.

#### **4.6.2.2 Resultados de MO para el suelo con hidrogel sin tratar**

El análisis de materia orgánica en suelos destinados al cultivo es esencial para evaluar su fertilidad y capacidad productiva. Estos estudios permiten determinar la disponibilidad de nutrientes clave para las plantas y valorar la calidad del suelo con miras a una gestión agrícola sostenible.

Para cuantificar el contenido de materia orgánica, se utilizó el método de oxidación con peróxido de hidrógeno, el cual descompone la materia orgánica presente en las muestras de suelo. Posteriormente, las muestras fueron sometidas a un proceso de secado en estufa para eliminar los residuos de la reacción, dejando únicamente la fracción inorgánica residual.

**Tabla 22** Valores de materia orgánica para el suelo con hidrogel sin tratamiento

<b>Resultado pruebas de materia orgánica para el suelo con hidrogel sin tratar</b>							
Muestra	Profundidad	Peso de la muestra			Fórmula	Resultado	Estándar
		Peso de Recipiente (M1)	Peso del Recipiente + Suelo Húmedo (M2)	Peso del Recipiente + Suelo Seco (M3)			
1	5 cm	65,9137	70,9137	69,5292	$\%M = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1}$	38,29%	3-6%
2	10 cm	65,9137	70,9137	69,4260		42,35%	

*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*

De este modo, se puede observar que el uso de hidrogel ha incrementado el porcentaje de materia orgánica en el suelo, superando el estándar establecido por la FAO, tanto en la profundidad de arado como en la zona de crecimiento radicular.

#### 4.6.2.3 Resultados de pH para el suelo con hidrogel sin tratar

El análisis del pH del suelo es fundamental en la agricultura, ya que refleja la actividad de los iones de hidrógeno presentes y su variación afecta la disponibilidad de nutrientes minerales para las plantas.

Para medir el potencial de hidrógeno, se utilizó el método 9045D-EPA. Este procedimiento implicó la preparación de una dilución de la muestra a analizar, permitiendo obtener una medición precisa del pH.

**Tabla 23** Valores de pH para el suelo con hidrogel sin tratamiento

<b>Resultado de la prueba de pH para el suelo con hidrogel sin tratar</b>			
Muestra	Profundidad	Resultado	Estándar
1	5 cm	6,39	6-8
2	10 cm	6,40	

*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*

La **Tabla 23** muestra, que los valores de pH en las muestras de suelo donde se aplicó hidrogel sin tratamiento tienden a ser ácidos. No obstante, los datos obtenidos se mantienen dentro del rango permitido.

#### 4.6.2.4 Resultados de conductividad para el suelo con hidrogel sin tratar

La conductividad eléctrica del suelo es un parámetro crucial, ya que influye directamente en el esfuerzo que deben realizar las raíces de las plantas para absorber los nutrientes disponibles en el suelo o provenientes de fertilizantes aplicados.

Para el análisis de este parámetro, se empleó la metodología de dilución 1:2 para medir la conductividad eléctrica. Los datos obtenidos se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 24** Valores de conductividad para el suelo con hidrogel sin tratamiento

<b>Resultado de la prueba de conductividad eléctrica para el suelo con hidrogel sin tratar</b>			
<b>Muestra</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Resultado</b>	<b>Estándar</b>
1	5 cm	45	<200 uS/cm
2	10 cm	50	

*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*

En la **Tabla 24** se puede observar que la conductividad a, tanto a la profundidad de arado como en la zona de crecimiento radicular, se mantiene dentro del límite establecido por la normativa vigente.

#### 4.6.2.5 Valores de los parámetros de suelo con hidrogel sin tratar

Para facilitar la comprensión de los resultados obtenidos en los análisis para las muestras de suelo con hidrogel sin tratar, se realizaron tablas individuales que detallan los resultados de las pruebas según la profundidad de aplicación del hidrogel.

**Tabla 25** Valores del suelo con hidrogel sin tratamiento a 5 cm de profundidad

<b>Resultado de los análisis de la muestra de suelo después de la aplicación del hidrogel sin tratamiento a 5 cm de profundidad</b>			
<b>No.</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Resultado</b>	<b>Unidad</b>
1	Humedad	44,21	%
2	Potencial de Hidrógeno	6.39	pH
3	Conductividad	45	uS
4	Materia Orgánica	38,29	%

*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*

**Tabla 26** Valores del suelo con hidrogel sin tratamiento a 10 cm de profundidad

<b>Resultado de los análisis de la muestra de suelo después de la aplicación del hidrogel sin tratamiento a 10 cm de profundidad</b>			
<b>No.</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Resultado</b>	<b>Unidad</b>
1	Humedad	48,81	%
2	Potencial de Hidrógeno	6,40	pH
3	Conductividad	50	uS
4	Materia Orgánica	38,04	%

*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*

#### **4.7 Comparación de los resultados del hidrogel**

En respuesta al objetivo general se compararon los aspectos de humedad, potencial de hidrógeno, conductividad eléctrica y porcentaje de materia orgánica presente en las muestras de suelo, permitiendo determinar en qué medida los hidrogeles han mejorado el estado del suelo, en comparación al estado antes de la aplicación del hidrogel.

**Tabla 27** Caracterización del suelo antes y después de la aplicación del hidrogel

<b>Resultados de las pruebas antes y después de la aplicación del hidrogel</b>							
<b>No.</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>				
			<b>Muestra base</b>	<b>Hidrogel con tratamiento</b>		<b>Hidrogel sin tratamiento</b>	
				<b>Profundidad 5 cm</b>	<b>Profundidad 10 cm</b>	<b>Profundidad 5 cm</b>	<b>Profundidad 10 cm</b>
1	Humedad	14,4	39,97	40,39	44,21	48,81	
2	Materia Orgánica	21,03	29,10	35,83	38,29	38,04	
3	pH	7,11	6,87	6,73	6,39	6,40	
5	Conductividad	21	42	41	45	50	

*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*

En la **Tabla 27** se observa que ambos hidrogeles tanto a una profundidad de 5 cm como de 10 cm, han mejorado los valores de humedad, conductividad eléctrica, materia orgánica, teniendo un aumento mayor en las muestras de suelo donde se aplicó el hidrogel sin tratamiento, sin embargo, los valores de pH para ambos hidrogeles presentan una disminución de sus unidades, siendo el hidrogel sin tratamiento el que presenta una caída drástica en las medidas de pH, estando cerca de estar fuera del límite permisible.

#### **4.8 Eficiencia de los hidrogeles**

Para poder determinar cuál hidrogel tiene mayor porcentaje de eficiencia en cuanto a la mejora de las características del suelo, para esto se realizaron dos tablas que muestran la eficacia de cada tipo de hidrogel con su correspondiente profundidad.

#### 4.8.1 Tabla de eficiencia del hidrogel de aloe vera con tratamiento

La siguiente tabla indica el porcentaje de eficacia del hidrogel con la extracción de los compuestos fenólicos.

*Tabla 28 Eficiencia del hidrogel con tratamiento*

Eficiencia del hidrogel de aloe vera con tratamiento						
No.	Parámetros	Muestra base	Hidrogel con tratamiento		Eficiencia (%)	
			Profundidad 5 cm	Profundidad 10 cm	Profundidad 5 cm	Profundidad 10 cm
1	Humedad	14,40	39,97	40,39	63,97	64,34
2	Materia orgánica	21,03	29,10	35,83	27,73	41,30
3	pH	7,11	6,87	6,73	3,49	5,54
4	Conductividad	21	42	41	50	48,78

*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*

#### 4.8.2 Tabla de eficiencia del hidrogel de aloe vera sin tratamiento

La siguiente tabla indica el porcentaje de eficacia del hidrogel sin la extracción de los compuestos fenólicos.

*Tabla 29 Eficiencia del hidrogel sin tratamiento*

Eficiencia del hidrogel de aloe vera sin tratamiento						
No.	Parámetros	Muestra base	Hidrogel sin tratamiento		Eficiencia (%)	
			Profundidad 5 cm	Profundidad 10 cm	Profundidad 5 cm	Profundidad 10 cm
1	Humedad	14,40	44,21	48,81	67,42	70,49
2	Materia orgánica	21,03	38,29	38,04	45,07	44,71
3	pH	7,11	6,39	6,40	11,26	11,09
4	Conductividad	21	45	50	53	58

*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*

#### 4.9 Análisis de los resultados de eficiencia

La tabla de eficiencia del hidrogel de aloe vera con tratamiento, aplicado a profundidades de 5 cm y 10 cm, mostró valores positivos en el parámetro de humedad, con un 63,97% y 64,34%, respectivamente, lo que evidencia una gran capacidad de retención de agua.

En cuanto a la materia orgánica, los valores alcanzaron el 27,73% y 41,31%, indicando un aumento significativo en este aspecto. Por otro lado, el potencial de hidrógeno (pH) presentó variaciones del 3,49% y 5,54%, reflejando una disminución mínima con el uso de este hidrogel. Finalmente, la eficiencia del hidrogel en el incremento de la

conductividad eléctrica se situó en un 48,78% y 50%, lo que sugiere una mejora considerable en la capacidad del suelo para transportar sales.

Por su parte, la tabla del hidrogel de aloe vera sin la extracción de los compuestos fenólicos, aplicado a profundidades de 5 cm y 10 cm, mostró valores aún más altos en la retención de humedad, alcanzando el 67,42% y 70,49%.

En cuanto a la materia orgánica presente en el suelo, los valores obtenidos fueron del 45,07% y 44,71%, superando los registrados con el hidrogel tratado. Sin embargo, la eficacia del hidrogel presentó una caída drástica, con valores de 11,26% y 11,09%. Finalmente, los resultados de conductividad reflejaron valores positivos del 53% y 58%.

Con base en este análisis, se determinó que el mejor hidrogel es el elaborado con aloe vera tratado para la eliminación de compuestos fenólicos y acíbar. Esto se debe a que, además de alcanzar los valores estándar en humedad, conductividad eléctrica y contenido de materia orgánica en el suelo, presenta variaciones mínimas en el pH a profundidades de 5 cm y 10 cm. Este factor es crucial para la realización de actividades agrícolas y el mejoramiento de la calidad del suelo.

#### **4.10 Resultados de comprobación de la hipótesis**

La prueba t de student es una herramienta de estadística deductiva que se utiliza para determinar si hay una diferencia entre medidas de dos grupos usando pruebas de hipótesis.

Para nuestro caso de estudio se usó la prueba t de student para muestras pareadas o relacionadas, generalmente usado en estudios experimentales en donde tenemos dos mediciones en la misma muestra.

##### **4.10.1 Hipótesis general**

Hg: ¿Elaborando un hidrogel a base de aloe vera mejorará las condiciones de humedad de los suelos del cultivo de maíz?

Hipótesis Nula:

H<sub>0</sub>: No hubo mejora en los valores de humedad con la elaboración del hidrogel.

Hipótesis Alternativa:

H<sub>1</sub>: Si hubo mejoras en los valores de humedad con la elaboración del hidrogel.

Caso de la hipótesis: Unilateral a la derecha

*Ilustración 23* Caso de hipótesis

$$H_0: \mu_d \leq 0$$

$$H_1: \mu_d > 0$$

*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*

El tipo de caso de la hipótesis nos ayudara a decir las regiones de aceptación de la hipótesis nula ( $H_0$ ), siendo los valores  $\leq 0$  el rango donde se acepta la hipótesis nula y los valores  $> 0$  el rango donde se rechaza la hipótesis nula.

Aplicando el análisis de datos estadísticos para una prueba t par medias de dos muestras emparejadas obtuvimos la siguiente tabla:

*Tabla 30* Resultado de la comprobación de hipótesis

<b>Prueba t para medias de dos muestras emparejadas</b>		
	<b>Humedad D</b>	<b>Humedad A</b>
Media	43,345	14,4
Varianza	16,91236667	0
Observaciones	4	4
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	3	
Estadístico t	14,07671626	
P(T<=t) una cola	0,000388242	
Valor crítico de t (una cola)	2,353363435	
P(T<=t) dos colas	0,000776484	
Valor crítico de t (dos colas)	3,182446305	

*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*

Donde podemos observar que el valor crítico para el rechazo de la hipótesis el de 2,53, mientras que el valor estadístico t que obtuvimos es de 14,07, gracias estos valores decidimos que no se debe aceptar la hipótesis nula y se concluye hubo una mejora en la humedad en las condiciones de humedad después de la elaboración del hidrogel.

#### **4.11 Discusión**

De acuerdo con el objetivo general de este estudio, que consiste en la elaboración de un hidrogel a base de aloe vera mediante pruebas experimentales para mejorar las condiciones de humedad en los suelos de cultivo de maíz, se obtuvo que la aplicación de hidrogeles de aloe vera, tanto con tratamiento como sin tratamiento, mejoró la retención de humedad en el suelo destinado para este cultivo.

Los resultados obtenidos coinciden con los hallazgos reportados por (Pilay, 2021) y (Gabriela, 2023), quienes señalaron que la aplicación de hidrogeles contribuyó a una mejora en la retención hídrica y en la humedad del suelo dentro de sistemas de producción agrícola.

Sin embargo, un estudio realizado por (Rubén Darío Fernández, 2021) indica que el efecto del hidrogel en la humedad del suelo depende de diversos factores, como el tipo de suelo y el tiempo de aplicación, lo que puede afectar el desempeño de estos polímeros y, en algunos casos, generar resultados no completamente satisfactorios.

Si bien ambos estudios resaltan la importancia de considerar las condiciones específicas del suelo y las propiedades del hidrogel antes de su aplicación, se enfocan principalmente en el rendimiento y la capacidad de retención de humedad dentro de sistemas de producción agrícola. No obstante, no analizan las variaciones en las características del suelo antes y después de la aplicación del hidrogel. Además, en los estudios citados, los hidrogeles utilizados poseen características sintéticas, a diferencia del hidrogel desarrollado en esta investigación, el cual emplea como base polimérica un polisacárido natural extraído de especies de algas rojas.

## **CAPITULO V**

### **5 Conclusiones y recomendaciones**

#### **5.1 Conclusiones**

Tras finalizar las pruebas, se concluyó que la elaboración y aplicación de ambos hidrogeles de aloe vera, tanto en su forma natural como tratado, contribuyó significativamente a mejorar la humedad del suelo. De acuerdo con los estándares de EOS Data Analytics para suelos arcillosos, se alcanzaron valores óptimos a profundidades de 5 cm y 10 cm, esta última correspondiente al desarrollo radicular promedio del maíz antes de su fase de mayor demanda hídrica. A mayor profundidad, los valores de humedad fueron superiores, probablemente debido a una menor evaporación.

Los ensayos de laboratorio revelaron que el hidrogel sin extracción de compuestos fenólicos presentó un mejor desempeño en la retención de humedad, duplicando los valores de conductividad eléctrica y aumentando el contenido de materia orgánica. No obstante, este tratamiento generó una mayor reducción en el pH en comparación con la muestra base. Por su parte, el hidrogel tratado también mostró una disminución en el pH, aunque en menor medida.

Asimismo, a pesar de las altas temperaturas registradas durante el periodo de pruebas, los hidrogeles lograron incrementar significativamente la retención de agua. Además, la elevada humedad ambiental (entre 70% y 80%) pudo haber favorecido la hidratación del hidrogel, maximizando su capacidad de retención.

A partir de las tablas de eficiencia, se determinó que ambos hidrogeles muestran una variabilidad positiva en los parámetros de humedad, conductividad eléctrica y porcentaje de materia orgánica. Sin embargo, el hidrogel sin tratamiento presentó una mayor disminución en las unidades de pH, mostrando una tendencia hacia una mayor acidez.

Con base en los resultados y la tabla de eficiencia, se concluye que el mejor hidrogel de aloe vera fue el elaborado con tratamiento para la extracción de compuestos fenólicos. Esto se debe a que no solo mejora y alcanza los valores estándar de los parámetros analizados, sino que también presenta una menor variabilidad en las unidades de pH a profundidades de 5 cm y 10 cm.

## **5.2 Recomendaciones**

Se recomienda realizar un análisis previo de las características del suelo antes de aplicar el hidrogel, ya sea en agricultura o en remediación ambiental, ya que su eficiencia puede variar según el tipo de suelo, el hidrogel utilizado y las condiciones climáticas.

Asimismo, se sugiere elaborar diferentes variaciones del hidrogel con plantas que presenten características similares al aloe vera ya sean autóctonas o extranjeras, además realizar una pequeña comparativa con el hidrogel elaborado con aloe vera, para observar su variabilidad en los valores de los parámetros que se deseen analizar.

Para obtener una visión más completa de su desempeño, es recomendable ampliar los parámetros de análisis, además de ver la interacción que el hidrogel puede obtener con la adición de preservantes o fertilizantes de ser posible su integración al hidrogel de aloe vera.

Se recomienda evaluar su capacidad como retenedor de humedad, sería útil examinar su potencial como agente remediador o fertilizante, así como realizar un estudio de costo-beneficio en caso de considerar su producción a gran escala.

Por último, se sugiere este trabajo de investigación como referencia para la implementación y el uso de hidrogeles, especialmente en proyectos de mejora agrícola y ambiental.

## 6 Bibliografía

1. Analytics, E.-D. (02 de Febrero de 2024). *EOS-Data Analytics*. Obtenido de Humedad Del Suelo: Cómo Medir Y Controlar Su Nivel: <https://eos.com/es/blog/humedad-del-suelo/#optima>
2. Barreta Vera Bryant Arturo, C. L. (11 de 09 de 2022). *Reposito Digital UNESUM*. Jipijapa: Unesum. Obtenido de Universida Estatal del Sur de Manabí: [https://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/4277?utm\\_source=chatgpt.com](https://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/4277?utm_source=chatgpt.com)
3. Carolina, V. H. (2021). *Validación de métodos de ensayo para determinar pH, conductividad, tensoactivos, dureza total, cálcica, calcio, magnesio, litio en agua y suelo*. Quito: Universidad Central de Ecuador .
4. Castellanos,E, M. L. (2022). *Centro y Sudamérica. En: Cambio Climático 2022: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad. Contribución del Grupo de Trabajo II al Sexto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático*. Reino Unido y Nueva York, NY, EE. UU: Cambridge University Press.
5. Castro, E., & Robles, A. (s.f.). Procesamiento y caracterización del gel de Aloe vera para la elaboración de hidrogeles. *IPEN*, 234-241.
6. Chai, Q. J. (2020). Hydrogels for biomedical applications: Their Characteristics and the mechanisms behind them. En Q. J. Chai, *Hydrogels for biomedical applications: Their Characteristics and the mechanisms behind them*. (pág. 130). Gels.
7. CIIFEN. (19 de Octubre de 2024). *EL NIÑO-LANIÑA EN AMERICA LATINA*. Obtenido de CIIFEN: [https://ciifen.org/wp-content/uploads/2024/10/Boletin\\_CIIFEN\\_octubre\\_2024.pdf](https://ciifen.org/wp-content/uploads/2024/10/Boletin_CIIFEN_octubre_2024.pdf)
8. Corrales, R. B., & Espinoza, A. (2020). *Guía Técnica para Muestreo de Suelos* . Nicaragua: Complejo Gráfico TMC.
9. Domínguez-Fernandez, R. A.-V.-P.-C.-G.-D.-F.-L. (2021). ESTRUCTURA, COMPOSICIÓN QUÍMICA, PROCESAMIENTO, ACTIVIDAD BIOLÓGICA E IMPORTANCIA EN LA INDUSTRIA FARMACÉUTICA Y ALIMENTARIA. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* , 23-43.
10. Edafología. (s.f.). *Edafología.net*. Obtenido de Textura del suelo: <http://www.edafologia.net/introeda/tema04/text.htm>
11. EPA, U. (8 de 12 de 2020). *U.S. Environmental Protection Agency* . Obtenido de <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/9045d.pdf>

12. Fernandez, R. D., Muekay, C. M., & Intriago, J. R. (2021). Volumen de Humedecimiento por la Aplicación de Hidrogel en Suelos de Diferentes Texturas. *ABYALA UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA* , 67-74.
13. Flávia R.C. Cosra, J. A.-c.-M. (10 de Septiembre de 2024). *SCIENCE PANEL FOR THE AMAZON POLICY BRIEF*. Obtenido de THE AMAZON WE WANT: <https://www.laamazoniaquequeremos.org/wp-content/uploads/2024/09/PB-SEQUIAS-SPA.pdf>
14. Gabriela, C. C. (26 de Abril de 2023). *Universisdad Agraria del Ecuador*. Obtenido de Facultad de Ciencias Agrarias : chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/CASTRO%20COELLO%20MARIA%20GABRIELA.pdf
15. Gonzales, M. P. (4 de Abril de 2024). *SISTEMA DE INFORMACIÓN SOBRE SEQUÍAS PARA EL SUR DE SUDAMÉRICA* . Obtenido de SISSA: <https://sissa.crc-sas.org/blog/2024/04/04/una-investigacion-global-sobre-sequiás-repentinias-introduce-un-novedoso-indicador-basado-en-la-disponibilidad-de-agua-en-el-suelo/>
16. Jaime Izquierdo Bautista, J. j. (2021). Determinación de la Materia Organica del Suelo (MOS) por el Método Químico y Calcinación . *Revista Ingenieria Y Región Vol.29- Universidad Surcolombia* , 21-26.
17. Julio Gabriel Ortega, A. Z., & Raquel Vera Velázquez, W. M. (2022). Análisis físico y químico de los suelos agrícolas del Sur de Manabí y su relación con los cultivos. *ROCA. Revista Científico-Educacional de la provincia Granma*.
18. Li, J., Mooney, D. J., & Utech, S. (2021). Synthetic hydrogels as extracellular matrix mimics in biomedical applications. En J. Li, D. J. Mooney, & S. Utech, *Synthetic hydrogels as extracellular matrix mimics in biomedical applications*. (págs. 1033-1071). USA: Nature Reviews Materials.
19. Lindow, A. (30 de Junio de 2023). *Aloe Vivo*. Obtenido de <https://aloevivo.com/aloina/>
20. Maza, J. E., Loaiza, H. E., Luna, D. A., Florin, A. D., & Azanza, A. W. (2024). Evaluación del contenido de carbono orgánico del suelo en tres ecosistemas de la Reserva Ecológica Arenillas. *SciElo*.
21. MENDOZA, J. A., GARCIA, K. E., & SALAZAR, R. E. (2019). La Economía de Manabí (ECUADOR) entre las sequías y las inundaciones. *Revistas Espacios*, 10-19.
22. Nuñez-Peñaloza, J. L., & Prado-Hernández, J. p.-N. (2023). Análisis de indicadores e índices de calidad de suelos en México. *SciELO*, 1-14.
23. Pilay, M. J. (13 de Octubre de 2021). *Universidad Estatal Península de Santa Elena*. Obtenido de chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6304/1/UPSE-TIA-2021-0036.pdf

24. Pioli, S. (02 de 15 de 22). *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Obtenido de FAO: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.fao.org/fileadmin/user\_upload/GSP/GSDP/Field\_exercises/New\_Format\_ES/C02b-SOM-peroxide\_ES.pdf
25. Quiroz, G. (25 de Septiembre de 2024). Sequía e incendios en Ecuador impactan al sector agropecuario ¿Cuánto suman las pérdidas? *EL COMERCIO*.
26. Rico Ramírez, J., Borrego Adame, A., E, S. R., Galaviz Corpus, E., J, M. G., Sáenz Esqueda, M., . . . Minjares Fuentes, R. (2019). *Compuestos fenólicos y actividad antioxidante de extractos obtenidos con ultrasonido de potencia a partir de mezclas de Aloe vera (Aloe barbadensis Miller) y pasta prensada de uva*. Mexico: Universidad Juárez del Estado de Durango.
27. Rubén Darío Fernández, C. M. (2021). Volumen de humedecimiento por la aplicación de hidrogel en suelos de diferentes texturas. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 1-9.
28. S.A., O. P. (24 de 09 de 2021). *www.omegaperu.com.pe*. Obtenido de OPESA: <https://omegaperu.com.pe/guia-para-medicion-de-ph-en-suelos/>
29. Sánchez, J. (15 de Septiembre de 2020). *ARQUITECTURA PURA*. Obtenido de <https://arquitecturapura.com/8620/textura-del-suelo/>
30. Sandoval-Yañez, C., & Amador, L. E. (2020). The Advantages of Polymeric Hydrogels in Calcineurin Inhibitor Delivery. *MDPI*, 7-18.
31. Tarazona-Meza Néstor Leopoldo, C.-P. J.-s. (2022). EL CULTIVO DE MAÍZ Y SUS NECESIDADES HÍDRICAS EN MANABÍ, ECUADOR. *Revista de Ciencias Agropecuarias "ALLPA": Vol.5*, 2-11.
32. TestAgro. (28 de Febrero de 23). *TestAgro*. Obtenido de Análisis de suelos: Cómo preparar una solución de suelo con el método de dilución 1:2: <https://www.testagro.com/post/analisis-de-suelos-dilucion-1-2?lang=es>
33. Triviño Pineda, J. S. (2021). *Evaluación de cuatro modelos de labranza en la calidad del suelo y sus efectos en la producción*. Colombia : Fundación Universitaria Los Libertadores .
34. Vargas-Rodríguez, Cerón-González, A., & Olivares-Martínez, L. y. (2020). *Manual de Evaluación de Suelos*. Ciudad de México: Instituto de Geografía UNAM.

## 6 Anexos

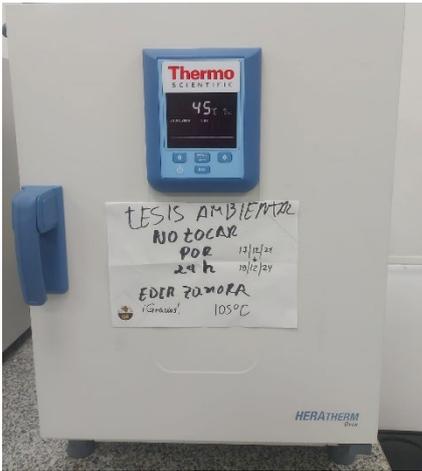
### 6.1 Anexos Fotográficos

#### Anexo A. Recolección de muestras



*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*

#### Anexo B. Análisis del suelo antes de la ampliación del hidrogel



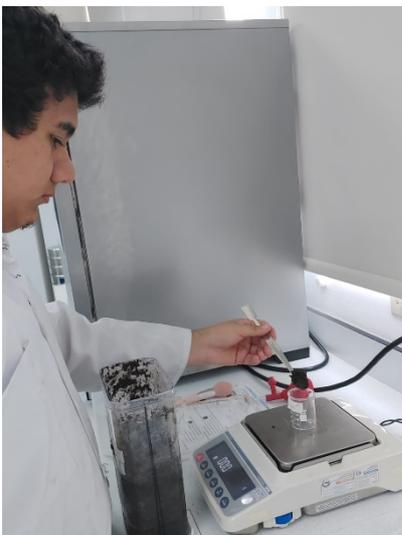
*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*

### **Anexo C. Aplicación del hidrogel**



*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*

### **Anexo C. Análisis de las del suelo después de aplicación del hidrogel**



*Elaborado por: Eder Zamora Balladares*