



UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CUENCA

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS  
AGROPECUARIAS**

**CARRERA DE AGRONOMÍA**

**RENDIMIENTO DE AVENA FORRAJERA INIAP FORTALEZA 2020,  
CON TRES DOSIS DE FERTILIZACIÓN EN FUNCIÓN DE LAS  
RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS DE SUELO**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERA AGRÓNOMA**

**AUTORA: MARÍA JACQUELINE MOROCHO MACAS**

**DIRECTOR: ING. WILSON OLMEDO QUINTEROS RODAS, MSC**

**CUENCA-ECUADOR**

**2024**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS  
AGROPECUARIAS**

**CARRERA DE AGRONOMÍA**

**RENDIMIENTO DE AVENA FORRAJERA INIAP FORTALEZA  
2020, CON TRES DOSIS DE FERTILIZACIÓN EN FUNCIÓN DE  
LAS RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS DE SUELO**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE INGENIERA AGRÓNOMA**

**AUTORA: MARÍA JACQUELINE MOROCHO MACAS**

**DIRECTOR: ING. WILSON OLMEDO QUINTEROS RODAS, MSC  
CUENCA – ECUADOR**

**2024**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**



**Declaratoria de Autoría y Responsabilidad**

**María Jacqueline Morocho Macas** portadora de la cédula de ciudadanía N° **1104851538**. Declaro ser la autora de la obra: “**Rendimiento de Avena Forrajera Iniap Fortaleza 2020, con tres dosis de fertilización en función de las recomendaciones del análisis de suelo**”, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, **16 de abril de 2024**

**María Jacqueline Morocho Macas**

**C.I. 1104851538**

## CERTIFICACION

Yo Wilson Olmedo Quinteros Rodas, con cédula de identidad N° 0300874724 en calidad de Director del Trabajo de Titulación con el tema: **“RENDIMIENTO DE AVENA FORRAJERA INIAP FORTALEZA 2020, CON TRES DOSIS DE FERTILIZACIÓN EN FUNCIÓN DE LAS RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS DE SUELO”**, certifico que el presente trabajo fue desarrollado por MARÍA JACQUELINE MOROCHO MACAS, bajo mi supervisión

Atentamente,

**WILSON OLMEDO  
QUINTEROS  
RODAS**  
Ing. Wilson Olmedo Quinteros Rodas.

Firmado digitalmente por  
WILSON OLMEDO  
QUINTEROS RODAS  
Fecha: 2024.04.03  
14:41:15 -05'00'

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

## DEDICATORIA

Agradezco a Dios, a la Virgen y a Jesús por darme sabiduría y salud para alcanzar mis metas como persona y profesional.

A mis padres: Luis Morocho y Rosa Macas por haberme dado la vida y enseñado el significado del esfuerzo y sacrificio, este logro es para ustedes quienes son mi motor para seguir adelante y quienes con su esfuerzo, amor y sabiduría me ayudaron a cumplir mi meta, siempre serán mi inspiración para ser mejor persona y por quienes seguiré luchando por mis sueños.

Gracias mami por nunca dejarme sola, por tus consejos, tu apoyo incondicional y comprensión, por ayudarme económicamente por enseñarme a nunca rendirme gracias a ti hoy puedo ver alcanzada mi meta, todo lo que soy y tengo es gracias a ti.

A mi abuela: quien con sus consejos y amor me alentaba a seguir con mis estudios, aunque ya no estés aquí a mi lado, te llevo en mi corazón.

A mis hermanos: que me alentaban a seguir estudiando.

## **AGRADECIMIENTO**

Mis más sinceros agradecimientos a mi tutor ING. Wilson Olmedo Quinteros Rodas, a mi director de carrera y co-tutor ING. Jacinto Enrique Vázquez Vázquez quienes me ayudaron y me orientaron en cada detalle y momento dedicado para aclarar cualquier tipo de duda que me surgiera en el trabajo realizado.

Agradezco la Universidad Católica de Cuenca, en especial a la facultad de Ciencias Agropecuarias por haber recibido de ella mi formación profesional, a la carrera de Ingeniería agronómica por haberme brindado a grandes profesores de los cuales tuve la oportunidad de aprender.

# ÍNDICE

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>5</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE .....</b>	<b>7</b>
<b>INDICE DE CUADROS .....</b>	<b>9</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>10</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>11</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>12</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>13</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>15</b>
<b>1 MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>15</b>
1.1 Antecedentes.....	15
1.1. Características morfológicas de la avena .....	16
1.1.1 Características fisiológicas.....	17
1.1.2 Características de una especie forrajera .....	18
1.1.3 Composición química de los forrajes.....	18
1.1.4 Características de la Avena INIAP FORTALEZA 2020.....	20
1.2 Fertilización en la Agricultura.....	20
1.2.1 Tipos de Fertilizantes .....	21
1.2.1.1 Fertilizantes Orgánicos .....	22
1.2.1.2 Fertilizantes Inorgánicos o Químicos .....	23
1.2.2 Análisis de Suelo y Necesidades Nutricionales .....	24
1.2.3 Aplicación de Fertilizantes.....	25
1.2.4 Impacto Ambiental de la Fertilización .....	26
1.2.5 Efectos sobre la Salud del Suelo.....	27
1.2.6 Manejo Sostenible y Reducción de Impactos Ambientales.....	27
1.3 Tendencias en la agricultura de la avena.....	28
<b>2 METODOLOGÍA .....</b>	<b>29</b>
2.1 Localización del estudio.....	29

2.2	Tipo de estudio .....	29
2.3	Criterios de elegibilidad .....	30
2.4	Materiales.....	30
2.5	Descripción de los tratamientos .....	31
2.6	Procedimiento.....	33
2.6.1	Análisis de suelo .....	33
2.6.2	Preparación del Terreno:.....	34
2.6.3	Siembra .....	34
2.6.4	Delimitación de las parcelas.....	35
2.6.5	Aplicación de fertilizantes.....	35
2.6.6	Aplicación de Riego .....	37
2.6.7	Variables en estudio.....	38
2.6.8	Cosecha y peso de la avena .....	39
2.6.9	Análisis de datos.....	39
<b>3</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>40</b>
3.1	Caracterización físico química de suelo.....	40
3.2	Altura de plantas de avena en cm.....	41
3.2.1	Número de hojas por planta .....	43
3.2.2	Rendimiento de materia verde en gramo por metro cuadrado.....	44
3.3	Análisis económico de costo beneficio de las dosis de fertilización en estudio 45	45
<b>4</b>	<b>Discusión .....</b>	<b>50</b>
<b>5</b>	<b>Conclusión.....</b>	<b>53</b>
<b>6</b>	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>54</b>
<b>7</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>55</b>
<b>8</b>	<b>Anexos .....</b>	<b>60</b>

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> <i>Características agronómicas de la avena forrajera (Avena sativa L.).</i> .....	17
<b>Cuadro 2.</b> <i>Composición de los forrajes.</i> .....	19
<b>Cuadro 3.</b> <i>Características de la Avena INIAP-Fortaleza 2020.</i> .....	20
<b>cuadro 4.</b> <i>Taxonomía biológica.</i> .....	21
<b>Cuadro 5.</b> <i>Fertilizantes orgánicos e inorgánicos.</i> .....	23
<b>Cuadro 6.</b> <i>Detalles de los tratamientos.</i> .....	32
<b>Cuadro 7.</b> <i>Tratamiento con diversas dosis.</i> .....	35
<b>Cuadro 8.</b> <i>Resultados.</i> .....	40
<b>Cuadro 9.</b> <i>Altura crecimiento de avena.</i> .....	42
<b>Cuadro 10.</b> <i>Crecimiento de hojas por número de días.</i> .....	43
<b>Cuadro 11.</b> <i>Costos de producción.</i> .....	47
<b>Cuadro 12.</b> <i>Costos por tratamiento primera aplicación.</i> .....	47
<b>Cuadro 13.</b> <i>Costos por tratamiento segunda aplicación.</i> .....	48
<b>Cuadro 14.</b> <i>Análisis costo total.</i> .....	48
<b>Cuadro 15.</b> <i>Rendimiento proyectado por hectárea.</i> .....	48
<b>Cuadro 16.</b> <i>Análisis costo.</i> .....	49

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> <i>Características morfológicas de la avena</i> .....	16
<b>Figura 2.</b> <i>Análisis de suelo</i> .....	25
<b>Figura 3.</b> <i>Localización del estudio</i> .....	29
<b>Figura 4.</b> <i>Distribución de las parcelas</i> .....	33
<b>Figura 5.</b> <i>Toma de muestras. a) Limpieza de suelo para la toma de muestra, b) toma de muestra</i> .....	33
<b>Figura 6.</b> <i>Preparación del suelo. a)Aarada con el tractor, b) cruza y rastra</i> ....	34
<b>Figura 7.</b> <i>Siembra de la avena</i> .....	34
<b>Figura 8.</b> <i>Medición. a) Delimitacion de parcelas, b) parcelas ya delimitadas</i> ... 35	
<b>Figura 9.</b> <i>Aplicación de fertilizantes sólidos y líquidos. a)Aplicación de fertilizantes sólidos, b) aplicación de enraizante MaxRhadiX, c) aplicación de fertilizante foliar Geen Bull, d) aplicación de herbisida Metsulfuron</i> .....	37
<b>Figura 10.</b> <i>Riego. a) Riego manual, b) riego por aspersión</i> .....	37
<b>Figura 11.</b> <i>Toma de datos altura y número de hojas. a) Número de hojas, b) altura de plantas</i> .....	38
<b>Figura 12.</b> <i>Proceso de cosecha y peso de la avena. a) cosecha de 1m<sup>2</sup>, b) peso de avena</i> .....	39
<b>Figura 13.</b> <i>Altura por días de crecimiento</i> .....	43
<b>Figura 14.</b> <i>Hojas por días de crecimiento</i> .....	44
<b>Figura 15.</b> <i>Rendimiento por tratamiento</i> .....	45

## RESUMEN

La avena forrajera INIAP Fortaleza 2020 es una variedad de avena desarrollada por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) en Ecuador, utilizada mayormente en la alimentación animal. Mediante este estudio se buscó evaluar el impacto de tres dosis de fertilización en el rendimiento de avena forrajera INIAP Fortaleza 2020, siguiendo recomendaciones del análisis de suelo. Es una investigación experimental con un enfoque cuantitativo, con un diseño de BCA con 4 tratamientos y 4 repeticiones lo que da un total de 16 unidades experimentales conformadas por parcelas de 30 m<sup>2</sup>, en las que se sembró la avena, con la ayuda de una sembradora. De acuerdo a los resultados no hay diferencias significativas para las variables agronómicas en estudio, pero se puede observar que el tratamiento 3 (20% adicional) presenta una media mayor de rendimiento de materia fresca y altura de plantas con valores promedios de 2562,00g y 77,52 cm respectivamente. La investigación concluye que a pesar de no haber diferencias a nivel estadístico se debe valorar diversos aspectos en el cultivo, ya que muchas veces el suelo presenta propiedades óptimas para el cultivo.

**Palabras clave:** Avena Forrajera; INIAP Fortaleza 2020; Productividad; Tratamientos; Fertilizantes

## ABSTRACT

The INIAP-Fortaleza 2020 is a forage oat variety developed by the National Institute of Agriculture Research (INIAP, by its Spanish acronym) in Ecuador, mainly used in animal feed. Following soil analysis recommendations, this study aimed to evaluate the impact of three fertilization doses on the yield of INIAP-Fortaleza 2020 forage oat. It is an experimental research with a quantitative approach, with a randomized complete block design (RCBD) with 4 treatments and 4 replications, resulting in a total of 16 experimental units formed by 30 m<sup>2</sup> plots, in which the oat was planted, with the assistance of a seed drill. According to the results, there are no significant differences for the agronomic variables under study; however, it is observed that treatment 3 (20% additional) presents a higher average yield of fresh matter and plant height with average values of 2562.00 g and 77.52 cm respectively. The research concludes that although there were no statistical differences, several aspects of crops should be evaluated, since the soil often has optimal properties for the crop.

**Keywords:** Forage Oat; INIAP-Fortaleza 2020; Productivity; Treatments; Fertilizers

## INTRODUCCIÓN

Desde los principales pasos generados en la evolución del ser humano, se han reconocido elementos de la naturaleza como es el pasto y los forrajes sobre todo en la domesticación de los animales. Según Vergara (1995), los pastos existen hace 70 millones de años es decir aparecieron en la era Terciaria de la misma manera su evolución se ha relacionado con el pastoreo de animales.

Vale la pena mencionar que, los pastizales se han producido en superficies en donde los cultivos se han visto limitados por diversas condiciones como: humedad, fertilidad, pH además de estar muy distantes del centro urbano (FAO, 2018).

De manera similar factores como el crecimiento de la población, de la mano con el efecto del cambio climático, ha aumentado la presión sobre los pastizales del mundo particularmente en suelos áridos y semiáridos. Entre los miles de plantas que existen en el mundo utilizadas para la alimentación animal se encuentran las gramíneas o poáceas, a las cuales pertenece la avena forrajera (*Avena sativa L.*), esta gran familia consta de 700 géneros y unas 1200 especies, de las cuales se supone que ocupan un 20% de la superficie vegetal del mundo, entre ellos tenemos especies como: trigo, cebada, centeno, maíz, avena, arroz, etc. Las gramíneas constituyen el 75% de pastos cultivados (Giraldo-Cañas, 2013).

Las avenas son excelentes indicadores de la cadena de pastoreo debido a su utilización temprana permitiendo obtener un buen rebrote, en estudios previamente realizados se logró establecer que el cultivo de avena forrajera proporciona un rendimiento en materia seca de 7752 kg/ha (Gagliostro, 2012), y un rendimiento potencial de materia verde de 53 t/ha (INIAP, 2020).

En la investigación realizada por Bobadilla (2013) expresa que un elemento de gran relevancia en el manejo del cultivo es la demanda de fertilizante, lo que se traduce en el rendimiento en general.

Por su parte, Jiménez (2020) a una altura de 2740 ms.n.m. la variedad INIAP-FORTALEZA 2020 obtiene un rendimiento de 3203 kg/ha, superior a la INIAP-82 donde obtuvieron 2050 kg/ha.

En tanto que, Caiza (2022) cuyo objetivo fue evaluar INIAP FORTALEZA-2020 obtuvo 4687 kg/ha e INIAP-82 con 2890,63 kg/ha en el cual hicieron el estudio con y sin la utilización de lacto fermento, evidentemente existe una gran diferencia en rendimientos lo cual posiciona a la variedad INIAP- FORTALEZA 2020 como una especie realmente competente en pastizales, la principal diferencia en el rendimiento de las dos variedades tiene como indicador una alta demanda del fertilizante.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

- Evaluar el rendimiento de avena forrajera (*Avena sativa* L.) INIAP Fortaleza 2020, con tres dosis de fertilización en función de las recomendaciones del análisis de suelo en la granja Miracielos de la Universidad Católica de Cuenca.

### **Objetivos específicos**

- Determinar las características agronómicas (altura, número de hojas y granos, materia verde) de avena forrajera (*Avena sativa* L.) variedad INIAP FORTALEZA-2020 con tres dosis de fertilización en función de las recomendaciones del análisis de suelo.
- Realizar un análisis económico de costo beneficio de las dosis de fertilización en estudio.

# CAPÍTULO I

## 1 MARCO TEÓRICO

### 1.1 Antecedentes

La avena pertenece al género *Avena L. (Poaceae)*, que incluye aproximadamente 29 especies con una considerable diversidad morfológica y ecológica distribuidas en la cuenca mediterránea, Europa, Asia, África Oriental y América. La evolución del cultivo de avena y sus parientes cercanos ha involucrado antiguos eventos de alotetraploidía y posteriores eventos recientes de alohexaploidía, este producto según Mamani y Cotacallapa (2018), es considerado como una alternativa alimenticia para el ganado lechero, sobre todo en condiciones del altiplano.

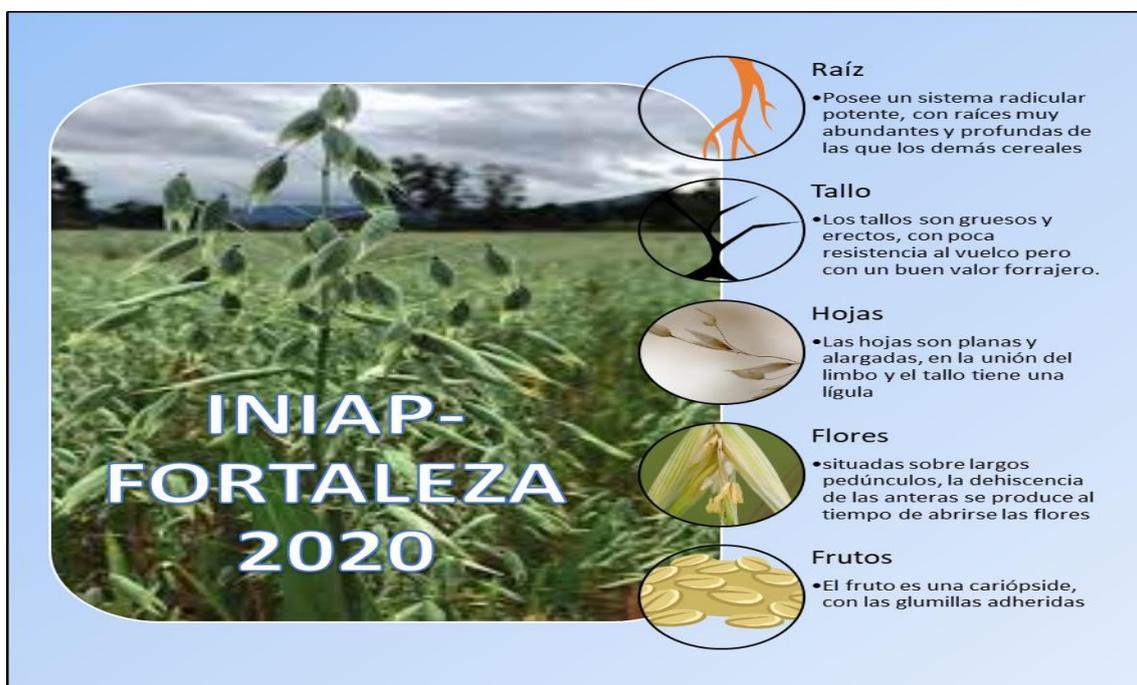
El consumo de la avena remonta a 4000 a. C, siendo una planta cosechada y consumida. Originalmente, la avena era una mala hierba que crecía en los campos de cebada y trigo en la región del Cercano Oriente, particularmente en lo que hoy son Siria, Turquía e Irak. Este "acompañante no deseado" en campos de otros cereales empezó a ser reconocido por su valor, primero como alimento para animales y luego para consumo humano. Los estudios filogenéticos basados en secuencias de ADN de diferentes especies de *Avena* han aportado una comprensión más profunda de la historia evolutiva y las relaciones genéticas dentro del género. Estos estudios han demostrado que la diversificación de la avena ha estado influenciada por cambios paleoclimáticos, particularmente durante el intervalo Mioceno-Plioceno en la región del Mediterráneo (Liu et al., 2017).

El siglo XX marcó un punto de inflexión en el cultivo de la avena. La mecanización de la agricultura y el desarrollo de fertilizantes y pesticidas químicos permitieron aumentar significativamente el rendimiento de los cultivos, esto se debe principalmente al incremento de la productividad, es decir que exista mejores resultados por parte de los trabajadores y a la facilidad de los trabajos, en donde la maquinaria permitió realizar las actividades con mayor facilidad Sin embargo, también surgieron desafíos, como la necesidad de variedades resistentes a nuevas enfermedades y plagas (Pérez & Suares, 2017).

En el siglo XXI, el interés en la avena ha resurgido, no solo por su valor como forraje sino también por su papel en la alimentación humana. Para varios nutriólogos como es el caso de Luna et al. (2023), manifiestan que la avena es reconocida por sus beneficios para la salud, por su alto contenido de fibra soluble, lo que ha incrementado su demanda.

### 1.1. Características morfológicas de la avena

La avena se caracteriza por un robusto sistema radicular con raíces abundantes y profundas, superando a otros cereales en este aspecto. Su tallo, grueso y erecto, varía en longitud de 0.5 a 1.5 metros. Aunque estos tallos presentan cierta susceptibilidad al vuelco, ofrecen un alto valor forrajero. Las hojas son planas, alargadas y ásperas al tacto, con una lígula oval y blanquecina en la unión del limbo y el tallo. La inflorescencia se presenta en forma de panícula, con espiguillas que contienen de dos a tres flores. Finalmente, el fruto de la avena es una cariósipide con glumillas adheridas. Esta descripción detallada refleja las particularidades morfológicas que definen a la avena y sus adaptaciones únicas dentro de los cereales (Jiménez, 2020). Las características morfológicas se detallan en la figura 1.



**Figura 1.** Características morfológicas de la avena.

### 1.1.1 Características fisiológicas

El pasto Avena presenta las siguientes características fisiológicas:

- Se adapta a diversos climas donde las diferencias de temperaturas entre periodos calurosos e invernales no afecta significativamente el rendimiento.
- Es susceptible a heladas tardías y resistente a las sequias.
- Requiere de suelos drenados y algo secos, es sensible a los excesos de humedad.
- Necesita temperaturas desde 11° a 16°C y un pH de 5 a 7.5
- Requieren una precipitación anual de 1000 a 1500 mm (Garces, 2013). Como se indica en el cuadro 1.

**Cuadro 1.** Características agronómicas de la avena forrajera (*Avena sativa* L.).

Característica	Descripción
Altura de planta en cm	130 - 140
Días al panojamiento	70 – 80
Días a la cosecha para grano	150 – 60
Días a la cosecha para ensilaje tipo funda	100 - 110
Rendimiento potencial (t ha <sup>-1</sup> ) materia verde	53
Rendimiento promedio (t ha <sup>-1</sup> ) materia seca	10.06
Rango de rendimiento en grano seco (t)	5 - 6
Peso de 1000 granos (g)	47
Estrés hídrico	Tolerante
Reacción a Enfermedades	Resistente
Roya de la hoja	Resistente
Roya del tallo	Resistente
Virosis (BYDV)	Resistente

Fuente: (INIAP, 2020).

### 1.1.2 Características de una especie forrajera

Según Alba (2013), los requisitos que debe cumplir una especie vegetal para constituirse como planta forrajera son los siguientes.

- Semillas aptas para un buen trabajo cultural sin inconvenientes, esto está dado por el tamaño de la semilla que en muchos casos la falta de experiencia del agricultor podría afectar el establecimiento de la pastura al ser semillas muy pequeñas y la siembra inadecuada, el poder germinativo de una especie forrajera debe ser mayor a la de una maleza.
- Buena energía germinativa, para obtener un rápido establecimiento de la pastura, con el fin de acortar los tiempos entre la siembra y el pastoreo.
- Palatabilidad, es un aspecto de suma importancia ya que el ganado bovino es muy selectivo en su alimento, la planta forrajera debe tener buenas características para ser ingerida por los animales.
- Carecer de principios tóxicos, de lo contrario podría ocasionar grandes pérdidas económicas al agricultor y ganadero.
- Resistencia al pisoteo, es de vital importancia en una especie forrajera de lo contrario el pisoteo podría ocasionar debilitarlos hasta llegar a la pérdida de la pastura en general.
- Riqueza en las hojas, una buena especie forrajera debe producir abundante follaje teniendo menor cantidad de tallos y flores.
- Fácil propagación, una buena especie forrajera debe tener un alto rendimiento de semillas de fácil propagación.
- Precocidad, cuanto menor sea el periodo vegetativo de una especie forrajera mayor será el rendimiento por hectárea.

### 1.1.3 Composición química de los forrajes

La Avena forrajera (*Avena sativa* L.) como lo menciona Robalino (2008), es rica en proteína y grasa con un gran número de vitaminas y minerales, se puede considerar como una especie forrajera con mayor proporción de grasa vegetal, hidratos de carbono, Na, K, Ca, P, Mg, Fe, Cu, Zn, adicionalmente contiene una buena cantidad de fibras que contribuyen al buen funcionamiento intestinal del animal (véase cuadro 2).

**Cuadro 2.** *Composición de los forrajes.*

<b>Parámetro</b>	<b>Fresco (%)</b>	<b>Seco (%)</b>
Materia seca	90,1	100
Cenizas	7,4	8,2
Fibra bruta	36,9	41,0
Grasa	1,9	2,1
Fracción nitrógeno	39,9	44,3
Proteína	4,0	4,4

*Fuente: (Robalino, 2008).*

Las características distintivas de INIAP Fortaleza 2020 incluyen su alta productividad, resistencia a enfermedades comunes de la avena, y una mejor adaptación a variaciones de altitud y temperatura. Esta variedad ha demostrado ser especialmente eficiente en la utilización de nutrientes del suelo, lo que la hace ideal para sistemas de cultivo con recursos limitados (Apollon & Jean-Baptiste, 2022).

En un estudio realizado por Jácome et al. (2023), sobre la variedad de avena INIAP-Fortaleza 2020 se revelan aspectos significativos en términos agronómicos y nutricionales. La variedad se caracteriza por una altura promedio de planta de 110.28 cm a los 107 días y un tamaño de espiga de 16.49 cm. En cuanto al rendimiento, muestra un promedio de 4492.12 kg/ha. La composición química del lactofermento empleado como fertilizante en esta variedad incluye hierro, zinc, níquel, calcio, fósforo y magnesio, contribuyendo de manera sustancial a su crecimiento. Además, esta variedad de avena demuestra una resistencia notable a la enfermedad de la roya. Estos hallazgos sugieren que INIAP-Fortaleza 2020 es una variedad prometedora, especialmente en términos de rendimiento y resistencia a enfermedades, lo que la hace adecuada para cultivos en condiciones específicas (cuadro 3).

**Cuadro 3.** Características de la Avena INIAP-Fortaleza 2020.

<b>Característica</b>	<b>Detalle</b>
Altura de la Planta	110.28 cm (a los 107 días)
Tamaño de Espiga	16.49 cm
Rendimiento del Grano	4492.12 kg/ha
Hierro en Lactofermento	3 ppm
Zinc en Lactofermento	0.20 ppm
Níquel en Lactofermento	791 ppm
Calcio en Lactofermento	1547 ppm
Fósforo en Lactofermento	468 ppm
Magnesio en Lactofermento	78 ppm
Reacción a Enfermedades	Resistente a la roya

*Fuente: Jácome et al (2023).*

#### **1.1.4 Características de la Avena INIAP FORTALEZA 2020**

La INIAP- FORTALEZA 2020 proviene de la cruce entre las líneas 79 BORDENAVE, SELECTION/KENYA cuyo historial de selección es 88-19-2E-15E-4E-1E-0E-0E-0E. Esta línea fue desarrollada por el Programa de Cereales de la Estación Experimental Santa Catalina en el año 1988 y evaluada hasta el 2015 en esta estación, año en la cual es enviada a la Estación Experimenta del Austro para continuar con el proceso de mejoramiento, evaluada en Cañar, Azuay y Loja (INIAP, 2020) (cuadro 4).

#### **1.2 Fertilización en la Agricultura**

Según autores como Valencia et al. (2021) la fertilización en la agricultura es un aspecto fundamental para el desarrollo óptimo de los cultivos. Consiste en la aplicación de nutrientes esenciales que pueden faltar en el suelo, con el objetivo de mejorar el crecimiento de las plantas y maximizar los rendimientos. Los fertilizantes pueden ser orgánicos, como el compost o el estiércol, o inorgánicos, como los compuestos químicos. Una fertilización efectiva requiere un conocimiento detallado de las necesidades específicas del cultivo y de las características del suelo, que se obtiene mediante análisis de suelo. Este análisis permite determinar la composición y salud del suelo, identificando carencias o excesos de nutrientes. Una estrategia de fertilización adecuada y equilibrada no solo mejora la producción, sino que también contribuye a la

sostenibilidad del suelo, evitando su degradación y manteniendo su fertilidad a largo plazo.

**cuadro 4.** *Taxonomía biológica.*

Dimensión	Clasificación	Descripción
Reino	<i>Plantae</i>	Indica que la avena pertenece al reino de las plantas, lo que significa que es un organismo multicelular que realiza la fotosíntesis.
División	<i>Magnoliophyta</i>	También conocida como angiospermas, representa a las plantas con flores.
Clase	<i>Liliopsida</i>	Comúnmente denominadas monocotiledóneas, incluyen plantas con una sola hoja embrionaria.
Orden	<i>Poales</i>	Este es el orden de las gramíneas, que agrupa a las hierbas y cereales.
Familia	<i>Poaceae</i>	Una subcategoría dentro de las gramíneas, incluyendo plantas adaptadas a climas más fríos.
Tribu	<i>Avenae</i>	Específicamente agrupa a los géneros relacionados con la avena.
Género	<i>Avena</i>	Agrupa a varias especies de avena, incluyendo a la Avena sativa.
Nombre científico	<i>Avena sativa L</i>	Es la denominación específica de la especie de avena comúnmente cultivada.
Nombre vulgar	Avena	Es el nombre común utilizado para referirse a esta planta.

*Fuente: (Cajamarca, 2015).*

### 1.2.1 Tipos de Fertilizantes

Los fertilizantes orgánicos e inorgánicos son dos pilares fundamentales en la agricultura moderna, cada uno con sus características y aplicaciones específicas. Los fertilizantes orgánicos, derivados de fuentes naturales como el compost y el estiércol, son esenciales para mejorar la salud y estructura del suelo, ofreciendo una liberación lenta y sostenida de nutrientes. Por otro lado, los fertilizantes inorgánicos, creados a través de procesos químicos industriales, proporcionan nutrientes de manera rápida y directa, siendo cruciales para el crecimiento eficiente de las plantas en diversas situaciones agrícolas. La elección entre estos dos tipos de fertilizantes depende de varios factores, incluyendo las necesidades específicas del cultivo, las condiciones del suelo y consideraciones ambientales (Apollon & Jean-Baptiste, 2022).

### **1.2.1.1 Fertilizantes Orgánicos**

En el contexto de la agricultura sostenible manifiesta Polo (2021), los fertilizantes orgánicos representan un elemento crucial debido a su capacidad para mejorar la calidad del suelo y promover un crecimiento saludable de las plantas. Estos abonos se derivan de fuentes naturales, como residuos animales (estiércol, guano), desechos vegetales, restos de cosechas, y subproductos de procesos agrícolas y alimentarios (como el compost).

La composición de los fertilizantes orgánicos incluye una variedad de nutrientes esenciales, como nitrógeno, fósforo y potasio, además de micronutrientes y una gama de microorganismos beneficiosos que contribuyen al desarrollo de un suelo rico y saludable. A diferencia de los fertilizantes inorgánicos, los orgánicos liberan nutrientes de manera más lenta y gradual, lo que permite un suministro constante y reduce el riesgo de sobrefertilización y contaminación del suelo y aguas subterráneas (Rojas & Ortiz, 2021).

La aplicación de estos fertilizantes mejora la estructura física del suelo, incrementando su capacidad para retener agua y nutrientes, lo que es particularmente beneficioso en zonas propensas a la sequía o en suelos pobres. Además, estimulan la actividad microbiana en el suelo, lo que resulta en una mayor biodiversidad y una mejor descomposición de la materia orgánica. Esto, a su vez, fomenta la formación de humus, un componente clave para mantener la fertilidad del suelo (Silva-Arero & Cardona, 2022).

Sin embargo, los fertilizantes orgánicos no están exentos de desafíos. Uno de los principales inconvenientes es la variabilidad en su composición, lo que puede hacer difícil asegurar una nutrición equilibrada y específica para determinados cultivos. Además, su efecto es más lento en comparación con los fertilizantes inorgánicos, lo que puede no ser adecuado en situaciones donde se requiere una corrección rápida de deficiencias nutricionales. Otro aspecto a considerar es el volumen necesario para su aplicación, que puede ser significativamente mayor que el de los fertilizantes inorgánicos, aumentando así el esfuerzo y el costo en su manejo (Mamani & Llumipanta, 2021).

### 1.2.1.2 Fertilizantes Inorgánicos o Químicos

Los fertilizantes inorgánicos, también conocidos como fertilizantes químicos o sintéticos, son productos clave en la agricultura moderna, diseñados para proporcionar a las plantas nutrientes esenciales de manera rápida y eficiente. Están compuestos principalmente por minerales y elementos químicos como nitrógeno, fósforo y potasio (NPK), los cuales son esenciales para el crecimiento de las plantas (Milicia & López, 2023).

Estos fertilizantes se sintetizan mediante procesos industriales y ofrecen varias ventajas, como su alta concentración de nutrientes, lo que permite una aplicación más controlada y efectiva. Son particularmente útiles en situaciones donde se requiere una corrección rápida de deficiencias nutricionales en las plantas. Además, su composición uniforme garantiza una entrega consistente de nutrientes (Apollon & Jean-Baptiste, 2022).

Sin embargo, el uso de fertilizantes inorgánicos también presenta desafíos. Pueden contribuir a la contaminación del suelo y del agua si se usan en exceso, debido a su solubilidad y al riesgo de lixiviación. Además, el uso continuado de fertilizantes inorgánicos puede alterar el equilibrio microbiano del suelo, reducir la biodiversidad y afectar negativamente la estructura del suelo a largo plazo (Polo, 2021) (cuadro 5).

**Cuadro 5. Fertilizantes orgánicos e inorgánicos.**

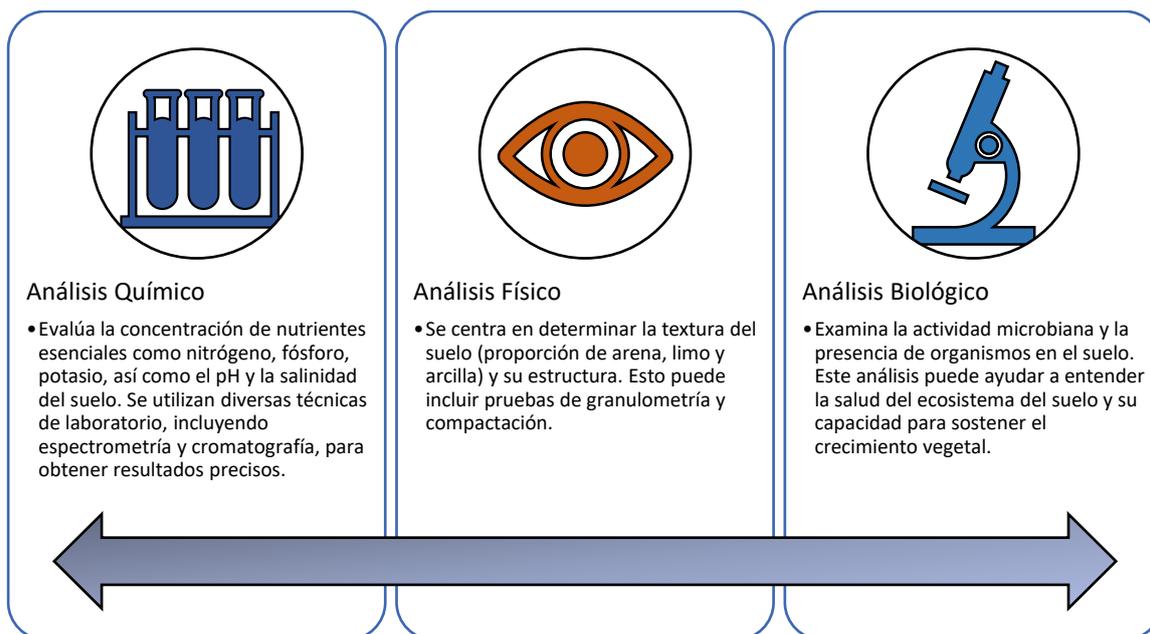
<b>Criterio</b>	<b>Fertilizantes Orgánicos</b>	<b>Fertilizantes Inorgánicos</b>
Origen	Materiales naturales como estiércol y compost.	Sintetizados químicamente en procesos industriales.
Liberación de Nutrientes	Lenta y prolongada.	Rápida y específica.
Efecto en el Suelo	Mejora la estructura y salud del suelo.	Puede deteriorar la salud del suelo a largo plazo.
Impacto Ambiental	Menor riesgo de contaminación, eco-amigable.	Riesgo de contaminación del suelo y agua.
Costo	Generalmente más bajo, pero mayor volumen requerido.	Más caro pero eficiente en pequeñas cantidades.
Aplicación	Requiere mayores volúmenes y esfuerzo.	Fácil de aplicar debido a su formulación.
Efectividad	Depende del tipo y calidad del material orgánico.	Consistente y predecible debido a su composición.

### 1.2.2 Análisis de Suelo y Necesidades Nutricionales

El análisis de suelo es una práctica agronómica esencial que proporciona información detallada sobre la composición y la salud del suelo. Este análisis es crucial para la agricultura sostenible y eficiente, ya que ayuda a determinar los nutrientes y las enmiendas necesarias para optimizar el crecimiento de las plantas y la producción de cultivos. Una de las características clave del análisis del suelo es que evalúa la disponibilidad de nutrientes esenciales y su balance en el suelo. Esto incluye la medición de macronutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, así como micronutrientes esenciales. Además, el análisis puede revelar la presencia de elementos tóxicos y proporcionar datos sobre las propiedades físicas del suelo, como textura, estructura y capacidad de retención de agua (Dendy, 2004).

Los beneficios del análisis del suelo son numerosos. Permite a los agricultores aplicar fertilizantes y enmiendas de manera precisa y eficiente, evitando el uso excesivo o insuficiente de nutrientes, lo que puede ser tanto económicamente costoso como perjudicial para el medio ambiente. Además, un suelo bien equilibrado y saludable es fundamental para obtener rendimientos óptimos y mejorar la calidad de los cultivos (Pastor, 2021).

Entre los métodos principales para realizar un análisis de suelo, se encuentran técnicas de laboratorio que pueden variar desde pruebas básicas hasta análisis más complejos. Estas pruebas pueden incluir métodos químicos para determinar la concentración de nutrientes, así como exámenes físicos para entender la textura y la estructura del suelo. Los resultados de estas pruebas proporcionan información valiosa que los agricultores pueden utilizar para tomar decisiones informadas sobre la gestión del suelo y la fertilización (Morales et al., 2021) (véase figura 2).



**Figura 2.** *Análisis de suelo.*

### 1.2.3 Aplicación de Fertilizantes

Los métodos y técnicas de aplicación de fertilizantes varían según el tipo de fertilizante, el cultivo, las condiciones del suelo y los objetivos de cultivo. La aplicación puede ser realizada de diversas maneras, incluyendo:

- **Aplicación al Suelo:** Esta es la forma más común y puede realizarse de manera manual o mediante maquinaria. Las técnicas incluyen la aplicación superficial, la incorporación al suelo, y la aplicación en bandas o localizada cerca de la zona radicular (Polo, 2021).
- **Fertirrigación:** Consiste en aplicar fertilizantes disueltos en el agua de riego. Esta técnica permite una distribución uniforme y eficiente de los nutrientes, siendo especialmente útil en sistemas de riego por goteo o aspersión (Grasso et al., 2021).
- **Aplicación Foliar:** Los fertilizantes se aplican directamente sobre las hojas en forma de solución. Esta técnica es útil para correcciones rápidas de deficiencias nutricionales específicas (Martínez & Zamudio, 2022).
- **Aplicación a través de Inyecciones al Suelo:** Utilizada principalmente en árboles y cultivos perennes, esta técnica implica la inyección de fertilizantes

líquidos directamente en el suelo a una profundidad y distancia específica del tronco (Silva-Arero & Cardona, 2022).

- **Aplicación de Fertilizantes de Liberación Controlada:** Utiliza tecnologías que liberan nutrientes de manera gradual para satisfacer las necesidades de las plantas a lo largo del tiempo (Velázquez et al., 2022).

Vale la pena mencionar que, el momento óptimo para la aplicación de fertilizantes varía según el tipo de cultivo, el tipo de fertilizante y las condiciones del suelo. Es fundamental realizar un análisis de suelo previo para determinar las necesidades específicas de nutrientes y ajustar la aplicación de fertilizantes en consecuencia. La aplicación puede ser antes de la siembra, durante las etapas críticas de crecimiento del cultivo, o según las necesidades específicas identificadas en el análisis del suelo. La correcta elección del método y el momento de aplicación es clave para maximizar la eficiencia del fertilizante y minimizar el impacto ambiental (Acevedo-Alcalá et al., 2020).

#### 1.2.4 Impacto Ambiental de la Fertilización

El impacto ambiental de la fertilización abarca diversos aspectos críticos relacionados con la sostenibilidad agrícola y la salud ecológica. La fertilización, tanto orgánica como inorgánica, juega un rol vital en la mejora de la productividad de los cultivos, pero también conlleva desafíos ambientales significativos. Primero, el uso excesivo o inapropiado de fertilizantes puede llevar a la contaminación del suelo y del agua. Los nutrientes que no son absorbidos por las plantas pueden lixiviarse a cuerpos de agua cercanos, causando eutrofización. Este proceso conduce al crecimiento excesivo de algas y otras plantas acuáticas, disminuyendo la cantidad de oxígeno en el agua y afectando negativamente la vida acuática (Ávila et al., 2023).

Además, la fertilización puede contribuir a la emisión de gases de efecto invernadero, particularmente óxido nitroso ( $N_2O$ ), un potente gas de efecto invernadero. Este se produce principalmente a través de procesos de nitrificación y desnitrificación en suelos fertilizados. La liberación de  $N_2O$  no solo contribuye al cambio climático, sino que también afecta la capa de ozono (Flores-Xolocotzi, 2024).

Otro aspecto importante es el impacto sobre la biodiversidad. Los fertilizantes pueden alterar el equilibrio natural del suelo, afectando la diversidad microbiana y la

salud del suelo. Este cambio en la composición del suelo puede tener efectos en cadena sobre la flora y fauna locales. Finalmente, la dependencia de los fertilizantes inorgánicos, muchos de los cuales se derivan de recursos no renovables, plantea preocupaciones sobre la sostenibilidad a largo plazo de las prácticas agrícolas actuales. La extracción y procesamiento de estos fertilizantes consumen recursos y energía, y pueden tener impactos ambientales adicionales (Flores-Xolocotzi, 2024).

### **1.2.5 Efectos sobre la Salud del Suelo**

Los efectos de la fertilización sobre la salud del suelo son significativos y multifacéticos. La salud del suelo se refiere a su capacidad para funcionar como un sistema vivo dentro de los límites del ecosistema y del uso de la tierra para sostener la productividad biológica, promover la calidad del aire y el agua, y apoyar la salud de las plantas, animales y humanos (Jaque & Mestre, 2021).

Una fertilización adecuada y equilibrada mejora la salud del suelo al proporcionar los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas y la actividad microbiana. Esto puede mejorar la estructura del suelo, aumentar la retención de agua y nutrientes, y promover un ecosistema subterráneo diverso y activo. Sin embargo, la fertilización excesiva o inapropiada puede tener efectos negativos, como la acumulación de sales, la alteración del pH del suelo y la disminución de la biodiversidad microbiana. Esto puede llevar a una disminución de la fertilidad del suelo a largo plazo y a una reducción de su capacidad para sostener la vida vegetal y animal. Por lo tanto, un manejo cuidadoso y sostenible de la fertilización es esencial para mantener y mejorar la salud del suelo (Magaña & Obrador, 2020).

### **1.2.6 Manejo Sostenible y Reducción de Impactos Ambientales**

El manejo sostenible y la reducción de impactos ambientales en la agricultura son temas de crucial importancia. Se enfoca en prácticas agrícolas que buscan equilibrar la necesidad de una producción alimentaria eficiente con la preservación de los recursos naturales y la protección del medio ambiente. Este enfoque implica el uso responsable de fertilizantes, el manejo adecuado del agua y del suelo, la conservación de la biodiversidad, y la minimización de la emisión de gases de efecto invernadero. Además, se considera la rotación de cultivos, el uso de cultivos de cobertura y la integración de prácticas orgánicas para mantener la salud del suelo y reducir la

dependencia de insumos químicos. Estas prácticas no solo buscan proteger el medio ambiente, sino también asegurar la sostenibilidad de la agricultura para las generaciones futuras (Hernández & Jiménez, 2021).

### **1.3 Tendencias en la agricultura de la avena**

En un artículo desarrollado por Terán et al. (2023), manifiestan que la “Avena sativa”, es considerado como un grano integrador agroecológico en los sistemas de producción familiar, ya que se considera un cultivo sostenible debido a su capacidad para crecer en condiciones adversas, lo que la hace valiosa en la rotación de cultivos y en la conservación del suelo. Su habilidad para crecer en suelos pobres con menos insumos químicos la convierte en una opción atractiva en la agricultura sostenible y orgánica. A su vez, la avena tiene una gran capacidad de adaptabilidad en distintas condiciones climáticas.

En un artículo publicado por Rodríguez y Salgado (2020), en México, manifiestan la importancia que tiene la avena forrajera, siendo esta un cultivo crucial para la industria pecuaria, abarcando la mayoría de la superficie cosechada en 2017 para forraje verde. Este cultivo se utiliza en su totalidad para la alimentación del ganado, ya sea directamente, en forma de heno o ensilado, y a menudo se combina con leguminosas forrajeras. La paja de avena es muy valorada en la alimentación ganadera. Como forraje, la avena sobresale por su alta digestibilidad y contenido energético, mientras que el grano ofrece proteínas, carbohidratos, minerales, grasas y vitaminas. Además, la avena es una opción eficaz para la reconversión productiva en tierras de baja productividad con aptitud pecuaria, especialmente en regiones con estaciones de crecimiento cortas.

De manera similar, en un estudio realizado en la sierra central del Perú, por Arias et al. (2021), se evaluaron dos variedades de avena en términos de rendimiento forrajero y valor nutritivo. El objetivo principal fue determinar estas características en las variedades Criolla y Mantaro-15. Los resultados mostraron que la variedad Mantaro-15 tenía un mayor rendimiento forrajero y una mejor calidad de fibra en comparación con la variedad Criolla. Ambas variedades cubrieron los requerimientos nutricionales de los ovinos, con un balance positivo en su alimentación. En este estudio se encontró que, Mantaro-15 se destacó por su rendimiento superior y su calidad nutricional, lo que la hace una opción valiosa para la alimentación ovina en la región estudiada.

## 2 METODOLOGÍA

### 2.1 Localización del estudio

El proyecto se desarrolló dentro de las instalaciones de la Granja Miracielos de la Universidad Católica de Cuenca ubicada en la parroquia Ricaurte del cantón Cuenca, provincia del Azuay (figura 3). La parroquia se encuentra ubicada a 2547 ms.n.m, con una temperatura promedio anual de 12.4 °C, se estima que tiene una precipitación promedio anual de 1612 mm y una humedad que va desde los 78% al 86% (Matute et al., 2019).



**Figura 3.** Localización del estudio.

*Fuente: Tomado de Google Earth (2023).*

### 2.2 Tipo de estudio

El diseño de la presente investigación sobre el rendimiento de avena forrajera con diferentes dosis de fertilización cuenta con un enfoque cuantitativo de tipo descriptivo experimental y con una cohorte longitudinal. Este enfoque permite una exploración sistemática y controlada de las variables, facilitando la evaluación precisa del efecto de distintas dosis de fertilizantes sobre el crecimiento y rendimiento de la avena. La naturaleza cuantitativa de la investigación permite la recolección y análisis de datos numéricos, fundamentales para establecer correlaciones estadísticas y científicas claras entre los tratamientos de fertilización y los resultados observados en el cultivo. Este enfoque metodológico es esencial para generar conclusiones válidas y replicables en el ámbito de la agronomía.

### 2.3 Criterios de elegibilidad

Los criterios de elegibilidad para seleccionar las parcelas experimentales son fundamentales para garantizar la validez y fiabilidad de los resultados. Estos criterios incluyen:

- **Homogeneidad del Suelo:** Las parcelas deben presentar características similares en términos de composición, textura e historial de uso para asegurar que cualquier variación en el rendimiento de la avena sea atribuible a los tratamientos de fertilización y no a diferencias inherentes en el suelo.
- **Historial de Cultivo:** Se seleccionarán parcelas que no hayan sido afectadas por enfermedades o plagas que podrían influir en el crecimiento de la avena.
- **Condiciones Climáticas y Ambientales:** Las parcelas deben estar ubicadas en áreas con condiciones climáticas y ambientales representativas de la región para garantizar que los resultados sean aplicables en un contexto agronómico más amplio.

### 2.4 Materiales

Para el desarrollo de esta investigación se hizo uso de los siguientes materiales:

- 1) Materiales biológicos:
  - Semilla de avena forrajera (*Avena sativa L.*) INIAP FORTALEZA 2020.
- 2) Materiales físicos:
  - Agenda.
  - Tijera de podar.
  - Cámara fotográfica.
  - Balanza analítica.
  - Baldes plásticos.
  - Letreros.
  - Fundas de papel.
  - Fumigadora de mochila 20 litros.
  - Etiquetas.
  - Estacas.
  - Otros: lápiz, flexómetro, registro, calculadora, etc.
  - Fertilizantes sólidos: Urea, Muriato de K, DAP (18-46-00).

- Fertilizantes líquidos: Microorganismos Benéficos obtenidos de hojas de la planta de carne humana, enraizante MaxRhadox, energizador foliar Green Bull, herbicida Metsulfurón.

## 2.5 Descripción de los tratamientos

La presente investigación estará dividida en cuatro bloques con un diseño experimental Diseño de Bloques al Azar (DBA), cada bloque consta de 4 parcelas experimentales de 30m<sup>2</sup> cada una, con 1 metro entre cada bloque permitiendo el paso al operador facilitando el manejo del cultivo con actividades como: fertilización, control de plagas, enfermedades y toma de datos, teniendo así un área total de 539 m<sup>2</sup> del estudio experimental, adicionalmente se debe considerar la existencia de 4 tratamientos y 4 repeticiones por cada una teniendo un total de 16 unidades experimentales disminuyendo el grado de prueba y error mostrándonos datos de mayor confiabilidad para su procesamiento (figura 4).

Se realizó un muestreo del suelo al azar, obteniendo una muestra compuesta que se envió para un análisis en el laboratorio AGROBIOLAB-GRUPO CLÍNICA AGRÍCOLA, para luego una vez obtenido los datos y mediante una regla de tres simple se procederá a calcular las dosis correctas para cada tratamiento.

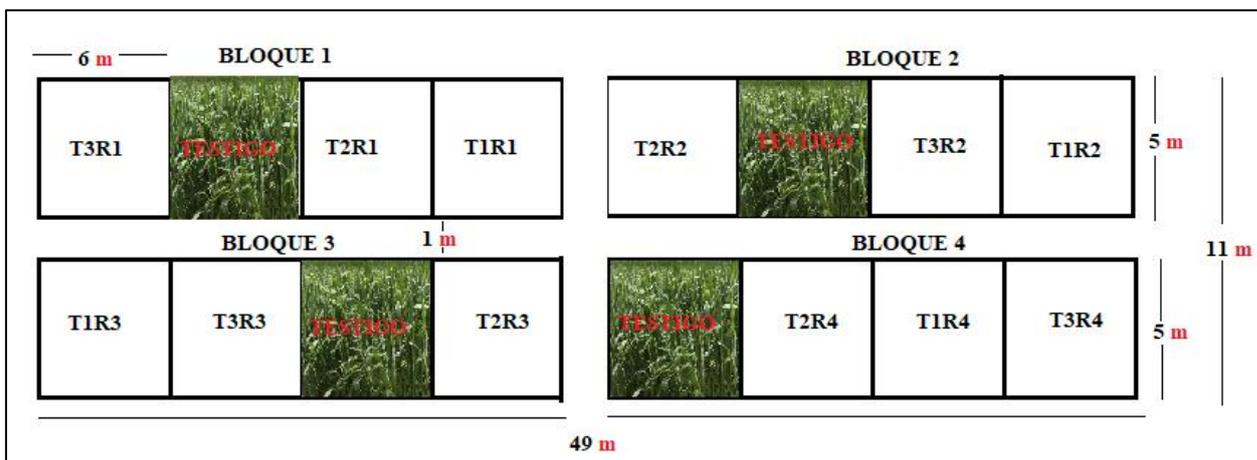
A continuación, se describen los tratamientos:

- **T1:** Establecimiento del cultivo con la incorporación de fertilizantes con la recomendación del análisis de suelo.
- **T2:** Establecimiento del cultivo con la reducción de un 20% de fertilizantes dependiendo de los resultados del análisis de suelo.
- **T3:** Establecimiento del cultivo con la incorporación más 20% adicional de fertilizantes dependiendo de la recomendación del análisis de suelo.
- **T4 (TESTIGO):** Establecimiento del cultivo con la incorporación de fertilizantes que realiza el productor. DAP (18-46-00) 10g/m<sup>2</sup>, Muriato 2,5g/m<sup>2</sup>, Urea 9g/m<sup>2</sup>.

En el cuadro 6 se describen los detalles de los tratamientos y la distribución de las parcelas en m<sup>2</sup>. A su vez a todos los tratamientos que llevan fertilizantes se les dará una fertilización líquida complementaria.

**Cuadro 6.** *Detalles de los tratamientos.*

Tratamientos	Etapa fenológica	Dosis		
		UREA	MURIATO DE K	DAP (18-46-00)
T1	Inicio	2 g/m <sup>2</sup>	14 g/m <sup>2</sup>	8 g/m <sup>2</sup>
	Crecimiento y desarrollo	8 gr/m <sup>2</sup>	9 gr/m <sup>2</sup>	3.9 gr/m <sup>2</sup>
T2 (-20%)	Inicio	1.6 gr/m <sup>2</sup>	14g/m <sup>2</sup>	6.4 g/m <sup>2</sup>
	Crecimiento y desarrollo	6.4 g/m <sup>2</sup>	9 g/m <sup>2</sup>	3.1 g/m <sup>2</sup>
T3 (+20%)	Inicio	2.4 g/m <sup>2</sup>	14 g/m <sup>2</sup>	9.6 g/m <sup>2</sup>
	Crecimiento y desarrollo	9.6 g/m <sup>2</sup>	9 g/m <sup>2</sup>	4.7 g/m <sup>2</sup>
T4 (Testigo)	Inicio	9 g/m <sup>2</sup>	2.5 g/m <sup>2</sup>	10 g/m <sup>2</sup>
	Crecimiento y desarrollo			

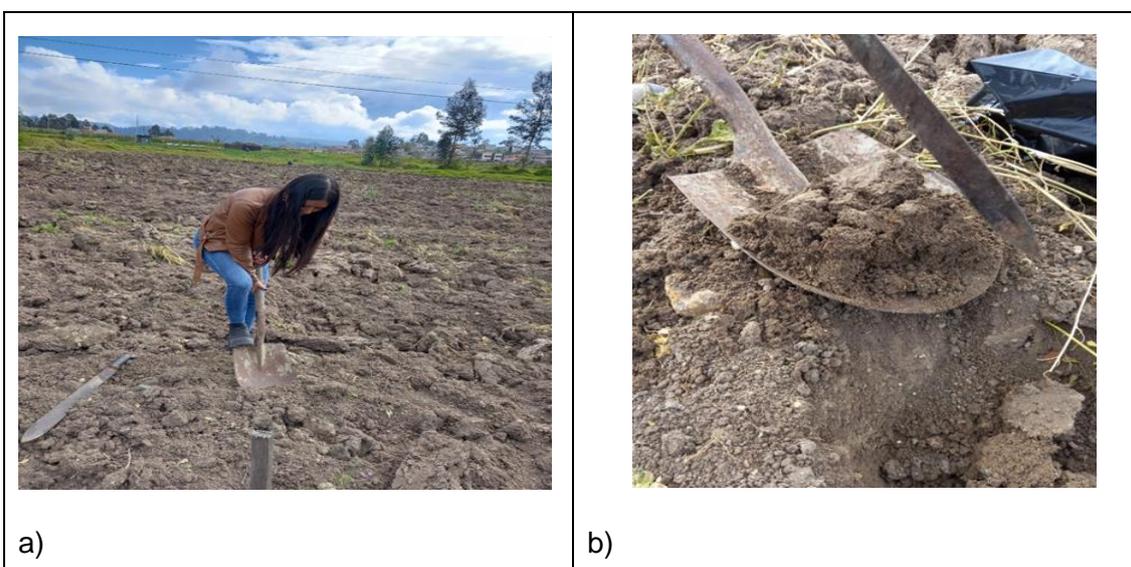


**Figura 4.** Distribución de las parcelas.

## 2.6 Procedimiento

### 2.6.1 Análisis de suelo

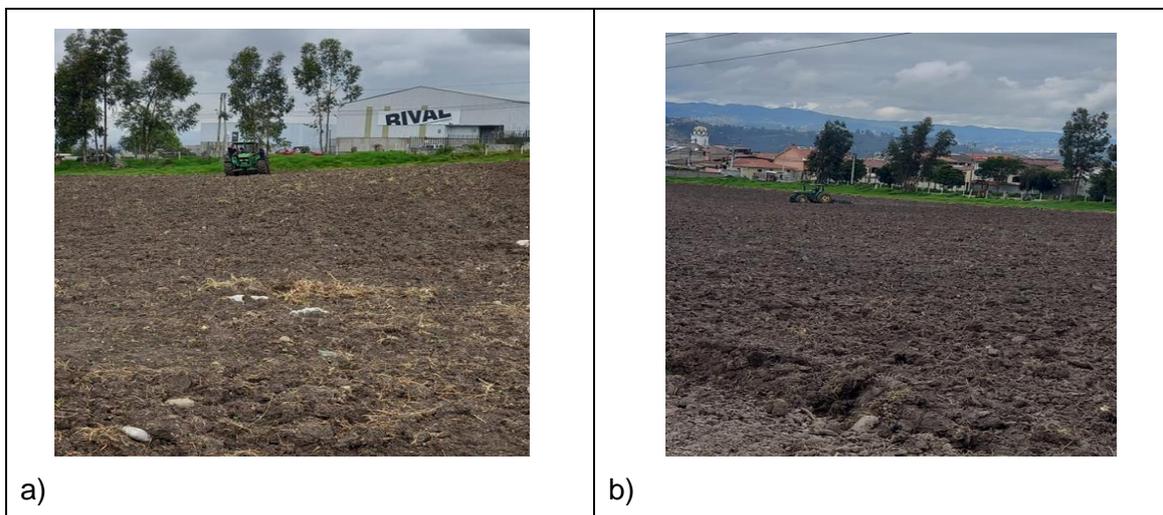
Para la obtención de la muestra de suelo que fue enviada al laboratorio para la caracterización físico química, se tomaron 10 submuestras del área del experimental que conformaron la muestra indicada, como se puede ver en la figura 5.



**Figura 5.** Toma de muestras. a) Limpieza de suelo para la toma de muestra, b) toma de muestra.

### 2.6.2 Preparación del Terreno:

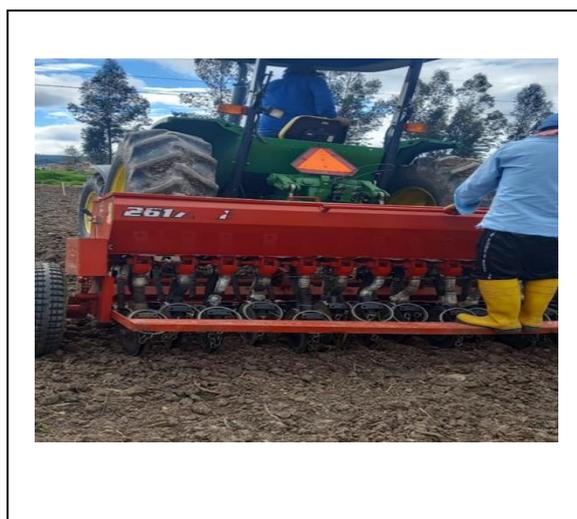
A partir de conocer las propiedades del suelo, se prosiguió con la preparación del mismo, la cual incluyó labores de: arada, cruza y rastra, previo a la siembra (véase figura 6).



**Figura 6.** Preparación del suelo. a) Aarada con el tractor, b) cruza y rastra.

### 2.6.3 Siembra

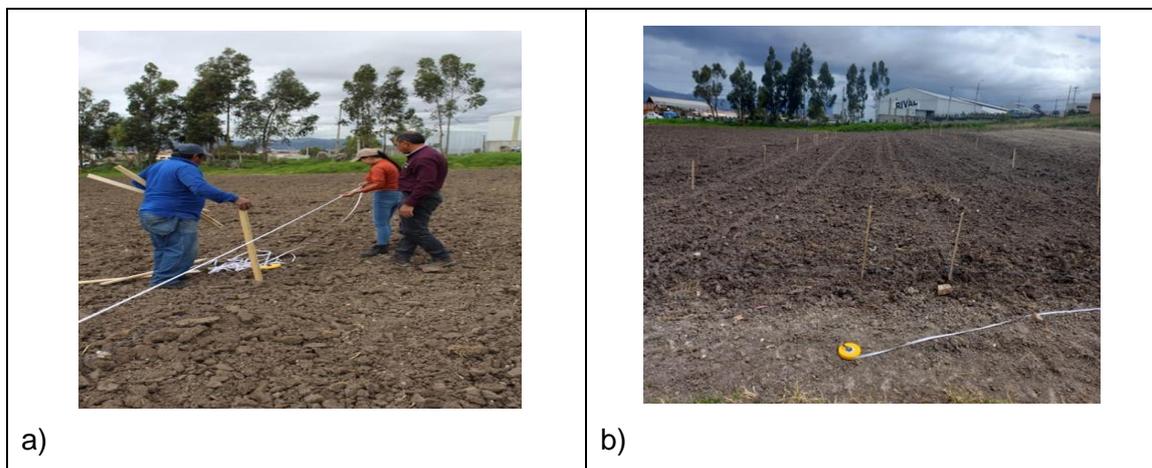
Para la labor de siembra se utilizó una máquina sembradora que permite una distribución uniforme de la semilla (figura 7).



**Figura 7.** Siembra de la avena.

## 2.6.4 Delimitación de las parcelas

La delimitación se realizó posterior a la siembra para aprovechar la uniformidad de la máquina sembradora, en donde se dividió en 16 unidades experimentales (el trabajo de campo se verifica en la figura 8).



**Figura 8.** Medición. a) Delimitación de parcelas, b) parcelas ya delimitadas.

## 2.6.5 Aplicación de fertilizantes

La fertilización edáfica se realizó de acuerdo a lo planificado con las dosis de cada tratamiento y en las épocas establecidas, como se puede observar en el cuadro 7.

**Cuadro 7.** Tratamiento con diversas dosis.

Tratamiento	Primera fertilización			Segunda fertilización		
	DAP (gr/m <sup>2</sup> )	Muriato de K (gr/m <sup>2</sup> )	Urea	DAP (gr/m <sup>2</sup> )	Muriato de K (gr/m <sup>2</sup> )	Urea
T1	8g/ m <sup>2</sup> x30 = 240g	14g/m <sup>2</sup> x30 = 420g	2g/m <sup>2</sup> x30 = 60g	3.9g/m <sup>2</sup> x30 = 117 g	9g/m <sup>2</sup> x30 = 270 g	8g/m <sup>2</sup> x30 = 240g
T2	6.4g/ m <sup>2</sup> x30 = 192g	14g/m <sup>2</sup> x30 = 420g	1.6g/m <sup>2</sup> x30 = 48g	3.1g/m <sup>2</sup> x30 = 93g	9g/m <sup>2</sup> x30 = 270 g	6.4g/m <sup>2</sup> x30 = 192g
T3	9.6g/ m <sup>2</sup> x30 = 288g	14g/m <sup>2</sup> x30 = 420g	2.4g/m <sup>2</sup> x30 = 72g	4.7g/m <sup>2</sup> x30 = 141 g	9g/m <sup>2</sup> x30 = 270 g	9.6g/m <sup>2</sup> x30 = 288g
T4 (TESTIGO)	10g/ m <sup>2</sup> x30 = 300g	14g/m <sup>2</sup> x30 = 420g	9g/m <sup>2</sup> x30 =270g			

**Nota:** En la segunda fertilización no se aplicó DAP, Urea, ni Muriato al testigo.

La fertilización sólida se realizó de forma manual y la fertilización líquida se efectuó con la ayuda de una bomba de mochila.

- Fertilización sólida.

Primera aplicación: se aplicó a la siembra DAP, Muriato de K y Urea.

Segunda aplicación: a los 60 días de la siembra se realizó la fertilización de crecimiento y desarrollo aplicando DAP, Urea y Muriato de K, menos en el T4 (Testigo).

- Fertilización líquida.

Aplicación de Microorganismos Benéficos obtenidos de hojas de la planta de carne humana: a los 8 días de la germinación se realizó con una bomba de mochila a una dosis de 20cc por 1l de agua que fue utilizada 60l.

Aplicación de un enraizante: a los 8 días se utilizó el enraizante MaxRhadiX a una dosis de 1cc por 1l de agua, lo cual fue utilizado 120l.

Aplicación de energizador foliar: para la aplicación del foliar (Green Bull), a los 30 días de su germinación se utilizó 5g por 1l de agua, utilizando 300g.

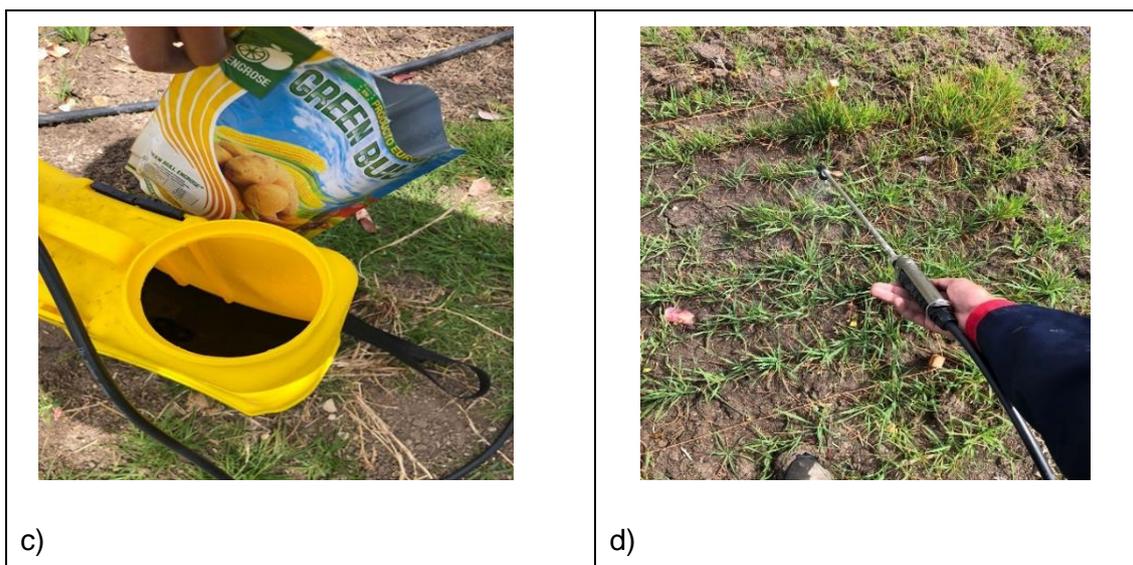
Aplicación de herbicida: El control de malezas se lo realizó de forma química transcurridos 20 días de la siembra se aplicó el herbicida Metsulfurón en dosis de 15 g en 100 litros de agua (véase figura 9).



a)



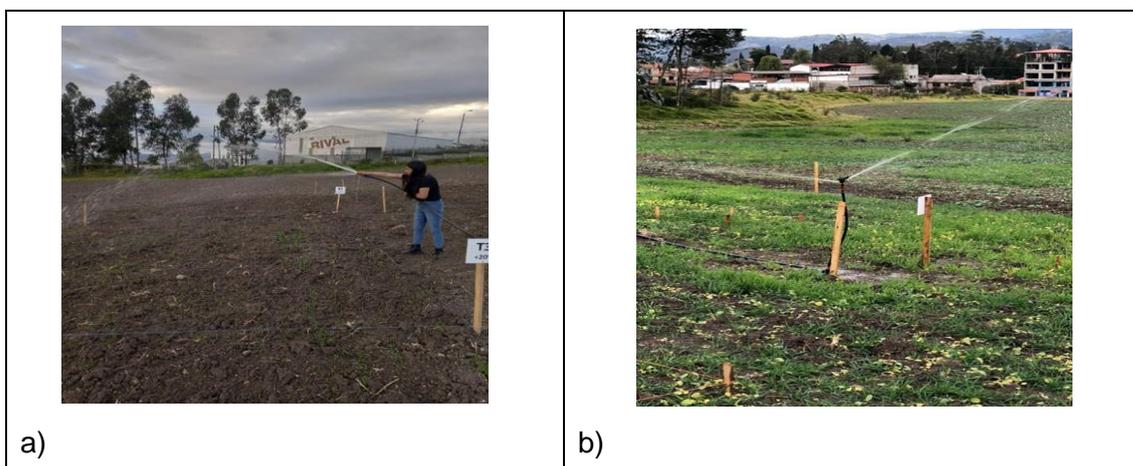
b)



**Figura 9.** Aplicación de fertilizantes sólidos y líquidos. a) Aplicación de fertilizantes sólidos, b) aplicación de enraizante MaxRhadix, c) aplicación de fertilizante foliar Geen Bull, d) aplicación de herbisida Metsulfuron.

### 2.6.6 Aplicación de Riego

Debido a las condiciones climáticas que hubo en la época del ensayo fue necesario la aplicación de riego adicional para compensar la deficiencia, la primera vez se aplicó de forma manual tratando de homogeneizar al máximo las parcelas, luego se estableció el sistema de riego por aspersión (figura 10).



**Figura 10.** Riego. a) Riego manual, b) riego por aspersión.

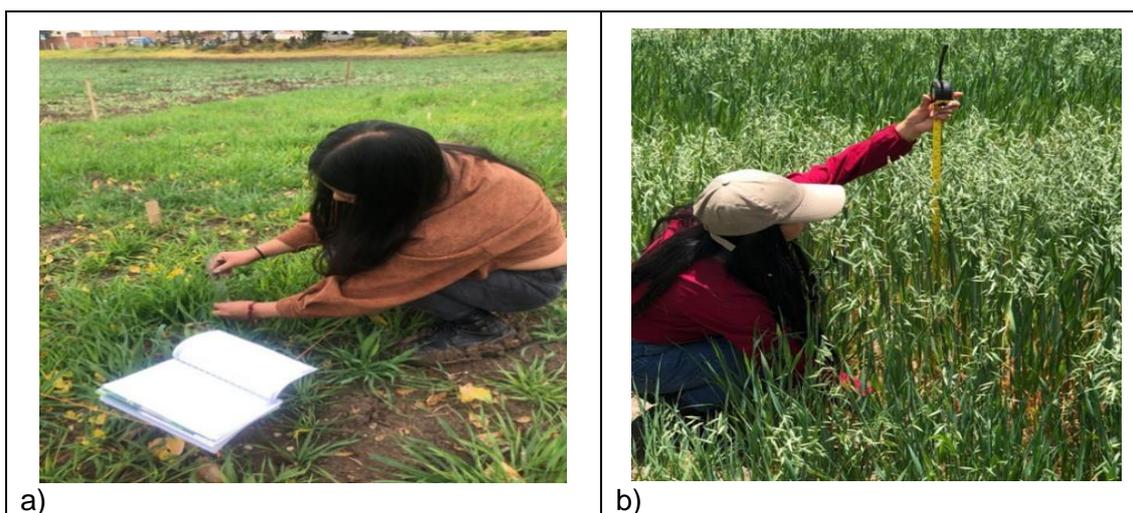
### 2.6.7 Variables en estudio

Las variables a evaluar son: altura de planta, número de hojas y cantidad de materia verde.

Para facilitar la toma de datos se trazó un área de muestra de 1m<sup>2</sup> que sirvió para la toma de datos.

Altura de plantas: la variable altura de plantas fue tomado a los 15, 30, 45, 60, 75 y 90 días con la ayuda de un flexómetro tomando en cuenta desde la base la planta hasta la hoja central.

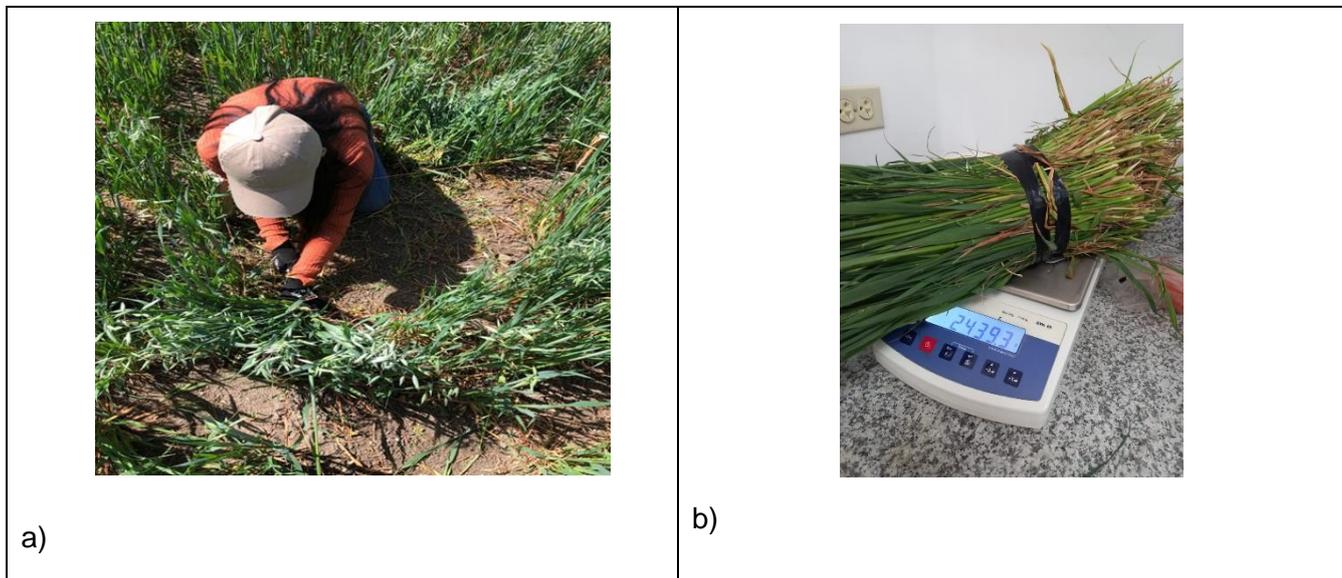
Numero de hojas: para la variable número de hojas se contabilizaron todas las hojas de las plantas en los mismos periodos que la altura (figura 11).



**Figura 11.** Toma de datos altura y número de hojas. a) Número de hojas, b) altura de plantas.

### 2.6.8 Cosecha y peso de la avena

Transcurridos los 90 días se procedió a la cosecha, de cada parcela se tomó un área de muestra de  $1\text{m}^2$  del cual se procedió a cortar toda el área de muestreo para tomar los datos de peso (figura 12).



**Figura 12.** *Proceso de cosecha y peso de la avena. a) cosecha de  $1\text{m}^2$ , b) peso de avena.*

### 2.6.9 Análisis de datos

Para el análisis de los datos se utilizó un análisis de varianza del programa estadístico Infostat.

### 3 Resultados

Para la obtención de los resultados, se ejecutaron los siguientes procesos, en primera instancia se realizó un análisis de suelo, una vez generado, se prosiguió, con el proceso de fertilización y sembrado. Se realizó la toma de datos, los cuales se centraron en la altura de la planta, número hojas y rendimiento de la materia verde en g/m<sup>2</sup>, a partir de ello se puede realizar un análisis costo beneficio.

#### 3.1 Caracterización físico química de suelo

Para este estudio se realizó un análisis de suelo, para el cual se hizo una toma aleatoria en 10 puntos de muestreo diferentes (véase cuadro 8).

**Cuadro 8. Resultados.**

Textura (Bou, S.W., 1973)				Elementos (INIAP, Inf.Téc. 1976)				pH (Knott, J.E., 1962)		
Fo – Franco				B - Bajo				Ac - Ácido		
Arc – Arcilloso				M - Medio				LAc - Lig. Ácido		
As – Arenoso				S - Suficiente				Pn - Prác. Neutro		
Li – Limoso				A - Alto				LAI - Lig. Alcalino		
Are – Arena				E - Exceso				AI - Alcalino		
Fca – Franca										
*pH	*C.E. mmhos/ cm /cm	*M.O. %	*NH4 (ppm)	P. (ppm)	K meq/ 100ml	Ca meq/1 00ml	Mg meq	*Na neq/10 0ml	CICE eq/10 l	
6.3 Lac	0.38 B	3.51 S	32.4 M	9.60 M ±1,53	0.29 M ± 0.05	22.0 E ±3,96	4.42 A ±0.75	0.10 B	26:81 A	
Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	*B (ppm)	*S (ppm)	Fe/M n R1	Ca/Mg R2	Mg/K R3	Ca+Mg /K R4	
2.5M ±0.50	0.9B <L.C.	2.70B <L.C.	2.3B ±0,67	1.53	92,60 E	0,33B	4.97 E	15.24 E	91.10 E	

*Nota: Profund (cm): 0-20; Arena %: 60.000; Arcilla %: 4.000; Limo %: 36.000; Clase Textural: FCO.AS.*

**pH 6.3 Lac:** El suelo es ligeramente ácido. Esto puede influir en la disponibilidad de nutrientes, pero generalmente es adecuado para muchos cultivos.

**C.E. 0.38 B:** La conductividad eléctrica es baja, lo que sugiere que no hay problemas de salinidad en el suelo.

**MO 3.51 S:** El porcentaje de materia orgánica es suficiente, lo que es favorable para la estructura del suelo y la nutrición de las plantas.

**NH4 32.4 M:** La cantidad de nitrógeno amoniacal es media. Este es una forma de nitrógeno directamente disponible para las plantas.

**P. 9.60 M:** El fósforo disponible está en un nivel medio, que es necesario para el desarrollo de las raíces y la floración.

**K 0.29 M:** Los niveles de potasio intercambiable son medios. El potasio es esencial para el funcionamiento de las enzimas y la regulación osmótica.

Las relaciones de nutrientes (R1, R2, R3, R4) sugieren posibles desequilibrios en la disponibilidad de nutrientes que pueden necesitar ser corregidos para optimizar el crecimiento de las plantas.

La profundidad de la muestra es de 0-20 cm, lo cual es típico para un análisis de suelo. La textura del suelo es Franco Arenoso (60% arena, 4% arcilla, 36% limo), lo que indica un suelo con buena aireación y drenaje pero que aún retiene la humedad y los nutrientes de manera efectiva (ver tabla completa en anexos figuras 8.1- 8.3).

### **3.2 Altura de plantas de avena en cm.**

Para la variable altura de plantas no existen diferencias significativas con un p Valor  $> 0,005$ , en el cuadro 9 se representan los resultados:

**Cuadro 9.** *Altura crecimiento de avena.*

ALTURA	T1	T2	T3	T4	VALOR p
15	10,11 (+/- 1,16)	11, 12 (+/- 1,57)	11,40(+/- 1,47)	10,71 (+/- 1,03)	0,0648
30	14,90 (+/- 0,60)	16,19 (+/- 1,09)	18,07 (+/- 4,36)	15,35 (+/- 2,20)	0,3845
45	15,91 (+/- 1,24)	16,61(+/- 1,42)	15,84 (+/- 1,96)	17,10 (+/- 3,35)	0,8409
60	25,5 (+/- 3,33)	24,90 (+/- 1,77)	22,77 (+/- 5,08)	28,70 (+/- 3,17)	0,1556
75	41,34 (+/- 3,67)	44,14 (+/- 5,16)	43,32 (+/- 5,03)	46,64 (+/- 3,46)	0,2036
90	71,5 (+/- 3,67)	74,51 (+/- 5,13)	72,84(+/-13,38)	77,52 (+/- 1,65)	0,7255

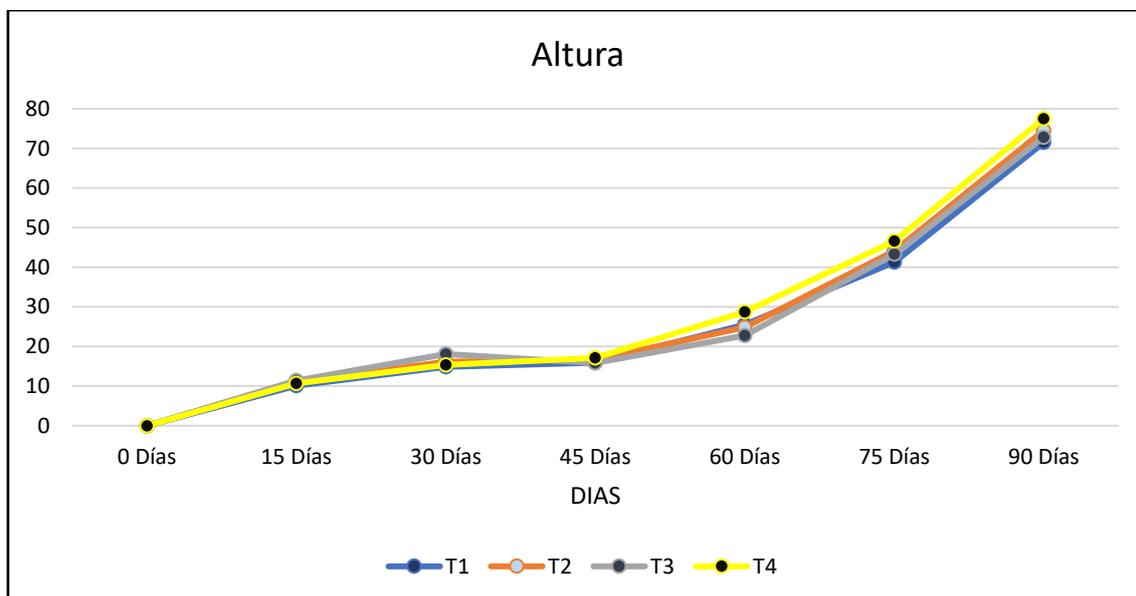
A los 15 días de inicio del experimento, se observa que las alturas medias para los tratamientos T2, T3 y T4 (Testigo) son ligeramente superiores a la del tratamiento T1, el tratamiento T3 presentó las medias más altas con un valor de 11,40 cm. Sin embargo, las desviaciones estándar son comparativamente pequeñas, lo que indica una consistencia en las mediciones.

A los 30 días, se observa un aumento notable en las alturas en todos los tratamientos. Nuevamente, T3 muestra la altura promedio más alta con un valor de 18,07 cm, seguido de cerca por T2. Las desviaciones estándar, aunque un poco más amplias en este punto, siguen siendo razonablemente pequeñas en relación con las alturas promedio.

A los 45 días, se observa una variabilidad en las alturas promedio, pero T2 muestra una ligera ventaja sobre los demás tratamientos con un valor de 16,61 cm. Las desviaciones estándar son más pronunciadas en este punto, lo que indica cierta variabilidad en las mediciones.

A los 60 días, T4 (Testigo) exhibe la altura promedio más alta con un valor de 28,70 cm, seguido de cerca por T1. Sin embargo, las desviaciones estándar son notoriamente más amplias, lo que sugiere una mayor variabilidad en las alturas de las plantas. Finalmente, a los 75 y 90 días, los tratamientos T2 y T4 (Testigo) continúan mostrando alturas promedio de 74,51 cm y 77,52 cm, aunque con desviaciones estándar significativas en algunos casos, especialmente en T3 a los 90 días.

Con respecto al crecimiento se puede observar que todos los tratamientos tienen un comportamiento muy similar como se puede apreciar en la figura 13.



**Figura 13.** *Altura por días de crecimiento.*

### 3.2.1 Número de hojas por planta

En el cuadro 10 se presentan los resultados.

**Cuadro 10.** Crecimiento de hojas por número de días.

HOJAS	T1	T2	T3	T4	VALOR p
15	2,40 (+/- 0,33)	2,41 (+/- 0,22)	2,44 (+/- 0,11)	2,50 (+/- 0,10)	0,8851
30	5,56 (+/- 0,09)	5,66 (+/- 0,19)	5,74 (+/- 0,55)	5,46 (+/- 0,33)	0,5704
45	12,73 (+/- 3,24)	16,85 (+/- 2,28)	12,81 (+/- 3,49)	12,73 (+/- 4,50)	0,394
60	18,78 (+/- 2,55)	24,20 (+/- 2,89)	20,61 (+/- 4,48)	23,43 (+/- 3,51)	0,1509
75	25,35 (+/- 2,37)	25,43 (+/- 1,71)	28,90 (+/- 5,66)	27,83 (+/- 5,18)	0,5998
90	26,18 (+/- 2,25)	28,14 (+/- 1,15)	28,16 (+/- 4,55)	25,13 (+/- 2,09)	0,1767

A los 15 días de inicio del experimento, se observa que el número promedio de hojas para todos los tratamientos es bastante similar, con T3 mostrando el valor de 2,44 más alto. Las desviaciones estándar son relativamente pequeñas, indicando una consistencia en las mediciones.

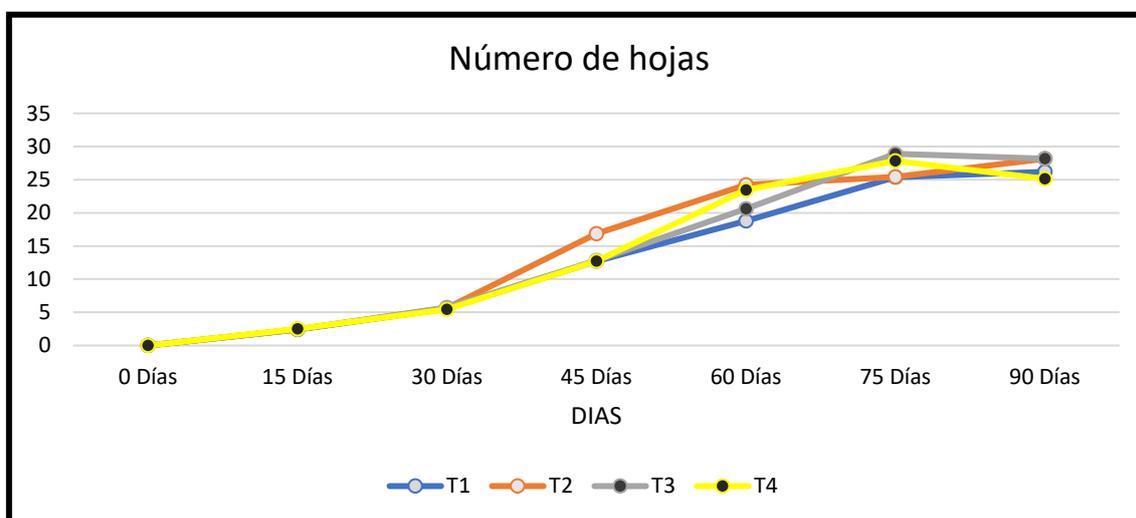
A los 30 días, se observa un aumento en el número de hojas en todos los tratamientos. T3 sigue mostrando el valor más alto de 5,66 seguido de cerca por T2 con

5,66 Las desviaciones estándar son pequeñas en general, lo que indica una consistencia en las mediciones.

A los 45 días, se observa una variabilidad en el número de hojas, y T2 muestra el número de hojas promedio más alto de 16,85. Sin embargo, las desviaciones estándar son más amplias en este punto, lo que sugiere una mayor variabilidad en el número de hojas.

A los 60 días, T2 continúa mostrando el número de hojas promedio más alto, seguido de cerca por T3. Las desviaciones estándar son moderadas en este punto, lo que sugiere cierta variabilidad en las mediciones. Finalmente, a los 75 y 90 días, los tratamientos T3 y T4 (Testigo) muestran el número de hojas promedio más alto en varios casos con valores de 20,6 y 23,43, aunque con desviaciones estándar significativas en algunos casos, especialmente en T3 a los 75 días.

Al ver el comportamiento del crecimiento del número de hojas, se puede ver una convergencia, lo que indica que el número final de hojas es bastante similar entre las cuatro series, a pesar de haber tenido algunas diferencias en los puntos de tiempo anteriores (figura 14).



**Figura 14.** Hojas por días de crecimiento.

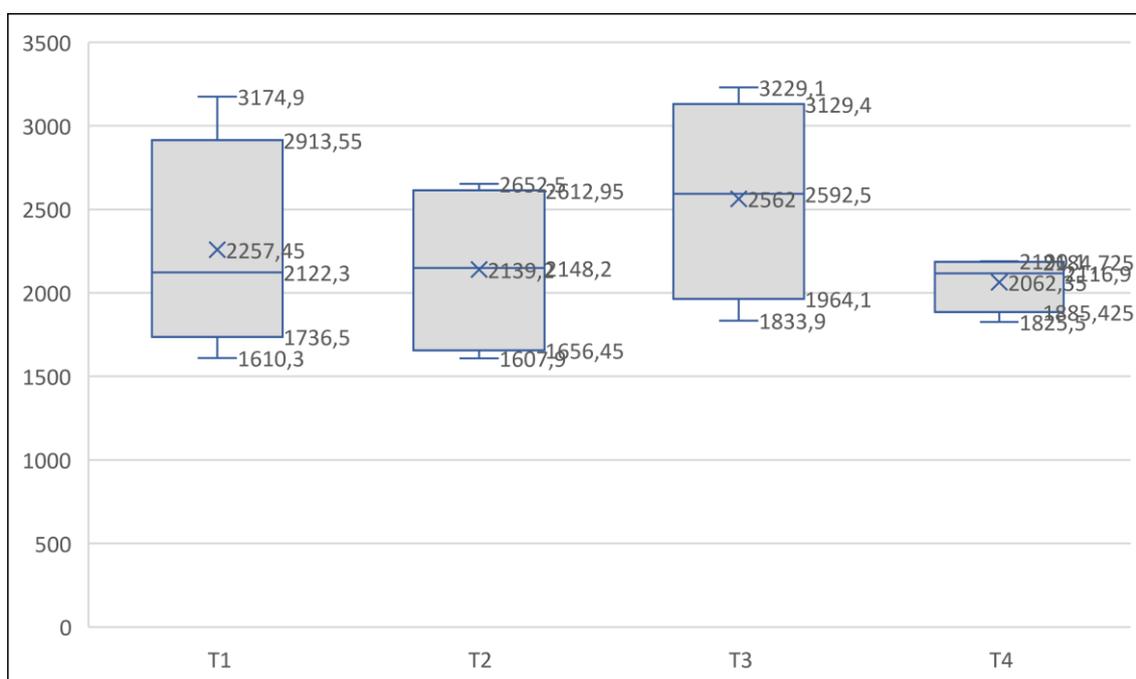
### 3.2.2 Rendimiento de materia verde en gramo por metro cuadrado

Para la variable materia verde por rendimiento se puede observar que no hay diferencias significativas con valor "p" de 0,426, y los datos de desviación son bajos,

pero se puede observar que el tratamiento T3 presenta el valor mayor con una media de 2562g en tanto que el tratamiento testigo T4 presenta el valor más bajo con un promedio de 2062,3g (figura 15).

Los resultados son los siguientes:

Al utilizar la fertilización en función de las recomendaciones, es favorable incrementar el N a un 20% lo que permitió obtener mayores resultados, no hay diferencias estadísticas pero la ganancia en el rendimiento es de 19.5% de incremento en la producción con relación al T4 (Testigo).



**Figura 15.** Rendimiento por tratamiento.

### 3.3 Análisis económico de costo beneficio de las dosis de fertilización en estudio

Al realizar un análisis sobre el costo beneficio de la dosis de fertilización en el estudio, se puede ver un desglose detallado de los costos asociados para el cultivo de cada una de los tratamientos, T1, T2, T3 y T4 (Testigo), los cuales tiene una variante dentro de los procedimientos. Para este análisis se realizaron costos por separado en cada uno de los elementos, en primera instancia se puede apreciar cada uno de los elementos valorados en la columna descripción, en la segunda columna denominada Unidad, se puede apreciar la unidad de medida implementada dentro de este estudio,

en la columna cantidad se puede apreciar la cantidad total de los elementos utilizados. De manera similar se puede apreciar el costo unitario por producto en las columnas destinadas al tratamiento se puede apreciar los valores totales sobre cada uno de los elementos (véase cuadro 11).

Vale la pena mencionar que, en el análisis de los tratamientos agrícolas presentados en el cuadro 10, se identifican ciertos valores que permanecen constantes a través de los distintos métodos de cultivo. Estos valores fijos, como el análisis de suelo y la preparación del terreno, no fluctúan entre los tratamientos T1, T2, T3 y el testigo T4. Estos costos fijos son fundamentales para la evaluación financiera, ya que forman una base sobre la cual se pueden calcular y comparar los costos adicionales variables asociados con cada tratamiento.

Al analizar el costo-beneficio de estos tratamientos, es crucial reconocer que el impacto económico de los costos fijos puede disminuir a medida que la escala del terreno aumenta. Es decir, al expandir la superficie cultivada, el peso de los costos fijos se distribuye más ampliamente, lo que puede llevar a una apreciación más clara de los beneficios marginales de los insumos variables (cuadro 12 y 13). En una operación agrícola a mayor escala, los beneficios de incrementar la producción o mejorar la calidad del cultivo debido a tratamientos específicos pueden superar los costos adicionales de dichos tratamientos, resultando en un retorno de la inversión más favorable. Por lo tanto, en la planificación agrícola a largo plazo, es esencial considerar cómo la ampliación del área de cultivo puede influir en la relación costo-beneficio y en la viabilidad económica de las prácticas agrícolas implementadas.

En este estudio al valorar los egresos se puede apreciar que el grupo T4 (Testigo), termina siendo menos costosa que los otros tratamientos, mientras que, al valorar los egresos de materia verde por libra transformado a ensilaje, se puede apreciar que existe un ligero ingreso en el T3 (véase cuadro 14). No obstante, al realizar un análisis costo beneficio se puede apreciar que el tratamiento T3, es el que mayor rentabilidad presenta. Sin embargo, es importante considerar que este análisis se basa solo en datos financieros. No tiene en cuenta otros factores como los beneficios a largo plazo de la salud del suelo, la resiliencia del cultivo, extensión de terreno o los beneficios ecológicos que pueden justificar costos iniciales más altos (cuadro 15).

**Cuadro 11.** *Costos de producción.*

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo total de producción /ha</b>
Análisis de suelo	1	\$56,00	\$56,00
Arriendo terreno (hectárea)	1	\$187,00	\$187,00
Preparación del terreno (horas)	12	\$25,00	\$300,00
Arada	6		
Cruza	4		
Rastra	2		
Maquina sembradora y cosechadora (horas)	4	\$30,00	\$120,00
Semilla (libras)	264	0,25	\$66,13
Herbicida Metsulfuron (sobres)	3	\$6,40	\$19,20
Microorganismos benéficos (litros)	120	\$2,00	\$240,00
Mano de obra (jornales)	6	\$18,00	\$108,00
Fertilizante foliar (kg)	3	\$5,00	\$15,00
Enraizante (litros)	2	\$10,50	\$21,00
<b>Total</b>	-		<b>\$1,132.33</b>

**Cuadro 12.** *Costos por tratamiento primera aplicación.*

<b>Descripción</b>	<b>Costo tratamiento /Ha</b>
T1 Urea 20 kg+ Muriato 140 kg +DAP 80 kg	\$203,00
T2 Urea 16 kg+ Muriato 140 kg +DAP 64 kg	\$190,00
T3 Urea 24 kg+ Muriato 140 kg +DAP 96 kg	\$220,00
T4 Urea 90 kg+ Muriato 25 kg +DAP 100 kg	\$160,00

**Cuadro 13. Costos por tratamiento segunda aplicación.**

Descripción		Costo tratamiento /Ha
T1	Urea 80 kg+ Muriato 90 kg+ DAP 39 kg	\$228,00
T2	Urea 64 kg+ Muriato 90 kg+ DAP 31 kg	\$198,00
T3	Urea 96 kg+ Muriato 90 kg+ DAP 47 kg	\$258,00
T4	0	\$ 0

**Cuadro 14. Análisis costo total.**

Descripción	Costo de producción	Costo variable por tratamiento	Costo total
T1	\$1,132.33	\$431,00	\$1,563.33
T2	\$1,132.33	\$388,00	\$1,520.33
T3	\$1,132.33	\$478,00	\$1,610.33
T4 (testigo)	\$1,132.33	\$160,00	\$1,292.33

**Cuadro 15. Rendimiento proyectado por hectárea.**

Descripción	Rendimiento	Precio	Ingresos por ventas esperados
T1	2.2574kg/m <sup>2</sup> x10.000=22.574(kg/ha) /28kg(60lb) = <b>806(sacos) x\$6,00</b>		\$4,836.00
T2	2.1392kg/m <sup>2</sup> x10.000=21.392(kg/ha) /28kg(60lb) = <b>764(sacos) x\$6,00</b>		\$4,584.00
T3	2.5620kg/m <sup>2</sup> x10.000=25.620(kg/ha) /28kg(60lb) = <b>915(sacos) x\$6,00</b>		\$5,490.00
T4 (testigo)	2.0623kg/m <sup>2</sup> x10.000=20.623(kg/ha) /28kg(60lb) = <b>736(sacos) x\$6,00</b>		\$4,416.00

En función de los datos obtenidos del cuadro 11, cuadro 12, cuadro 13, cuadro 14 y cuadro 15 se presenta el análisis de costo beneficio (véase cuadro 16).

**Cuadro 16.** *Análisis costo.*

<b>Descripción</b>	<b>Costo total</b>	<b>Ingresos (sacos)</b>	<b>Beneficio</b>
<b>T1</b>	\$1,563.33	\$4,836.00	\$3,272.67
<b>T2</b>	\$1,520.33	\$3,588.00	\$2,067.67
<b>T3</b>	\$1,610.33	\$5,490.00	\$3,879.67
<b>T4 (testigo)</b>	\$1,292.33	\$4,416.00	\$3,123.67

Al comparar T3 (+20%) frente al T4 (Testigo) se puede observar que con una inversión adicional de \$318.00 se puede obtener un ingreso adicional de \$756.00.

## 4 Discusión

El análisis de suelo detallado presenta condiciones generalmente favorables para el cultivo de avena forrajera, una planta conocida por su adaptabilidad a una amplia gama de perfiles de suelo. La textura franco arenosa, con un predominio de arena seguido de limo y un mínimo de arcilla, proporciona una base excelente para el desarrollo radicular de la avena, facilitando un buen drenaje y al mismo tiempo manteniendo la humedad y nutrientes esenciales.

De manera similar, se puede apreciar un estudio realizado por Boccolli y Salusto (2022), quienes realizaron una investigación sobre la cobertura en los suelos franco arenosos en la provincia de Córdoba en Argentina, en donde especifican que este tipo de suelos, son ricos en nutrientes con alta actividad biológica; también destacan que este suelo se caracteriza por el buen drenaje y la capacidad para la retención de nutrientes.

Por otra parte, dentro de esta investigación se encontró que el suelo poseía un pH ligeramente ácido de 6.3 está dentro del rango óptimo para la avena forrajera, que prefiere suelos con un pH de 6.0 a 7.0. Según Martínez y Zambudio (2022), este nivel de acidez favorece la disponibilidad de la mayoría de los nutrientes y no inhibe la actividad microbiana beneficiosa. Sin embargo, se debe prestar atención al exceso de calcio que, aunque puede mejorar la estructura del suelo, también puede competir con otros cationes como el magnesio y el potasio, que son igualmente vitales para el cultivo.

Esta condición es confirmada por Apollon et al. (2022), quienes manifiestan que el pH idóneo para el cultivo de la Avena, se encuentra en un rango que va desde el 5.5 al 7.0 de pH, en esta investigación hace referencia que el suelo puede tener propiedades que van desde “Fuertemente ácido”, al encontrarse en 5.5 a “Neutro” al encontrarse en 7.25 y son característicos de suelos de pradera subhúmedos, también dentro de estos suelos se pueden encontrar componentes como el Potasio o el Calcio, como se ha podido ver en el análisis realizado.

En este sentido, un estudio realizado por Mamami y Cotacallapa (2018) en la región del Puno sobre el rendimiento y la calidad de la avena forrajera manifiesta que la suficiente materia orgánica del suelo, junto con niveles adecuados de nitrógeno amoniacal y fósforo, sugiere que el suelo tiene una buena capacidad para soportar el

crecimiento vegetativo rápido característico de la avena forrajera. No obstante, las concentraciones de potasio, aunque medianas, deberían ser monitoreadas y posiblemente suplementadas, dado que la avena es un cultivo que responde bien a la fertilización potásica, especialmente para la formación de granos y desarrollo de tallos robustos.

A su vez, se pudo observar, la alta capacidad de intercambio catiónico (CICE) del suelo es beneficiosa, indicando que hay una reserva adecuada de cationes disponibles para las plantas. Los niveles bajos de sodio evitan el riesgo de toxicidad, lo cual es favorable. Este resultado se ha podido observar en el estudio de Pérez et al. (2018), quienes manifiestan que la alta CICE, representa una buena reserva de nutrientes, mientras que los bajos niveles de sodio permiten reducir el riesgo de toxicidad en los cultivos.

Por otra parte, al valorar las características de crecimiento de la avena forrajera INIAP fortaleza 2020, con tres dosis de fertilización, se pudo apreciar que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos en términos de rendimiento de materia verde. Sin embargo, se puede apreciar que existe una diferenciación de tipo numérico, en donde la muestra T3, tuvo un mejor desarrollo que las otras muestras. Lo que puede llevar a indicar, que se puede mejorar el rendimiento. Vale la pena mencionar, que en este estudio se encontró una muy buena calidad de suelo, lo que es un factor importante a considerar.

En este contexto, Castillo et al. (2021), realizaron un estudio, en donde se aplicaron diversos fertilizantes orgánicos, con el objetivo de mejorar la producción de materia verde como la Alfalfa, dentro de sus hallazgos encontraron, que no se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos. Sin embargo, dentro de este estudio, se pudo apreciar que factores como: (pH, CE, MOS, Fe-DTPA) fueron eficaces para evaluar la calidad de los suelos.

Al valorar el costo beneficio, se pudo apreciar que, al no haber una diferencia significativa entre tratamientos, el T4 (Testigo), es el tratamiento más económico, pero el tratamiento T3(+20%) es el más rentable. Es relevante destacar la sinergia entre las características del suelo y las prácticas agrícolas empleadas. La textura franco arenosa, con su buena capacidad de drenaje y retención de nutrientes, junto con el pH ligeramente ácido, crea un ambiente óptimo para el cultivo de avena. Los estudios

mencionados, como el de Boccolli y Salusto (2022) y Pérez et al. (2018), reafirman la importancia de mantener un equilibrio de nutrientes y un manejo adecuado del suelo para optimizar la producción. Además, los hallazgos de Castillo et al. (2021) sobre fertilizantes orgánicos sugieren que el manejo sostenible del suelo puede ser crucial para mantener la calidad y productividad del cultivo sin incurrir en costos adicionales. Por tanto, esta investigación subraya la relevancia de un enfoque integrado que combine el conocimiento del suelo con prácticas agrícolas efectivas para el desarrollo sostenible de la agricultura.

## 5 Conclusión

La presente investigación se centra en el rendimiento de la avena forrajera INIAP Fortaleza 2020, evaluando su comportamiento bajo diferentes dosis de fertilización, en función de un análisis de suelo detallado. Este estudio destaca por su enfoque integral, considerando tanto aspectos agronómicos como económicos para determinar las prácticas de fertilización más eficientes y sostenibles.

La avena forrajera, conocida por su adaptabilidad a variados perfiles de suelo, se beneficia significativamente de la textura franco arenosa del suelo estudiado, que favorece el desarrollo radicular y equilibra eficazmente el drenaje y la retención de humedad y nutrientes. Esta característica, junto con un pH ligeramente ácido óptimo para la avena, crea un entorno propicio para su crecimiento.

Dentro de este estudio, se determinaron con éxito las características agronómicas de la avena forrajera, como altura, número de hojas y granos, y materia verde. Estos datos proporcionaron una comprensión detallada de cómo la dosis de fertilización influencia directamente estas variables agronómicas, destacando la importancia de una fertilización precisa para optimizar el crecimiento y el desarrollo del cultivo.

Por otra parte, dentro del estudio realizó un análisis económico minucioso, evaluando el costo-beneficio de las dosis de fertilización. Este análisis reveló que, aunque no hubo diferencias significativas en términos de rendimiento entre los tratamientos, el tratamiento T3 el de mayor beneficio económico, resaltando la importancia de considerar la eficiencia de los recursos en la toma de decisiones agrícolas.

La investigación ha demostrado que, aunque no existen diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento de materia verde entre los tratamientos de fertilización, hay diferenciaciones numéricas que sugieren un potencial de mejora en el rendimiento. Esto resalta la importancia de una fertilización precisa, basada en análisis de suelo, para optimizar el uso de recursos y maximizar los beneficios.

Además, el análisis de suelo refleja que hay una alta capacidad de intercambio catiónico en el suelo, lo que indica una reserva adecuada de cationes para las plantas.

Los bajos niveles de sodio presentes reducen el riesgo de toxicidad, lo cual es favorable para el cultivo. Este hallazgo coincide con estudios anteriores que también resaltan la importancia de mantener un equilibrio de nutrientes en el suelo.

Finalmente, la investigación subraya la relevancia de prácticas agrícolas sostenibles. El uso de fertilizantes orgánicos y la adaptación de las dosis de fertilización, en función de las necesidades específicas del suelo y del cultivo, son estrategias clave para lograr una agricultura eficiente y respetuosa con el medio ambiente. En conclusión, este estudio aporta conocimientos valiosos para el manejo efectivo y sostenible del cultivo de avena forrajera, enfatizando la importancia de un enfoque integrado que combina análisis de suelo detallados con prácticas de fertilización adaptadas.

## **6 Recomendaciones**

Se recomienda replicar este estudio en diferentes condiciones climatológicas y edafológicas, en las cuales se pueda optimizar el potencial genético de la variedad de avena forrajera estudiada.

Probar la fertilización recomendada de acuerdo al análisis químico de suelo, utilizando otras variedades que pueden ser mejoradas o con un alto potencial de rendimiento de materia verde.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo-Alcalá, P., Taboada-Gaytán, O., & Cruz-Hernández, J. (2020). Caracterización de fertilizantes orgánicos y estiércoles para uso como componentes de sustrato. *Acta Agronómica*, 69(3), 234-240. DOI doi: <https://doi.org/10.15446/acag.v69n3.84508>
- Alba, F. (2013). *Pastos y forrajes del Ecuador, siembra y producción de pasturas*. Cuenca-Ecuador: Universidad Politecnica Salesiana Instituto Técnico Superior Agronómico Salesiano.
- Apollon, W., & Jean-Baptiste, Y. (2022). Efecto de la fertilización orgánica e inorgánica en la producción y calidad de *Brachiaria brizantha*. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(1), 1-13.
- Arias, A., Cruz, J., Pantoja, C., Yali, F., Bermúdez, W., & Morales, E. (2021). Rendimiento forrajero y valor nutritivo de dos variedades de avena sativa (Criolla y Mantaro-15), en la sierra central del Perú. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 8(2), 54-60.
- Ávila, G., Pascual, M., & Rufat, J. (2023). Fertilización y fertirrigación orgánica en frutales. *Horticultura*, 366, 3, 8-12.
- Boccolli, M., & Salusto, M. (2022). Experiencia con cultivos de cobertura en un suelo franco arenoso. *Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca Ministerio de Economía Argentina*, 1-15.
- Cajamarca, B. &. (2015). Selección de una línea promisorio de cebada (*Hordeum vulgare* L.) Bio-fortificada, de grano descubierto y bajo contenido de fitatos, en áreas vulnerables de la sierra sur ecuatoriana. [Tesis de grado, Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, carrera de Ingeniería Agronómica]. Cuenca, Ecuador. Obtenido de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23473/1/TESIS%20CEBADA.pdf>

- Castillo, X., Etchevers, J., Hidalgo, C., & Aguirre, A. (2021). Evaluación de la calidad de suelo: generación e interpretación de indicadores. . *Terra Latinoamericana*, 39, e698; <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.698>.
- Dendy, D. A. (2004). *Cereales y Productos derivados, Química y tecnología de los alimentos*. Zaragoza-España: ACRIBIA S.A.
- Flores-Xolocotzi, R. (2024). Relación del PIB per cápita con emisiones agrícolas de metano y óxido nitroso en 26 países latinoamericanos y del Caribe (1990-2019). *El Trimestre Económico*, 91(361), 79-114.
- Garces, X. (2013). Pasto avena. [Trabajo de curso, Universidad Técnica de Ambato, carrera de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Forrajicultura]. Ambato, Ecuador. Obtenido de URL:<http://es.slideshare.net/xiosmaritagarces/arrenatherium-elatius-o-pasto-avena>
- Grasso, R., Berrueta, C., & Giménez, G. (2021). Monitoreo de nutrientes para la asistencia a la fertirrigación a nivel de predios. *Revista INIA*, (66), 108-112.
- Hernández, M., & Jiménez, S. (2021). Materiales alternativos como oportunidad de reducción de impactos ambientales en el sector construcción. *Revista Tecnología en Marcha*, 34(2), 3-10.
- INFOAGRO. (2012). INFOAGRO.com, Toda una agricultura en Internet. *El cultivo de avena, industria de los cereales y derivados*. Quito-Ecuador. Obtenido de [https://biblioguias.ucm.es/estilo-apa-septima/pagina\\_web?gclid=CjwKCAjwitShBhA6EiwAq3RqA\\_DtTiEqAqYFjCOCFACeYfV7waLicwvhG6vy11u7U4QWXPoISS7JRxoCbkMQAvD\\_BwE](https://biblioguias.ucm.es/estilo-apa-septima/pagina_web?gclid=CjwKCAjwitShBhA6EiwAq3RqA_DtTiEqAqYFjCOCFACeYfV7waLicwvhG6vy11u7U4QWXPoISS7JRxoCbkMQAvD_BwE)
- INIAP. (2020). *Nueva variedad de avena de doble propósito para la Sierra Sur ecuatoriana. INIAP FORTALEZA 2020*. Gualaceo-Azuay: Estación experimental del Austro.
- Jácome, C., Guerrero, V., Quevedo, K., & Jaguaco, M. (2023). Comportamiento agronómico de avena (Avena sativa L.) variedades INIAP-Fortaleza 2020 e INIAP-82. . *REVISTA MULTIDISCIPLINARIA DE DESARROLLO AGROPECUARIO, TECNOLÓGICO, EMPRESARIAL Y HUMANISTA*, 5(2), 7-7.

- Jaque, P., & Mestre, M. (2021). Hacia una fertilización sustentable: Los microorganismos del suelo son esenciales en los ecosistemas naturales. Entonces vale preguntarse, ¿ cómo aprovecharlos en la agricultura para abrir camino hacia producciones afines con el entorno socioambiental? *Desde la patagonia. Difundiendo saberes*, , 18(32), 2-9.
- Liu, Q., Lin, L., Zhou, X., Peterson, P. M., & Wen, J. (2017). Unraveling the evolutionary dynamics of ancient and recent polyploidization events in *Avena* (Poaceae). *Scientific Reports*, , 7, 41944. <https://doi.org/10.1038/srep41944>.
- Luna, A., Romo, S., & Pérez, D. (2023). BEBIDA VEGETAL A BASE DE ARROZ-AVENA ADICIONADA CON ALIMENTOS FUNCIONALES CHÍCHARO VERDE-CHÍA-ALFALFA. . *REVISTA TECNOLÓGICA CEA*, 73., 73.
- Magaña, W., & Obrador, J. (2020). Rendimiento comparativo de la yuca bajo fertilización mineral y abono verde. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(6), 1259-1271.
- Mamani, J., & Cotacallapa, F. (2018). Rendimiento y calidad nutricional de avena forrajera en la región de Puno. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 20(4), 385-400. <https://dx.doi.org/10.18271/ria.2018.415>.
- Mamani, J., & Llumipanta, F. (2021). Sistemas de producción de biogás: fundamento, técnicas de mejora, ventajas y desventajas. *Agroindustrial Science*, 11(2), 239-247.
- Martínez, G., & Zamudio, B. (2022). Rendimiento de híbridos de maíz en respuesta a la fertilización foliar con bioestimulantes. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(2), 289-301.
- Milicia, V., & López, C. (2023). Producción de lechuga y alelíde corte en monocultivo y consociados bajo condiciones de fertilización orgánica. *Revista Verde de Agroecología e Desenvolvimento Sustentável*,- 18(1), 1-8.
- Morales, R., Pulido, S., & Muñoz, S. (2021). Propuesta para el establecimiento del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L) en la zona norte del estado de Veracruz. . *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 9(1), 181-191.

- Pastor, A. (2021). Análisis jurídico de la protección del suelo, su repercusión en la salud de las personas y los ecosistemas y la nueva perspectiva hacia la salud del suelo en el marco del "One Health". . *Revista Catalana de Dret Ambiental*, 12 (2).
- Pérez, A., Galvis, A., Bugarín, R., & Hernández, T. (2018). Capacidad de intercambio catiónico: descripción del método de la tiourea de plata (AgTU+ n). *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(1), 171-177.
- Pérez, S., & Soares, J. (2017). La mecanización agrícola: campo de acción de la ingeniería agronómica. . *Siembra*,, 4(1), 59-65  
<https://www.redalyc.org/journal/6538/653868368006/653868368006.pdf>.
- Polo, E. (2021). Efecto de la fertilización orgánica sobre el rendimiento de materia seca de especies de *Brachiaria* . *Revista Semilla Del Este*, 1(2), 64-69.
- Robalino, M. A. (2008). Evaluación de biofertilizantes en la producción de forraje y semilla de *Arrhenatherum elatius* (Pasto avena) en la estación experimental Tunshi. [*Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias Pecuarias, Escuela de Ingeniería Zootécnica*]. Riobamba , Ecuador. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1505/1/17T871.pdf>
- Rodríguez, S., & Salgado, O. (2020). Fertilización química y orgánica en avena: rendimiento y calidad de la semilla. *Agronomía Mesoamericana*,, 31(3).
- Rojas, J., & Ortiz, L. (2021). Producción de hojarasca y su aporte de nutrientes en cacao bajo diferentes esquemas de fertilización, rionegro-santander. *Agronomía Costarricense*, 45(1), 193-206.
- Silva-Arero, E., & Cardona, W. (2022). Inyección de nutrientes: una técnica eficiente para incrementar el rendimiento del cultivo de plátano (*Musa AAB*). *Agronomía Mesoamericana*, 48192-48192.
- Terán, R., Herrera, C., & Maydan, A. (2023). La producción de avena (*Avena sativa*) en grano: un integrador agroecológico en los sistemas de producción familiar. . *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 10(2), 41-51.

Valencia, L., Ramírez, M., Ramírez, V., Monárrez, A., & Nieto, J. (2021). Estudio de Mercado para establecer una Empresa de venta de Fertilizantes en el Rosales, Chihuahua. . *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*,, 9(2), 96-105.

Velázquez, I., Aldrete, A., & López, J. (2022). Fertilización de dos grupos genéticos de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. en un ensayo de progenies de cuatro años. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 28(1), 21-36.

## 8 Anexos

Se detallan en las figuras 8.1- 8.3 los análisis de suelo realizados

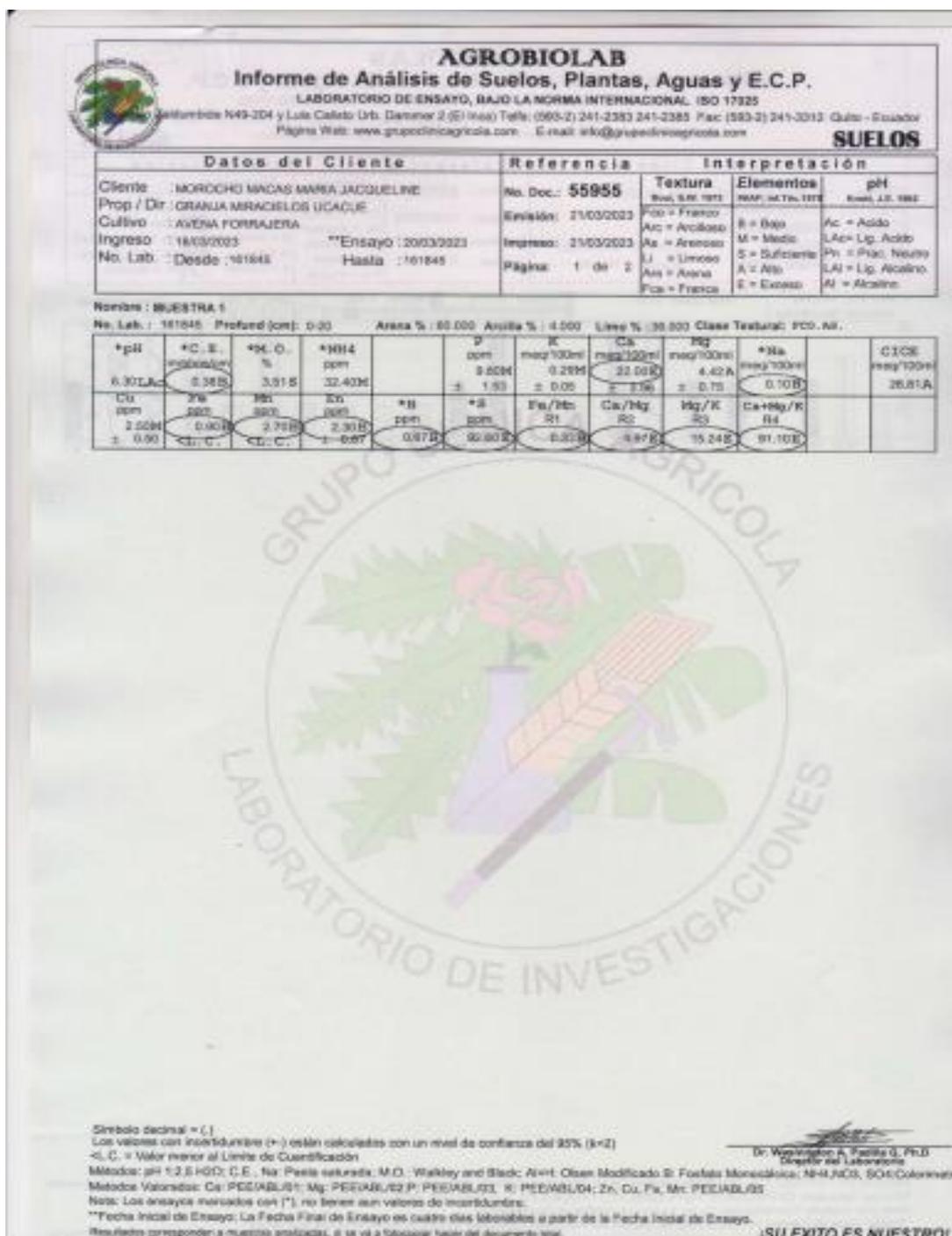


Figura 8. 1

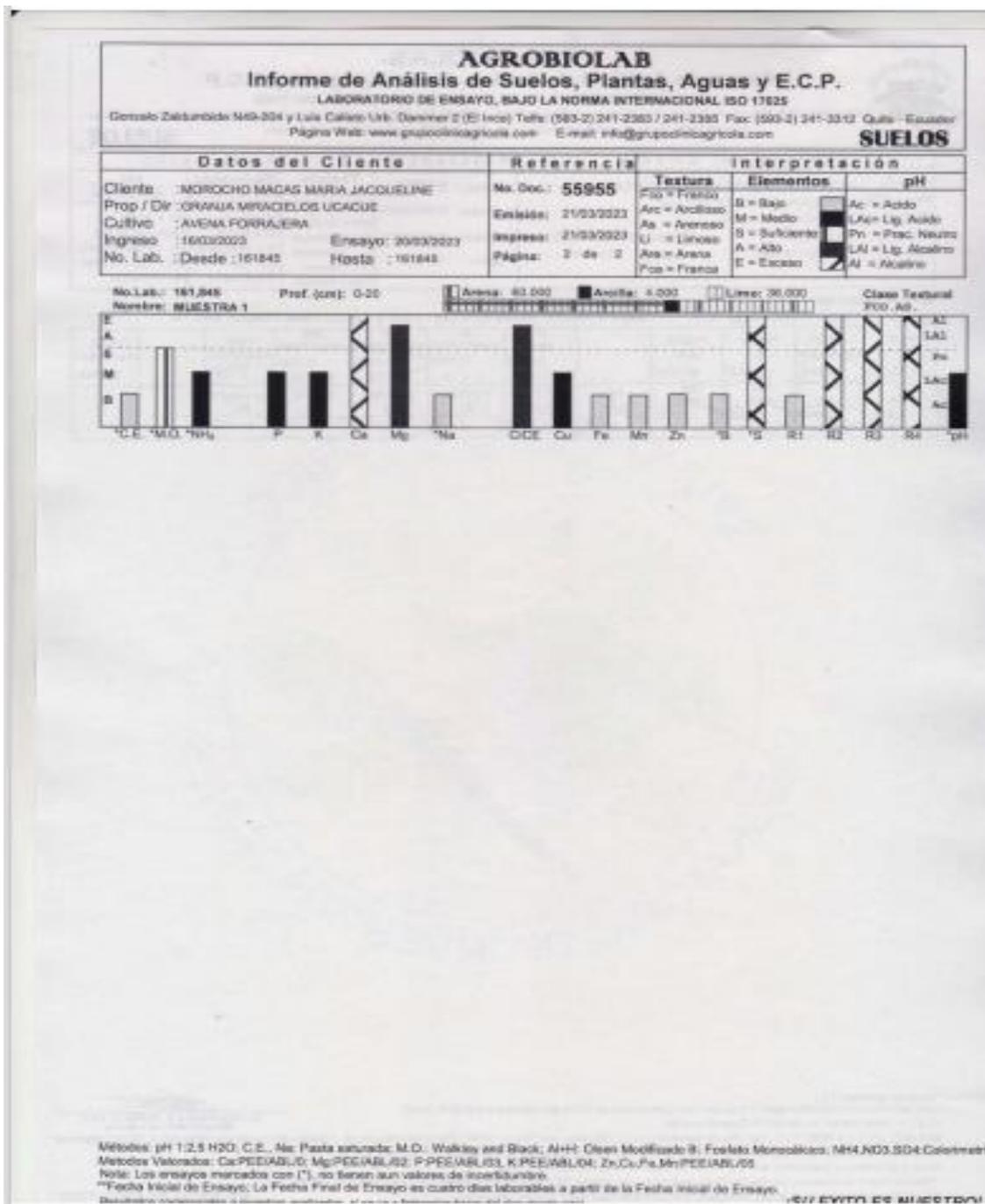


Figura 8.2

**AGROBIOLAB GRUPO CLINICA AGRICOLA**

[info@grupoclinicagrícola.com](mailto:info@grupoclinicagrícola.com)      [www.grupoclinicagrícola.com](http://www.grupoclinicagrícola.com)      Teléfono: (503) 2- 2413311

Gracias por confiar en nuestros servicios

**CLIENTE:** Morocho Macas María Jacqueline      **DOCUMENTO #** 55955  
**HACIENDA:** Granja Miracielos UCACUE      **FECHA:** 23-mar-23  
**Superficie en m2** 10000  
**Muestras #:** Muestra 1

**PLAN DE FERTILIZACIÓN EDÁFICA, CON BALANCE CON CICE, CULTIVO DE AVENA FORRAJERA**

Etapa fenológica	INICIO			
<b>Fuente</b>	UREA	DAP(38-46-0)	Muriato de K	
Sacos / ha	0,33	1,60	2,8	
g de la fuente/ m2	2	8	14	Incorporar con la última rastro
Fertilizante de raíces			2 L/ha	Aplicación al suelo
Energizador foliar y protectante			1 L/ha	Aplicación al follaje
Microorganismos Benef. MOB's			6 L/ha	Sobre suelo húmedo

Etapa fenológica	CRECIMIENTO y DESARROLLO			
<b>Fuente</b>	Urea	Microelementos + Boro	Muriato de K	
Sacos / ha	1,67	0,66	1,9	
g de la fuente/ m2	8	3,9	9	Aplicar al voleo
Energizador foliar	Protectante-microelementos		1 L/ha	Foliar con fijador

Preparado por:  
  
 Director General OCA

LABORATORIO DE INVESTIGACIONES

Figura 8.3

**María Jacqueline Morocho Macas** portadora de la cédula de ciudadanía N° **1104851538**. En calidad de autora y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Rendimiento de Avena Forrajera Iniap Fortaleza 2020, con tres dosis de fertilización en función de las recomendaciones del análisis de suelo”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos y no comerciales. Autorizo además a la Universidad Católica de Cuenca, para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, **16 de abril de 2024**



**María Jacqueline Morocho Macas**

C.I. **1104851538**