



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE ÁCIDOS ORGÁNICOS EN LA  
SOLUBILIZACIÓN DE FÓSFORO EN EL CULTIVO DE TRIGO (*Triticum aestivum*  
L.) EN LA GRANJA EXPERIMENTAL LA PRADERA, CANTÓN ANTONIO ANTE

Trabajo de grado para obtener el título de Ingeniero Agropecuario

AUTOR(A):

Luis Fernando Túquerres Conlago

DIRECTOR(A):

Gabriel Alejandro Chimbo Yépez Msc

Ibarra, agosto 2020



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y  
AMBIENTALES  
UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN Nro. 001-073-CEAACES-2013-13  
Ibarra-Ecuador

---

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y  
AMBIENTALES

**CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA**

Ibarra, 18 de agosto del 2020

Certifico que el trabajo fue desarrollado por el Sr. Túquerres Conlago Luis Fernando, con cedula de ciudadanía N° 100344523-4 bajo mi supervisión.

Atentamente,

MSc. Gabriel Chimbo  
**DIRECTOR TRABAJO TITULACIÓN**

---

**Misión Institucional:**

Contribuir al desarrollo educativo, científico, tecnológico, socioeconómico y cultural de la región norte del país. Formar profesionales críticos, humanistas y éticos comprometidos con el cambio social.



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100345234		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Túquerres Conlago Luis Fernando		
DIRECCIÓN:	La florida; Lotización 18 de julio, Agustín Cueva Dávila y Manuel Sánchez		
EMAIL:	<a href="mailto:luistuquerresconlago@gmail.com">luistuquerresconlago@gmail.com</a>		
TELÉFONO FIJO:	062632545	TELÉFONO MÓVIL:	0980524654

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE ÁCIDOS ORGÁNICOS EN LA SOLUBILIZACIÓN DE FÓSFORO EN EL CULTIVO DE TRIGO ( <i>Triticum aestivum</i> L.) EN LA GRANJA EXPERIMENTAL LA PRADERA, CANTÓN ANTONIO ANTE
AUTOR (ES):	Túquerres Conlago Luis Fernando
FECHA: DD/MM/AAAA	13/08/2020
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería Agropecuaria
ASESOR /DIRECTOR:	Msc. Gabriel Alejandro Chimbo Yépez

#### 2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los...13.... días del mes de...agosto.... De 2020.....

EL AUTOR:

(Firma).....  
Nombre: Luis Túquerres

## **AGRADECIMIENTO**

*Mi eterno agradecimiento a mi madre Elba Marina quien supo guiarme y es el soporte principal de mi vida.*

*Mi más profunda gratitud a mi director Ing. Gabriel Chimbo quien supo guiarme en el desarrollo de mi trabajo de titulación, brindándome su amistad y su enseñanza a lo largo de mi investigación. A mis maestros Lic. Ima Sánchez, Ing. Lucía Vásquez y Dra. Julia Prado quienes me ayudaron con sus tutorías para llegar a culminar esta meta.*

*Finalmente, a mis amigos Cristian Andrade, Edwin Ponce, quienes a lo largo de mi vida me ayudaron en tiempos difíciles y me han apoyado con sus consejos, a Sebas Peña y Pancho Jiménez quienes me brindaron su sincera amistad y apoyo en la Escuela de Ingeniería.*

## **DEDICATORIA**

*La presente investigación va dedicada a mi madre Elba Marina quien es el pilar fundamental de mi familia, su amor y comprensión guiaron a mi persona y a mis hermanos, a mi padre Luis Eladio que siempre está ahí para apoyarme en todo lo que me proponga y a mis hermanos: Vale, Dieguito y Wilmer los cuales son únicos y los amo mucho.*

*Hago mención especial a mi esposa Evelyn Patricia Flores Romo y a mi Hija **Zoé Fernanda** quienes mueven mi mundo día tras día, gracias por todo el apoyo y el amor que me brindan a diario y me ayudan a esforzarme más y salir adelante.*

*Con todo el amor....*

*Luis Fernando Túquerres Conlago*

## **APORTE DE LA INVESTIGACIÓN AL PLAN NACIONAL DE DESARROLLO**

### **PLAN NACIONAL DE DESARROLLO 2017-2021 “TODA UNA VIDA”**

**Objetivo:** Desarrollar las capacidades productivas y del entorno para lograr la soberanía alimentaria y el Buen Vivir Rural

**Sub Línea 6.3:** Impulsar la producción de alimentos suficientes y saludables, así como la existencia y acceso a mercados y sistemas productivos alternativos, que permitan satisfacer la demanda nacional con respeto a las formas de producción local y con pertinencia cultural

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** DESARROLLO AGROPECUARIO Y FORESTAL SOSTENIBLE

**TIPO DE TRABAJO DE GRADO:** AGRÍCOLA

## ÍNDICE GENERAL

CAPITULO I.....	13
1. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1 Antecedentes.....	13
1.2 Problema.....	14
1.3 Justificación.....	15
1.4 Objetivos.....	15
1.4.1 Objetivo general.....	15
1.4.2 Objetivos específicos.....	16
1.5 Hipótesis.....	16
CAPITULO II.....	17
2. MARCO TEÓRICO.....	17
2.1. Fósforo (P).....	17
2.2. Formas de P en el suelo.....	17
2.2.1 Fósforo orgánico.....	17
2.2.2 Fósforo inorgánico.....	17
2.3. Ciclo de P.....	18
2.4. Funciones del fósforo en la planta.....	19
2.5. Deficiencias de fósforo en las plantas.....	19
2.6. Bacterias solubilizadoras de P.....	20
2.7. Ácidos orgánicos.....	20
2.7.1. Mecanismos de acción de los ácidos orgánicos.....	20
2.7.2. Tipos de ácidos orgánicos que solubilizan fosfatos.....	21
2.8. Descripción de los ácidos más relevantes en la solubilización de fósforo.....	22
2.8.1 Ácido glucónico.....	22
2.8.2. Ácido cítrico.....	22
2.8.3. Ácido oxálico.....	22
2.8. Trigo.....	22
2.8.1. Clasificación botánica.....	22
2.8.2. Variedad INIAP-Imbabura 2014.....	23
2.8.3 Características.....	23
2.8.4. Labranza.....	24
2.8.4.2. Cantidad de semilla.....	24
CAPÍTULO III.....	26
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	26

3.1. Caracterización del área de estudio .....	26
3.2. Materiales y equipos .....	27
3.3. Métodos .....	27
3.3.1. Factores de estudio .....	27
3.3.2. Diseño experimental .....	28
3.3.3. Características del experimento .....	29
3.3.4. Características de las unidades experimentales .....	29
3.3.5. Análisis estadístico .....	29
3.3.6. Análisis funcional .....	30
3.4. Variables por estudiar .....	30
3.4.1. Contenido de P en el suelo .....	30
3.4.2. Peso de 1000 granos .....	30
3.4.3. Porcentaje de materia seca.....	31
3.4.4. Altura de planta .....	31
3.4.5. Número de espigas.....	32
3.4.6. Tamaño de espigas.....	32
3.4.7. Rendimiento.....	32
3.4.8. Análisis económico.....	33
3.5. Manejo específico del experimento .....	33
3.5.1. Toma de muestras de suelo.....	33
3.5.2. Preparación de suelo.....	33
3.5.3. Siembra.....	34
3.5.4. Delimitación del área de experimento .....	34
3.5.5. Fertilización .....	35
3.5.6. Controles sanitarios .....	35
3.5.7. Control de malezas .....	35
3.5.8. Cosecha.....	36
CAPÍTULO IV .....	37
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	37
4.1. Altura de la planta.....	37
4.2. Número de espigas.....	38
4.3. Tamaño de espigas.....	39
4.4. Porcentaje de materia seca.....	41
4.6 Peso de 1000 granos .....	43
4.7. Contenido de P en el suelo. ....	43



4.8. Análisis económico.....	44
CAPÍTULO V.....	48
5.1. CONCLUSIONES.....	48
5.2. RECOMENDACIONES.....	48
6. REFERENCIAS .....	49

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Tipos de ácidos orgánicos que solubilizan fosfatos</i> .....	<b>21</b>
Tabla 2 <i>Clasificación taxonómica del trigo</i> .....	23
Tabla 3 <i>Características de la variedad INIAP- Imbabura 2014</i> .....	24
Tabla 4 <i>Caracterización del área de estudio</i> .....	26
Tabla 5 <i>Materiales y métodos</i> .....	27
Tabla 6 <i>Tratamientos experimentales</i> .....	28
Tabla 7 <i>Características del experimento</i> .....	29
Tabla 8 <i>Características de las unidades experimentales</i> .....	29
Tabla 9 <i>Análisis de varianza</i> .....	30
Tabla 10 <i>Medias para la variable tamaño de espigas</i> .....	40
Tabla 11 <i>Medias de la variable porcentaje de materia seca</i> .....	41
Tabla 12 <i>Medias de la variable rendimiento</i> .....	42
Tabla 13 <i>Medias de la variable peso de 1000 granos</i> .....	43
Tabla 14 <i>Análisis económico de los costos de producción e ingresos por ventas del cultivo de trigo</i> .....	46
Tabla 15 <i>Análisis económico por tratamiento expresado en hectáreas del cultivo de trigo</i> .....	47

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo del fósforo.....	19
Figura 2. Mapa de ubicación de la granja “La Pradera” .....	26
Figura 3. Distribución de bloques.....	28
Figura 4. Peso de 1000 granos.....	30
Figura 5. Porcentaje de materia seca .....	31
Figura 6. Altura de planta .....	31
Figura 7. Número de espigas .....	32
Figura 8. Tamaño de espigas .....	32
Figura 9. Rendimiento .....	32
Figura 10. Toma de muestras de suelo. ....	33
Figura 11. Preparación de suelo. ....	34
Figura 12. Siembra variedad INIAP-Imbabura 2014. ....	34
Figura 13. Delimitación del área de experimento.....	34
Figura 14. Fertilización.....	35
Figura 15. Aplicación de ácidos orgánicos.....	35
Figura 16. Altura de plantas en el cultivo de trigo .....	37
Figura 17. Número de espigas en el cultivo de trigo .....	39
Figura 18. Contenido de P en el suelo. ....	44

EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE ÁCIDOS ORGÁNICOS EN LA  
SOLUBILIZACIÓN DE FÓSFORO EN EL CULTIVO DE TRIGO (*Triticum aestivum*  
L.) EN LA GRANJA EXPERIMENTAL LA PRADERA, CANTÓN ANTONIO ANTE

Luis Fernando Túquerres Conlago

lftuquerresc@utn.edu.ec

RESUMEN

El fósforo elemento esencial para la agricultura, se clasifica como nutriente primario esto significa que los cultivos requieren de él en cantidades relativamente altas. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de la aplicación de ácidos orgánicos en la cantidad de fósforo remanente en el suelo, la altura de las plantas, la longitud de la espiga, número de espigas por planta, y rendimiento. La aplicación de ácidos orgánicos produjo una mayor longitud de espiga, mayor cantidad de fósforo extraído del suelo. Mientras que las variables rendimiento, porcentaje de materia seca y peso de 1000 granos no se encontró diferencia significativa. Esto da a conocer que existe una acción sinérgica entre el ácido y la fertilización fosfatada en el contenido de fósforo en el suelo, el ácido cítrico funciona como solubilizador de fósforo cuando no se aplica fertilización.

**Palabras clave:** Agricultura, suelo, efecto

EFFECT OF THE APPLICATION OF ORGANIC ACIDS IN THE  
SOLUBILIZATION OF PHOSPHORUS IN WHEAT CROP (*Triticum aestivum*  
L.) IN THE EXPERIMENTAL FARM LA PRADERA, CANTÓN ANTONIO ANTE

SUMMARY

Phosphorous, an essential element for agriculture, is classified as a primary nutrient, which means that crops require it in relatively high amounts. The objective of this work was to determine the effect of the application of organic acids on the amount of phosphorus remaining in the soil, the height of the plants, the length of the spike, number of spikes per plant, and yield. The application of organic acids produced a longer spike length, a greater amount of phosphorus extracted from the soil. While the variables yield, percentage of dry matter and weight of 1000 grains, no significant difference was found. This reveals that there is a synergistic action between acid and phosphate fertilization on the phosphorus content in the soil, citric acid works as a phosphorus solubilizer when fertilization is not applied.

**Keywords:** Agriculture, soil, effect

# CAPITULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

Según Fernández (2007), el fósforo es uno de los diecinueve elementos considerados como esenciales para la vida de las plantas. Constituye un componente primario de los sistemas responsables de la capacitación, almacenamiento y transferencia de energía. El P está envuelto en varias funciones claves dentro de la planta que incluyen transferencia de energía, fotosíntesis, transformación de azúcares y almidones, transporte de nutrientes a través de la planta y transferencia de las características genéticas de una generación a la siguiente. Se clasifica como un nutriente primario, eso significa que los cultivos requieren de él en cantidades relativamente altas (Munera y mesa 2014).

La poca disponibilidad de P en el suelo conlleva a la desnutrición de las plantas, por ende, este macro nutriente se suple normalmente con la aplicación de fertilizantes de síntesis química y roca fosfórica de origen natural. Sin embargo, los impactos ambientales de ésta práctica y el agotamiento inminente de las reservas globales de la roca fosfórica, son razones que impulsan a la búsqueda de alternativas sostenibles que permitan satisfacer los requerimientos de P de los cultivos en la agricultura moderna (Patiño y Sánchez, 2012).

El P ingresa a las plantas desde la raíz, gracias a las capas externas de las células del sistema radicular. Se absorbe principalmente como ión de ortofosfato primario (Fosfato diácido  $H_2PO_4^-$ ) o también por medio iones de fosfato secundario (Fosfato ácido -  $HPO_4^{2-}$ ), esta última forma incrementa los niveles de pH (Corrales, Caicedo, Gómez, Ramos y Rodríguez 2017).

El P se puede agrupar en dos fracciones: fósforo inorgánico (Pi) y fósforo orgánico (Po), el primero se refiere al P de naturaleza mineral y el segundo al que se encuentra unido o acompañado con la materia orgánica (Cisneros, Martín, Realpe y Fuenmayor, 2017).

El Po no se encuentra disponible para la planta porque ha sufrido el proceso de inmovilización. La inmovilización de fósforo se produce al momento de incorporarse sustancias orgánicas con alta relación Carbono/Fósforo (C/P), los microorganismos del suelo toman el P necesario para la síntesis celular. Si los restos vegetales tienen menos

de 0.2-0.3 % de  $P_2O_5$ , la liberación de fosfatos asimilables para las plantas no se lleva a efecto, pues es fijado completamente por los microorganismos (Folgeras, 2008).

Además, la disponibilidad de P es cada vez más limitada debido a la progresiva insuficiencia de sus fuentes naturales, su relativa escasez edáfica, elevada retención por parte de la matriz del suelo, la falta de reposición natural y su baja movilidad comparada con la de otros nutrientes (Beltrán, 2014).

En el suelo existen microorganismos con la facultad de convertir el P insoluble en formas aprovechables para las plantas, lo que ayuda a que este elemento esté disponible, entre estos inciden las bacterias solubilizadoras de fosfatos (BSF) que son una buena alternativa para disminuir la cantidad de fertilizantes fosfatados que se aplican a los distintos cultivos (Restrepo et al., 2015).

Las bacterias solubilizadoras de P actúan mediante la producción de ácidos orgánicos de bajo peso molecular, entre los cuales se puede enumerar: ácido glucónico, 2ceto-glucónico oxálico, cítrico, butírico, malónico, láctico, succínico, málico, acético, fumárico, adípico (Corrales et al., 2017).

La adición de los ácidos orgánicos de forma individual conlleva al incremento del P disponible en los suelos, por ello, al incrementar 1 microlitro a la solución nutritiva Stainer tiene un aumento del 69% en la producción total, (Pérez, Benavides, Vásquez y Ramírez, 2014).

## **1.2 Problema**

El P es rápidamente adsorbido a la superficie de las partículas del suelo transformándose en complejos insolubles y no disponibles para las plantas (Szpinak y Nieto, 2017). Los suelos agrícolas contienen grandes cantidades de P, pero en formas no asimilables por las plantas. Se calcula que el 70 % del fósforo inmóvil proveniente de la aplicación de productos agroquímicos se convierte rápidamente en complejos insolubles, tales como fosfato de calcio, de aluminio e ión fosfato (Restrepo et al, 2015).

Una de las alternativas para solucionar el problema de la falta de P asimilable ha sido la utilización de fertilizantes fosfatados, sin embargo, estos acarrear problemas como: la incorporación a los suelos de cantidades muy altas de fosfato generalmente no interfiere con el crecimiento de las cosechas, pero puede afectar a la biodiversidad de la flora en

ecosistemas naturales, mientras que el aumento de la migración de fosfatos a las masas de agua próximas altera también el equilibrio biológico (Comisión Europea, 2013).

### **1.3 Justificación**

La agricultura moderna depende de la aplicación de P para mantener la productividad de los cultivos, este elemento es el macronutriente más limitado con respecto a biodisponibilidad debido a su rápida precipitación y adsorción en suelo (Meneses et al., 2016).

El principal mecanismo microbiológico por el cual los compuestos fosfatados son solubilizados es la disminución del pH del medio extracelular hasta valores aproximados a 2.0 que son necesarios para que se pueda llevar a cabo la solubilización. Este evento se suscita cuando se liberan ácidos orgánicos de bajo peso molecular mientras tanto los microorganismos, cuyos atributos quelantes ayudan a la formación de compuestos insolubles con metales, con la consecuente liberación del fosfato (Beltrán, 2014).

Varios estudios han adjudicado a los ácidos orgánicos muchas funciones en el suelo, incluyendo la adquisición de nutrientes por la raíz, la solubilización mineral, quimiotaxis microbiana y la detoxificación de metales; sin embargo, su papel en la mayoría de estos procesos sigue siendo desconocido debido a la falta de evidencias experimentales que expliquen las reacciones de los ácidos orgánicos en el suelo (Corrales et al, 2017).

Los ácidos, glucónico y 2-cetoglucónico son los agentes más frecuentemente reportados como solubilizadores de fosfato (Paredes y Espinoza, 2010). Adicionalmente, se ha reportado que los ácidos orgánicos incrementan la disponibilidad de micronutrientes, como Fe, Zn y Mn, en el suelo al disminuir el pH en la rizósfera, o por la quelación de estos micronutrientes (Munera y Mesa, 2014).

### **1.4 Objetivos**

#### **1.4.1 Objetivo general**

Determinar el efecto de la aplicación de ácidos orgánicos en la disponibilidad de fósforo y el rendimiento del cultivo de trigo.

#### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Determinar el efecto de los ácidos orgánicos en la disponibilidad de fósforo en el suelo.
- Evaluar la influencia de los ácidos orgánicos en las variables agronómicas y en el rendimiento de trigo.
- Analizar la rentabilidad de la aplicación de ácidos orgánicos para mejorar la disponibilidad de fósforo en el suelo.

#### **1.5 Hipótesis**

- **Ho:** No existe diferencia en los efectos producidos en la disponibilidad fósforo con la utilización de ácidos orgánicos.
- **Ha:** La aplicación de ácidos orgánicos resultará en un incremento de la disponibilidad de fósforo.



## CAPITULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Fósforo (P)

El fósforo (P) es un nutriente fundamental encontrado en la naturaleza y como elemento químico es necesario, debido a que promueve el desarrollo de las plantas y participa en procesos metabólicos como la fotosíntesis, la transferencia de energía y la degradación de carbohidratos (Corrales et al, 2017).

#### 2.2. Formas de P en el suelo

Desde el punto de vista de la fracción del suelo que aporta el nutriente es posible separar al P en dos grandes formas: fósforo orgánico Po y fósforo inorgánico Pi (Sanzaso, 2014).

##### 2.2.1 Fósforo orgánico

La principal fuente de fósforo orgánico son los desechos vegetales y animales, los compuestos fosfatados más importantes de la materia orgánica son nucleoproteínas, fosfolípidos y fosfoazúcares (Sanzaso, 2014).

**Fósforo soluble:** es también llamado fósforo lábil, y su disponibilidad es más lenta. La adsorción de fosfatos, como en general toda adsorción aniónica en el suelo, es un fenómeno que depende del pH. A pH ácidos aumentan las cargas positivas de los coloides y, por ende, aumenta la adsorción. Estos iones forman parte del enjambre de iones que rodean a las partículas coloidales y están en constante movimiento. Representan del 15 al 30 % del fósforo inorgánico (Sanzaso, 2014).

##### 2.2.2 Fósforo inorgánico

El P inorgánico se clasifica en tres formas asimilables, donde depende de la disponibilidad para las plantas descritas a continuación.

### **2.2.2.1 Fósforo soluble**

Son las formas aprovechables para las plantas de manera inmediata, su concentración en el suelo es muy baja que va desde los 200 hasta los 400g/ha en una capa de 30 centímetros de suelo (Sanzaso, 2014).

### **2.2.2.2 Fósforo intercambiable**

La disponibilidad del P intercambiable es más lenta este se encuentra en mayor cantidad que va desde los 800 a 2500 kilogramos de  $P_2O_5$  por hectárea (Sanzaso, 2014).

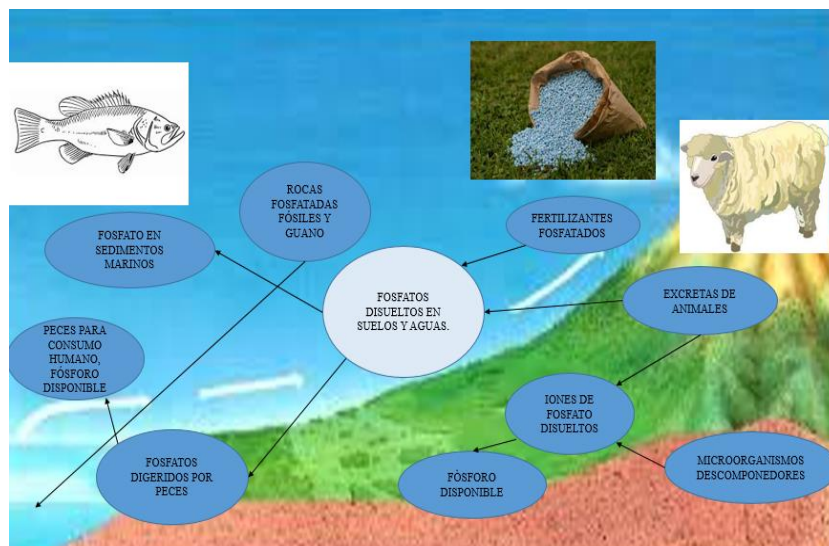
### **2.2.2.3 Fósforo insoluble**

Está formado por parte de los minerales primarios y secundarios, constituye la gran reserva de fósforo inorgánico en el suelo, la insolubilización se produce a la precipitación como fosfatos cálcicos en medio alcalino o como fosfatos de hierro y aluminio en medio ácido (Sanzaso, 2014).

## **2.3. Ciclo de P**

El ciclo del fósforo en el suelo (Figura 1), involucra tanto a la biomasa microbiana, como a la materia orgánica e inorgánica, incluyendo diferentes fuentes de P por eso este ciclo es catalogado como complejo y dinámico. Las fuentes de fósforo encontradas se dividen en fósforo inorgánico disponible (Pi), fósforo orgánico, fósforo absorbido, y fósforo mineral primario (Corrales et al., 2017).

El P se mueve lentamente desde los depósitos de fosfato en la tierra y los sedimentos de los mares a los organismos vivos, para luego regresar a la tierra y al océano. El suelo contiene minerales ricos en fósforo, los cuales permanecen ahí por largos periodos de tiempo y lentamente el fósforo se hace disponible para las plantas, gracias a las variaciones en las constantes de solubilidad de los diferentes minerales (Corrales et al., 2017).



**Figura 1. Ciclo del fósforo**

Fuente: Corrales et al., (2017).

#### 2.4. Funciones del fósforo en la planta

El P es parte de los dieciséis elementos estimados como fundamentales para el desarrollo de las plantas. Es un componente esencial en los compuestos responsables de la captación, almacenamiento y transferencia de energía, además es primordial en la composición de las macromoléculas, tales como ácidos nucleicos y fosfolípidos, por lo que su papel está generalizado en todos los procesos fisiológicos (Fernández, 2007).

#### 2.5. Deficiencias de fósforo en las plantas

Las plantas con deficiencia de P son de color verde oscuro, pequeñas, delgadas y alargadas, el P es móvil en la planta y en suelos con baja concentración se mueve fácilmente de las hojas viejas a las hojas más jóvenes, los síntomas son más graves en las hojas viejas, donde aparecen primero, las hojas jóvenes, por lo general, no se ven afectadas. Aunque las hojas más viejas desarrollan un color morado oscuro en las puntas, el cual avanza por todo el ancho de la hoja, hacia la base, el tallo y vainas de las hojas viejas se vuelven color morado rojizo, el crecimiento de la raíz también se reduce marcadamente en condiciones de deficiencia de P, produciendo menor masa radicular para explorar el suelo por agua y nutrientes. Generalmente, el P inadecuado deprime los procesos de utilización de carbohidratos, aun cuando continua la producción de estos compuestos por medio de la fotosíntesis. Las plantas que muestran estas deficiencias

sostienen un color verde más oscuro que las plantas adecuadamente nutridas además tienen la tendencia de tornarse de color morado (Sharma y Kumar, 2011).

El crecimiento y la maduración del cultivo se retrasa. El macollamiento de las plantas mal nutridas disminuye con gran consideración de las plantas que están nutridas adecuadamente. Si la deficiencia es acentuada, se puede evidenciar el marchitamiento de las puntas de las hojas. Al ser el P un nutriente móvil en la planta, las deficiencias se observan en primer lugar en las hojas inferiores (Crops, 1999)

## **2.6. Bacterias solubilizadoras de P**

Las bacterias solubilizadoras de fósforo son de vida libre en el suelo y tienen la capacidad de adaptarse, colonizar y persistir en la rizósfera de la planta y favorecer su crecimiento o desarrollo, también pueden solubilizar el fosfato inorgánico de diferentes compuestos, como son: el fosfato bicálcico, fosfato tricálcico y rocas fosfóricas; además existen 13 géneros de bacterias con la capacidad de solubilizar fosfato: *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Rhizobium*, *Burkholderia*, *Achromobacter*, *Agrobacterium*, *Micrococcus*, *Aerobacter*, *Flavobacterium*, *Mesorhizobium*, *Azotobacter*, *Azospirillum* y *Erwinia* (Paredes-Mendoza y Espinosa-Victoria, 2010).

## **2.7. Ácidos orgánicos**

Los ácidos orgánicos que solubilizan fosfato son de bajo peso molecular y poseen uno o más grupos carboxilo. Dependiendo de las propiedades de disociación y el número de grupos carboxilo, los ácidos orgánicos tienen carga negativa, por lo que pueden formar complejos con cationes metálicos en solución y el desplazamiento de aniones de la solución del suelo (Paredes-Mendoza y Espinosa-Victoria, 2010).

### **2.7.1. Mecanismos de acción de los ácidos orgánicos**

La solubilización del fosfato por los ácidos orgánicos depende del pH y la mineralogía del suelo. Existen dos mecanismos para que esto ocurra: i) El primero es un intercambio del ácido, por ejemplo, los  $H^+$  provenientes del citrato se intercambian por el P ligado a la superficie de los cristales de  $Al(OH)_3$  o  $Fe(OH)_3$  reduciéndolos y así logrando liberar el P. ii) El segundo mecanismo depende de la concentración de los ácidos orgánicos producidos por las bacterias solubilizadoras de fósforo, el cual involucra la formación

de complejos con iones de metales provenientes de la roca fosfórica (Paredes-Mendoza y Espinosa-Victoria, 2010).

### 2.7.2. Tipos de ácidos orgánicos que solubilizan fosfatos

En la Tabla 1 se pueden observar los distintos tipos de ácidos orgánicos implicados en la solubilización de fosfato. Se ha reportado al ácido glucónico como el agente más frecuente en la solubilización de fosfatos, el cual es producido por especies de *Pseudomonas* sp (Paredes-Mendoza y Espinosa-Victoria, 2010).

Tabla 1

#### *Tipos de ácidos orgánicos que solubilizan fosfatos*

Ácido	Fórmula	Ruta biosintética	Bacteria que la produce
Acético	CH <sub>3</sub> CO <sub>2</sub> H	Oxidación incompleta de azúcares (fermentación acética)	Acetobacter aceti, Gluconobacter oxydans y Pseudomonas fluorescens
Láctico	CH <sub>3</sub> CHOH <sub>2</sub> CO <sub>2</sub> H	(Glicólisis) Fermentación láctica primaria	Bacillus liqueniformis y Bacillus amyloliquefaciens
Oxálico	HO <sub>2</sub> CCO <sub>2</sub> H	Ácidos tricarbóxicos	Pseudomonas fluorescens
Cítrico	HO <sub>2</sub> CCH <sub>2</sub> COHCO <sub>2</sub> HCHO <sub>2</sub> CO <sub>2</sub> H	Ácidos tricarbóxicos	Erwinia herbicola y Yarowia lipolytica
Butírico	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>2</sub> H	Oxidación anaerobia del piruvato	Bacillus liqueniformis y Bacillus amyloliquefaciens
Succínico	HO <sub>2</sub> CCH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CO <sub>2</sub> H	Ciclo del glioxilato y ácidos tricarbóxicos	Pseudomonas putida y Pseudomonas fluorescens
Málico	HO <sub>2</sub> CCHOHCH <sub>2</sub> CO <sub>2</sub> H	Ácidos tricarbóxicos	Bacillus megaterium
Glucónico	HO <sub>2</sub> C(CHOH) <sub>4</sub> CH <sub>2</sub> OH	Oxidación directa de la glucosa	Erwinia herbicola, Pseudomonas cepacia y Burkholderia cepacia
Fumárico	HO <sub>2</sub> CCOCH <sub>2</sub> CO <sub>2</sub> H	Ácidos tricarbóxicos	Pseudomonas aeruginosa
Cetoglucónico	HO <sub>2</sub> CO(CHOH) <sub>4</sub> CH <sub>2</sub> OH	Oxidación directa de la glucosa	Rhizobium leguminosarum , Rhizobium meliloti y Bacillus firmus

Fuente: Beltrán (2014).

## **2.8. Descripción de los ácidos más relevantes en la solubilización de fósforo**

### **2.8.1 Ácido glucónico**

El ácido glucónico es uno de los ácidos orgánicos reportados con mayor frecuencia en los estudios de solubilización de P se conoce con un gran nivel de detalle. La oxidación directa de la glucosa a ácido glucónico como uno de los principales mecanismos para la solubilización del fosfato mineral en las bacterias Gram negativas (Paredes-Mendoza y Espinosa-Victoria, 2010).

### **2.8.2. Ácido cítrico**

El ácido cítrico es uno de los ácidos orgánicos más importantes en las plantas, existen pocas investigaciones en las que se pueda presenciar el uso del ácido cítrico como solubilizador de P en el suelo, pero es ampliamente nombrado en diferentes investigaciones de varios autores como un elemento solubilizador de P, este proceso se realiza mediante la producción de ácidos tricarboxílicos (Pérez, 2014).

### **2.8.3. Ácido oxálico**

Entre los ácidos dicarboxílicos secretados por las plantas y de mayor trascendencia, se encuentra el ácido oxálico, el cual se acumula en las plantas como producto final del metabolismo del ciclo de Calvin. Este proceso se da en células vegetales especializadas denominadas glomeroblastos que participan en la síntesis, transporte y transformación del ácido distribuyéndolo en diferentes tejidos vegetales o liberándolo por el sistema radicular después de su respectiva transformación a sal de oxalato de sodio, u oxalato de calcio (Arteaga et al., 2016)

Algunos autores como: Patiño y Sánchez (2014) y (Paredes-Mendoza y Espinosa-Victoria, 2010). han citado que el ácido oxálico puede ser una alternativa orgánica para la solubilización del P de la matriz del suelo.

## **2.8. Trigo**

### **2.8.1. Clasificación botánica**

La descripción botánica del trigo es la siguiente (Tabla 2).

Tabla 2

*Clasificación taxonómica del trigo.*

Reino	Plantae
Subreino	Spermatophyta
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Cyperales
Familia	Poaceae
Género	<i>Triticum</i>
Especie	T. Aestivum
Nombre científico	Triticum aestivum L.
Nombre común	Trigo
Variedad	INIAP- Imbabura

Fuente: Garófalo y Abad (2011).

### **2.8.2. Variedad INIAP-Imbabura 2014**

La variedad INIAP-Imbabura 2014 fue seleccionada por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias junto con agricultores trigueros de las diferentes provincias de la sierra ecuatoriana, fue seleccionada por presentar características superiores de rendimiento, muy buena calidad para la panificación y resistencia a las enfermedades que atacan al cultivo.

### **2.8.3 Características**

Las características de la variedad INIAP- Imbabura 2014 se pueden observar en la siguiente (Tabla 3).

Tabla 3

*Características de la variedad INIAP- Imbabura 2014*

Características	Descripción
Ciclo vegetativo	160- 180 días
Días al espigamiento	85 días
Tallo	Fuerte, resistente al vuelco.
Tipo de color de la espiga	Barbada blanca
Reacción a enfermedades	
<i>Puccinia striiformis</i>	Resistencia Intermedia
<i>Puccinia recondita</i>	Resistencia Intermedia
<i>Puccinia striiformis</i>	Resistencia Intermedia
<i>Barley Yellow Dwarf</i>	Tolerante a la enfermedad

Fuente: Falconí, Ponce, Coronel, Garófalo y Abad (2014).

#### **2.8.4. Labranza**

La preparación del suelo debe consistir, por lo menos, un pase de arado y dos pases de rastra cuando se emplea tractor según el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP, 2009).

##### **2.8.4.1. Siembra**

La siembra debe realizarse cuando se da inicio a la época lluviosa en la zona y que coincida la cosecha con la época seca para no tener pérdidas en calidad de grano. Al momento de realizarla es indispensable que el suelo tenga una adecuada humedad para garantizar una buena germinación de la semilla. Los métodos utilizados para la siembra son manual o “al voleo” y mecanizada (sembradora y voleadora). La profundidad de siembra es un aspecto muy importante para tomar en cuenta para garantizar una germinación uniforme. La profundidad de siembra no debe superar los 5 cm para evitar el ahogamiento y pérdida de la semilla (Garófalo y Abad, 2011; Manangón , 2012).

##### **2.8.4.2. Cantidad de semilla**

La recomendación en cuanto a la cantidad de semilla a emplearse por hectárea en la siembra, varía de acuerdo al método de siembra utilizado. Si la siembra es manual (al



voleo) la cantidad de semilla es 135kg/ha y si la siembra es mecanizada (sembradora) la cantidad recomendada es 120 kg/ha (Garófalo y Abad, 2011).

#### **2.8.4.3. Control de malezas**

Una vez establecido el cultivo existen dos opciones de control de malezas: El control manual (deshierba) y el químico. En el control manual se eliminan las malezas más grandes y hay que tener mucho cuidado con no maltratar al cultivo; esa labor debe hacerse después del macollamiento teniendo cuidado de no maltratar al cultivo. El control químico debe hacerse con un herbicida selectivo para hoja ancha (INIAP, 2009).

#### **2.8.4.4. Cosecha y trilla**

La cosecha se realiza cuando la planta alcanza su madurez total (planta totalmente seca) y el grano ha alcanzado su madurez comercial% 13 a 14% de humedad. Si el corte es manual, se hace con una hoz a 30 cm del suelo, estas labores se deben hacer en el menor tiempo posible para evitar pérdidas por desgrane, por daños de pájaros y por las condiciones climáticas. Posteriormente se ocupa una trilladora estacionaria para realizar el proceso de trilla (INIAP, 2009; Peñaherrera, 2011).

#### **2.8.4.5. Fertilización**

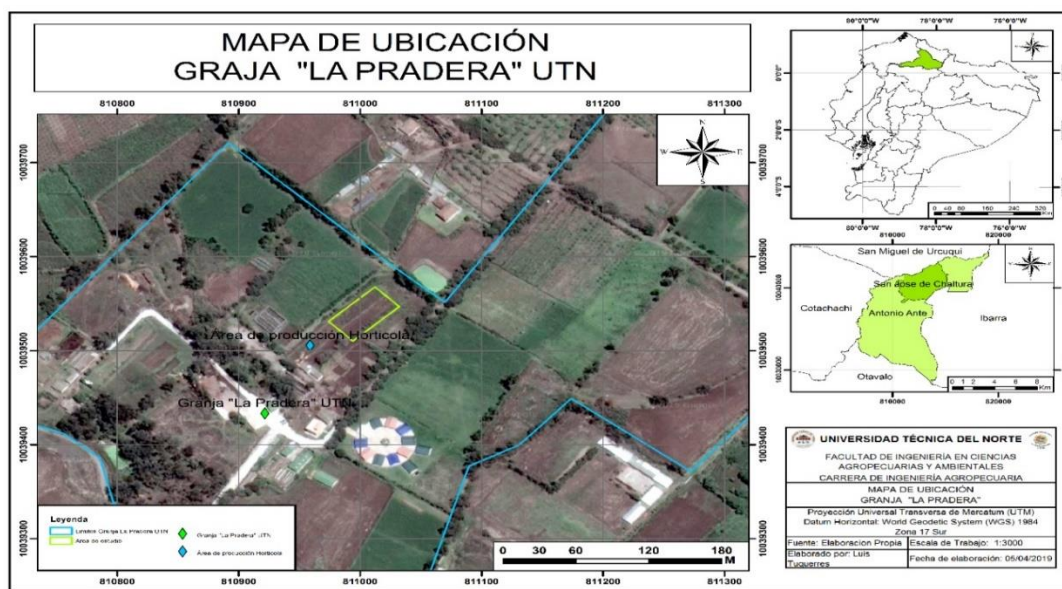
Para optimizar los rendimientos es necesario realizar el análisis de suelo, previo a la siembra con la finalidad de realizar una correcta fertilización. De no contar con este análisis se recomienda aplicar en forma general 3.5 sacos de 50 kg de 18-46-00 por hectárea a la siembra y 2 sacos de urea al macollamiento. Si se usa 10-30-10 debe aplicarse 5.3 sacos de 50 kg, a la siembra más 2 de urea al macollamiento (INIAP, 2009).

# CAPÍTULO III

## 3. MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. Caracterización del área de estudio

La investigación se realizó en la Granja Experimental “La Pradera”, ubicada en la parroquia San José de Chaltura, cantón Antonio Ante (Figura 2).



**Figura 2.** Mapa de ubicación de la granja “La Pradera”

En la Tabla 4, describen las características del lote donde se realizó el estudio.

Tabla 4

*Caracterización del área de estudio.*

Características	Descripción
Provincia:	Imbabura
Cantón:	Antonio Ante
Parroquia:	San José de Chaltura
Lugar:	Granja Experimental “La Pradera”
Latitud:	00° 21´32.31´´ Norte
Longitud:	78° 12´15.02´´ Oeste.
Altitud:	2350 msnm
Temperatura promedio anual:	16.4 ° C
Humedad Relativa:	68.9%

### 3.2. Materiales y equipos

Los materiales que se detallan en la Tabla 5, son los que se utilizaron en el transcurso de la investigación.

Tabla 5

#### *Materiales*

Material experimental	Materiales de campo	Insumos
Trigo INIAP-Imbabura 2014	Libro de campo	Fungicidas
Ácido Glucónico	Herramientas de labranza	Insecticidas
Ácido Oxálico	Fundas plásticas	Herbicidas
Ácido Cítrico	Cuaderno de campo	Fertilizantes
Cámara fotográfica		
Bomba de mochila		

### 3.3. Métodos

#### 3.3.1. Factores de estudio

Los factores en estudio corresponden a los siguientes:

#### **Factor A. Ácidos orgánicos**

**a0:** Sin ácidos orgánicos

**a1:** Ácido cítrico 10mM

**a2:** Ácido oxálico 10mM

**a3:** Ácido glucónico 10mM

#### **Factor B. Fertilización**

**p0:** Fertilización sin fósforo

**p1:** Fertilización previo análisis completo de suelo.

Los tratamientos a evaluarse se describen en la Tabla 6.

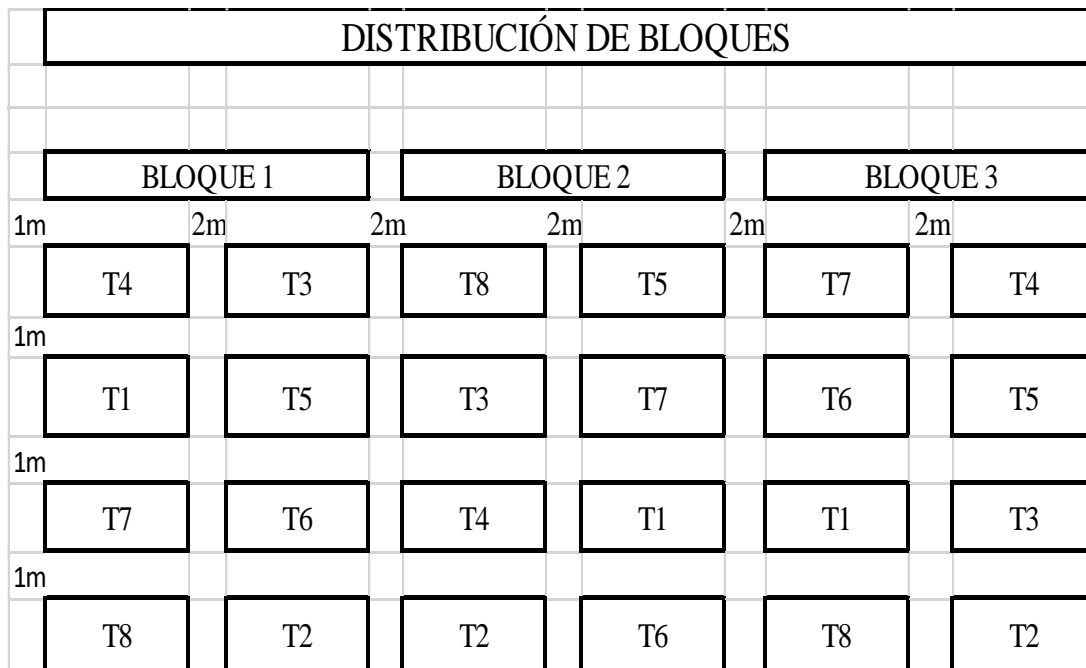
Tabla 6

*Tratamientos experimentales*

Tratamientos	Código	Descripción	Dosis/ 18 litros de agua
T1	p0a0	Fertilización sin fósforo	
T2	p0a1	Fertilización sin fósforo, con ácido cítrico	26.64g/aplicación
T3	p0a2	Fertilización sin fósforo, con ácido oxálico	22.68g/ aplicación
T4	p0a3	Fertilización sin fósforo, con ácido glucónico	35.28g/aplicación
T5	p1a0	Fertilización completa	
T6	p1a1	Fertilización completa, con ácido cítrico	26.64g/aplicación
T7	p1a2	Fertilización completa, con ácido oxálico	22.68g/ aplicación
T8	p1a3	Fertilización completa, con ácido glucónico	35.28g/aplicación

**3.3.2. Diseño experimental**

Se empleó un diseño de Bloques Completos al Azar basado en la Figura 3, para la distribución de los tratamientos.



**Figura 3.** Distribución de bloques.

### 3.3.3. Características del experimento

Las características del experimento constan en la Tabla 7.

Tabla 7

*Características del experimento.*

Características	Descripción
Tratamientos	8
Bloques	3
Número de Unidades experimentales	24
Área total del experimento:	325 m <sup>2</sup>

### 3.3.4. Características de las unidades experimentales

Las características de las unidades experimentales se describen en la Tabla 8.

Tabla 8

*Características de las unidades experimentales.*

Características	Descripción
Largo:	3 m
Ancho:	2 m
Área de unidad experimental:	6 m <sup>2</sup>
Área parcela neta:	3.75 m <sup>2</sup> (2.5 m x 1.50 m)
Número de semillas por parcela total:	1200 semillas (81 g)
Número de semillas por parcela neta:	750 semillas (51 g)

### 3.3.5. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se realizó el análisis de varianza, para un Diseño de Bloques Completos al Azar (Tabla 9).

Tabla 9

*Análisis de varianza*

F. V.	G.L.
Total	23
Tratamientos	7
Bloques	2
Error experimental	14

### 3.3.6. Análisis funcional

Los datos obtenidos se analizaron en el programa de análisis estadístico InfoStat, se precederá a la prueba de Fisher al 5% cuando exista diferencia entre tratamientos.

### 3.4. Variables por estudiar.

#### 3.4.1. Contenido de P en el suelo

Se procedió a realizar un análisis de suelos antes de implementar el ensayo para determinar la cantidad de P disponible en el mismo. Para esto se colectaron 20 submuestras al azar hasta obtener una muestra general de 1kg, el análisis se efectuó en el laboratorio Agrar-projekt de la ciudad de Quito mediante el método de Sterling R. Olsen para determinar la cantidad de fósforo en la muestra.

Una vez realizada la cosecha de los tratamientos se realizó un análisis de suelo de cada una de las unidades experimentales para determinar la cantidad de fósforo remanente.

#### 3.4.2. Peso de 1000 granos

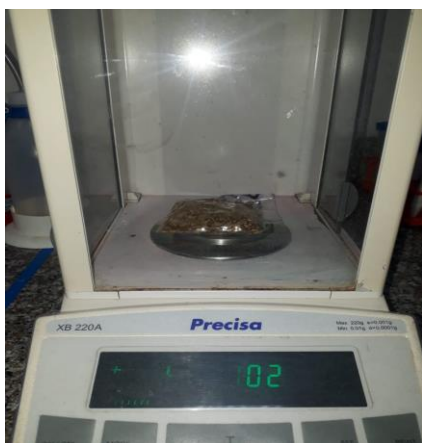


Figura 4. Peso de 1000 granos

Para realizar esta actividad fue necesario contar manualmente 1000 granos; con un porcentaje de humedad del 14%, este porcentaje fue determinado con un medidor de humedad de granos portátil (LABL). Luego se efectuó el conteo manual de 1000 granos al azar de cada uno de las unidades experimentales para realizar el pesaje en gramos en una balanza de precisión.

### 3.4.3. Porcentaje de materia seca



Una que vez que se alcanzó la madurez fisiológica que se expresa en la escala Zadocks 9.0 - 9.9 aproximadamente de 170 a 180 días después de la siembra, se realizó la toma de ocho plantas y se realizó pesaje de la materia seca de cada uno de los tratamientos. Después se llevaron todas las muestras a una estufa en el laboratorio, estas muestras llegaron a los 105 °C durante 24 horas hasta alcanzar un peso constante. Para el cálculo del porcentaje de materia seca, se utilizó la siguiente fórmula descrita por Fonseca (2017).

Figura 5. Porcentaje de materia seca

$$PMS(\%) = \frac{Pf}{Pi} 100$$

Donde:

PMS: Peso de la materia seca

Pf: peso final

Pi: peso inicial

### 3.4.4. Altura de planta



Cuando la planta alcanzó su madurez fisiológica, cuando la planta comenzó la etapa de llenado del grano (Etapa 7 de la escala de Zadocks) se procedió a la medición con un flexómetro desde la base de la planta hasta el inicio de la espiga de 20 plantas seleccionadas al azar.

Figura 6. Altura de planta



### Número de espigas

Se procedió a el marcaje de 20 plantas al azar para realizar el conteo del número de espigas por planta esta medición se realizó cuando la planta alcanzó la madurez fisiológica y estaba lista para la cosecha.

Figura 7. Número de espigas

### 3.4.5. Tamaño de espigas

Se procedió a la medición de las espigas utilizando un calibrador Pie de Rey de 20 espigas al azar por parcela, para esto se realizó la medición desde la base de la espiga hasta el final de esta, los datos fueron tomados en centímetros.



Figura 8. Tamaño de espigas



### 3.4.6. Rendimiento

Esta variable se efectuó después de la trilla, se procedió a pesar todos los granos de las unidades experimentales para obtener el rendimiento total de cada una de estas. Esta variable esta expresada en kilogramos.

Figura 9. Rendimiento



### 3.4.7. Análisis económico

La rentabilidad se realizó, mediante el método de análisis de beneficio sobre costo. Donde se analizaron los costos que varían, los beneficios netos y cómo aumentarán en los tratamientos; a su vez se calculó la tasa de retorno marginal, para conocer lo que el agricultor puede esperar ganar en promedio con la inversión, cuando decide cambiar una práctica o forma de producción.

## 3.5 Manejo específico del experimento

A continuación se describen todos los pasos para el manejo del experimento en la granja “La Pradera”.

### 3.5.1. Toma de muestras de suelo



un análisis completo (físico y químico).

Figura 10. Toma de muestras de suelo.

Previo a la instalación del experimento se recolectaron 20 submuestras de todo el lote con la metodología del muestreo aleatorio (zig-zag) (Figura 4), de estas 20 muestras se obtuvo una muestra general de 1 kg y después de la cosecha se recogieron 24 muestras de cada uno de los tratamientos, posteriormente se enviaron al laboratorio (AGRAR-PROJEKT) para



### 3.5.2. Preparación de suelo

Se realizó la preparación de suelo mediante el uso del tractor (Figura 5), este consistió: en un pase del arado a 30cm de profundidad y dos de la rastra a 20 cm en el lugar que se delimitó con anterioridad.

Figura 11. Preparación de suelo.

### 3.5.3. Siembra



La siembra fue realizada mediante el uso de sembradora mecánica a 10 centímetros de distancia (Figura 6), con una densidad de siembra de 135 kg/ha de semilla y 0.027 kg de semilla /hilera.

Figura 12. Siembra variedad INIAP-Imbabura 2014.



### 3.5.4. Delimitación del área de experimento

Se delimitó del área experimental mediante el uso de una cinta métrica (Figura 7), hasta obtener 325m<sup>2</sup> divididos en 24 tratamientos de 6 m<sup>2</sup> y 2 m de calles de división.

Figura 13. Delimitación del área de experimento.

### 3.5.5. Fertilización



**Figura 14. Fertilización**

La fertilización se realizó mediante el uso de un análisis de suelo para los tratamientos propuestos (Figura 8). Se procedió a la siembra en base a la fertilización de fondo según los tratamientos adicionalmente se realizó la adición de los ácidos orgánicos.



**Figura 15. Aplicación de ácidos orgánicos.**

Para la aplicación de los ácidos orgánicos se ejecutó con los tratamientos establecidos se utilizó una bomba manual a chorro continuo con 18 litros de solución (Figura 9). Esta solución se la aplicó cada 15 días para así cumplir con un ciclo productivo de 150 días.

### 3.5.6. Controles sanitarios

El control de roya amarilla (*Puccinia striiformis* sp. *hordei*) y roya de la hoja (*Puccinia hordei*), se realizó con Propicconazol con una dosis a 1cm<sup>3</sup>/litro, el control de fusarium de la espiga (*Fussarium* sp.) y carbón volador (*Ustilago tritici*) se controló mediante una desinfección de la semilla antes de realizar la siembra.

### 3.5.7. Control de malezas

A los 45 días después de la siembra se ocupó Metsulfurónmetil, para el control de malezas de hoja ancha.

### **3.5.8. Cosecha**

Se procedió a realizar la cosecha manualmente una vez que el cultivo alcanzó la madurez fisiológica y el grano obtuvo una humedad del 14% por unidad experimental.

## CAPÍTULO IV

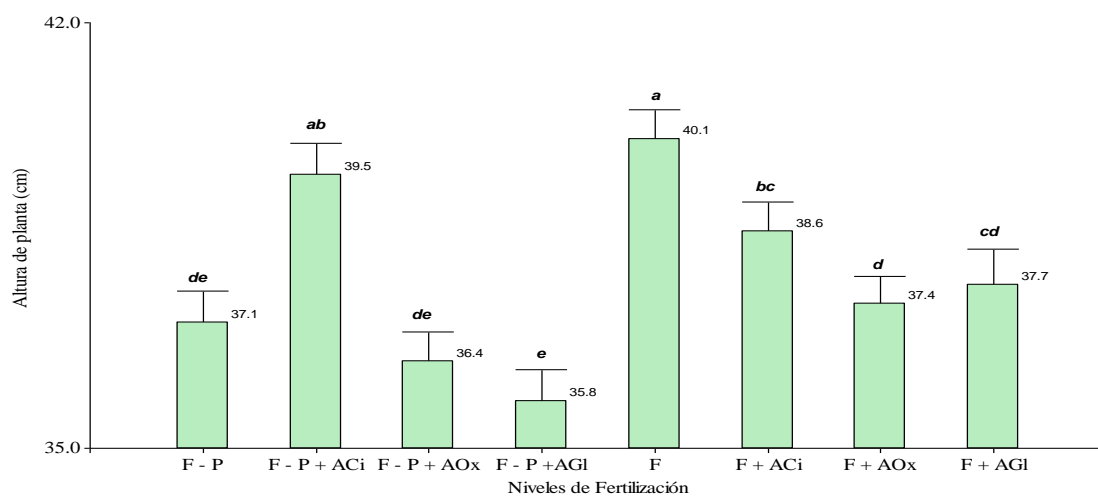
### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la presente investigación fueron analizados en el paquete estadístico InfoStat 2017, los cuales se presentan a continuación.

#### 4.1 Altura de la planta.

El análisis estadístico de los datos relacionados con la altura de la planta, arrojan que existe diferencias significativas entre niveles de fertilización para esta variable ( $F=8.81$ ;  $gl=7,1391$ ;  $P= <0.0001$ ).

En la Figura 11, se observa los resultados para la variable altura de la planta, el tratamiento T5 (Fertilización completa) y el tratamiento T2 (Fertilización sin P más Ácido cítrico) fueron similares y superiores al resto de los tratamientos, seguido del T6 (Fertilización completa más Ácido Cítrico), mientras que los tratamientos T8 (Fertilización completa más Ácido glucónico), T7 (Fertilización completa más Ácido oxálico) y T1 (Fertilización sin P) presentaron valores similares, inferiores a los tres valores mencionados con anterioridad y siendo el T4 (Fertilización sin P más Ácido glucónico) el que obtuvo la menor altura de planta.



**Figura 16.** *Altura de plantas en el cultivo de trigo, variedad INIAP-Imbabura 2014 bajo el efecto de la aplicación de ácidos orgánicos en la solubilización de P. (F-P, fertilización sin fósforo), (F-P+AGi, fertilización sin fósforo más ácido cítrico), (F-P+AOx fertilización sin fósforo más ácido oxálico), (F-P+AGl, fertilización sin fósforo más ácido glucónico), (F, solo fertilizante), (F+ACi, fertilización más ácido cítrico), (F+AOx, fertilización más ácido oxálico), (F+AGl, fertilización más ácido glucónico).*

El efecto más acentuado de la falta de P es la reducción en el crecimiento de la hoja, así como en el número de hojas. El crecimiento de la parte superior es más afectado que el crecimiento de la raíz. Sin embargo, el crecimiento de la raíz también se reduce marcadamente en condiciones de deficiencia de P, produciendo menor masa radicular para explorar el suelo por agua y nutrientes. Generalmente, el P inadecuado deprime los procesos de utilización de carbohidratos, incluso cuando continua la producción de estos compuestos por medio de la fotosíntesis (Crops, 1999).

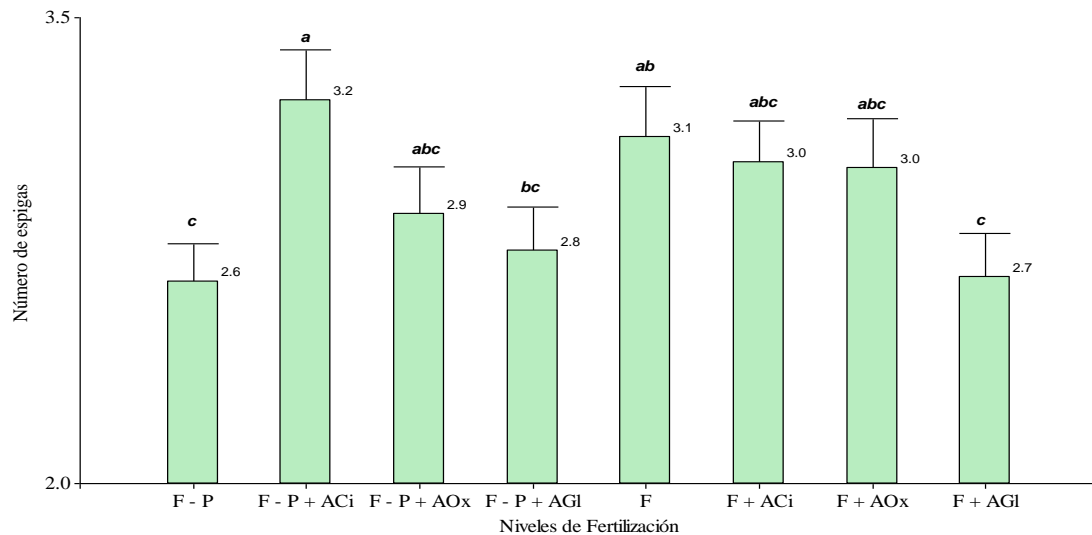
La carencia de fósforo afecta no solo al crecimiento de la planta y al desarrollo y rendimiento de la cosecha, sino también a la calidad del fruto y a la formación de las semillas. De la misma forma, la carencia de fósforo puede retrasar la maduración de las cosechas, con lo que se retrasa la recolección y se pone en riesgo la calidad del producto (Fernández, 2007).

Se evidencia un aumento en el índice de altura de plantas en las parcelas con fertilización fosfatada más la adición de los ácidos orgánicos, debido a que la carencia del elemento fósforo es indispensable para el crecimiento de las plantas y del área foliar.

#### **4.2. Número de espigas.**

El análisis estadístico muestra que existe una diferencia significativa en la fertilización para la variable número de espigas ( $F= 2.23$ ;  $gl= 7,470$ ;  $P= 0.0306$ ).

En la Figura 12, se observa los resultados para la variable número de espigas, los tratamientos T2 (Fertilización sin P más Ácido cítrico), T5 (Fertilización completa), T6 (Fertilización completa más Ácido Cítrico), T7\_ (Fertilización completa más Ácido oxálico) y T3 (Fertilización sin P más Ácido oxálico) presentan valores similares los cuales se detallan en la gráfica siendo superiores que los tratamientos T1 (Fertilización sin P), T4 (Fertilización sin P más Ácido glucónico) y T8 (Fertilización completa más Ácido glucónico) que presentaron valores inferiores a los resultados obtenidos en los tratamientos antes mencionados.



**Figura 17.** Número de espigas en el cultivo de trigo, variedad INIAP-Imbabura 2014 bajo el efecto de la aplicación de ácidos orgánicos en la solubilización de P. (F-P, fertilización sin fósforo), (F-P+AGi, fertilización sin fósforo más ácido cítrico), (F-P+AOx fertilización sin fósforo más ácido oxálico), (F-P+AGI, fertilización sin fósforo más ácido glucónico), (F, solo fertilizante), (F+ACi, fertilización más ácido cítrico), (F+AOx, fertilización más ácido oxálico), (F+AGI, fertilización más ácido glucónico).

Se observa que el T2 (fertilización sin fósforo más ácido cítrico) es superior al resto de tratamientos. Pérez et al., (2014) indicó que las variables longitud de tallo, peso fresco y biomasa seca de planta, se modifican favorablemente con las aplicaciones de ácido cítrico 10 mM. Por su parte, Cralle (2003) observó que el aumento del suministro de P favorecía la aparición de macollos viables en plantas de trigo, incluso en condiciones severas de competencia (1: 1) con (*Lolium multiflorum*). Prystupa (2003) mostró que los efectos negativos de reducir la disponibilidad de P en el macollamiento de trigo son más significativos que la disminución de la oferta de N. La disponibilidad de P también afecta el macollamiento en otros cultivos, como el pasto empalizado de forraje (*Brachiaria brizanta*) (Kuwahara, 2009).

#### 4.3. Tamaño de espigas.

El análisis estadístico indica que no existe diferencia significativa entre niveles de fertilización para la variable tamaño de las espigas ( $F= 1.8$ ;  $gl= 470$ ;  $P= 0.3754$ ).

Tabla 10

*Medias para la variable tamaño de espigas.*

Tratamiento	Media (cm)	E.E.
1	13.29	0.22
2	13.86	0.20
3	13.66	0.20
4	13.58	0.19
5	13.85	0.25
6	13.58	0.20
7	13.40	0.18
8	13.77	0.17

En la Tabla 10, se observó que no existe diferencia significativa siendo la media de todos los tratamientos es de 13,63 cm siendo superior a lo que menciona el autor Falconí et al (2014), que el tamaño de las espigas de la variedad INIAP-Imbabura 2014 es de 11 centímetros. Pérez et al. (2014) indica en su estudio que el tratamiento  $10^{-6}$  M de ácido cítrico dio lugar a un aumento del 69% de la producción de fruto por planta en comparación con el testigo.

El rendimiento de la planta depende en gran medida de las condiciones del suelo en las que se desarrolla el sistema de raíces. La calidad de las condiciones del suelo se define por el régimen favorable de agua-aire, la composición mecánica y el suministro de nutrientes del suelo. Estas condiciones, especialmente en suelos con composición mecánica pesada como en nuestro caso, se pueden lograr mediante la calidad y el tratamiento oportuno y el uso de fertilizantes orgánicos (Biberdzic, 2020).

El P contribuye al almacenamiento de energía obtenida a partir de la fotosíntesis y del metabolismo de carbohidratos en forma de polifosfatos, los cuales posteriormente son usados para el crecimiento y la reproducción vegetal (Prada , 2013).

Una concentración adecuada de P es responsable de un aumento de crecimiento de las raíces, lo que significa que la planta pueda explorar más el suelo por los nutrientes y la humedad, por estas razones este elemento se presenta en la mayoría de las plantas en concentraciones entre 0.1 y 0.4-%. Por el contrario, con una deficiencia de P se desacelerará el crecimiento global de la planta, debido a los cambios en la tasa de división celular, elongación y la reducción en el número y tamaño de semillas y flores (Lambers al 2006). Es posible indicar que las propiedades físicas del suelo no permitieron que las plantas de este experimento se desarrollen de forma normal. Sin



embargo, no se puede establecer con claridad cuál de ellas fue la que influyó en mayor medida en los resultados, ya que ninguna de ellas fue una variable medida en este estudio.

#### **4.4. Porcentaje de materia seca.**

En el análisis estadístico indica que no existen diferencias significativas entre niveles de fertilización para la variable porcentaje de materia seca ( $F= 1.22$ ;  $gl= 14$ ;  $P= 0.3562$ ).

Tabla 11

*Medias de la variable porcentaje de materia seca.*

Tratamiento	Media	E.E.
1	40.93	1.62
2	38.50	1.75
3	42.33	1.31
4	42.17	2.24
5	38.31	1.36
6	39.65	0.53
7	40.68	1.09
8	39.44	0.55

En la Tabla 11 se puede observar que no existen diferencias significativas en los tratamientos, mientras que Santos et al. (2017) indican que el ácido cítrico y las tasas de P influyeron en el rendimiento de la materia seca del maíz en ambos suelos. La disponibilidad inicial de fósforo extraíble no modifica el aumento relativo de la materia seca producida, pero si la absorción relativa de fósforo (Suñer, 2012). Es importante mencionar que al igual que en la variable tamaño de las espigas, el crecimiento inferior obtenido en el experimento se puede atribuir a condiciones extrínsecas y que no fueron medidas por el investigador.

Es poco probable establecer la causal exacta para la obtención de estos resultados, sin embargo, se podrían atribuir a las condiciones físicas del suelo, sin poder establecer cuál de ellas es la causal directa.

#### **4.5 Rendimiento**

En la Tabla 12 presentan los resultados para la variable rendimiento. El análisis estadístico señala que no existen diferencias significativas entre niveles de fertilización para la variable rendimiento ( $F= 0.53$ ;  $gl= 7,14$ ;  $P= 0.7978$ ).

Tabla 12

*Medias de la variable rendimiento.*

Tratamiento	Media	E.E.
1	951.11	141.58
2	1257.78	327.62
3	1004.44	170.44
4	1122.55	362.75
5	1181.67	350.25
6	1027.22	340.56
7	1090.00	389.26
8	956.66	195.55

Falconí et al (2014) sugiere que el rendimiento de la variedad de trigo INIAP-Imbabura 2014 es de 4000 kg/ha. Además, la aplicación de los ácidos orgánicos en las concentraciones de 10 mM por litro de agua redujo significativamente pH del suelo, lo que puede generar un problema para la producción de cultivo debido a posibles efectos tóxicos debido a una sales, incluyendo carbonatos, sulfatos y fosfatos, es mas alta en el rango de pH mas bajo. La liberación del Al de formas variadas de minerales de arcilla también depende en gran medida del pH. mayor solubilidad de Al (Mengel y Kirkby, 2000).

La reducción en el nivel de rendimiento puede ser atribuida a diferentes factores tanto intrínsecos como extrínsecos. En su gran mayoría podrían ser atribuidas a las condiciones físicas del suelo, pero al no haber realizado una medición de la penetrabilidad en el mismo es poco factible realizar afirmaciones sin caer en el ámbito de la especulación.

Las semillas deben almacenar fósforo para que la planta disponga del suficiente nutriente para desarrollar sus primeras raíces y sus primeros brotes. Después, a medida que la raíz vaya ramificándose, la planta en crecimiento podrá tomar el fósforo que necesita del suelo, siempre que existan las reservas adecuadas (Fernández, 2007).

#### 4.6 Peso de 1000 granos

En el análisis estadístico se aprecia que no existen diferencias significativas entre niveles de fertilización para la variable peso de 1000 granos ( $F= 0.39$ ;  $gl= 7,14$ ;  $P= 0.8910$ ) y sus medias se presentan en la Tabla 13.

Tabla 13

*Medias de la variable peso de 1000 granos.*

Tratamiento	Media	E.E.
1.00	40.39	0.73
2.00	40.67	1.10
3.00	41.33	1.29
4.00	40.42	1.79
5.00	41.04	1.62
6.00	40.08	1.39
7.00	42.62	1.32
8.00	41.47	1.68

Además, se puede observar que la media de los tratamientos es de 40.89 gramos siendo un resultado inferior a lo señalado por Falconí (2014), quien indica que el peso de 1000 granos de trigo de la variedad INIAP-Imbabura es de 45 gramos.

Lázaro y Abate (2001), Indican que la baja disponibilidad de fósforo afecta el número y peso de granos por la disminución de la radiación interceptada debido a una menor expansión foliar.

#### 4.7. Contenido de P en el suelo.

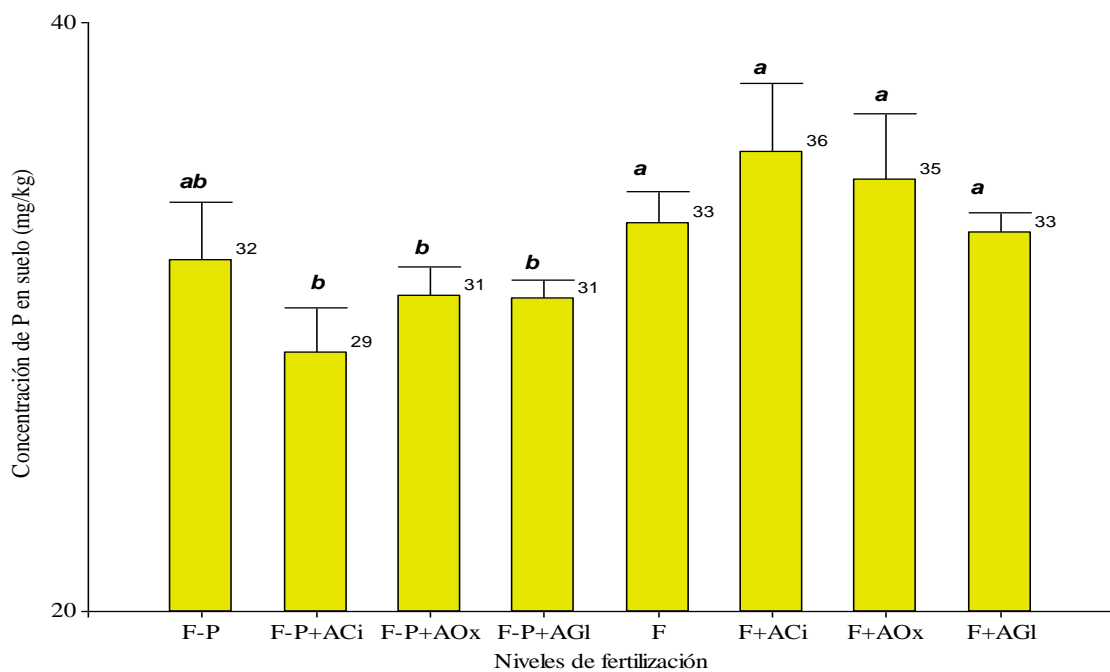
Al realizar el análisis estadístico se puede inferir que existe una diferencia significativa entre niveles de fertilización para la variable, contenido de P en el suelo ( $F=8.81$ ;  $gl=7,1391$ ;  $P= <0.0001$ ).

En la Figura 13, se observa que los tratamientos T5, T6, T7 y T8 son superiores al tratamiento 1, mientras que se aprecia que los tratamientos T2, T3, y T4 son inferiores al resto de los tratamientos anteriormente mencionados.

Además el P del tratamiento F-P+ACi (Fertilización sin fosforo más ácido cítrico) muestra que el ácido cítrico logró liberar más fósforo que los tratamientos F-P+AOx (Fertilización sin fósforo más ácido oxálico) y F-P+AGl (fertilización sin fósforo más ácido glucónico) , aunque la liberación de fosfato en la presencia de ácido cítrico es más

marcada a aproximadamente a un pH 4, por consiguiente, la concentración de calcio en la rizosfera es mayor que la del suelo que es causado por la acidez que disuelve el óxido de hierro y así liberar el fosfato.

Altura de plantas en el cultivo de trigo, variedad INIAP-Imbabura 2014 bajo el efecto de la aplicación de ácidos orgánicos en la solubilización de P (F-P, fertilización sin fósforo), (F-P+AGi, fertilización sin fósforo más ácido cítrico), (F-P+AOx fertilización sin fósforo más ácido oxálico), (F-P+AGl, fertilización sin fósforo más ácido glucónico), (F, solo fertilizante), (F+ACi, fertilización más ácido cítrico), (F+AOx, fertilización más ácido oxálico), (F+AGl, fertilización más ácido glucónico).



**Figura 18. Contenido de P en el suelo.** (F-P, fertilización sin fósforo), (F-P+AGi, fertilización sin fósforo más ácido cítrico), (F-P+AOx fertilización sin fósforo más ácido oxálico), (F-P+AGl, fertilización sin fósforo más ácido glucónico), (F, solo fertilizante), (F+ACi, fertilización más ácido cítrico), (F+AOx, fertilización más ácido oxálico), (F+AGl, fertilización más ácido glucónico).

El aumento en la relación molar ácido orgánico: el fósforo condujo a una disminución en la adsorción de fosfato por el suelo, debido a la competencia entre los ácidos orgánicos y el fósforo por los sitios de adsorción de fósforo o por su bloqueo previo (Andrade, 2003).

#### 4.8 Análisis económico.

Para el estudio de la aplicación de ácidos orgánicos en el cultivo de trigo, se analizaron los costos de producción y los ingresos por ventas, mediante los indicadores financieros

relación beneficio/costo y costo de oportunidad. La estructura de costos se calculó en diferentes rubros agrupados en costos directos e indirectos que se utilizan en la producción de trigo (Tabla 14), respectivamente.

Además, se utilizaron los datos de rendimiento en campo por cada tratamiento, expresados en kilogramos por hectárea, de igual manera todos los costos de egresos e ingresos fueron expresados en USD ha<sup>-1</sup>. El costo de semilla fue de (0.80 USD kg<sup>-1</sup>) y el precio de venta fue de (0.44 USD kg<sup>-1</sup>), en el que se consideró el 10% de imprevistos, De igual manera el costo de los fertilizantes fue de (0.66 USD kg<sup>-1</sup>), en tanto que la mano de obra fue de 15 USD/ha.

Tabla 14 Análisis económico de los costos de producción e ingresos por ventas del cultivo de trigo.

Descripción	Unidad	Fertilización completa		Fertilización sin fósforo		Fertilización sin fósforo más cítrico		Fertilización sin fósforo más oxálico		Fertilización sin fósforo más ácido glucónico		Fertilización con fósforo más ácido		Fertilización con fósforo más ácido oxálico		Fertilización con fósforo más ácido glucónico		
		Cantidad	Valor Unitario (USD)	Valor total (USD)	Valor Unitario (USD)	Valor total (USD)	Valor Unitario (USD)	Valor total (USD)	Valor Unitario (USD)	Valor total (USD)	Valor Unitario (USD)	Valor total (USD)	Valor Unitario (USD)	Valor total (USD)	Valor Unitario (USD)	Valor total (USD)	Valor Unitario (USD)	Valor total (USD)
a) Costos directos																		
1) Preparación del terreno																		
<b>Análisis de suelo</b>	Unidad	1	60.48	60.48	60.48	60.48	60.48	60.48	60.48	60.48	60.48	60.48	60.48	60.48	60.48	60.48	60.48	60.48
<b>Arado</b>	Maquinaria/hora	1	20	20	1	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
<b>Rastrado</b>	Maquinaria/hora	2	20	40	2	40	20	40	20	40	20	40	20	40	20	40	20	40
2) Mano de obra																		
<b>Siembra y fertilización</b>	Maquinaria/hora	2	20	40	20	40	20	40	20	40	20	40	20	40	20	40	20	40
<b>Deshierba</b>	Maquinaria/hora	1	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
<b>Controles fitosanitarios</b>	Maquinaria/hora	1	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
<b>Cosecha</b>	Maquinaria/saco	3	20	60	20	60	20	60	20	60	20	60	20	60	20	60	20	60
3) Insumos																		
<b>Semilla</b>	Kg	200	0.68	136	0.68	136	0.68	136	0.68	136	0.68	136	0.68	136	0.68	136	0.68	136
<b>Urea</b>	Kg	150	0.52	78	0.52	78	0.52	78	0.52	78	0.52	78	0.52	78	0.52	78	0.52	78
<b>Fosfato diamónico.</b>	Kg	150	0.65	97.5								0.65	97.5	0.65	97.5	0.65	97.5	
<b>Sulpomag</b>	Kg	125	0.80	100	0.80	100	0.80	100	0.80	100	0.80	100	0.80	100	0.80	100	0.80	100
<b>Ácidos Orgánicos Costales</b>	Kg	80					2.5	94.33	4.5	170.1	90	5247	2.5	94.33	4.5	170.1	90	5247
4) Fungicidas																		
<b>Metsulfuronmetil</b>	g	400	0.045	18	0.045	18	0.045	18	0.045	18	0.045	18	0.045	18	0.045	18	0.045	18
<b>propiconazole</b>	cc	400	0.085	34	0.085	34	0.085	34	0.085	34	0.085	34	0.085	34	0.085	34	0.085	34
5) Costos Indirectos																		
<b>Arriendo terreno</b>	del USD/AÑO	1	300	300	1	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
			<b>Subtotal</b>	1023.98		926.48		1020.81		1096.58		6173.48		1118.31		1194.08		6270.98

En la Tabla 15, se aprecia que el tratamiento Fertilización con P más ácido glucónico presentó los costos más elevados el cual fue de 6270.98 USD ha<sup>-1</sup> mientras que el tratamiento Fertilización sin fósforo presentó los costos menos elevados los cuales fueron 926.48 USD ha<sup>-1</sup>.

Tabla 15

*Análisis económico por tratamiento expresado en hectáreas del cultivo de trigo.*

<b>Indicadores</b>	<b>F. C.</b>	<b>F-P</b>	<b>F-P+Ac</b>	<b>F-P+AOx</b>	<b>F-P+AG</b>	<b>F+P+Ac</b>	<b>F+P+AOx</b>	<b>F+P+Ag</b>
Costos de producción	1023.98	926.48	1020.81	1096.58	6173.48	1118.31	1194.08	6270.98
Ingresos por venta	525.18	422.71	559.01	446.4	500	456.54	484.44	425.18
Rendimiento kg ha <sup>-1</sup>	1181.67	951.11	1257.78	1004.44	1122.55	1027.22	1090.00	956.66
Utilidad bruta	-498.8	-503.77	-461.8	-650.18	-5673.48	-661.54	-709.64	-5845.8
B/C	0.51	0.46	0.55	0.41	0.08	0.41	0.41	0.07
Costo de oportunidad	-1046.63	-945.16	-1041.39	-1118.69	-6297.98	-1140.86	-1218.16	-6397.45

Los costos elevados del tratamiento fertilización con fósforo más la adición de ácido glucónico se deben al alto precio que este tiene ya que los 1000 gramos tienen un valor de 90 USD, cabe resaltar que para cumplir con el requerimiento de ácido glucónico por hectárea se necesitaría 5247 USD siendo muy elevado, se realiza la investigación con este ácido debido a que es el ácido orgánico reportado como el agente más frecuente en la solubilización de fosfatos, el ácido cítrico tiene un valor de 2.5 USD y para cumplir con el requerimiento por hectárea tiene un valor de 94.33 USD y el ácido oxálico un valor de 4.5 USD y para cumplir con el requerimiento por hectárea tiene un valor de 170 USD; estos valores en comparación con la fertilización tradicional fosfatada resultan elevados.

Sin embargo, se debería estudiar los beneficios de microorganismos que producen estos ácidos para ver si se obtienen mejores relaciones beneficio costo.

## **CAPÍTULO V**

### **5.1 CONCLUSIONES.**

- Existe una acción sinérgica entre el ácido y la fertilización fosfatada en el contenido de fósforo en el suelo. En consecuencia, la aplicación de este compuesto orgánico podría ser considerada como un bioestimulante que disminuye las aplicaciones de fósforo de origen mineral.
- El ácido cítrico funciona como solubilizador de fósforo cuando no se aplica fertilización. Por lo tanto, puede concebirse el uso de este compuesto orgánico como una enmienda complementaria para incrementar la disponibilidad del fósforo edáfico.
- La aplicación de ácidos no genera diferencias significativas en las variables: Porcentaje de materia seca, rendimiento, tamaño de espigas y peso de 1000 granos.
- La aplicación de los ácidos orgánicos no se presenta como una alternativa a la fertilización fosfatada ya que su relación costo beneficio es menos rentable en comparación con la fertilización tradicional.

### **5.2 RECOMENDACIONES.**

- Realizar este estudio enfocado en la concentración de fósforo en las hojas, permitirá tener una idea más clara de la absorción de este nutriente por tratamiento.
- Investigar diferentes dosis de ácido cítrico para establecer los rangos más adecuados para absorción de fósforo.
- Realizar investigaciones en el efecto del ácido en el resto de variables del suelo ya que al ser una investigación nueva no se conoce si es que este tipo de enmiendas erosionan químicamente el suelo.
- Se debería estudiar los beneficios de microorganismos que producen estos ácidos para ver si se obtienen mejores relaciones beneficio costo.



## 6. REFERENCIAS

- Andrade, F., Mendonça, E., Alvarez, V., y Novais, R. (2003). Adición de ácidos orgánicos y húmicos en Oxisoles y adsorción de fosfatos. *Revista Brasileña de Ciencias del Suelo*, 27 (6), 1003-1011.
- Arteaga, R., Burbano, E., Otero, I., y Fernández, P. (2016). Degradación de oxalato por bacterias oxalotróficas asociadas a plantas del género *Oxalis* sp en regiones Andinas del departamento de Nariño, Colombia. *Universidad y Salud*. 18. 69.
- Beltrán, M. (2014). La solubilización de fosfatos como estrategia microbiana para promover el crecimiento vegetal. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 15(1), 101-113.
- Biberdzic, M Barac, S., Lalević, D., Djikic, A., Prodanović, D. y Rajcic, V. (2020). Influencia del sistema de labranza del suelo en la compactación del suelo y el rendimiento del trigo de invierno. *Revista Chilena de Investigaciones Agropecuarias*.
- Arteaga, R. D. C., Burbano-Rosero, E. M., Ramirez, I. D. O., & Izquierdo, P. F. (2016). Degradación de oxalato por bacterias oxalotróficas asociadas a plantas del género *Oxalis* sp en regiones Andinas del departamento de Nariño, Colombia. *Universidad y Salud*, 18(1), 69-78.
- Cisneros, M., Martín, J., Realpe, M., y Fuenmayor, J. (2017). Influencia de microorganismos en la disponibilidad de fósforo en plántulas de café (*Coffea arabica*). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 15, 19-26.
- Comisión Europea (2013). Comunicación de la comisión al parlamento europeo, al consejo, al comité económico y social europeo y al comité de las regiones *Comunicación consultiva sobre el uso sostenible del fósforo*, 1, 1-9.
- Corrales, L.; Caycedo, L., Gómez, M., Ramos, S., y Rodríguez, J. (2017). *Bacillus* spp: una alternativa para la promoción vegetal por dos caminos enzimáticos. *Nova*, 15(27), 45-65.
- Cralle, H.; Fojtasek, T.; Carson, K.; Chandler, J.; Miller, T.; Senseman, S.; Bovey, R. y Stone, M. (2009). Wheat and Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*) competition as affected by phosphorus nutrition. *Weed Science*. 51. 425-429.

- Crops, B. (1999). Functions of phosphorus in plants. *Informaciones agronomicas* 36, 8.
- Falconí, E., Ponce, L., Coronel, J., Garófalo, J., & Abad, S. (2014). INIAP - IMBABURA 2014 Nueva variedad de trigo de grano rojo para las zonas trigeras del Ecuador. *Plegable* 412, 2.
- Fernández, M. (2007). Fósforo: Amigo o enemigo. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 41(2), 51-57.
- Folgeras, M. (2008). Microbiología General. Conferencia a estudiantes de Tercer Año de Ingeniería Agropecuaria en el Centro Universitario Municipal (CUM). Santo Domingo, Villa Clara Cuba.
- Fonseca, P. (3 de 3 de 2017). Informe: Las fórmulas para calcular la cantidad de materia seca. *Contexto Ganadero*.
- Garófalo, L y Abad S., (2011). Guía de cultivo de Trigo *Quito, EC: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Programa de Cereales, 2011, 411*.
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, INIAP. (2009). *INIAP – Cojitambo 92 variedad de trigo para el austro* (INIAP Ed.).
- Kuwahara, F. y Souza, G. (2009). Phosphorus as a likely reducing factor of the water deficit effects on growth and leaf gas exchanges of *Brachiaria brizantha* cv. MG-5 Vitória. *Acta Scientiarum. Agronomy*. 31. 261-267.
- Lambers, H., Shane, M., Cramer, M., Pearse, S. y Veneklaas, E. (2006) Estructura y funcionamiento de la raíz para la adquisición eficiente de fósforo: características morfológicas y fisiológicas coincidentes, *Annals of Botany* , volumen 98, número 4, octubre 2006, páginas 693–713
- Lázaro L;Abbate, P.E. (2001).Deficiencias de fósforo como determinantes del número de granos en trigo. Actas del V Congreso Nacional de Trigo. Villa Carlos Paz, Córdoba.
- Meneses, D., Paredes, C., Zhang, H., Giles, C. D., Darch, T., Stutter, M., . . . Haygarth, P. M. (2016). Organic acids regulation of chemical–microbial phosphorus transformations in soils. *Environmental Science & Technology*, 50(21), 11521-11531.
- Manangón, P. (2012). *Evaluación de siete variedades de trigo (Triticum aestivum L.) con tres tipos de manejo nutricional, a 2890 m.s.n.m. Juan Montalvo-Cayambe-2012* (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador.
- Mengel, K. y Kirkby, E. (2000). Principios de nutrición vegetal. Instituto Internacional de la Potasa. Basel, Switzerland

- Munera, G., y Mesa, D. (2014). El fósforo elemento indispensable para la vida vegetal. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnologías. Tecnología Química
- Paredes-Mendoza, M., y Espinosa-Victoria, D. (2010). Ácidos orgánicos producidos por rizobacterias que solubilizan fosfato: una revisión crítica. *Terra Latinoamericana*, 28(1), 61-70.
- Patiño, C., y Sánchez, M. (2012). Aislamiento e identificación de bacterias solubilizadoras de fosfatos, habitantes de la rizósfera de chontaduro (*B. gassipaes* Kunth). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10 (2), 177-187.
- Peñaherrera, D. (2011). *Manejo Integrado de los cultivos de trigo y cebada*. Quito: INIAP.
- Pérez, F. Benavides, A.; Vásquez M. y Ramírez. H (2014). Adición de ácido cítrico en la solución nutritiva en tomate en un suelo calcáreo. *Terra latinoamericana*, 32(3), 251-255.
- Prada, L. (2013). Identificación de ácidos orgánicos causantes de la solubilización de fósforo inorgánico sintetizados por actinomicetos aislados de suelos en los andes orientales colombianos. (Tesis de Maestría en Ciencias - Microbiología). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Prystupa, P.; Slafer, G. y Savin, R. (2003). Leaf appearance, tillering and their coordination in response to N x P fertilization in barley. *Plant and Soil*, 587-594.
- Restrepo-Franco, G, Marulanda-Moreno, S, Fe-Pérez, Y. ; Díaz-de la Osa, A, Lucía-Baldani, V y Hernández-Rodríguez, A. (2015). Bacterias solubilizadoras de fosfato y sus potencialidades de uso en la promoción del crecimiento de cultivos de importancia económica *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 46(1), 63-76.
- Santos, S., Barros, E., Ferraciú, L., & Graziotti, P. (2017). Citric Acid Influence on Soil Phosphorus Availability. *Plant and Soil*.
- Sanzaso, A. (2014). El fósforo del suelo. Catedra de edafología Facultad de Agronomía Zootécnica en la Universidad Nacional de Tucuman.
- Sharma, M. K. y Kumar, P. (2011). Guía para la identificación y manejo de la deficiencia de nutrientes en cereales. *International Plant Nutrition Institute*, 24.
- Suñer, L. y Galantini, J. (2012). Fertilización fosforada en suelos cultivados con trigo de la región Sudoeste Pampeana. *Ciencia del Suelo*. 30. 57-66

Szpinak, V. y Nieto, N. (2017). Caracterización preliminar de la actividad microbiana solubilizadora de fosfato del biofertilizante tierra nueva (Trabajo de Grado). Universidad OTR, Uruguay.