



**UTMACH**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**CARRERA DE AGRONOMÍA**

**Fertirrigación con sistemas de riego por aspersión en el cultivo de banano**

**IÑIGUEZ SIGUENZA DENNY MATEO  
INGENIERO AGRONOMO**

**MACHALA  
2023**



**UTMACH**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**CARRERA DE AGRONOMÍA**

**Fertirrigación con sistemas de riego por aspersión en el cultivo de  
banano**

**IÑIGUEZ SIGUENZA DENNY MATEO  
INGENIERO AGRONOMO**

**MACHALA  
2023**



**UTMACH**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**CARRERA DE AGRONOMÍA**

**TRABAJOS EXPERIMENTALES**

**Fertirrigación con sistemas de riego por aspersión en el cultivo de  
banano**

**IÑIGUEZ SIGUENZA DENNY MATEO  
INGENIERO AGRONOMO**

**CHABLA CARRILLO JULIO ENRIQUE**

**MACHALA  
2023**

# Fertirrigación Con Sistemas De Riego Por Aspersión En El Cultivo De Banano

*por* Denny Mateo IÑIGUEZ SIGUENZA

---

**Fecha de entrega:** 06-mar-2024 11:31a.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2313354891

**Nombre del archivo:** Trabajo\_Experimental\_Mateo\_Iñiguez.docx (17.19M)

**Total de palabras:** 17196

**Total de caracteres:** 90301

# Trabajo Experimental Mateo Iñiguez.docx

## INFORME DE ORIGINALIDAD

6%

INDICE DE SIMILITUD

6%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Instituto D'Amicis, S.C. Trabajo del estudiante	1%
2	faz.ujed.mx Fuente de Internet	1%
3	Submitted to ITESM: Instituto Tecnologico y de Estudios Superiores de Monterrey Trabajo del estudiante	1%
4	eprints.uanl.mx Fuente de Internet	1%
5	repositorio.upse.edu.ec Fuente de Internet	1%
6	repositorio.utmachala.edu.ec Fuente de Internet	1%
7	qdoc.tips Fuente de Internet	1%
8	ebin.pub Fuente de Internet	1%

9

"Uso de recursos y tecnologías digitales y enfoques de aprendizaje en estudiantes de pedagogía", Pontificia Universidad Católica de Chile, 2019

Publicación

1 %

10

universidadagricola.com

Fuente de Internet

1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Activo

## CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, IÑIGUEZ SIGUENZA DENNY MATEO, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado Fertirrigación con sistemas de riego por aspersión en el cultivo de banano, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



---

IÑIGUEZ SIGUENZA DENNY MATEO

0705245371

## **DEDICATORIA**

A Dios por darme la sabiduría, conocimiento y la capacidad de seguir adelante dedicando siempre mi máximo potencial para lograr las metas y sueños que me proponga.

A mis padres Verónica Edith Siguenza Granda y Denny Edwin Iñiguez Jiménez por darme las fuerzas, el ánimo y las motivaciones necesarias para cumplir lo que me proponga, por enseñarme a no rendirme ante cualquier adversidad, brindándome el apoyo incondicional en todo momento.

A mis hermanas y abuelita, por ser mi ejemplo de motivación y superación constante, por preocuparse por mí y por mi futuro en cada etapa de mi educación.



## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco profundamente a la Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ciencias Agropecuarias, por su cálida acogida durante mi estadía en sus instalaciones. Su entorno propicio y recursos han sido fundamentales para el desarrollo de esta investigación.

Expreso mi sincera gratitud al Ing. Julio Enrique Chabla Carrillo, Ph.D., por su invaluable orientación y apoyo a lo largo de esta investigación. Sus conocimientos y guía han sido esenciales para mi crecimiento académico y profesional.

Asimismo, deseo extender mi reconocimiento al Lic. Víctor Chabla Carrillo por su generosidad al permitirme acceder y utilizar su predio agrícola, Finca La Flor, para la realización de este trabajo de investigación. Su colaboración ha enriquecido significativamente este proyecto.

Quiero expresar mi reconocimiento a la empresa Yara y al Ing. Gustavo Pazmiño y al Ing. Carlos Paladines, por su contribución invaluable al proporcionarnos equipos y materiales que han facilitado la realización de este trabajo de investigación. Su apoyo ha sido fundamental para alcanzar nuestros objetivos.

## RESUMEN

### IMPACTO DE DIFERENTES DOSIS DE FERTIRRIGACION EN SUELO A TRAVES DE RIEGO POR ASPERSION EN EL CULTIVO DE BANANO

Autor

Denny Mateo Iñiguez Siguenza

Tutor

Julio Chabla Carrillo, PhD

El cultivo de banano es una actividad agrícola de gran importancia para la economía ecuatoriana, representando una fuente significativa de ingresos y empleo. En los últimos años, el uso del fertirriego ha surgido como una práctica innovadora en la agricultura, especialmente en el cultivo de banano. El fertirriego consiste en la aplicación simultánea de fertilizantes y agua de riego a través del sistema de riego, lo que permite una mayor eficiencia en la absorción de nutrientes por parte de las plantas.

El presente estudio examina el impacto de diferentes dosificaciones del fertirriego en un suelo del cultivo de banano de manera que permita una aplicación más precisa y controlada de los nutrientes sin alterar la salud o el comportamiento físico del suelo en relación a las dosis aplicadas de nutrientes, los cuales serían posteriormente asimilables para la planta. La zona donde se realizó la investigación fue en la Finca “La Flor”, que se encuentra ubicada en la parroquia La Peaña del Cantón Pasaje, en el Km 15 de la vía Machala-Pasaje, provincia de El Oro. Se empleó un método experimental de bloques completamente aleatorizados, donde las unidades experimentales se asignan a bloques o conjuntos de manera aleatoria, garantizando la homogeneidad dentro de cada bloque, pero variabilidad entre los grupos. En lo referente al diseño experimental, se llevó a cabo una distribución por áreas en la finca, y dentro de cada área se ubicaron los distintos tratamientos de las unidades experimentales. Esta estrategia permitió disminuir y gestionar la variabilidad del error experimental, lo que condujo a una mayor precisión en los resultados obtenidos. Se efectuaron 4 tratamientos de sistemas de dosificación de fertilizantes en base a un estudio realizado con anterioridad el cual fue el 100% de aplicación, para examinar si existe variaciones en dosificaciones, entre los demás dosificaciones fueron: Fertirriego al 75%, Fertirriego al 50% y un tratamiento Edáfico que sería el testigo, siendo este una aplicación convencional de fertilización granular en

un área de 3.1 Ha. Los distintos productos agrícolas que se suministraron para cada tratamiento son: Edafico (Nitrato de Amonio, DAP, MOP, Sulfato de Potasio, Sulfato de Magnesio, Sulfato de Zinc), el cual se aplico una vez al mes. Fertirriego 100% (Yara Rega Azutek, Yara Live Calcinit, MOP soluble, Sulfato de Magnesio, Nitrato de Amonio) el cual se aplicó 2 veces a la semana a través del riego. Fertirriego 75% (Yara Rega Azutek, Yara Live Calcinit, MOP soluble, Sulfato de Magnesio, Nitrato de Amonio), el cual de la misma manera se aplico 2 veces a la semana junto al riego. Fertirriego 50% (Yara Rega Azutek, Yara Live Calcinit, MOP soluble, Sulfato de Magnesio, Nitrato de Amonio), de la misma manera se aplico la dosis 2 veces a la semana junto al riego. El tratamiento de fertirriego al 50% presento un mejor equilibrio entorno a las variables estudiadas, manteniendo una densidad aparente dentro del rango de 1.50 y Densidad real de 2.50 lo cual lo cual permitiría la capacidad del suelo para retener Potasio en forma de ion de Sulfato de Potasio y liberarlo, lo mismo sucede con el Calcio presente en el fertilizante y una lixiviación moderada de Nitrógeno, por otro lado el pH entre las diversas dosificaciones no mostraron una variación que determine una variación acida o alcalina en el suelo, debido a la concentraciones de nutrientes en los fertilizantes los cuales se aplican de manera equilibrada entre los 4 tratamientos, por otro lado la conductividad eléctrica tuvo una variación significativa en el T3 la concluir la dosificaciones en el tiempo determinado, por ende favorecer la movilidad de los iones esenciales para las plantas a través del suelo y su posterior absorción en cultivos con alta demanda de nutrientes. Porosidad y humedad volumétrica teniendo al T3 como una alternativa aceptable, manteniendo un rango de humedad asimilable y una porosidad adecuada que mejoraría la infiltración de agua en el suelo además de una buena estructura del mismo, de manera que pueda aumentar la disponibilidad de nutrientes en el suelo al entregarlos directamente a las raíces de las plantas.

Palabras claves: Fertirriego, prueba de normalidad, dosificaciones, densidad aparente, conductividad eléctrica

# Índice

1.1. Objetivo General .....	12
1.2. Objetivo Especifico.....	12
2. Marco Teórico .....	13
2.1. Agronomía de la fertiirrigación .....	13
2.1.1. Necesidades ventajas de la fertiirrigación.....	14
2.1.2. Nutrientes en el suelo y las plantas .....	15
2.1.3. Nitrógeno.....	16
2.1.4. Fosforo.....	18
2.1.5. Potasio .....	19
2.1.6. Nutrientes secundarios y microelementos .....	20
2.1.7. Abonos utilizados en fertiirrigación .....	21
2.1.8. Condiciones .....	21
2.2. Productos básicos .....	21
2.2.1 Abonos sólidos y líquidos.....	22
2.2.2. Normas prácticas de fertiirrigación.....	23
2.2.3. Aplicaciones de otros productos con agua de riego Bioestimulantes.....	24
2.3. Propiedades Físicas del suelo .....	25
2.3.1 Textura .....	25
2.3.2. Estructura .....	26
2.3.3. Densidad del suelo.....	26
2.3.4. Densidad Aparente (Da) .....	27
2.3.5. Método de determinación de la densidad aparente.....	27
2.3.6. Densidad Real .....	28
2.4. Instalación.....	28
2.4.1. Sistema de inyección de fertilizantes .....	28
2.4.2. Tanques de abonado.....	29
2.4.3. Inyector Venturi .....	30
3. MATERIALES Y METODOS.....	32
3.1. Localización y caracterización del área de estudio .....	32
3.1.1. Ubicación geográfica de la zona de estudio.....	32
3.1.2. Características climáticas de la zona .....	32
3.2. Instalación del Sistema de Inyección de Fertilizante.....	33
3.3. Diseño Experimental.....	33
3.3.1 Tratamientos.....	34
3.3.2 Tratamiento 0 (Edafico).....	35

3.3.3 Tratamiento 1 (Fertirriego 100%).....	35
3.3.4. Tratamiento 2 (Fertirriego 75%).....	36
3.3.5. Tratamiento 3 (Fertirriego 50%).....	36
3.4. Croquis del experimento.....	37
3.5. Especificidades del diseño.....	37
3.6. Manejo del experimento .....	37
3.7. Materiales y Equipos.....	38
3.7.1. Materiales.....	38
3.7.2. Equipos.....	38
3.8. Variables medidas entorno a la parte física del suelo .....	38
3.8.1. Densidad Aparente del Suelo .....	38
3.8.2. Densidad Real del Suelo.....	40
3.8.3. pH del Suelo .....	41
3.8.4. Conductividad Eléctrica del Suelo.....	42
3.8.5. Porosidad del suelo.....	42
4. Resultados y Discusiones .....	44
4.1. ANOVA de las variables entre dosis de fertilización .....	44
4.2. ANOVA de las variables entre tiempo de fertilización .....	53
5. Conclusiones .....	62
6. Recomendaciones .....	63
7. Bibliografía .....	64
8. Anexos .....	67

# Índice de Figuras

Figura 1: Triangulo de textura de suelo Fuente: FAO (2006)	26
Figura 2: Esquema de inyector Venturi Fuente: Manzano et al. (2015)	31
Figura 3: Ubicación de la zona de estudio Fuente: El Autor	32
Figura 4: Croquis del Experimento Fuente: El Autor	37
Figura 5: Realización de calicata Fuente: El Autor	39
Figura 6: Secado de cilindros Fuente: El Autor	39
Figura 7: Pesaje de cilindros en húmedo Fuente: El Autor	39
Figura 8: Pulverización de los terrones secos Fuente: El Autor	40
Figura 9: Secado de los terrones a temperatura ambiente Fuente: El Autor	40
Figura 10: Terrones luego del tamizado Fuente: El Autor	40
Figura 11: Medidas de pH de suelo tamizado Fuente: El Autor	41
Figura 12: Relación 10 gr de suelo tamizado y 20 ml de agua destilada Fuente: El Autor	41
Figura 13: Medidas de Conductividad Eléctrica del suelo tamizado Fuente: El Autor	42
Figura 14: Grafica de la media de Densidad aparente ( $D_a$ ) con respecto a la dosis de Fertirriego	47
Figura 15: Grafica de la media de Densidad real ( $D_r$ ) con respecto a la dosis de Fertirriego	48
Figura 16: Grafica de la media de pH del suelo (pH) con respecto a la dosis de Fertirriego	49
Figura 17: Grafica de la media de Conductividad Eléctrica del suelo (CE) con respecto a la dosis de Fertirriego	50
Figura 18: Grafica de la media de Porosidad del suelo (P%) con respecto a la dosis de Fertirriego	51
Figura 19: Grafica de la media de Humedad volumétrica del suelo (H%) con respecto al tiempo de aplicación del Fertirriego	52
Figura 20: Grafica de la media de Densidad aparente del suelo ( $D_a$ ) con respecto al tiempo de aplicación del Fertirriego	56
Figura 21: Grafica de la media de Densidad real del suelo ( $D_r$ ) con respecto al tiempo de aplicación del Fertirriego	57
Figura 22: Grafica de la media de pH del suelo (pH) con respecto al tiempo de aplicación del Fertirriego	58
Figura 23: Grafica de la media de Conductividad eléctrica del suelo (CE) con respecto al tiempo de aplicación del Fertirriego	59
Figura 24: Grafica de la media de Porosidad del suelo (P%) con respecto al tiempo de aplicación del Fertirriego	60
Figura 25: Grafica de la media de Humedad volumétrica del suelo (H%) con respecto al tiempo de aplicación del Fertirriego	61

# Índice de Tablas

<i>Tabla 1: Clasificación de la Densidad Aparente en los Suelos</i>	<i>Fuente:</i>
<i>Yanez Araujo (2022)</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 2: Clasificación de la densidad real de los suelos</i>	<i>Fuente:</i>
<i>Yanez Araujo (2022)</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 3: Características climatológicas de la zona</i>	<i>Fuente: GAD (2021)</i>
	<i>33</i>
<i>Tabla 4: Tratamientos aplicados en la investigación</i>	<i>Fuente: El Autor</i>
	<i>34</i>
<i>Tabla 5: Fuente de elementos en kg ha<sup>-1</sup> para el tratamiento edáfico</i>	<i>Fuente:</i>
<i>El Autor</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 6: Fuente de elementos en kg ha<sup>-1</sup> para el tratamiento del 100% fertirriego</i>	<i>Fuente: El Autor</i>
	<i>35</i>
<i>Tabla 7: Fuente de elementos en kg ha<sup>-1</sup> para el tratamiento del 75% fertirriego</i>	<i>Fuente: El Autor</i>
	<i>36</i>
<i>Tabla 8: Fuente de elementos en kg ha<sup>-1</sup> para el tratamiento del 50% fertirriego</i>	<i>Fuente: El Autor</i>
	<i>36</i>
<i>Tabla 9: ANOVA de las variables entre dosis de fertilización</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 10: Prueba de normalidad de las variables en relación a la dosis de fertilización</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 11: Resultado de las pruebas no paramétricas con respecto a las Dosis de Fertilización</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 12: Prueba de Kruskal-Wallis para la variable Densidad aparente con respecto a las dosis de Fertirriego</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 13: Prueba de Kruskal-Wallis para la variable Densidad real con respecto a las dosis de Fertirriego</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 14: Prueba de Kruskal-Wallis para la variable pH con respecto a las dosis de Fertirriego</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 15: Prueba de Kruskal-Wallis para la variable Conductividad Eléctrica con respecto a las dosis de Fertirriego</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 16: Prueba de Kruskal-Wallis para la variable Humedad relativa del suelo con respecto a las dosis de Fertirriego</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 17: ANOVA de las variables entre dosis de fertilización</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 18: Prueba de normalidad de las variables en relación al tiempo de fertilización</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 19: Resultado de las pruebas no paramétricas con respecto al tiempo de Fertilización</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 20: Prueba de Kruskal-Wallis para la variable Densidad aparente con respecto al tiempo del Fertirriego</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 21: Prueba de Kruskal-Wallis para la variable Densidad real con respecto al tiempo del Fertirriego</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 22: Prueba de Kruskal-Wallis para la variable pH del suelo con respecto al tiempo del Fertirriego</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 23: Prueba de Kruskal-Wallis para la variable Conductividad eléctrica con respecto al tiempo del Fertirriego</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 24: Prueba de Kruskal-Wallis para la variable Porosidad del suelo con respecto al tiempo del Fertirriego</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 25: Prueba de Kruskal-Wallis para la variable Humedad volumétrica del suelo con respecto al tiempo del Fertirriego</i>	<i>61</i>

## ***Índice de Anexos***

<i>Anexo 1: Realización de la calicata</i>	67
<i>Anexo 2: Extracción de la muestra de suelo</i>	67
<i>Anexo 4: Instalación del sistema de inyección de fertilizante</i>	68
<i>Anexo 3: Tamización de las muestras de suelo</i>	68



## **1. Introducción**

La necesidad de racionalizar el uso de los recursos hídricos, cada vez más agotados, ha llevado a la introducción de nuevos métodos de riego que permiten un mejor control del consumo de agua y, por lo tanto, aumentan la eficiencia al reducir el consumo general de recursos. El riego localizado de baja presión parece ser la solución ideal para diferentes cultivos, suelos y situaciones, y actualmente es la solución que permite una mayor eficiencia de uso, un mejor control y por tanto un ajuste radical de la cantidad de agua.

La aplicación de fertilizantes a los cultivos en crecimiento es una práctica común y ampliamente utilizada por los productores de cultivos hortícolas en todo el mundo. Las formas y métodos de fertilizantes han cambiado y evolucionado, y los sistemas han mejorado la precisión de la aplicación de fertilizantes y la capacidad de colocar fertilizantes más cerca de la zona de raíces donde las plantas pueden usarlo, conservando aún más nuestros acuíferos y suelos, libre de contaminación. La necesidad generalizada de fertilizantes nos hace buscar tecnologías que puedan utilizar los fertilizantes de manera eficiente.

La fertiirrigación es la aplicación de fertilizante a través de un sistema de riego, donde utilizamos el sistema de riego y el agua de riego como vehículo para aplicar nutrientes a los cultivos. Los sistemas de riego utilizan sistemas Venturi y bombas de inyección para introducir fertilizantes, que funcionan de diferentes maneras, pero tienen el mismo propósito. Los sistemas de riego y fertilización han evolucionado exponencialmente y, paradójicamente, la fertilización se realiza mayoritariamente con sistemas de riego modernos, pero aún se utilizan los conceptos tradicionales de fertilización.

Si bien es cierto que la pulverización de fertilizante no requiere de un equipo complejo; si tenemos el equipo para esto y sabemos qué hacer con él, la precisión, el control y la eficiencia aumentarán, en el caso de los fertilizantes, necesitamos cambiar la sabiduría convencional y aplicar el conocimiento.

Hay muchos accesorios que pueden hacer esto, grandes y pequeños, nuevos y viejos. Se está llevando a cabo un proceso dinámico para implementar la fertiirrigación para un mayor control y eficiencia. El método se adapta económica e ingenierilmente a las necesidades de los agricultores y tiene muchas ventajas.

Los diversos accesorios utilizados en la fertirrigación están en constante evolución y se vuelven más sofisticados, con mayor elección y variedad, lo que requiere una comprensión más profunda del tema, la comprensión de los diferentes accesorios y cómo funcionan.

Existe una demanda creciente de soluciones de fertilizantes compuestos y muchos productores han creado grandes contenedores de fertilizante para facilitar el acceso.

### **1.1. Objetivo General**

Evaluar la efectividad de la fertirrigación mediante sistemas de riego por aspersión en suelo de cultivo de banano, analizando su impacto en las propiedades físicas del suelo mediante la eficiencia en la aplicación de fertilizantes y agua

### **1.2. Objetivo Especifico**

- Determinar los efectos de la Fertirrigación en los cambios que pueden ocurrir en la Densidad Aparente y la Densidad Real del suelo.
- Evaluar el impacto del fertirriego en la variación del pH del suelo, con el fin de comprender y cuantificar los cambios en la acidez o alcalinidad del suelo inducidos por esta práctica de riego fertilizante
- Evaluar el efecto de dosis de aplicación de fertilizantes en la conductividad eléctrica del suelo, identificando y cuantificando las variaciones en la conductividad eléctrica en función de las dosis de fertilizantes aplicadas.
- Evaluar el efecto de la dosificación de aplicación de fertilizantes en la porosidad y humedad volumétrica del suelo, identificando las variaciones en función a las dosis aplicadas

## **2. Marco Teórico**

### **2.1. Agronomía de la fertiirrigación**

Riego y fertilización son prácticas agrícolas ampliamente utilizadas, implementar la tecnología de fertirriego permite a los productores bananeros ahorrar tiempo, recursos y esfuerzo realizando simultáneamente dos tareas oportunas: fertilización y riego. Morales Garcia (2015) La práctica de la fertiirrigación es altamente influyente en el desarrollo de los cultivos y demanda un enfoque técnico sustancial. Su ejecución precisa implica la consideración cuidadosa de elementos como la frecuencia, la cantidad de suministro por emisor y la duración del proceso de aplicación. El objetivo general es contribuir a la mejora de técnicas de fertiirrigación, técnicas determinando si los diversos parámetros de aplicación convencional del fertirriego en diferentes cultivos hortícolas y ornamentales son adecuados o se pueden realizar mejoras metodológicas en las técnicas de fertilización que incrementen beneficios tanto en el cultivo como en el medio ambiente, a su vez Sonneveld & Voogt (2009) señala que la técnica de fertirriego consiste en la aplicación de fertilizantes diluidos en el agua de riego para nutrir los cultivos, esta mezcla se denomina solución nutritiva. El pH y la conductividad eléctrica son parámetros de la solución nutritiva que debemos tener bien controlados, debido a que la aplicación de una solución nutritiva sin estrictos márgenes de control puede tener consecuencias negativas en la producción de los cultivos y pérdidas económicas considerables, para Urrestarazu & Garcia (2000) El propósito de un control adecuado de estos factores es mejorar la eficiencia en la utilización del agua, así como de los macro y micronutrientes. Por lo tanto como menciona Kasten Dumroese, Landis, & Wilkinson (2012), Si se administra una cantidad insuficiente de agua, el suelo se reseca y puede ocasionar la acumulación de sales provenientes de los fertilizantes, lo que resulta en daño por salinidad o quemaduras debido a la concentración de los nutrientes. Por el contrario, un exceso de agua provoca la lixiviación de los fertilizantes de los recipientes, resultando en pérdidas. Además, un riego excesivo puede mantener el medio de cultivo demasiado húmedo, lo que favorece el desarrollo de enfermedades en las raíces. Por lo tanto, la regla de oro para el riego por aspersión es aplicar aproximadamente un 10% más de agua que lo necesario, para saturar todo el perfil del medio de crecimiento durante cada evento. Lo más conveniente es realizar frecuentes inspecciones directas, para asegurarse que haya algo de drenaje durante o inmediatamente después de regar.

### **2.1.1. Necesidades ventajas de la fertiirrigación**

Cadahía, Eymar, & Ignacio (2002) Se señala que las ventajas de la fertilización en comparación con otros métodos tradicionales de fertilización son de índole técnica, ecológica y, por ende, económica. Entre las cuales están:

- Dosificación racional con una mayor eficiencia y rentabilidad de los fertilizantes.
- Nutrición optimizada del cultivo para cada suelo, agua de riego y clima (Código de buenas prácticas agrícolas de la C.E).
- Ahorro de agua y capacidad de utilización de aguas de riego de baja calidad.
- Control de la contaminación al evitar el exceso de nutrientes.
- Alternativa de utilización de diversos tipos de fertilizantes (sólidos cristalinos simples y complejos y líquidos concentrados complejos).
- Posibilidad de adecuar los fertilizantes a los momentos fenológicos del cultivo, sincronizando la aplicación de nutrientes con las exportaciones.
- Permite aplicar los nutrientes en las concentraciones más adecuadas, mientras sea necesario para el cultivo, usando disoluciones nutritivas.
- Permite usar diferentes disoluciones nutritivas en función de los requerimientos del cultivo a lo largo de su ciclo fenológico.
- Permite diseñar las disoluciones nutritivas considerando la interacción con el suelo, de modo que cuando se aplique la disolución nutritiva en el suelo, al pasar a disolución los nutrientes que se encuentran en él, ésta sea lo más próximo a la ideal para ese cultivo y en el momento fenológico en el que se encuentra dicho cultivo.
- Se pueden considerar las condiciones climáticas para la corrección de esas concentraciones por la menor o la mayor absorción de agua por las plantas.

Por otro lado, Cardenas Palomo (2004) señala que:

- El fertilizante es distribuido más uniformemente debido a que es aplicado en forma disuelta en agua de riego. Cada planta regada recibe un volumen exacto de nutrientes junto con el agua de riego
- Se logra una mejor penetración al suelo dado que se puede dividir la dosis de fertilizante en varias porciones, lo que incrementa la disponibilidad de nutrientes
- Se reduce las pérdidas de fertilizante desde la superficie del suelo por volatilización de nitrógeno

- Existe la posibilidad de ajustar la fertilización a las distintas fases del ciclo del crecimiento del cultivo, como el vegetativo, floración, cuajado, etc.

### **2.1.2. Nutrientes en el suelo y las plantas**

Las plantas producen biomasa usando agua, dióxido de carbono del aire, energía solar y nutrientes que obtienen del suelo y el agua a través de sus raíces u hojas. Estos nutrientes son elementos químicos necesarios para el desarrollo de las plantas, ya que los nutrientes minerales tienen funciones específicas y fundamentales en el metabolismo de las plantas. No se pueden ver a simple vista. Los nutrientes son gases incoloros o polvos similares que se disuelven en agua o se adhieren a cada pedazo de suelo. Los nutrientes vegetales se pueden dividir en macronutrientes y micronutrientes. Las plantas necesitan una cantidad relativamente grande de macronutrientes. Por ejemplo, el contenido de nitrógeno como macronutriente en los tejidos vegetales es miles de veces mayor que el contenido de zinc como micronutriente. Según esta clasificación, los siguientes elementos se definen como macroelementos según su abundancia en el material vegetal: C, N, H, O, S, P, K, Ca, Mg, Na y Si. Los oligoelementos son: Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, B y Cl, Piaggese (2004) señala que el fósforo, el azufre, el cloro, el boro y el molibdeno son absorbidos respectivamente como fosfatos, sulfatos, cloruros, boratos y molibdatos. Los otros nutrientes son absorbidos bajo la forma de cationes de  $K^{+1}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Fe^{+2}$  o  $Fe^{+3}$ ,  $Mn^{+2}$ ,  $Zn^{+2}$  y  $Cu^{+2}$ . El nitrógeno es absorbido bajo forma de  $NO^{-3}$ ,  $NO^{-2}$  o  $NH_4$ . Estos iones están disueltos en la solución del suelo en concentraciones variables cada suelo tiene su composición típica. Además, el mismo Piaggese (2004) indica que las plantas a través de los pelos radiculares (son prolongaciones epidérmicas, tienen vida efímera de 1 a 3 días) absorben los nutrientes disponibles del suelo. Todos los nutrientes que son absorbidos por las plantas son en forma de iones, a su vez Ramos F. (2011) explica que los iones se desplazan desde la solución del suelo hasta el centro vascular de las raíces mediante la membrana celular, y este proceso puede ser pasivo o activo. El movimiento pasivo ocurre cuando los nutrientes ingresan a la planta mediante un flujo masivo a través de la membrana debido a diferencias de concentración a favor del gradiente de concentraciones. Por otro lado, el movimiento activo implica que los iones atraviesan la membrana en contra del gradiente de concentraciones, lo cual requiere energía para bombear los iones hacia el interior de la célula. El movimiento del agua y los nutrientes adentro de la raíz ocurre mediante dos vías, la primera vía es denominada ruta intracelular o simplasto; el agua y los solutos seleccionados pasan a través de las membranas celulares

de las células que forman la epidermis de los pelos de la raíz y, a través de los plasmodesmos a cada célula hasta llegar a la xilema. La segunda vía, es denominada extracelular o apoplasto, el agua y los solutos penetran a través de la pared celular de las células de los pelos de la raíz y pasan entre la pared celular y la membrana plasmática hasta que encuentran la endodermis, la misma es una capa de células que deben atravesar hasta llegar a la xilema como declara Pereira Morales & Maycotte Morales, et al. (2011), con relación al movimiento interno de los nutrientes en la planta, desde que son transportados de las raíces hacia las hojas a través del xilema se da como consecuencia de la transpiración (pasiva). De la misma manera los nutrientes pueden ser transportados (redistribuidos y translocados) desde las hojas viejas hacia las hojas jóvenes y raíces a través del floema por efecto del gradiente de presión hidrostática (activo) el cual requiere energía por otro lado Baerga (2011) recalca que aunque se han identificado veinte elementos químicos en la mayor parte de las plantas, se ha visto que solamente dieciséis son realmente necesarios para un adecuado crecimiento y una completa maduración de las plantas. A estos 16 elementos se les considera como los nutrientes esenciales. En investigaciones anteriores han determinado la composición química aproximada de un tejido vegetal. Donde el carbono y oxígeno, constituyen la mayor parte del peso seco de las plantas (45% en ambos casos) y en menor proporción el hidrógeno (6%); estos elementos provienen del CO<sub>2</sub> atmosférico y del agua. Seguido de los elementos nitrógeno, potasio, calcio, magnesio, fósforo y azufre los cuales son absorbidos del suelo. Según Mengel & Kirkby (2000), indica que la concentración de micronutrientes es a menudo en exceso de sus requerimientos fisiológicos. Esto es frecuente en el caso del manganeso, demostrando que los contenidos de nutrientes en los órganos de las plantas (hojas, tallos, frutos y raíces) proveen escasa indicación de las cantidades necesarias de los nutrientes para cumplir sus procesos fisiológicos y bioquímicos. Las plantas aún contienen grandes concentraciones de elementos no esenciales algunos de los cuales pueden ser tóxicos (Aluminio, Níquel, Selenio y Flúor).

### **2.1.3. Nitrógeno**

El nitrógeno es uno de los macroelementos necesarios para el crecimiento y desarrollo de cualquier cultivo. El suelo lo recicla naturalmente en las formas orgánicas y minerales que son esenciales para que las plantas las absorban. Sin embargo, la cantidad disponible en el suelo no es suficiente para las necesidades de las plantas cultivadas, por lo que se debe utilizar fertilizante nitrogenado. Según Hernández (2011), es un elemento no

metálico, un gas incoloro, inodoro e insípido, es el elemento más abundante de la atmósfera terrestre, representando el 78% por volumen y es uno de los componentes principales de la materia viva. Representa cerca del 18% del peso de las proteínas. La cantidad de nitrógeno en el suelo es muy baja desde trazas hasta 0,5% en los suelos superficiales, disminuyendo con la profundidad en contraposición de lo que consumen los cultivos es muy alta. El nitrógeno se mueve en el sistema radicular por flujo de masa. Las formas asimilables del nitrógeno por las raíces de las plantas en el suelo son en forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). En la mayoría de los suelos la acción de bacterias nitrificantes hace que los cultivos absorban en su mayoría nitrato. En otras situaciones especiales del suelo, como condiciones anaeróbicas, las plantas pueden absorber relativamente más amonio que nitrato. Según Pereira Morales & Maycotte Morales, et al. (2011) El nitrógeno, ya sea absorbido del suelo o fijado del aire, se incorpora a la planta en forma de aminoácidos, primeramente, en hojas verdes. A medida que aumenta el suministro de nitrógeno, las proteínas sintetizadas a partir de los aminoácidos, se transforman en crecimiento de las hojas, aumentando la superficie fotosintética de esa manera Ramos (2011) señala que la aplicación del nitrógeno debe realizarse lo más fraccionadamente posible, e incluso diariamente, sincronizada con las necesidades de las plantas. Así de esta manera, se logra el aprovechamiento del nitrógeno evitando el lavado y la pérdida. En las etapas reproductivas se debe bajar las dosis de nitrógeno para evitar que este nutriente se acumule en las hojas y evitar que se dirija a los frutos y estos sean de baja calidad presentando frutos blandos los cuales son más susceptibles a la incidencia de enfermedades por lo tanto sus síntomas de la deficiencia Baerga (2011) indica que las plantas que crecen a bajos niveles de nitrógeno son de color verde claro y muestran una clorosis general, principalmente en hojas viejas. Las hojas jóvenes permanecen verdes por períodos más largos, ya que reciben nitrógeno soluble de las hojas más viejas, presentan un tronco débil. En casos de deficiencias extremas puede haber una detención del crecimiento y caída de hojas, además de que la planta es más propensa a padecer enfermedades y ataques de insectos por otro lado VITRA (2020) manifiesta que cuando las plantas tienen exceso de nitrógeno presentan un crecimiento exagerado ya que una mayor multiplicación celular por lo que la cantidad de brotes aumenta. Lo que puede hacer que las plantas puedan ser más susceptibles a ataques de plagas y enfermedades. Esto a su vez hará que las plantas sean más susceptibles a los ataques de plagas y enfermedades.

#### **2.1.4. Fosforo**

El fósforo es uno de los diecinueve elementos considerados esenciales para la vida vegetal. Es un componente importante de los sistemas responsables del ejercicio, el almacenamiento y la transferencia de energía, y un componente esencial de importantes estructuras macromoleculares como los ácidos nucleicos y los fosfolípidos, por lo que se puede decir que su papel está muy extendido en todos los procesos fisiológicos. Según Fernández (2007) en el sistema suelo-planta, el 90 % del fósforo está en el suelo y menos del 10 % se encuentra repartido fuera del suelo. Sin embargo, sólo una pequeña parte de ese 90 % es utilizable por los vegetales adicional Ramos (2011) señala que el fósforo orgánico debe ser mineralizado antes de ser absorbido por las plantas la forma asimilable por la planta es en forma de anión fosfato  $H_2PO_4$  (ión ortofosfato, mono) y  $HPO_4^{2-}$  (ión ortofosfato, di); el fósforo se caracteriza por ser uno de los más limitantes y poco móviles en el suelo. El fósforo inorgánico se encuentra bajo varias formas y su disponibilidad depende del pH del suelo. En pH mayores a 7 ó 9 los fosfatos tricálcicos no están disponibles, en pH de 5,5, a 7 los fosfatos mono y dicálcicos tienen una máxima disponibilidad y finalmente pH menores a 5,5 los fosfatos de hierro y aluminio no se encuentran disponibles. En estudios realizados por Beltrán (2013), ratifica, que los fosfatos solubles son absorbidos por la planta, lo cual mejora su crecimiento y productividad. Al utilizar esas reservas de fosfato presentes en los suelos, se disminuye la aplicación de fertilizantes químicos que, por una parte, pueden nuevamente ser fijados por iones Ca, Al o Fe volviéndolos insolubles y, por otra, incrementan los costos de producción de las cosechas. Por otro lado Banerjee et al (2010) afirman que la disponibilidad del fósforo es esencial para el crecimiento vegetal porque constituye más de 0,2% del peso seco de la planta. “Las plantas adquieren el fosfato a partir de la solución del suelo en forma inorgánica en estado soluble como fosfatos mono y dibásicos, siendo necesario un pH de 6,5 para que el ion ortofosfato en el suelo sea aprovechable por las plantas, dado que a ese pH la precipitación de los fosfatos de aluminio y calcio disminuye”

El fósforo, luego del nitrógeno, se posiciona como el elemento más crucial para la producción agropecuaria. Sin embargo, su disponibilidad se ve cada vez más restringida debido a diversos factores, como la progresiva insuficiencia de sus fuentes naturales, su relativa escasez en el suelo, la alta retención por parte de la matriz del suelo, la ausencia



de reposición natural y su baja movilidad en comparación con otros nutrientes. (Rubio , 2002)

Según (Beltrán, 2013) la movilidad y concentración del fósforo en los suelos es muy baja si se compara con la de otros nutrientes; se presentan coeficientes de difusión del fosfato en el suelo de  $0,33,3 \times 10^{13} \text{ m}^2/\text{s}$  y su concentración en la solución del suelo es de 0,02 ppm. Es por esto que se hace necesaria la aplicación excesiva de fertilizantes fosforados a los suelos con el objetivo de suplir la alta demanda de este nutriente por parte de las plantas; sin embargo, el exceso de aplicación de fosfatos incrementa la pérdida potencial por escorrentía superficial, lo cual puede acelerar los procesos de eutroficación en cuerpos de agua. Además, se conoce que cerca de 90% de esos insumos se precipitan como formas insolubles de fosfato tricálcico ( $\text{Ca}(\text{FePO}_4)$ ) o fosfato de aluminio ( $\text{AlPO}_4 \cdot 3\text{PO}_4$ ) en suelos alcalinos, y fosfato de hierro) en suelos ácidos. VITRA (2020) manifiesta que la deficiencia de fósforo tiende a inhibir el crecimiento del tallo las hojas se tornan oscuras, de aspecto apagado, color azul-verdoso y pueden volverse pálidas cuando la deficiencia es severa. Adicionalmente también puede tornarse de color rojizo debido a que puede llegar a afectar el proceso fotosintético. Los síntomas aparecen primero en las partes más viejas de la planta, la deficiencia de este nutriente puede conducir también al aumento de la relación raíz/tallo

### **2.1.5. Potasio**

El potasio es uno de los elementos esenciales en la nutrición de la planta cuya movilidad es limitada y es otro elemento que se encuentra en pequeñas cantidades en los suelos. Las concentraciones de potasio, se requieren para la conformación activa de muchas enzimas que participan en el metabolismo. Larriva Coronel (2003), manifiesta que, su deficiencia en las plantas rápidamente debido a las grandes cantidades con que es requerida por ellas (cuatro tres veces más que el P y casi a la par que el N); también se le considera primario por intervenir en las funciones primarias de la planta. VITRA (2020), por su parte, señala que, el potasio tiene un rol fundamental en la apertura y cierre estomático, regulando la absorción de  $\text{CO}_2$  y por ende actuando a nivel de fotosíntesis, está involucrado en el transporte de azúcares y almidones, mantiene la presión de turgencia de las células (lo que significa que evita que la planta se marchite prematuramente), ayuda a la absorción de nitrógeno y la síntesis de proteínas. Por último, también actúa como un activador de enzimas y es esencial para la producción de ATP (fuente de energía importante para muchos procesos químicos que tienen lugar en las plantas)

Según El nivel de potasio en el suelo afecta no solo el rendimiento, sino también el crecimiento de la planta. Cuanto mayor sea el nivel de K en el suelo, más grande será el área de follaje.

Las raíces de las plantas toman el IO del suelo por intercepción (intercambio de H por I<sup>-</sup> de la solución, de la materia orgánica o de la superficie de arcillas), por flujo de masas (flujo de agua que se mueve hacia las raíces) y por difusión (movimiento a través del film húmedo por diferencias de concentración) (Larriva Coronel, 2003). Por lo tanto según Hernández (2011), menciona que, así como, el nitrógeno y el fósforo, el potasio se traslada de los órganos viejos hacia los jóvenes; de tal forma que la deficiencia de este elemento se observa primero como un amarillamiento ligero en hojas viejas. En las dicotiledóneas las hojas se tornan cloróticas, pero a medida que progresa la deficiencia, aparecen manchas necróticas de color oscuro. También empiezan a aparecer oscurecimiento del borde de las hojas. La deficiencia de K se conoce comúnmente como quemadura. En muchas monocotiledóneas, como es el caso de los cereales, las células de los ápices y bordes foliares mueren primero, propagándose la necrosis hacia la parte más joven de la base foliar. Por ejemplo, el maíz la deficiente de K presenta tallos débiles y las raíces se hacen susceptibles a infecciones por patógenos que causan pudrición.

#### **2.1.6. Nutrientes secundarios y microelementos**

Aunque las necesidades nutricionales primarias de las plantas pueden satisfacerse, al menos cuantitativamente, con los tres macronutrientes N, P y K, las plantas también requieren otros elementos que se pueden dividir en dos grandes categorías: nutrientes secundarios y micronutrientes.

Como indica Pizarro (1996), los nutrientes secundarios azufre, magnesio y calcio son elementos que se obtienen en grandes cantidades de los cultivos y pueden ser considerados como elementos plásticos por ser componentes importantes de la materia vegetal.

Al azufre tradicionalmente no se le ha dado mucha importancia porque a menudo se encuentra en los fertilizantes como una impureza o en forma de sulfato. En un proceso de fertilización libre de sulfatos y bajo contenido de contaminantes, el azufre se considera casi un macronutriente para agregar al suelo.

El magnesio es un componente importante de la clorofila. Debido a su deficiencia, las hojas se vuelven pálidas, cloróticas y luego mueren.

El calcio es esencial para el desarrollo de las plantas y también se usa como enmienda del suelo, pero su abundancia en el suelo significa que generalmente no se usa como fertilizante.

Los microelementos son absorbidos por las plantas en pequeñas cantidades. En los fertilizantes convencionales, los micronutrientes a menudo aparecen como impurezas en el estiércol, mientras que el estiércol RLAF es más limpio y el suelo pobre en nutrientes a menudo se riega, por lo que agregar micronutrientes a los fertilizantes es una práctica común. Los micronutrientes esenciales incluyen hierro, boro, manganeso, cobre, zinc y molibdeno, aunque también se mencionan cloro, sodio, silicio y cobalto para algunos cultivos.

### **2.1.7. Abonos utilizados en fertiirrigación**

Martínez Barrera (1998) manifiesta que, pueden utilizarse en los sistemas de riego localizados todo tipo de fertilizantes, de preferencia los que sean más solubles. Por lo tanto, es importante conocer la composición química de los productos y su solubilidad en agua.

### **2.1.8. Condiciones**

Solubilidad. Pizarro (1996), indica que el fertilizante utilizado debe ser soluble en agua o emulsionable para evitar la obstrucción. En este sentido, hay que tener en cuenta la compatibilidad con otros fertilizantes y con el propio agua de riego.

Pureza. Pizarro (1996), manifiesta además, los fertilizantes son sales que aumentan la salinidad inicial del agua de riego. Al calcular la dosis, no exceda el valor de salinidad permisible, que es diferente para cada cultivo. Los fertilizantes utilizados deben ser inocuos y no corrosivos para el material de instalación.

## **2.2. Productos básicos**

Pizarro (1996) manifiesta lo siguientes puntos; tanto los fertilizantes sólidos como líquidos para abono se derivan de productos básicos de sales simples.

El ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), debido a la dificultad de su manejo, no se usa como fertilizante, su uso se limita a la acidificación del agua de riego y a la limpieza de las instalaciones

La solución N-20 es una solución de nitrato amónico; la solución N-32 contiene urea además de nitrato amónico, con un porcentaje del 16 por 100 de nitrógeno ureico, 8 por 100 amoniacal y 8 por 100 nítrico. Ambas soluciones son ligeramente ácidas.

La urea  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  es el fertilizante de mayor concentración de nitrógeno. Es muy soluble y es menos adsorbida por el suelo que las sales amónicas, por lo que tiene mayor movilidad

El nitrato cálcico  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  no se emplea normalmente para aportar N, sino para aportar Ca. El nitrato amónico es una sal soluble, contiene la mitad del nitrógeno en forma nítrica y la mitad en forma amoniacal. Debido a su acidez baja en pH del agua de riego

El fosfato monoamónico da reacción ácida, lo que disminuye el riesgo de obturaciones. El fosfato di amónico da reacción ligeramente alcalina, por lo que se recomienda su utilización junto a un ácido. De emplearse el ácido nítrico la proporción es de 1,3 kg de ácido nítrico por 1 kg de fosfato di amónico, mientras que Martínez Barrera (1998) opina que, es necesario adicionar ácido nítrico para bajar el pH. La dosis adecuada es de 0.9 litros de ácido por kilo de fosfato diamónico.

Las fuentes tradicionales de potasio son el sulfato potásico y el cloruro potásico. El primero tiene la ventaja de incorporar azufre, pero su solubilidad es baja. El cloruro potásico es una sal neutra de buena solubilidad

Martínez Barrera (1998) indica que, el sulfato potásico no es un producto popular en fertilización debido a su relativa baja solubilidad en comparación al cloruro de potasio y nitrato de potasio. La solubilidad en agua es de 120 gramos/litro

Pizarro (1996) recita que, el nitrato potásico tiene reacción neutra e incorpora en forma de N nítrico aproximadamente 1/3 del contenido total de K, lo que es una proporción ideal para la absorción del potasio, a su vez Martínez Barrera (1998) menciona que, es de alto costo pero otorga beneficios al agricultor por ser un producto que contiene nitrógeno y potasio en forma simultánea. Esta es la segunda fuente de potasio en importancia después del cloruro de potasio ( $\text{KCl}$ ) es muy utilizada debido a que no contiene iones cloruros.

### **2.2.1 Abonos sólidos y líquidos**

Pizarro (1996) señala que, al fertilizar, se puede usar fertilizante sólido o líquido. Los fertilizantes sólidos deben cumplir un requisito básico: deben ser altamente solubles. Utilizan sal cristalina pura, que cuesta más que los fertilizantes convencionales. Como estos, se suelen vender en bolsas. Por lo general, reaccionan con los ácidos a un pH de 2 a 4 para evitar la precipitación rápida de anillos de amonio-calcio y fosfatos de amonio-magnesio.

La principal desventaja de aplicar fertilizante sólido directamente es que tiene que ser aplicado usando un tanque de fertilizante, por lo que su concentración no será uniforme en el tiempo. Otra desventaja en comparación con los fertilizantes líquidos es que requieren más trabajo para procesar. Los fertilizantes líquidos pueden comprarse en fábrica o prepararse en la finca con fertilizantes solubles. El primer caso es más caro, pero más seguro, sobre todo porque existe el riesgo de mezclar fertilizantes incompatibles en la granja, si los sedimentos pueden bloquear los goteros.

En la producción en fábrica, se utilizan las sales más solubles. Se suelen utilizar soluciones nitrogenadas ( $N^{-32}$ ,  $N^{-20}$ , etc.) y fertilizantes líquidos compuestos, normalmente ricos en potasio, ácidos para aguas duras y neutros para aguas blandas. Combina soluciones de nitrógeno y fertilizantes para diferentes recetas.

A la hora de abonar se suelen utilizar fertilizantes líquidos ácidos con un pH de 1 a 2 para evitar la sedimentación. Los fertilizantes líquidos se pueden hacer en la finca con fertilizantes sólidos solubles, y el líquido resultante, llamado "aguas madres", se alimenta a la red y se disuelve en el agua de riego.

A la hora de preparar la solución madre, es necesario calcular la proporción de los diferentes fertilizantes y tener en cuenta la compatibilidad de sus componentes, el grado de acidez producido y, si es necesario, la cantidad y tipo de ácido añadido. Una fórmula bien estudiada también debe dar cuenta del antagonismo o efecto opuesto entre iones, es decir, a veces el efecto de un ion en presencia de otro, llamado sinergismo.

En primer lugar, se deben seleccionar los productos base a utilizar teniendo en cuenta su incompatibilidad. La principal incompatibilidad ocurre cuando el fertilizante mezclado produce depósitos. Para evitar este riesgo, las sales que añaden calcio no deben mezclarse con sales que añaden sulfatos o fosfatos.

### **2.2.2. Normas prácticas de fertiirrigación**

Mazuela Águila & De la Riva Morales (2013) manifiestan que, el abuso o mal uso de los fertilizantes genera un mal aprovechamiento de estos recursos, con el consiguiente aumento en el costo de producción, que en definitiva significa un despilfarro económico para el productor y posibles mermas en la producción por envejecimiento prematuro de las plantas. El planeamiento previo para la optimización del uso de los fertilizantes que, además, disminuyan los efectos negativos a nivel medioambiental requiere que los profesionales y técnicos que asesoren al agricultor

Pizarro (1996) indica que, la frecuencia en horticultura y fruticultura puede variar. En horticultura, se recomienda fertilizar cada vez que se riega. En fruticultura no se debe de aplicar menos de una fertirrigación por semana, pero no hay inconveniente en que el agua de riego lleve siempre fertilizantes, salvo las precauciones que se dirán al hablar de las precipitaciones.

La concentración de la solución madre en el agua de riego no debe exceder las 700 ppm (0,7 litros por metro cúbico) en ningún momento durante la temporada de riego. Suele ser de 200-400 ppm (0,2-0,4 litros por metro cúbico)

Después de recibir las aguas madres, la salinidad del agua de riego no debe ser superior a la salinidad que los cultivos pueden tolerar, teniendo en cuenta otros factores relevantes: suelo, frecuencia de riego, precipitaciones, etc.

### **2.2.3. Aplicaciones de otros productos con agua de riego Bioestimulantes**

En principio, el uso del riego local frente a la aplicación de otros productos tiene varias ventajas. El producto, disuelto en el agua de riego, se distribuye por todo el bulbo húmedo para favorecer su absorción. El resultado es una mayor eficiencia de procesamiento y un ahorro de costos para el producto y su aplicación. Los costos de aplicación reducidos facilitan el tratamiento en el momento más conveniente. Además, en algunos casos se reduce el impacto ecológico de la manipulación del aire.

Mazuela Águila & De la Riva Morales (2013) señalan por medio de un ejemplo, si un cultivo está en pleno desarrollo vegetativo y esta tendencia del cultivo no coincide con nuestros fines, puesto que tenemos la necesidad de vender nuestro producto (frutos), podemos acelerar la “derivación” del cultivo al desarrollo reproductivo con un manejo adecuado del fertirriego consistente en disminuir la proporción de agua, aumentar los fertilizantes ricos en K y pobres en N y el aumento general de la CE de la disolución. El aumento de la CE de la disolución nutritiva también es deseable cuando se producen fisiopatías muy concretas como son los problemas de rajado de frutos (cracking en países de habla inglesa) o para que cultivos como el melón desarrollen un alto contenido en sólidos solubles con el fin de que puedan ser comercializados con mejores propiedades organolépticas, vale decir, vinculados a un mayor dulzor. Si, por el contrario, nos encontramos en una etapa del cultivo donde la planta tiende a primar el desarrollo reproductivo, podemos variar algo de esta tendencia del cultivo favoreciendo mediante el fertirriego el desarrollo vegetativo o de nuevos brotes y follaje, disminuyendo la CE de

la disolución. De esta forma hacemos un manejo de la fertiirrigación que puede modificar parcialmente la tendencia del cultivo propia de su edad, genotipo, o el resto del ambiente micro climático.

### **2.3. Propiedades Físicas del suelo**

Según Novillo & Carrillo (2018) el suelo representa una parte esencial de la vida, ya que es el principal responsable de la alimentación en el mundo. Está formado por materiales orgánicos e inorgánicos como: arena, limo y arcilla, que constituyen las propiedades físicas como la textura, porosidad, densidad aparente y real, infiltración etc., características que determinan el desarrollo vegetativo de los cultivos.

Las propiedades físicas del suelo son responsables del transporte del aire, agua, calor, sustancias solubles a través del suelo, las cuales pueden ser deterioradas con la labranza, haciendo al suelo menos permeable y más susceptible a desgastes por escorrentía y erosión (García, 2004).

#### **2.3.1 Textura**

Esta característica describe el tamaño de las partículas del suelo menores de 2 mm de diámetro. Conocer la textura o la clase textural a la que pertenece un suelo permite hacer una deducción aproximada de las propiedades generales del suelo, y de esta forma usar las prácticas de manejo requeridas (labranza, riego y fertilización); también se puede utilizar para evaluar y valorar tierras de acuerdo a su uso (Villaseñor, 2016)

Según La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) emplea un método exacto y fundamental para dar nombres texturales a los suelos, el cual se basa en el análisis mecánico, como es el triángulo textural (Figura 1).

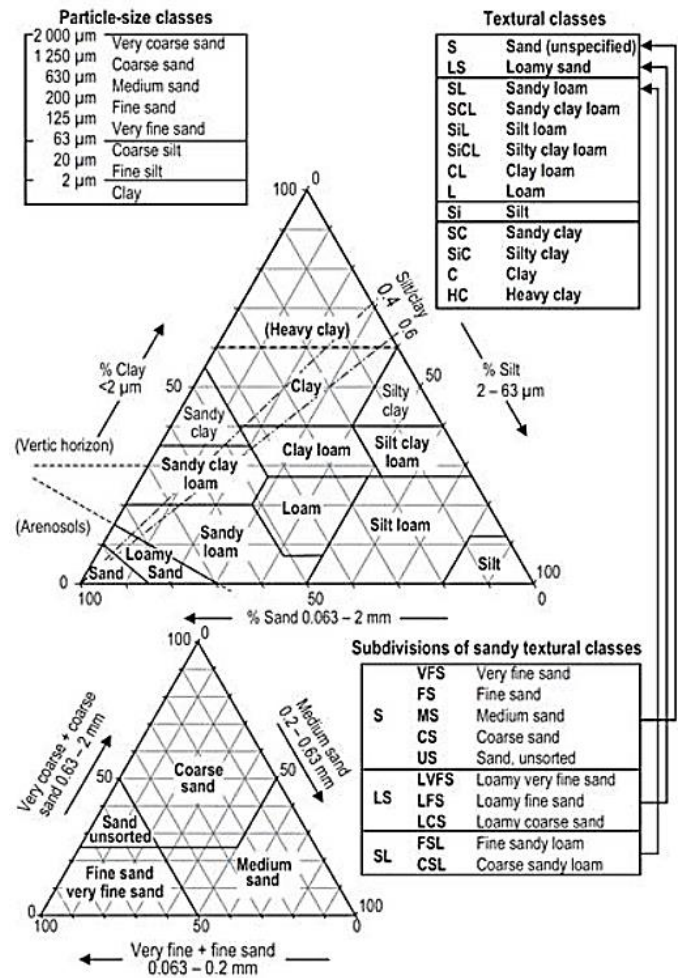


Figura 1: Triangulo de textura de suelo  
Fuente: FAO (2006)

### 2.3.2. Estructura

Según Sanchez (2005) la define como: "la forma, el tamaño y el arreglo de las partículas primarias que constituyen las partículas compuestas, y la forma, tamaño y arreglo de las partículas compuesta". Para considerar que el suelo cuente con una buena estructura, va a depender de la velocidad con la que el aire y el agua se muevan a través del suelo.

### 2.3.3. Densidad del suelo.

La organización de las partículas individuales del suelo en unidades mayores hace que el suelo sea medio poroso, lo que permite establecer dos tipos de densidades, **la densidad de las partículas** (minerales y orgánicas) o **densidad real** y la del suelo en su conjunto o **densidad de volumen o aparente** (Porta & López Acevedo, 2008)



tapaderas de plástico a ambos extremos. Ya en el laboratorio se extrae el suelo contenido cuyo volumen corresponde con el del cilindro y que es conocido se desea y se pesa. La densidad viene determinada por la relación entre peso seco obtenido y el volumen correspondiente

### 2.3.6. Densidad Real

La densidad real es la relación existente entre el peso del suelo, en seco (Pss) y el volumen real, es decir, el volumen de sus partículas (Vp). Comúnmente se expresa en g /cm3 (Castillo, 2005)

$$Dr \text{ (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{Peso del suelo en seco}}{\text{Volumen Real}}$$

DENSIDAD REAL G/CM3	CLASIFICACIÓN
<2.4	Muy bajo
2.4 – 2.60	Bajo
2.60 – 2.80	Medio
>2.80	Alto

Tabla 2: Clasificación de la densidad real de los suelos  
Fuente: Yanez Araujo (2022)

## 2.4. Instalación

El fertilizante líquido se almacena en tanques en la finca, de donde se extrae y se alimenta a la red. Los tanques suelen estar hechos de poliéster o polietileno, aunque se puede usar acero inoxidable para algunos productos. Al elegir un tanque, es necesario tener en cuenta sus dimensiones, por un lado, las necesidades operativas y, por otro lado, las condiciones de entrega.

### 2.4.1. Sistema de inyección de fertilizantes

Martínez Barrera (1998) señala que, los métodos de inyección son básicamente cuatro: Uso de inyector que utiliza la presión del agua en la red de cañerías (inyector tipo Venturi, Dosatrón), uso de bombas auxiliares, uso de estanques herméticos a presión y la inyección por succión positiva en el chupador de la bomba.

Por otro lado, como menciona Quizhpe Pineda (2010), el principio de operación incluye una válvula estranguladora, que obliga a que parte del agua que fluye por la tubería principal sea desviada hacia el tanque fertilizante. El tanque de fertilizante se une en paralelo a la tubería principal mediante un método de conexión en forma de bucle. Los

elementos empleados en la fabricación del tanque, así como sus complementos y la manera en que se instala, deben garantizar un funcionamiento seguro del sistema ante la presión de la tubería principal.

En el transcurso de la fertilización, la concentración de la solución fertilizante en el depósito disminuye de manera progresiva a medida que se diluye con el agua. La cantidad de fertilizante se mantiene más o menos constante siempre y cuando haya fertilizante sólido en el tanque. La duración del proceso de fertirrigación está vinculada al volumen del depósito y a su capacidad de descarga.

#### **2.4.2. Tanques de abonado**

Consiste en depósitos, generalmente cilíndricos, de metal o poliéster reforzado con fibra de vidrio. Resistente a la presión interna, conectado a redes de riego en paralelo. El depósito dispone de dos conexiones (una de entrada y otra de salida), normalmente con acoplamientos rápidos y una tapa para la alimentación del abono a la red.

Los tanques de fertilizantes son un equipo de fertilizantes popular y probablemente el más utilizado. Esto se debe a su bajo coste ya que su funcionamiento no requiere energía, ya que se aprovecha la presión del agua de riego, lo que permite colocarlos en cualquier punto de la red.

Según Correa Gonzáles (2004), Es necesario crear una diferencia de presión entre la derivación de entrada y salida (de 1 a 5 metros de columna de agua (m.c.a.) para que se produzca la necesaria derivación de caudal hacia el tanque.

A diferencia de otros sistemas, el uso de depósitos de agua hace que la concentración de la solución fertilizante que se introduce en la red se reduzca continuamente durante todo el periodo de riego, lo que no es suficiente cuando hay varias zonas de funcionamiento continuo.

Pizarro (1996) declara que, la entrada que inyecta el agua en el fondo del tanque, preferiblemente tangencial a la pared del tanque, para que se mezcle bien con el abono. Una salida situada en la parte superior recoge la mezcla de agua de riego y fertilizante y la inyecta a la red de riego. Convenientemente, hay una válvula de drenaje o vacío en la parte inferior del tanque y una trampa que debe estar en el tubo de escape. También se recomienda instalar un caudalímetro para regular el funcionamiento.

### **2.4.3. Inyector Venturi**

Correa Gonzáles (2004) explica que el inyector Venturi se fundamenta en el principio de funcionamiento del mismo nombre que se observa en los fregaderos. A medida que el diámetro desde la boquilla de entrada hasta la garganta disminuye gradual pero significativamente, la presión relativa en esta última disminuye repentinamente. Si el flujo a través del Venturi es lo suficientemente alto como para generar presión negativa en la garganta, al conectar un tubo a un recipiente abierto que contiene una solución de fertilizante, se generará succión.

A su vez Pizarro (1996) demuestra que, e instala el inyector en paralelo con la tubería de riego, donde la válvula genera una diferencia de presión que desvía parte del agua hacia el circuito del inyector. Estas válvulas pueden ser reemplazadas por cualquier componente que genere pérdidas de presión. En el circuito de los inyectores se coloca otra válvula para ajustar el flujo de agua y, por ende, la cantidad de fertilizante absorbido. A diferencia de un tanque de fertilizante, un rociador venturi mantiene una concentración constante. Sin embargo, la cantidad de fertilizante no varía directamente con la cantidad de agua de riego, lo cual constituye una limitación conocida en la automatización.

Correa Gonzáles (2004) considera lo siguiente

- Para que empiece a funcionar correctamente es necesario crear una pérdida de presión mínima de 10 m.c.a. superior en algunos casos al 50% de la disponible.
- A mayor presión a la entrada y a igualdad de pérdida de presión en el Venturi, el caudal inyectado es menor.
- El caudal inyectado es bastante sensible a la variación de nivel en el depósito fertilizante.
- La regulación del caudal inyectado resulta en cualquier caso sino problemática, difícil.
- Las altas velocidades en la garganta generan fenómenos de cavitación en la misma, lo que se traduce en una reducción de la vida útil del mismo.
- La información suministrada junto al dispositivo, en la mayoría de los casos, es escasa cuando no inexistente, y poco fiable.
- Se requiere de una presión mínima de 25-30 m.c.a. a la entrada del cabezal para garantizar riego y fertiirrigación en sistemas que cubran superficies discretas y con topografía sensiblemente llana.

Además de presentar una serie de limitaciones tal y como se ha mencionado, su uso está muy extendido a sus siguientes ventajas:

- Es un sistema barato.
- Adecuado para superficies discretas.
- Sistema robusto y sin partes mecánicas móviles.
- Adecuado para inyección manual de fertilizantes de forma continua durante el riego.
- No requiere de ningún tipo de energía exterior para su funcionamiento.

Arviza (2001) señala que, los inyectores venturis se fabrican con diámetros de 3/4", 1", 1 1/2" y 1 1/3". En ocasiones se suministran con rotámetro y válvula de estrangulamiento para la regulación del caudal inyectado. Existen modelos simples y dobles formados por dos inyectores dispuestos en paralelo. Los caudales inyectados varían entre 15 y 300 L/h, aproximadamente.

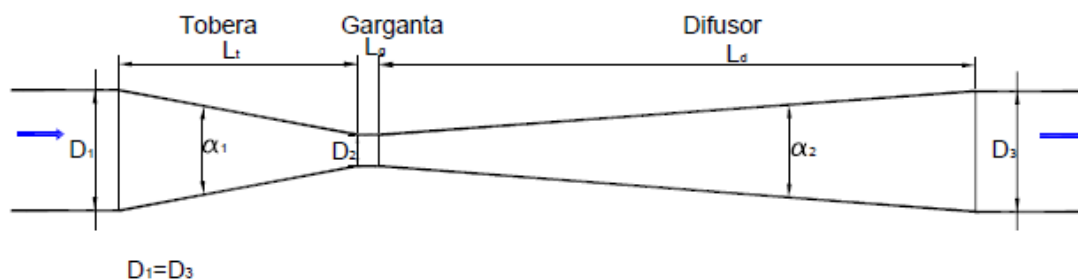


Figura 2: Esquema de inyector Venturi  
Fuente: Manzano et al. (2015)

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Localización y caracterización del área de estudio

El presente trabajo se realizó en la Finca “La Flor”, situada en la parroquia La Peña del cantón Pasaje, en el km 15 de la vía Machala-Pasaje, provincia de El Oro

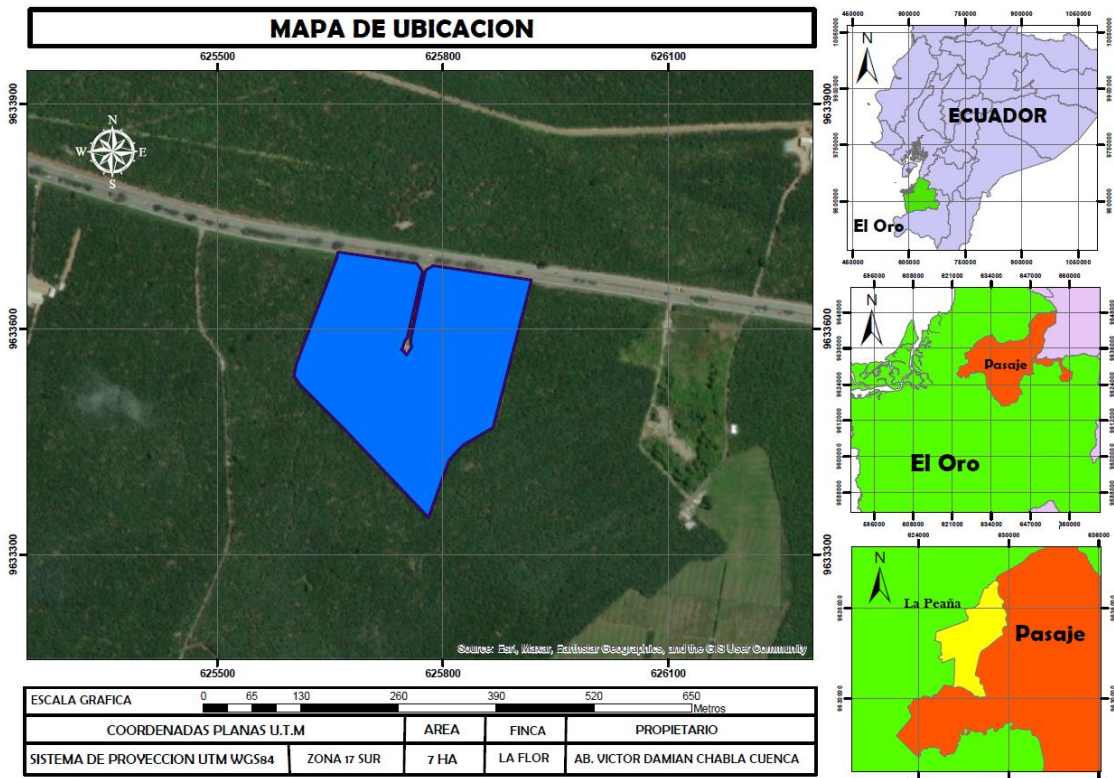
##### 3.1.1. Ubicación geográfica de la zona de estudio

El estudio experimental se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas

Latitud: 3° 18' 52.6" S

Longitud: 79° 52' 4.2" O

Altitud: 20 msnm



##### 3.1.2. Características climáticas de la zona

El área de investigación se encuentra en un entorno de bosque tropical, con una temperatura media variando entre 22 y 32 °C, una precipitación anual promedio de 600 mm, un promedio de 2.8 horas sol al día y una humedad relativa del 83% (Cañadas Cruz, 1983). La zona se ubica dentro de los límites del Cantón Pasaje y se destaca por contar con suelos de origen aluvial que han sido afectados por la influencia del río Jubones. La

topografía de esta región varía desde terreno completamente plano hasta ligeramente ondulado. A lo largo de los años, estos suelos han sido empleados en la práctica del monocultivo de banano Villaseñor et al., (2015). La zona de estudio proporciona las siguientes características climáticas

Régimen térmico	Variación de la humedad	Índice Hídrico	Temperatura °C		Precipitación mm
			Humedad %		
			Calurosa	Fresca	
<b>Cálido</b>	Gran déficit hídrico en época seca	Subhúmedo	Febrero - mayo, 32 °C	Junio - noviembre, 22 °C	600

Tabla 3: Características climatológicas de la zona  
Fuente: GAD (2021)

### 3.2. Instalación del Sistema de Inyección de Fertilizante

Se realizó una instalación compuesta de dos tanques de fertilización, donde en uno de los tanques se colocó las sales a base de Calcio y por otro lado en el tanque próximo, se colocó las sales a base de Fosfatos y Sulfatos, debido a las reacciones químicas que ocurren entre los iones presentes en estas sales, lo cual pueden formarse precipitados insolubles como el fosfato de calcio o el sulfato de calcio en la base de los Tanques de fertilización.

### 3.3. Diseño Experimental

Se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar con el propósito de mantener la variabilidad entre las unidades experimentales dentro de un bloque, al mismo tiempo que se busca maximizar las diferencias entre los bloques. Si no se detectan diferencias significativas entre los bloques, este diseño no aportaría significativamente a la precisión en la identificación de las diferencias entre los tratamientos.

Los bloques se formaron utilizando áreas contiguas en la finca, y en cada bloque se ubicaron las distintas unidades experimentales que recibieron diferentes tratamientos. De esta manera, se reduce y controla la variabilidad en el error experimental, lo que conlleva a una mayor precisión en los resultados.

En el presente estudio se implementó 4 tratamientos de sistemas de aplicación de Fertirriego, siendo: Fertirriego 100%, Fertirriego 75%, Fertirriego 50%, Edafico en un área de 3.1 Ha como se muestra en la Figura 4

Se suministro distintos productos agrícolas para cada tratamiento

-Fertirriego 100% (Yara Rega Azutek, Nitrato de Amonio, Muriato de Potasio (MOP), Sulfato de Magnesio, Yara Live Calcinit)

-Fertirriego 75% (Yara Rega Azutek, Nitrato de Amonio, Muriato de Potasio (MOP), Sulfato de Magnesio, Yara Live Calcinit)

-Fertirriego 50% (Yara Rega Azutek, Nitrato de Amonio, Muriato de Potasio (MOP), Sulfato de Magnesio, Yara Live Calcinit)

-Edafico (Nitrato de Amonio, Boro, Fosfato Diamónico (DAP), Muriato de Potasio (MOP), Nitraboro, Sulfato de Magnesio, Sulfato de Zinc, Borax)

### 3.3.1 Tratamientos

Se realizo un plan nutricional completo con mismo grado nutricional, el trabajo se llevó a cabo por módulos con un área del mismo de 1.2 Ha

Tratamientos	
<b>T0</b>	Edafico (Testigo)
<b>T1</b>	Fertirriego 100%
<b>T2</b>	Fertirriego 75%
<b>T3</b>	Fertirriego 50%

Tabla 4: Tratamientos aplicados en la investigación  
Fuente: El Autor

### 3.3.2 Tratamiento 0 (Edafico)

Las fuentes y concentraciones de los elementos que se aplicaron fueron las siguientes

Nitrato de Amonio con 44 Kg ha<sup>-1</sup>, Fosfato Diamonico (DAP) con 8 Kg ha<sup>-1</sup>, Muriato de Potasio (MOP) con 29Kg ha<sup>-1</sup>, Sulfato de Potasio con 53 Kg ha<sup>-1</sup>, Sulfato de Magnesio con 30 Kg ha<sup>-1</sup>, Sulfato de Zinc con 2 Kg ha<sup>-1</sup>, Boro con 2 Kg ha<sup>-1</sup>

Los fertilizantes aplicados en el tratamiento se pueden apreciar en la Tabla

#### Edafico

Fertilizantes	Kg ha <sup>-1</sup>
Nitrato de Amonio	44
DAP	8
MOP	29
Sulfato de Potasio	53
Sulfato de Magnesio	30
Sulfato de Zinc	2

Tabla 5: Fuente de elementos en kg ha<sup>-1</sup> para el tratamiento edáfico  
Fuente: El Autor

### 3.3.3 Tratamiento 1 (Fertirriego 100%)

Las fuentes y concentraciones de los elementos que se aplicaron fueron las siguientes

Yara Rega Azutek con 22.5 Kg ha<sup>-1</sup>, Yara Live Calcinit con 10.75 Kg ha<sup>-1</sup>, Muriato de Potasio (MOP) con 4 Kg ha<sup>-1</sup>, Sulfato de Magnesio con 7.50 Kg ha<sup>-1</sup>, Nitrato de Amonio con 3.75 Kg ha<sup>-1</sup>

Los fertilizantes aplicados en el tratamiento se pueden apreciar en la Tabla

#### Fertirriego 100%

Fertilizantes	Kg ha <sup>-1</sup>
Yara Rega Azutek	22.5
Yara Live Calcinit	10.75
MOP	4
Sulfato de Magnesio	7.50
Nitrato de Amonio	3.75

Tabla 6: Fuente de elementos en kg ha<sup>-1</sup> para el tratamiento del 100% fertirriego  
Fuente: El Autor



### 3.3.4. Tratamiento 2 (Fertirriego 75%)

Las fuentes y concentraciones de los elementos que se aplicaron fueron las siguientes

Yara Rega Azutek con 17 Kg ha<sup>-1</sup>, Yara Live Calcinit con 8.25 Kg ha<sup>-1</sup>, Muriato de Potasio (MOP) con 6.75 Kg ha<sup>-1</sup>, Sulfato de Magnesio con 5.60 Kg ha<sup>-1</sup>, Nitrato de Amonio con 2.81 Kg ha<sup>-1</sup>

Los fertilizantes aplicados en el tratamiento se pueden apreciar en la Tabla

#### Fertirriego 75%

Fertilizantes	Kg ha <sup>-1</sup>
Yara Rega Azutek	17
Yara Live Calcinit	8.25
MOP	6.75
Sulfato de Magnesio	5.60
Nitrato de Amonio	2.81

Tabla 7: Fuente de elementos en kg ha<sup>-1</sup> para el tratamiento del 75% fertirriego  
Fuente: El Autor

### 3.3.5. Tratamiento 3 (Fertirriego 50%)

Las fuentes y concentraciones de los elementos que se aplicaron fueron las siguientes

Yara Rega Azutek con 11.25 Kg ha<sup>-1</sup>, Yara Live Calcinit con 5.50 Kg ha<sup>-1</sup>, Muriato de Potasio (MOP) con 4.50 Kg ha<sup>-1</sup>, Sulfato de Magnesio con 3.75 Kg ha<sup>-1</sup>, Nitrato de Amonio con 1.88 Kg ha<sup>-1</sup>

Los fertilizantes aplicados en el tratamiento se pueden apreciar en la Tabla

#### Fertirriego 50%

Fertilizantes	Kg ha <sup>-1</sup>
Yara Rega Azutek	11.25
Yara Live Calcinit	5.50
MOP	4.50
Sulfato de Magnesio	3.75
Nitrato de Amonio	1.88

Tabla 8: Fuente de elementos en kg ha<sup>-1</sup> para el tratamiento del 50% fertirriego  
Fuente: El Autor

### 3.4. Croquis del experimento

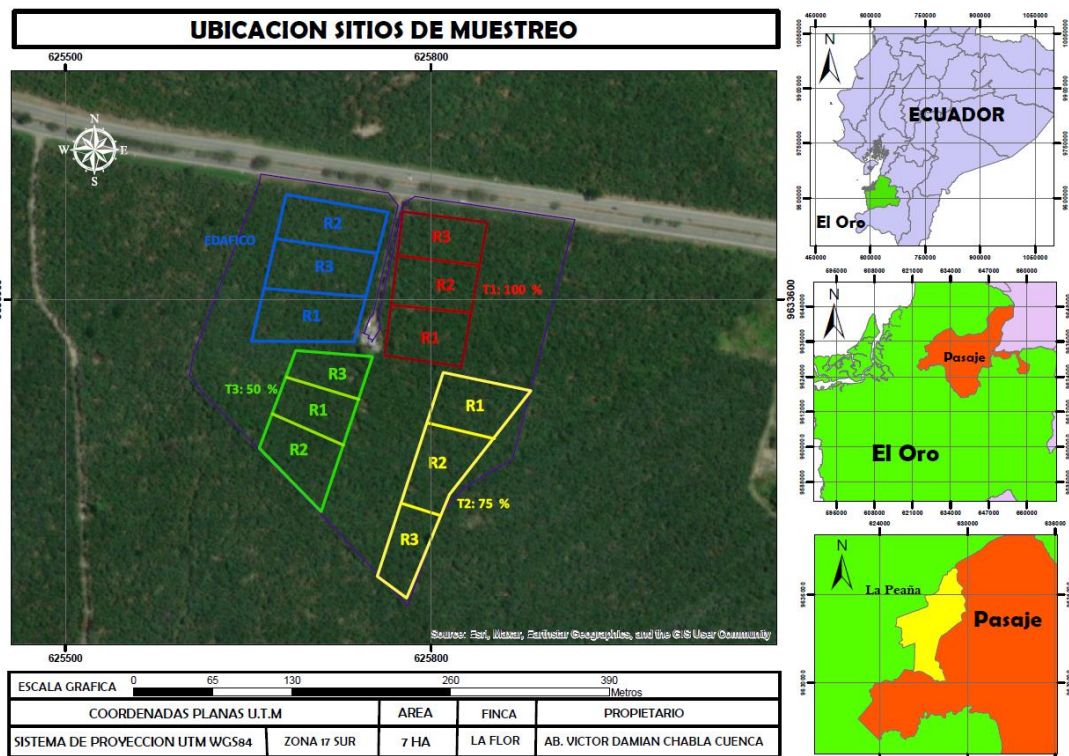


Figura 4: Croquis del Experimento  
Fuente: El Autor

### 3.5. Especificidades del diseño

- Número de Tratamientos: 4
- Número de Repeticiones: 3
- Número de Unidades Experimentales: 12
- Tamaño de la parcela total: 3.1 Ha
- Muestras de suelo por tratamiento: 9

### 3.6. Manejo del experimento

Para la realización del experimento de llevaron a cabo los siguientes estudios:

- Análisis del Suelo
- Macro y Micronutrientes
- Dosis de Riego
- Fertilizantes a utilizar y su composición

### **3.7. Materiales y Equipos**

#### **3.7.1. Materiales**

- Lampa
- Barreta
- Metro
- Flexómetro
- Pintura
- Espátula
- Regla
- Cilindro metálico
- Papel film plástico
- Marcadores
- Estilete

#### **3.7.2. Equipos**

- Balanza gramera
- GPS
- TDR
- Equipo motobomba
- Sistema de Inyección de Fertilizante

### **3.8. Variables medidas entorno a la parte física del suelo**

La toma de datos, consta de la elaboración de 3 calicatas de 1m por un 1m, de manera al azar en cada repetición de los 4 tratamiento que se establecieron, determinando las coordenadas de cada una de las calicatas para su posterior seguimiento al transcurso del fertirriego. Por lo cual las variables que se tomaron entorno a las mismas fueron Densidad Aparente del Suelo, Densidad Real del Suelo, pH del suelo y Conductividad Eléctrica.

#### **3.8.1. Densidad Aparente del Suelo**

Según Santacruz de León, (2020). La densidad aparente del suelo queda comprendida dentro de un intervalo recomendado para el cultivo del banano, va de 1,15 g cm<sup>-3</sup> a 1,4 g cm<sup>-3</sup>, por lo tanto para una extensa variabilidad de datos de cada repetición, dio un total de 9 calicatas por tratamiento en diversos puntos completamente al azar.

Las medidas se fueron efectuando de manera mensual, dándole seguimiento a cada uno de los tratamientos, con la ayuda de una pala y barreta se realizo la estructura de la calicata los primeros 15 cm de profundidad y con la ayuda de una espatula se fue desarrollando el segundo escalon para la muestra de los 30 cm, dando una toma de cilindros por escalon. Una vez extraido los cilindros con su respectiva muestra de suelo, pesar junto a las muestras en humedo, posterior a eso se los lleva a la estufa a 110 °C una vez completado su secado y mediante la formula establecida, se realiza el calculo correspondiente de la Densidad Aparente



*Figura 5: Realización de calicata*  
*Fuente: El Autor*



*Figura 7: Pesaje de cilindros en húmedo*  
*Fuente: El Autor*



*Figura 6: Secado de cilindros*  
*Fuente: El Autor*

### 3.8.2. Densidad Real del Suelo

Según Ingaramo et al., (2007) La densidad real se considera una de las propiedades más estables del suelo y normalmente no se ve afectada por los tratamientos que se aplican en el mismo. Si se efectuasen importantes y continuos aportes de materia orgánica y/o aportes químicos, podría disminuir la densidad real. Por lo tanto para complementar lo contrastado, la toma se realizó en cada una de las calicatas, extrayendo 1kg de terrón por profundidad y colocándolo en una funda, para luego ser trasladado a lab donde se lo dejara a secado ambiente y su posterior trituration una vez seco el suelo. De manera que luego de un procedimiento de relación de 5gr de tierra pulverizada y 10ml de agua destilada junto a su correspondiente calculo.



Figura 9: Secado de los terrones a temperatura ambiente  
Fuente: El Autor



Figura 8: Pulverización de los terrones secos  
Fuente: El Autor

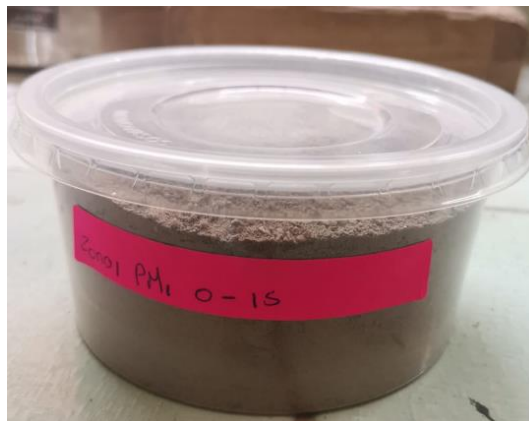


Figura 10: Terrones luego del tamizado  
Fuente: El Autor

### 3.8.3. pH del Suelo

Según Saúl Brenes, (2017) menciona que al aumentar los días de maduración descienden los niveles de acidez, al progresar la maduración el pH desciende conforme avanza los días. La acidez en la pulpa podría ser utilizado como un índice de maduración. Por otro lado, Álvarez, (2011) señalo que cuando el pH se aumenta o cuando se adiciona sulfato al suelo o a una la solución nutritiva que se le había aplicado  $Al^{+3}$ , la concentración de aluminio decrecía a menos de 1 ppm. Con esta experiencia se pensó que con la adición de cal o de yeso al suelo, los problemas de la toxicidad con Al desaparecerían. Por lo que se utilizó medidor de bolsillo impermeable para medir el pH de las muestras de suelo en una relación de 10 gr de suelo tamizado por 20 ml de agua destilada.



Figura 12: Relación 10 gr de suelo tamizado y 20 ml de agua destilada  
Fuente: El Autor



Figura 11: Medidas de pH de suelo tamizado  
Fuente: El Autor

### 3.8.4. Conductividad Eléctrica del Suelo

Como indica Rebolledo, (2017) la conductividad eléctrica está relacionada directamente con el contenido de elementos, sales y/o metales conductores de electricidad dentro del medio, por otro lado Portia Adade et al. (2017) señalaron que es importante considerar que todos los fertilizantes inorgánicos aplicados al suelo y cultivo son sales y por lo tanto tendrán un efecto directo sobre la conductividad eléctrica, por lo cual se realizó un seguimiento de la misma manera que se sacó el pH, con la relación de 10 gr de suelo tamizado y 20 ml de agua destilada, de manera que con la ayuda del medidor de bolsillo obtenemos en la parte media del dispositivo, la medida de la Conductividad Eléctrica.



Figura 13: Medidas de Conductividad Eléctrica del suelo tamizado  
Fuente: El Autor

### 3.8.5. Porosidad del suelo

Según Horowitz & Walling, (2005), la porosidad del suelo superficial determina en gran medida los procesos de infiltración y escurrimiento del agua que influyen en la erosión hídrica y el transporte de agua en el suelo, además como mencionan Gonzales Cervantes & Sánchez Cohein, (2004).

Para el cálculo de la porosidad total se utilizó la ecuación, de acuerdo con los datos obtenidos:

$$P (\%) = \frac{Dr - Da}{Dr} \times 100$$

Donde:

P = % de porosidad

Dr = Densidad real

Da = Densidad aparente

### 3.8.6. Humedad Relativa

Flores Delgadillo & Alcalá Martínez (2010) señalan que la humedad del suelo influye en muchas propiedades físicas, tales como la densidad aparente, espacio poroso, compactación, la humedad del suelo se puede medir directamente por gravimetría, o en forma indirecta con instrumental especializado, consiste en tomar o extraer muestras de suelo en las profundidades de interés. Las muestras se pesan húmedas, se secan en estufa a una temperatura de 110 °C hasta peso constante y se vuelven a pesar. La diferencia entre el peso de la muestra húmeda y la seca será la cantidad de agua que, relacionada con el peso seco del suelo, representa el contenido de humedad en el momento de muestreo. 110 °C hasta peso constante y se vuelven a pesar. La diferencia entre el peso de la muestra húmeda y la seca será la cantidad de agua que, relacionada con el peso seco del suelo, representa el contenido de humedad en el momento de muestreo.

$$H (\%) = \frac{Mh - Ms}{Mh} \times 100$$

Donde:

H%: Porcentaje de humedad

Mh: Muestra húmeda

Ms: Muestra seca



## 4. Resultados y Discusiones

### 4.1. ANOVA de las variables entre dosis de fertilización

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para examinar las diferencias significativas entre los grupos en estudio. Los resultados del ANOVA revelaron una significancia estadística ( $p < 0.05$ ), lo que indica que al menos una de las medias de los grupos difiere de las demás. En consecuencia, la hipótesis nula de que no hay diferencias entre los grupos fue rechazada.

ANOVA						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Da (g/cm <sup>3</sup> )	Entre grupos	,696	3	,232	6,781	,000
	Dentro de grupos	9,713	284	,034		
	Total	10,408	287			
Dr (g/cm <sup>3</sup> )	Entre grupos	,397	3	,132	15,383	,000
	Dentro de grupos	2,440	284	,009		
	Total	2,837	287			
pH del suelo	Entre grupos	,098	3	,033	6,563	,000
	Dentro de grupos	1,414	284	,005		
	Total	1,512	287			
CE (dS/m)	Entre grupos	,059	3	,020	3,343	,020
	Dentro de grupos	1,676	284	,006		
	Total	1,735	287			
Porosidad del suelo (%)	Entre grupos	48,320	3	16,107	,246	,864
	Dentro de grupos	18630,019	284	65,599		
	Total	18678,338	287			
Humedad volumétrica del suelo (%)	Entre grupos	1,730	3	,577	15,603	,000
	Dentro de grupos	10,499	284	,037		
	Total	12,230	287			

Tabla 9: ANOVA de las variables entre dosis de fertilización

El rechazo de la hipótesis nula implica que hay al menos una diferencia significativa entre los grupos en estudio en relación con la variable analizada. Esto sugiere que los factores considerados en el diseño experimental podrían estar influyendo en las mediciones realizadas.

Prueba de normalidad				
Dosis de fertirriego		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>		
		Estadístico	gl	Sig.
Da (g/cm <sup>3</sup> )	T0 (Edafico)	,145	72	,001
	T1 (Fertirriego 100%)	,093	72	,200
	T2 (Fertirriego 75%)	,129	72	,005
	T3 (Fertirriego 50%)	,155	72	,000
Dr (g/cm <sup>3</sup> )	T0 (Edafico)	,092	72	,200*
	T1 (Fertirriego 100%)	,096	72	,097
	T2 (Fertirriego 75%)	,089	72	,200*
	T3 (Fertirriego 50%)	,087	72	,200*
pH del suelo	T0 (Edafico)	,086	72	,200*
	T1 (Fertirriego 100%)	,059	72	,200*
	T2 (Fertirriego 75%)	,083	72	,200*
	T3 (Fertirriego 50%)	,096	72	,097
CE (dS/m)	T0 (Edafico)	,117	72	,017
	T1 (Fertirriego 100%)	,100	72	,073
	T2 (Fertirriego 75%)	,090	72	,200*
	T3 (Fertirriego 50%)	,105	72	,047
Porosidad del suelo (%)	T0 (Edafico)	,088	72	,200*
	T1 (Fertirriego 100%)	,101	72	,064
	T2 (Fertirriego 75%)	,079	72	,200*
	T3 (Fertirriego 50%)	,093	72	,198
Humedad volumétrica del suelo (%)	T0 (Edafico)	,165	72	,000
	T1 (Fertirriego 100%)	,122	72	,010
	T2 (Fertirriego 75%)	,170	72	,000
	T3 (Fertirriego 50%)	,164	72	,000

Tabla 10: Prueba de normalidad de las variables en relación a la dosis de fertilización

Inicialmente, se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) para examinar la homogeneidad de los datos bajo las condiciones específicas de nuestro estudio. El objetivo era determinar si existían diferencias significativas entre los grupos en estudio. Los resultados del ANOVA indicaron una significancia estadística ( $p < 0.05$ ), lo que sugiere que hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula de homogeneidad entre los grupos.

Dado que la hipótesis de homogeneidad de varianzas fue rechazada según los resultados del ANOVA, se hace necesario recurrir a métodos no paramétricos para analizar nuestros datos. Los métodos no paramétricos son apropiados cuando no se cumplen los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas requeridos por los métodos paramétricos tradicionales como el ANOVA.

Se explorarán alternativas de análisis no paramétrico, como la prueba de Kruskal-Wallis, que es una extensión no paramétrica del ANOVA, y otras técnicas estadísticas robustas que son menos sensibles a las violaciones de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas.

<b>Resumen de contrastes de hipótesis</b>				
	<b>Hipótesis nula</b>	<b>Prueba</b>	<b>Sig.</b>	<b>Decisión</b>
<b>1</b>	La distribución de $D_a$ (g/cm <sup>3</sup> ) es la misma entre las categorías de Dosis de fertirriego.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0	Rechace la hipótesis nula.
<b>2</b>	La distribución de $D_r$ (g/cm <sup>3</sup> ) es la misma entre las categorías de Dosis de fertirriego.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0	Rechace la hipótesis nula.
<b>3</b>	La distribución de pH del suelo es la misma entre las categorías de Dosis de fertirriego.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0,001	Rechace la hipótesis nula.
<b>4</b>	La distribución de CE (dS/m) es la misma entre las categorías de Dosis de fertirriego.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0,025	Rechace la hipótesis nula.
<b>5</b>	La distribución de Porosidad del suelo (%) es la misma entre las categorías de Dosis de fertirriego.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0,738	Conserve la hipótesis nula.
<b>6</b>	La distribución de Humedad volumétrica (%) del suelo es la misma entre las categorías de Dosis de fertirriego.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0	Rechace la hipótesis nula.
Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significancia es ,05.				

Tabla 11: Resultado de las pruebas no paramétricas con respecto a las Dosis de Fertilización

Se realizó un análisis no paramétrico de variables para investigar el efecto de las dosis de fertilización las distintas variables.

Los resultados revelaron que la densidad real del suelo ( $p < 0.05$ ), la densidad aparente del suelo ( $p < 0.05$ ), el pH del suelo ( $p < 0.05$ ), la conductividad eléctrica del suelo ( $p < 0.05$ ) y la humedad volumétrica del suelo ( $p < 0.05$ ) mostraron diferencias significativas entre las diferentes dosis de fertilización. Sin embargo, la porosidad del suelo ( $p > 0.05$ ) no mostró diferencias significativas entre las dosis de fertilización. Los resultados del análisis no paramétrico indican que las dosis de fertilización tienen un efecto significativo. Estos hallazgos sugieren que las diferentes cantidades de fertilizante aplicadas tienen un impacto directo en estas variables del suelo.

Muestra 1 - Muestra 2	Sig. Ajust
T1 (Fertirriego 100%) - T0 (Edafico)	1,000
T1 (Fertirriego 100%) - T3 (Fertirriego 50%)	0,005
T1 (Fertirriego 100%) - T2 (Fertirriego 75%)	0,001
T0 (Edafico) - T3 (Fertirriego 50%)	0,049
T0 (Edafico) - T2 (Fertirriego 75%)	0,016
T3 (Fertirriego 50%) - T2 (Fertirriego 75%)	1,000

Tabla 12: Prueba de Kruskal-Wallis para la variable Densidad aparente con respecto a las dosis de Fertirriego

En la tabla 12, se muestra a través del análisis de la prueba de Kruskal-Wallis que no existen diferencias significativas entre la aplicación del T1 y el T0, de la misma manera que no existe una diferencia significativa entre los tratamientos T3 y T2, por otro lado, se puede observar una diferencia significativa entre el T1 y el T3, el T1 y el T2, el T0 y el T3 y por último el T0 y el T2

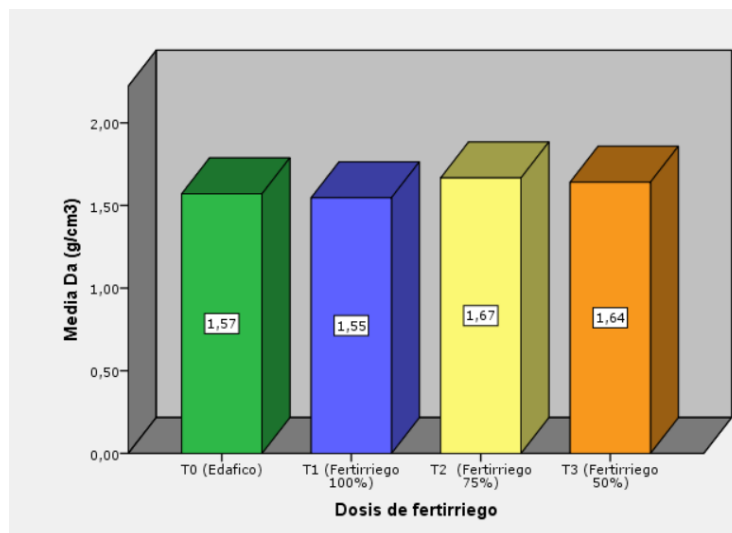


Figura 14: Grafica de la media de Densidad aparente (Da) con respecto a la dosis de Fertirriego

Con respecto a la tabla 12, en el histograma se aprecia de mejor manera las diferencias existentes entre cada dosis de aplicación. La menor media se observó en el tratamiento T1 (100%), seguido por el tratamiento T0 (Edafico) y el tratamiento T3 (50%), mientras que el tratamiento T2 (75%) mostró la media más alta, lo cual estaría asociada al suministro relacionado a la dosis aplicada en el tratamiento y su fijación en el suelo debido a la compactación del mismo, mientras que las dosis más bajas en este caso el T0 su relevancia en la absorción de nutrientes en estado granular indica una nula variación de la variable

Muestra 1 - Muestra 2	Sig. Ajust
T3 (Fertirriego 50%) - T2 (Fertirriego 75%)	0,025
T3 (Fertirriego 50%) - T0 (Edafico)	0,001
T3 (Fertirriego 50%) - T1 (Fertirriego 100%)	0,000
T2 (Fertirriego 75%) - T0 (Edafico)	1,000
T2 (Fertirriego 75%) - T1 (Fertirriego 100%)	0,006
T0 (Edafico) - T1 (Fertirriego 100%)	0,153

Tabla 13: Prueba de Kruskal-Wallis para la variable Densidad real con respecto a las dosis de Fertirriego

En la tabla 13 se muestra a través del análisis de la prueba de Kruskal-Wallis que no existen diferencias significativas entre las aplicaciones del T2 y el T0, de la misma manera el T0 y T1, por otro lado debido a las aplicaciones dadas en los tratamientos T3 y T2, T3 y T0, T3 y T1, T2 y T1, son estadísticamente significativas

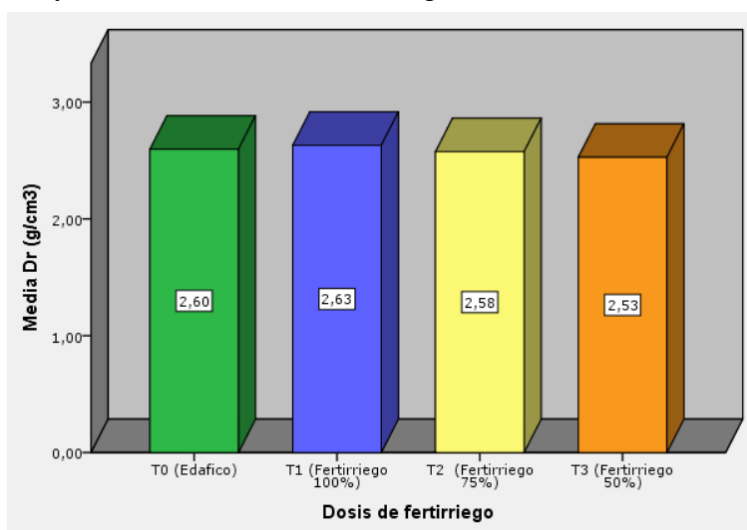


Figura 15: Grafica de la media de Densidad real (Dr) con respecto a la dosis de Fertirriego

Se observa que la densidad real del suelo tiende a disminuir a medida que aumenta la cantidad de fertilizante aplicado, con la excepción del tratamiento T1 que muestra una ligera incremento respecto al tratamiento T0. Esta tendencia sugiere que las dosis más altas de fertilizante podrían estar asociadas con una disminución en la densidad del suelo, lo que indica una mayor porosidad y capacidad de retención de agua.

La disminución en la densidad real del suelo en los tratamientos T2 y T3 está relacionada con la incorporación de los nutrientes de los fertilizantes solubles aplicados, lo que promueve una estructura más ligera y menos compacta.

Muestra 1 - Muestra 2	Sig. Ajust
T (Fertirriego 100%) - T2 (Fertirriego 75%)	0,112
T1 (Fertirriego 100%) - T0 (Edafico)	0,070
T1 (Fertirriego 100%) - T3 (Fertirriego 75%)	0,000
T2 (Fertirriego 75%) - T0 (Edafico)	1,000
T2 (Fertirriego 75%) - T3 (Fertirriego 50%)	0,414
T0 (Edafico) - T3 (Fertirriego 50%)	0,593

Tabla 14: Prueba de Kruskal-Wallis para la variable pH con respecto a las dosis de Fertirriego

En la tabla 14 se muestra a través del análisis de la prueba de Kruskal-Wallis que no existen diferencias significativas en la variable de pH, manteniendo una homogeneidad en cada concentración de nutrientes aplicados exceptuando los tratamientos T1 y T3 respectivamente, dando una variación entre los tratamientos T1 y T3.

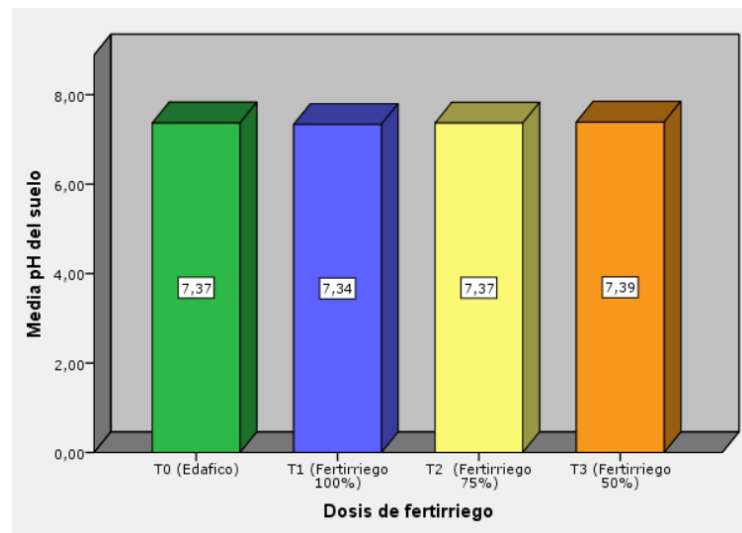


Figura 16: Grafica de la media de pH del suelo (pH) con respecto a la dosis de Fertirriego

Los resultados muestran que las medias del pH del suelo en los diferentes tratamientos son bastante similares, con diferencias mínimas entre ellos. Tanto el tratamiento T0 como el tratamiento T2 tienen una media de pH del suelo de 7.37, mientras que el tratamiento T1 tiene una media ligeramente más baja. Por otro lado, el tratamiento T3 muestra la media más alta, la cual influye en el pH del suelo, especialmente cuando se aplican fertilizantes nitrogenados o amoniacales. Una fertilización insuficiente puede llevar a un desequilibrio en los nutrientes del suelo, lo que puede resultar en un aumento del pH.

Muestra 1 - Muestra 2	Sig. Ajust
T3 (Fertirriego 50%) - T2 (Fertirriego 75%)	0,477
T3 (Fertirriego 50%) - T1 (Fertirriego 100%)	0,209
T3 (Fertirriego 50%) - T0 (Edafico)	0,018
T2 (Fertirriego 75%) - T1 (Fertirriego 100%)	1,000
T2 (Fertirriego 75%) - T0 (Edafico)	1,000
T1 (Fertirriego 100%) - T0 (Edafico)	1,000

Tabla 15: Prueba de Kruskal-Wallis para la variable Conductividad Eléctrica con respecto a las dosis de Fertirriego

En la tabla 15 se muestra a través del análisis de la prueba de Kruskal-Wallis que no existen diferencias significativas en la variable de Conductividad eléctrica entre las concentraciones de fertilización, exceptuando los tratamientos T3 y T0, los cuales mostraron una variación estadísticamente significativa.

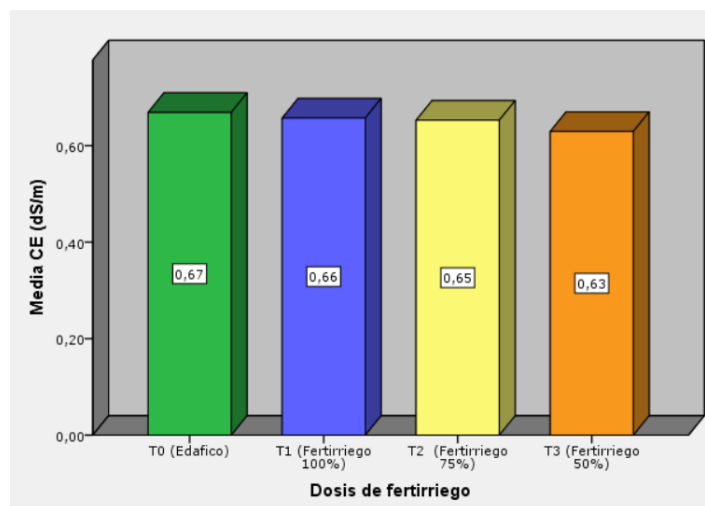


Figura 17: Grafica de la media de Conductividad Eléctrica del suelo (CE) con respecto a la dosis de Fertirriego

Los resultados muestran que las medias de la conductividad eléctrica del suelo disminuyen gradualmente a medida que se reduce la dosis de fertilizante. Específicamente, la media más alta se observa en el tratamiento T0 (Edáfico) con 0.67, seguida por las medias decrecientes en los tratamientos T1 (100%), T2 (75%) y T3 (50%). Por lo cual un aumento de la concentración de sales disueltas en el agua, pueden aumentar la conductividad eléctrica del suelo cuando se aplican en altas concentraciones a través del fertirriego. Estos iones disueltos en el agua del suelo permiten que la electricidad pase más fácilmente a través de ella.

La aplicación de la Prueba de Kruskal-Wallis para comparar la porosidad del suelo entre la variable de Porosidad, arrojó un valor  $p$  mayor que 0.05 ( $p > 0.05$ ). Esto indica que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la porosidad del suelo entre los grupos analizados. Por lo tanto, se puede concluir que, en términos de porosidad, los grupos bajo estudio son similares y no exhiben variaciones significativas entre ellos en relación a las concentraciones de fertilizantes solubles en el riego.

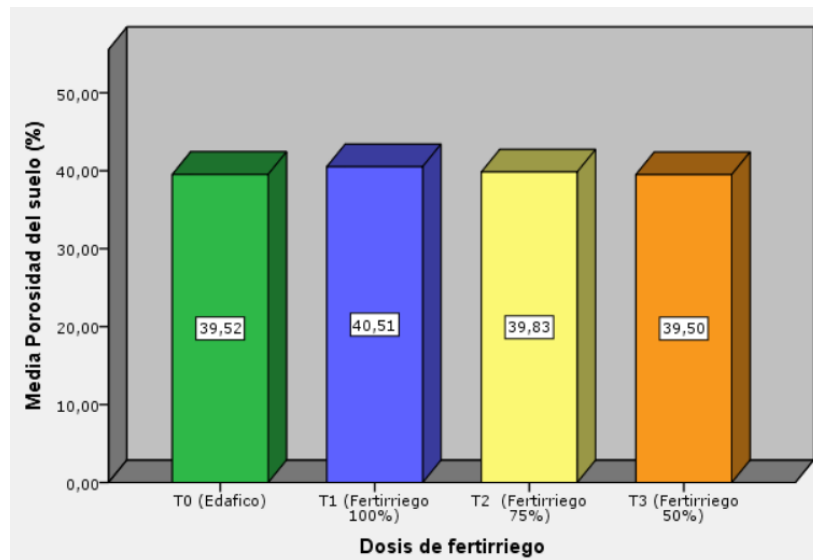


Figura 18: Grafica de la media de Porosidad del suelo (P%) con respecto a la dosis de Fertirriego

Los resultados muestran que las medias de porosidad del suelo varían ligeramente entre los diferentes tratamientos, aunque las diferencias no son muy significativas. La porosidad del suelo tiende a ser más alta en el tratamiento T1 (100%), a su vez seguido por el tratamiento T2 (75%). Los tratamientos T0 (Edáfico) y T3 (50%) muestran medias ligeramente más bajas.



Muestra 1 - Muestra 2	Sig. Ajust
T3 (Fertirriego 50%) – T0 (Edafico)	0,228
T3 (Fertirriego 50%) - T1 (Fertirriego 100%)	0,000
T3 (Fertirriego 50%) – T2 (Fertirriego 75%)	0,000
T0 (Edafico) - T1 (Fertirriego 100%)	0,001
T0 (Edafico) – T2 (Fertirriego 75%)	0,000
T1 (Fertirriego 100%) – T2 (Fertirriego 75%)	0,915

Tabla 16: Prueba de Kruskal-Wallis para la variable Humedad relativa del suelo con respecto a las dosis de Fertirriego

Como se evaluó mediante la Prueba de Kruskal-Wallis, el valor obtenido,  $p < 0.05$ . Este resultado indica que existen diferencias significativas entre los diferentes tratamientos aplicados al suelo.

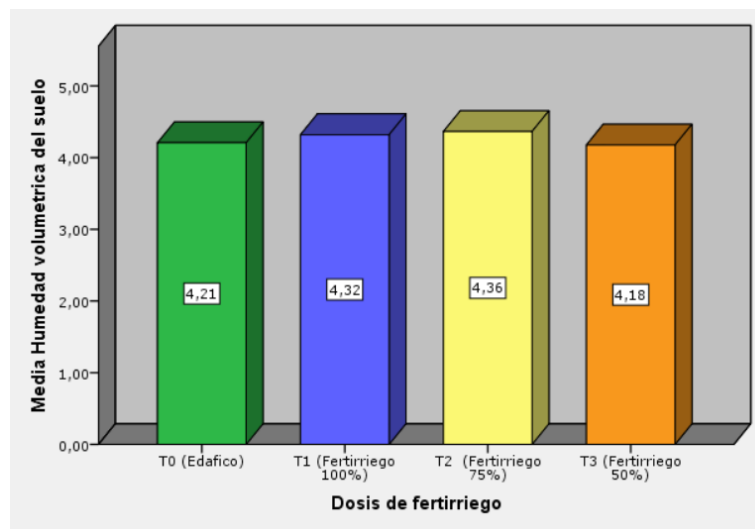


Figura 19: Gráfica de la media de Humedad volumétrica del suelo (H%) con respecto al tiempo de aplicación del Fertirriego

Los resultados muestran que la humedad volumétrica del suelo tiende a variar ligeramente entre los diferentes tratamientos. Es interesante observar que los tratamientos T1 y T0 presentan la misma media de humedad volumétrica del suelo, mientras que el tratamiento T2 exhibe la mayor media, y el tratamiento T3 muestra la menor media (4.18). por lo cual indica una mayor retención de agua en el suelo debido a la composición específica de las sales utilizadas o a una menor evaporación. Por otro lado, el tratamiento T3, con la menor media de humedad volumétrica, podría estar experimentando una menor retención de agua en el suelo, posiblemente debido a una mayor evaporación o a la composición de las sales aplicadas.

## 4.2. ANOVA de las variables entre tiempo de fertilización

Se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar las diferencias significativas entre los grupos definidos por el tiempo de fertilización. Los resultados del ANOVA indicaron diferencias estadísticamente significativas entre al menos dos de los grupos en términos de la variable medida ( $p < 0.05$ ). Esto sugiere que el tiempo de fertilización influye de manera significativa en la respuesta de la variable estudiada.

		ANOVA				
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Da (g/cm <sup>3</sup> )	Entre grupos	1,606	3	,535	17,276	,000
	Dentro de grupos	8,802	284	,031		
	Total	10,408	287			
Dr (g/cm <sup>3</sup> )	Entre grupos	,662	3	,221	28,803	,000
	Dentro de grupos	2,175	284	,008		
	Total	2,837	287			
pH del suelo	Entre grupos	,368	3	,123	30,493	,000
	Dentro de grupos	1,144	284	,004		
	Total	1,512	287			
CE (dS/m)	Entre grupos	,050	3	,017	2,829	,039
	Dentro de grupos	1,684	284	,006		
	Total	1,735	287			
Porosidad del suelo (%)	Entre grupos	6631,411	3	2210,470	52,111	,000
	Dentro de grupos	12046,927	284	42,419		
	Total	18678,338	287			
Humedad volumétrica del suelo (%)	Entre grupos	,962	3	,321	8,078	,000
	Dentro de grupos	11,268	284	,040		
	Total	12,230	287			

Tabla 17: ANOVA de las variables entre dosis de fertilización

Prueba de normalidad				
Momentos de muestreo		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>		
		Estadístico	gl	Sig.
Da (g/cm <sup>3</sup> )	Noviembre	,105	72	,047
	Diciembre	,119	72	,013
	Enero	,077	72	,200*
	Febrero	,061	72	,200*
Dr (g/cm <sup>3</sup> )	Noviembre	,138	72	,002
	Diciembre	,115	72	,020
	Enero	,146	72	,001
	Febrero	,130	72	,004
pH del suelo	Noviembre	,101	72	,065
	Diciembre	,067	72	,200*
	Enero	,076	72	,200*
	Febrero	,083	72	,200*
CE (dS/m)	Noviembre	,105	72	,049
	Diciembre	,079	72	,200*
	Enero	,080	72	,200*
	Febrero	,081	72	,200*
Porosidad del suelo (%)	Noviembre	,068	72	,200*
	Diciembre	,091	72	,200*
	Enero	,089	72	,200*
	Febrero	,100	72	,070
Humedad volumétrica del suelo	Noviembre	,167	72	,000
	Diciembre	,063	72	,200*
	Enero	,055	72	,200*
	Febrero	,178	72	,000

Tabla 18: Prueba de normalidad de las variables en relación al tiempo de fertilización

Inicialmente, se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) para examinar la homogeneidad de los datos bajo las condiciones específicas de nuestro estudio. El objetivo era determinar si existían diferencias significativas entre los grupos en estudio. Los resultados del ANOVA indicaron una significancia estadística ( $p < 0.05$ ), lo que sugiere que hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula de homogeneidad entre los grupos.

Dado que la hipótesis de homogeneidad de varianzas fue rechazada según los resultados del ANOVA, se hace necesario recurrir a métodos no paramétricos para analizar nuestros datos. Los métodos no paramétricos son apropiados cuando no se cumplen los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas requeridos por los métodos paramétricos tradicionales como el ANOVA.

<b>Resumen de contrastes de hipótesis</b>				
	<b>Hipótesis nula</b>	<b>Prueba</b>	<b>Sig.</b>	<b>Decisión</b>
<b>1</b>	La distribución de $D_a$ (g/cm <sup>3</sup> ) es la misma entre las categorías de Momentos de muestreo.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0	Rechace la hipótesis nula.
<b>2</b>	La distribución de $D_r$ (g/cm <sup>3</sup> ) es la misma entre las categorías de Momentos de muestreo.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0	Rechace la hipótesis nula.
<b>3</b>	La distribución de pH del suelo es la misma entre las categorías de Momentos de muestreo.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0	Rechace la hipótesis nula.
<b>4</b>	La distribución de CE (dS/m) es la misma entre las categorías de Momentos de muestreo.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0,04	Rechace la hipótesis nula.
<b>5</b>	La distribución de Porosidad del suelo (%) es la misma entre las categorías de Momentos de muestreo.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0	Rechace la hipótesis nula.
<b>6</b>	La distribución de Humedad volumétrica del suelo es la misma entre las categorías de Momentos de muestreo.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0	Rechace la hipótesis nula.
Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significancia es ,05.				

Tabla 19: Resultado de las pruebas no paramétricas con respecto al tiempo de Fertilización

Se llevó a cabo un análisis no paramétrico de variables para investigar el efecto del tiempo de fertilización en seis variables. La prueba reveló diferencias significativas en todas las variables con respecto al tiempo de fertilización ( $p < 0.05$ ).

Los resultados del análisis no paramétrico de variables indican que el tiempo de fertilización ejerce un efecto significativo en las distintas variables, muestran variaciones significativas en respuesta a los diferentes períodos de fertilización.

Muestra 1 - Muestra 2	Sig. Ajust
Febrero – Enero	1,000
Febrero – Diciembre	0,000
Febrero – Noviembre	0,000
Enero – Diciembre	0,001
Enero - Noviembre	0,000
Diciembre - Noviembre	1,000

Tabla 20: Prueba de Kruskal-Wallis para la variable Densidad aparente con respecto al tiempo del Fertirriego

La densidad aparente del suelo en relación al tiempo de aplicaciones a través del riego fue evaluada mediante la Prueba de Kruskal-Wallis, la cual arrojó un valor de  $p < 0.05$ . Este resultado indica que existen diferencias significativas entre los diferentes períodos de fertilización en relación a la densidad aparente del suelo.

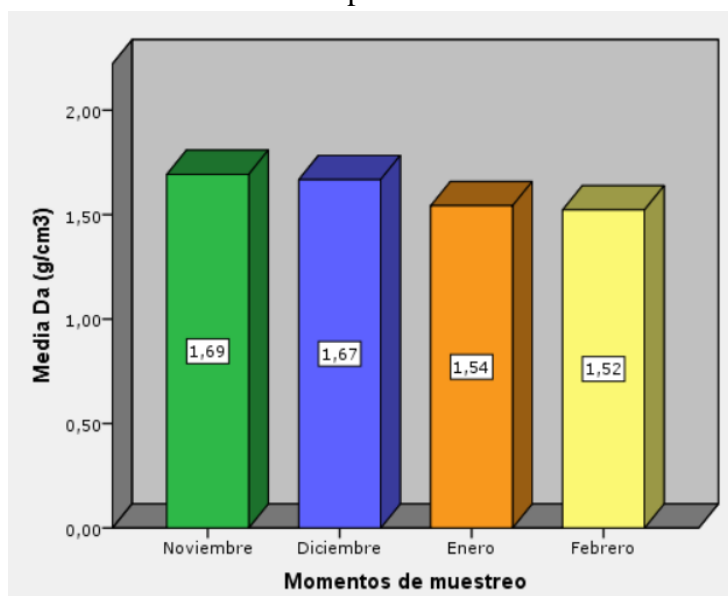


Figura 20: Grafica de la media de Densidad aparente del suelo (Da) con respecto al tiempo de aplicación del Fertirriego

Chinchilla et al., (2011) encontraron que los suelos Entisoles tienen un máximo de 2,65 g/cm<sup>3</sup> y un mínimo de 2,08 g/cm<sup>3</sup>. Valores similares a los encontrados en ambos usos de suelos, por lo cual resultados muestran que la densidad aparente del suelo tiende a disminuir a medida que avanza el tiempo de las aplicaciones, desde noviembre hasta febrero. La densidad aparente es más alta en noviembre y diciembre, y disminuye gradualmente en enero y febrero. Lo cual está asociada con una mejor infiltración del agua, una mayor retención de nutrientes y una mayor actividad biológica,

Muestra 1 - Muestra 2	Sig. Ajust
Febrero – Enero	0,585
Febrero – Diciembre	0,011
Febrero – Noviembre	0,000
Enero – Diciembre	0,882
Enero - Noviembre	0,000
Diciembre - Noviembre	0,000

Tabla 21: Prueba de Kruskal-Wallis para la variable Densidad real con respecto al tiempo del Fertirriego

La densidad real del suelo en relación al tiempo de fertilización a través del riego fue evaluada mediante la Prueba de Kruskal-Wallis, la cual arrojó un valor de  $p < 0.05$ . Este resultado indica que existen diferencias significativas entre los diferentes períodos de fertilización en relación a la densidad real del suelo.

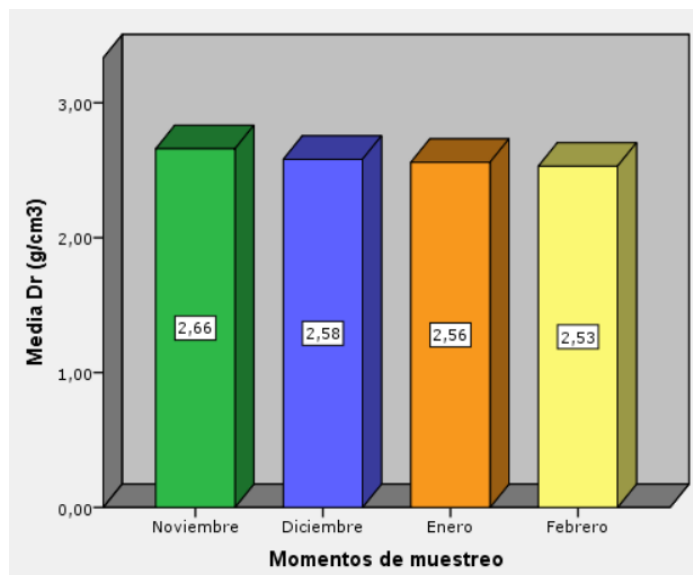


Figura 21: Grafica de la media de Densidad real del suelo (Dr) con respecto al tiempo de aplicación del Fertirriego

Los resultados revelan una tendencia descendente en la densidad real del suelo a medida que avanza el tiempo, desde noviembre hasta febrero. En noviembre, la densidad real del suelo alcanzó su punto máximo, seguida de una disminución gradual en diciembre, enero y febrero. Por lo cual es importante tener en cuenta que, aunque las diferencias en las medias de densidad real del suelo entre los meses pueden parecer modestas, incluso pequeñas variaciones en la densidad del suelo pueden tener un impacto significativo en la estructura y la salud del suelo. Una densidad real del suelo más baja puede mejorar la aireación, la infiltración del agua y la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

Muestra 1 - Muestra 2	Sig. Ajust
Febrero – Enero	0,842
Febrero – Diciembre	0,002
Febrero – Noviembre	0,000
Enero – Diciembre	0,220
Enero - Noviembre	0,000
Diciembre - Noviembre	0,000

Tabla 22: Prueba de Kruskal-Wallis para la variable pH del suelo con respecto al tiempo del Fertirriego

La variación en el pH del suelo en relación al tiempo de fertilización a través del riego fue evaluada mediante la Prueba de Kruskal-Wallis, la cual arrojó un valor de  $p < 0.05$ . Este resultado indica que existen diferencias significativas entre los diferentes períodos de fertilización en relación al pH del suelo.

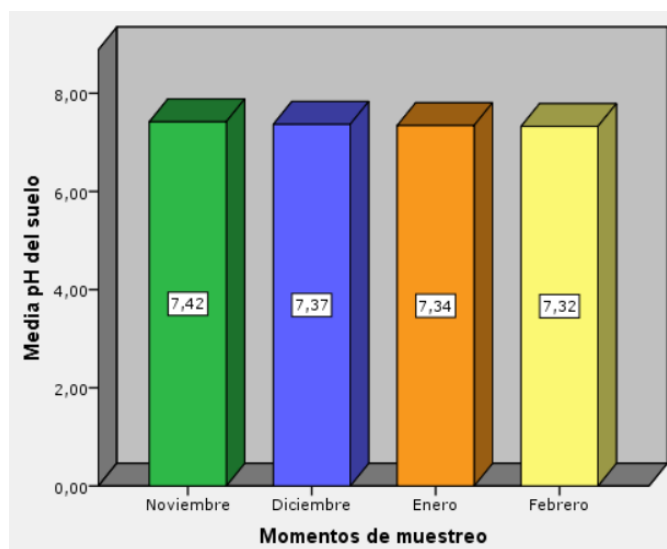


Figura 22: Grafica de la media de pH del suelo (pH) con respecto al tiempo de aplicación del Fertirriego

Los resultados muestran una ligera tendencia a la disminución en el pH del suelo a medida que avanza el tiempo, desde noviembre hasta febrero. En noviembre, el pH del suelo alcanzó su punto máximo con una media de, seguido de una disminución gradual en diciembre, enero y febrero. Es importante tener en cuenta que, aunque las diferencias en las medias del pH del suelo entre los meses pueden ser sutiles, incluso pequeñas variaciones en el pH pueden tener un impacto significativo en la disponibilidad de nutrientes para las plantas

Muestra 1 - Muestra 2	Sig. Ajust
Febrero – Enero	1,000
Febrero – Diciembre	0,902
Febrero – Noviembre	0,037
Enero – Diciembre	1,000
Enero - Noviembre	0,224
Diciembre - Noviembre	1,000

Tabla 23: Prueba de Kruskal-Wallis para la variable Conductividad eléctrica con respecto al tiempo del Fertirriego

La conductividad eléctrica del suelo en relación al tiempo de fertilización con la aplicación de sales a base de sulfatos y nitratos a través del riego fue evaluada mediante la Prueba de Kruskal-Wallis, la cual arrojó un valor de  $p < 0.05$ . Este resultado indica que existen diferencias significativas en la conductividad eléctrica del suelo

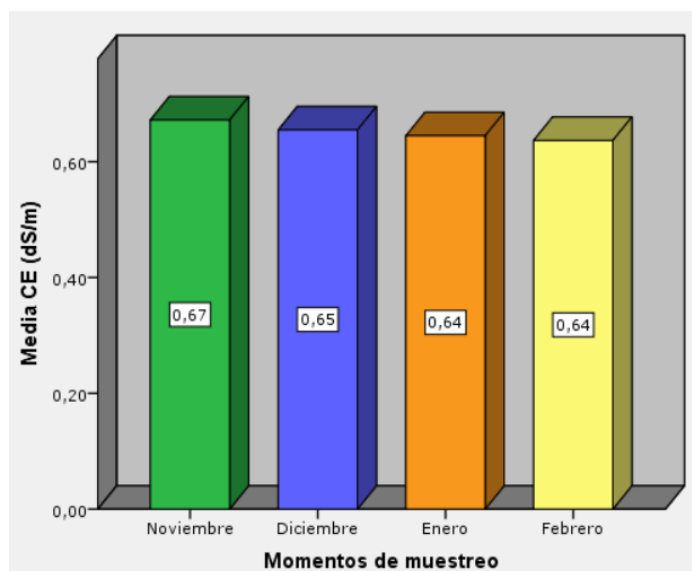


Figura 23: Grafica de la media de Conductividad eléctrica del suelo (CE) con respecto al tiempo de aplicación del Fertirriego

Los resultados muestran una ligera tendencia a la disminución en la conductividad eléctrica del suelo a medida que avanza el tiempo, desde noviembre hasta febrero, el tiempo de las aplicaciones influyo en la conductividad eléctrica del suelo, con una tendencia hacia la disminución a medida que avanza el tiempo de fertilización, acumulación temporal de sales en el suelo y, por lo tanto, un aumento en la conductividad eléctrica



Muestra 1 - Muestra 2	Sig. Ajust
Diciembre – Noviembre	0,040
Diciembre – Enero	0,000
Diciembre – Febrero	0,000
Noviembre – Enero	0,000
Noviembre – Febrero	0,000
Enero – Febrero	1,000

Tabla 24: Prueba de Kruskal-Wallis para la variable Porosidad del suelo con respecto al tiempo del Fertirriego

La porosidad del suelo en relación al tiempo de fertilización con la aplicación de sales a base de sulfatos y nitratos a través del riego fue evaluada mediante la Prueba de Kruskal-Wallis, la cual arrojó un valor de  $p < 0.05$ . Esto indica que existen diferencias significativas en la porosidad del suelo entre los meses de noviembre a febrero.

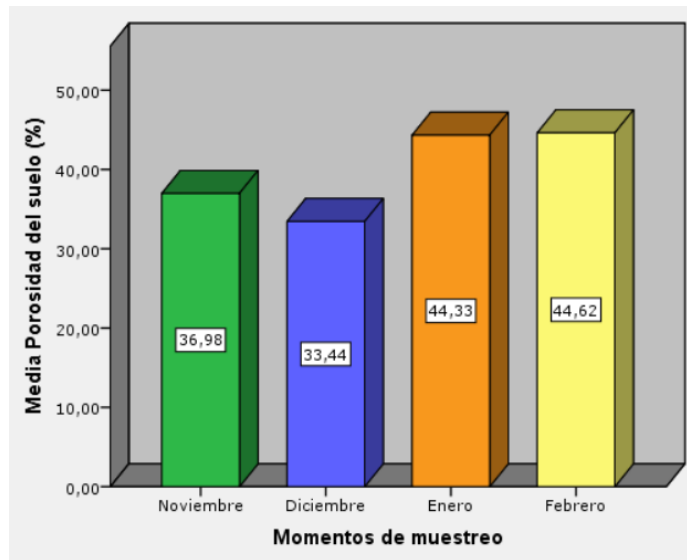


Figura 24: Grafica de la media de Porosidad del suelo (P%) con respecto al tiempo de aplicación del Fertirriego

Los resultados muestran una variación significativa en la porosidad del suelo a lo largo de los diferentes meses. Lo que aumenta su capacidad para retener agua. Esto puede ser beneficioso para la disponibilidad de nutrientes, ya que el agua retenida en los poros del suelo actúa como un medio de transporte para los nutrientes disueltos, como menciona Chinchilla et al., (2011) menciona que un rango de 44 a 55% es debido al alto contenido de arena. Valores que difieren debido al contenido de las partículas del suelo.

Muestra 1 - Muestra 2	Sig. Ajust
Diciembre – Noviembre	0,175
Diciembre – Enero	0,001
Diciembre – Febrero	0,000
Noviembre – Enero	0,764
Noviembre – Febrero	0,437
Enero – Febrero	1,000

Tabla 25: Prueba de Kruskal-Wallis para la variable Humedad volumétrica del suelo con respecto al tiempo del Fertirriego

La humedad volumétrica del suelo en relación al tiempo de fertilización con la aplicación de sales a base de sulfatos y nitratos a través del riego fue evaluada mediante la Prueba de Kruskal-Wallis, la cual arrojó un valor de  $p < 0.05$ . Esto indica que existen diferencias significativas en la humedad volumétrica del suelo entre los meses de diciembre a febrero.

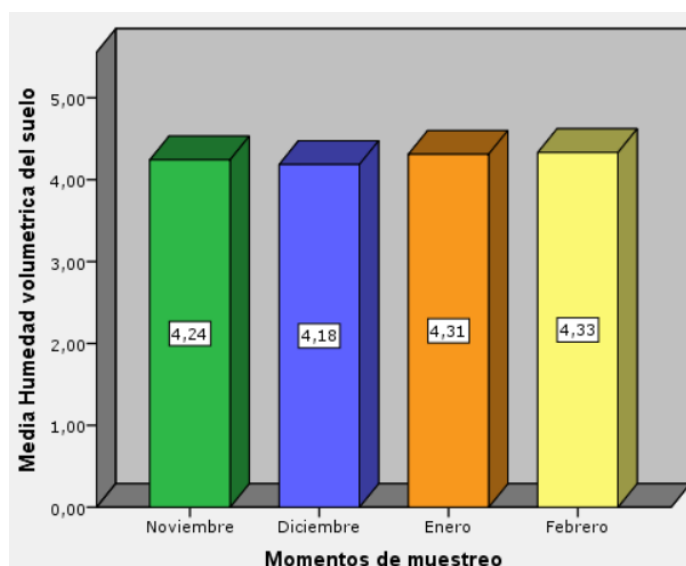


Figura 25: Grafica de la media de Humedad volumétrica del suelo (H%) con respecto al tiempo de aplicación del Fertirriego

Esta variación en la humedad volumétrica del suelo puede estar influenciada por una serie de factores, incluyendo la cantidad y la distribución de la precipitación, la temperatura, la textura del suelo y la evaporación. En los meses de invierno, de noviembre a diciembre por el fenómeno del niño experimenten un aumento en la humedad del suelo debido a las condiciones climáticas más húmedas, por la frecuencia de precipitaciones en la zona de estudio. Duarte López (2021) señala que existe una varicon del 13.45% en relacion de la muestras analizadas, incluyendo una precipitacion alta en la zona de estudio

## 5. Conclusiones

- Se determinó que los efectos del fertirriego en los cambios de Densidad Aparente fueron muy notables en los diferentes tratamientos con respecto al tiempo de la fertilización, lo cual se obtiene que el T3 obtuvo un rango aceptable de Densidad aparente al concluir el tiempo de aplicación por lo tanto el suelo es relativamente compacto, pero no tan pesado como en el caso de densidades más altas de T1 y T2, con respecto al T0. Esto implica que hay una densidad moderada de partículas en el suelo, por otro lado, la capacidad del suelo para retener Potasio en forma de ion de Sulfato de Potasio y liberarlo, lo mismo sucede con el Calcio presente en el fertilizante y una lixiviación moderada de Nitrógeno. Por consiguiente la Densidad Real, en el T3 a pesar de ser un valor alto, es con diferencias el menor con respecto a los tratamientos anteriores, por lo cual con la dosis aplicada en el riego sería a largo plazo una alternativa adecuada para su continuo descenso y de esa manera la circulación del agua dentro del suelo sea mucho más favorable al momento de la distribución de los nutrientes aplicados en el riego
- Se evaluó el impacto del fertirriego en la variación del pH del suelo indicando que la aplicación continua de los diversos fertilizantes, aun en menores dosis, mostraron que no ejerce ninguna acción significativa sobre el pH del suelo. Lo cual indica que no hubo una variación a cambios altos de salinidad o de alcalinidad, manteniendo rangos aceptables de pH con aplicaciones equilibradas de macro y micronutrientes en cada fertilizante.
- Se evaluó el efecto de dosis de aplicación de fertilizantes en la conductividad eléctrica del suelo, encontrándose con el caso que el T3 que a diferencia del T0, T1 y T2 obtuvo una conductividad eléctrica de 0.60 mS/cm al concluir el estudio lo que indica una conductividad moderada en el suelo y favorecer la movilidad de los iones esenciales para las plantas a través del suelo y su posterior absorción en cultivos con alta demanda de nutrientes.
- Se evaluó el efecto de la dosificación de fertilización en la porosidad del suelo, teniendo al T3 como principal Tratamiento que varía significativamente en los meses de aplicación lo que daría que el fertirriego mejoraría la infiltración de agua en el suelo, lo que puede contribuir a mantener una buena estructura del suelo y promover una porosidad adecuada. El agua transporta los nutrientes hacia las raíces de las plantas y puede contribuir a mantener la porosidad, con respecto a

los demás tratamientos, que también serían una buena alternativa de aplicación de la dosificación. Por otro lado, el fertirriego proporciona una fuente regular de agua y nutrientes directamente a las raíces de las plantas. Esto puede ayudar a mantener una humedad volumétrica más constante en el suelo al proporcionar un suministro constante de agua en los tratamientos T1, T3 y T2 respectivamente con una mayor humedad, sin embargo, si se desea mantener un valor más constante, el T3 es una alternativa aceptable, manteniendo un rango de humedad asimilable y permitir un control más preciso del mismo y aumentar la disponibilidad de nutrientes en el suelo al entregarlos directamente a las raíces de las plantas.

## **6. Recomendaciones**

- Se recomienda realizar un análisis de suelo antes de cualquier aplicación de fertirriego, de manera que se pueda optimizar con detalle las dosis a aplicar en el suelo en relación a los resultados Físicos-Químicos
- Se recomienda realizar análisis detallados de la textura del suelo, la capacidad de retención de agua y la presencia de nutrientes para adaptar el programa de fertirriego a las características específicas del suelo.
- Se recomienda realizar controles continuos para determinar la dosis óptima de fertilización que maximice el crecimiento y rendimiento de los cultivos sin comprometer la salud del suelo.

## 7. Bibliografía

- Álvarez H, J. H. (25 de Mayo de 2011). *cultivodeplatano.com*. Obtenido de <https://cultivodeplatano.com>: <https://cultivodeplatano.com/2011/05/25/enmiendas-cal-o-yeso/>
- Arviza, V. (2001). Dispositivos para fertirrigación en sistemas de riego localizado. *Vida Rural*, 34-30.
- Baerga, C. (2011). *Los macronutrientes y micronutrientes en el tejido vegetal*. Obtenido de [http://alacima.uprrp.edu/alfa/materiales%20curriculares/desarrollo%20profesional/ciencia/coMposta/los%20Macronutrientes%20y%20Micronutrientes%20en%20el%20tejido%20vegetal%20\(ge\).doc/](http://alacima.uprrp.edu/alfa/materiales%20curriculares/desarrollo%20profesional/ciencia/coMposta/los%20Macronutrientes%20y%20Micronutrientes%20en%20el%20tejido%20vegetal%20(ge).doc/)
- Banerjee, S., Sengupta, C., & Standing, D. (2010). Stress induced phosphate solubilization by *Arthrobacter* sp. and *Bacillus* sp. Isolated from tomato rhizosphere. . *Australian Journal of Crop Science*, 378-383. .
- Beltrán, M. E. (2013). La solubilización de fosfatos como estrategia microbiana para promover el crecimiento vegetal. *Corpoica*, 101-113.
- Cadahía, C., Eymar, E., & Ignacio , M. (2002). Ventajas agronómicas, económicas y ecológicas de la fertirrigación. "*VIDA RURAL*". N° 143., 31-34.
- Cañadas Cruz, L. (1983). *EL mapa bioclimático y ecológico del Ecuador*. Mag-Pronareg. Quito.
- Cardenas Palomo, J. O. (2004). Manejo de fertirriego en tomate bajo diferentes sistemas de produccion con plasticos . *Centro de investigacion en Química aplicada (CIQA)*, 8 - 9.
- Castillo, C. (2005). Selección y calibración de indicadores locales y técnico para evaluar la degradación de los suelos laderas, en la microcuenca cuscamá el tuma - la dalia matagalpa. *Universidad nacional agraria*, 15.
- Chinchilla, M., Mata, R., & Alvarado, A. (2011). *Andisoles, Inceptisoles Y Entisoles De La Subcuenca Del Río Pirrís, Región De Los Santos*. Talamanca, Costa Rica.: Agronomia Costarricense.
- Correa Gonzáles , B. G. (2004). Automatizacion de sistemas de riego e inyeccion de nutrimentos . 10.
- Duarte López , I. S. (2021). *Evaluación de la técnica herculizado para la descompactación de suelos en el cultivo de banano (musa aaa), cantón baba*.
- FAO. (2006). *Propiedades Físicas del Suelo*.
- Fernández , T. M. (2007). Fosforo: amigo o enemigo. *Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)*.
- Flores Delgadillo , L., & Alcalá Martínez , J. R. (2010). *Manual de Procedimientos Analíticos*.
- GAD. (2021). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*.
- Garcia, F. (2004). Propiedades Físicas del Suelo. *FACULTAD DE AGRONOMÍA UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA*, 68.

- Gonzales Cervantes, G., & Sánchez Cohein, I. (2004). . Morfología de los poros de circulación preferencial del agua en el suelo mediante técnicas de análisis de imagen. 15-23.
- Hernández, R. (Septiembre de 2011). <http://www.forest.ula.ve>. Obtenido de <http://www.forest.ula.ve>: <http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/nutricionmineral/>
- Horowitz, A., & Walling, D. (2005). *Sediment Budgets. International Association of Hydrological Sciences IAHS Press.* 262-270.
- Ingaramo, O., Paz Ferreiro, J., Miras Avalo, J., & Vidal Vazquez, E. (2007). Caracterización de las propiedades generales del suelo en una parcela experimental con distintos sistemas de laboreo.
- Kasten Dumroese, R., Landis, T., & Wilkinson, K. (2012). Riego y fertirriego. *PRODUCCIÓN DE PLANTAS EN VIVEROS FORESTALES*, 3.
- Larriva Coronel, N. (2003). Síntesis de la importancia del Potasio en el suelo y planta. 23 - 24.
- Manzano, J., Virginia Palau, C., Moreira de Azevedo, B., Vieira do Bomfim, G., & Vieira Vasconcelos, D. (2015). *Diseño y alternativas en la instalación de inyectores Venturi en riego localizado.*
- Martínez Barrera, L. (1998). Manual de fertirrigación. *Centro regional de investigación intihuasi*, 14.
- Mazuela Águila, P. C., & De la Riva Morales, F. (2013). *Manual de Fertirriego*. Arica.
- Mengel, K., & Kirkby, E. (2000). *PRINCIPIOS DE NUTRICION VEGETAL* . Basilea: Instituto Internacional de la Potasa.
- Morales Garcia, I. (2015). Tesis doctoral: El riego y la fertilización son prácticas agrícolas ampliamente utilizadas. Fertilizar con tecnología de riego permite a los productores ahorrar tiempo, recursos y esfuerzo al realizar simultáneamente dos tareas: fertilización y riego. 5.
- Novillo, D., & Carrillo, D. (2018). Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos, Ecuador. *TEMAS AGRARIOS*, 1-11.
- Pereira Morales, A. C., & Maycotte Morales, C. C. (2011). *SISTEMAS DE PRODUCCION VEGETAL II*. Caldas.
- Piaggese, A. (2004). Los microelementos en la nutrición vegetal . *VALAGRO* , 10-57.
- Pizarro , F. (1996). *Riego localizados de alta frecuencia*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Porta, J., & López Acevedo, M. (2008). Introducción a la edafología (Uso y protección del suelo). *Ed. Mundi - Prensa* .
- Portia Adade , W., Olivier , C., Atkinson, C. J., & Owusu Essegbey , G. (2017). Impact of climate variability on pineapple production in Ghana.
- Quizhpe Pineda, D. D. (2010). *Instalacion de un cabezal de riego para un sistema establecido que comprende un invernadero, umbraculo y patio de aclimatizacion* . Cuenca.
- Ramos, F. (2011). Nutrición vegetal. Universidad Autónoma de Aguascalientes.

- Rebolledo, S. (2017). Conductividad eléctrica y salinidad - Redagícola Chile.
- Rubio , G. (2002). Conectando el fósforo del suelo con la planta. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 16, 19-23.
- Salamanca, A. (2005). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona Cafetera Colombiana. *Centro Nacional de Investigaciones de Café*, 1-17.
- Sanchez , P. (2005). Selección y calibración de indicadores locales 42 y técnico para evaluar la degradación de los suelos laderas. *Suelos del trópico, características y manejo*, 103.
- Santacruz de León, G., & Santacruz de León, E. E. (2020). Evaluación del desempeño del riego por aspersión en lotes con cultivo de banana en Chiapas, México.
- Saúl Brenes, G. (2017). Parámetros de producción y calidad de los cultivares de banano FHIA-17, FHIA-25 y Yangambi .
- Sonneveld, & Voogt. (2009). Plant Nutrition of Greenhouse Crops.
- Urrestarazu, M., & Garcia, M. (2000). Modeling electrical conductivity management in a recirculating nutrient solution under semi-arid conditions. *J. Plant Nutrition*, 457-468.
- Villaseñor, D. (2016). Fundamentos y procedimientos para análisis físicos y morfológicos del suelo. *Universidad Tecnica de Machala*, 23-27.
- Villaseñor, D., Chabla, J., & Luna, E. (2015). Caracterización física y clasificación taxonómica de algunos suelos dedicados a la actividad agrícola de la provincia de El Oro.
- VITRA. (2020). La gran importancia del potasio en las plantas . *Vitra*.
- VITRA. (Octubre de 2020). [www.agrovitra.com](https://www.agrovitra.com/wp/wp-content/uploads/2020/10/Importancia-del-Nitr%C3%B3geno-en-las-plantas-Fernanda-Habit.pdf). Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.agrovitra.com/wp/wp-content/uploads/2020/10/Importancia-del-Nitr%C3%B3geno-en-las-plantas-Fernanda-Habit.pdf
- Yanez Araujo, J. A. (2022). Comportamiento del sistema radicular del cultivo de banano, por efecto del fertirriego en un suelo inceptisol.

## 8. Anexos



*Anexo 1: Realización de la calicata*



*Anexo 2: Extracción de la muestra de suelo*





*Anexo 4: Tamización de las muestras de suelo*



*Anexo 3: Instalación del sistema de inyección de fertilizante*