

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN SUELOS**



**“APLICACIÓN DE PERÓXIDO DE HIDRÓGENO EN MAÍZ  
(*Zea mays* L.) EN SUELO LABRADO Y SIN LABRAR”**

**Presentada por:**

**JIMMY ALCIDES OCAÑA REYES**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE  
MAGISTER SCIENTIAE EN SUELOS**

**Lima - Perú**

**2020**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN SUELOS**

**“APLICACIÓN DE PERÓXIDO DE HIDRÓGENO EN MAÍZ  
(*Zea mays* L.) EN SUELO LABRADO Y SIN LABRAR”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE  
MAGISTER SCIENTIAE**

**Presentada por:  
JIMMY ALCIDES OCAÑA REYES**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

M.Sc. Andrés Casas Diaz

Ph.D. Sady García Bendezù

**PRESIDENTE**

**ASESOR**

Dr. Oscar Loli Figueroa

Mg.Sc. Braulio La Torre Martinez

**MIEMBRO**

**MIEMBRO**

## **DEDICATORIA**

A mi familia y profesores de la maestría de suelos

# ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
2.1. PERÓXIDO DE HIDRÓGENO (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) .....	3
2.2. Función del H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> en las plantas .....	3
2.3. Peróxido de hidrógeno en el suelo .....	5
2.4. Importancia del peróxido de hidrógeno relacionada al oxígeno en las plantas .....	5
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	8
3.1. Características del campo experimental.....	8
3.1.1. Ubicación .....	8
3.1.2. Características del suelo .....	8
3.2. Características climáticas durante el desarrollo del experimento .....	11
3.3. Materiales.....	11
3.3.1. Material vegetal.....	11
3.3.2. Fertilizantes .....	12
3.3.3. Peróxido de hidrógeno .....	12
3.4. Tratamientos en estudio .....	12
3.5. Campo experimental .....	13
3.6. Metodología .....	14
3.7. Instalación del área experimental.....	14
3.8. Parámetros en evaluación:.....	18
3.8.1 Variables biométricas del cultivo de maíz morado PVM 581 .....	18
3.8.2. Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> ): .....	19
3.8.3. Parámetros agronómicos del maíz morado PVM 581 .....	19
5.9. Análisis estadístico.....	20
5.9.1. Diseño experimental.....	20

5.9.2. Tratamiento estadístico .....	21
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....	22
4.1. Altura de planta.....	23
4.2. Índice de área foliar .....	24
4.3. Peso de raíces.....	25
4.4. Rendimiento de mazorcas .....	29
4.5. Biomasa.....	34
4.6. Índice de cosecha .....	35
4.7. Antocianina .....	36
V. CONCLUSIONES.....	37
VI. RECOMENDACIONES .....	38
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39
VIII. ANEXOS .....	42

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Análisis fisicoquímico del suelo del campo experimental en Higuera	10
Tabla 2: Variables climáticas registradas durante el periodo experimental del cultivo	11
Tabla 3: Tratamientos en estudio	13
Tabla 4: Cronograma del ensayo experimental	16
Tabla 5: Efecto de la aplicación edáfica del H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> sobre las variables biométricas de maíz morado PVM 581	22
Tabla 6: Promedios del efecto del H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> sobre las variables biométricas del maíz morado PVM 581	22
Tabla 7: Rendimientos parciales de mazorcas de maíz morado PVM 581 por efecto de la aplicación edáfica del H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> en suelo labrado y sin labrar	31
Tabla 8: Efecto de la aplicación edáfica del H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> sobre la biomasa, índice de cosecha y antocianinas del maíz morado	33
Tabla 9: Promedio del efecto del H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> en la biomasa, índice de cosecha y antocianina en el maíz morado, en un suelo labrado y sin labrar	33

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Transición entre la molécula de oxígeno (O <sub>2</sub> ), el anión superóxido (O <sub>2</sub> <sup>-</sup> ), el peróxido de hidrógeno (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) y los radicales hidroxilos (OH <sup>-</sup> ).....	4
Figura 2: Labores agrícolas y culturales realizadas en el campo experimental.....	17
Figura 3: Evaluación de variables del campo experimental .....	18
Figura 4: Efecto de la aplicación edáfica del peróxido de hidrógeno en la altura de plantas de maíz morado en suelo labrado y sin labrar.....	23
Figura 5: Efecto de la aplicación edáfica del H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> sobre el índice de área foliar de plantas de maíz morado en un suelo labrado y sin labrar.....	25
Figura 6: Efecto de la aplicación edáfica de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> en el peso de las raíces del maíz morado.....	26
Figura 7: Efecto de la aplicación edáfica de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> en el maíz morado sobre el crecimiento de las raíces.....	28
Figura 8: Efecto de la aplicación edáfica del H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> en el rendimiento de mazorcas de maíz morado en un suelo labrado y sin labrar.....	30
Figura 9: Efecto de la aplicación edáfica H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> en el rendimiento de mazorcas de primera, segunda y tercera.....	32
Figura 10: Efecto de la aplicación edáfica del H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> en la biomasa del maíz morado en un suelo labrado y sin labrar.....	34
Figura 11: Efecto de la aplicación edáfica del H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> en el índice de cosecha del maíz morado en un suelo labrado y sin labrar.....	35
Figura 12: Efecto de la aplicación edáfica del H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> en el contenido de antocianinas de la tusa del maíz morado en un suelo labrado y sin labrar.....	36

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: ALTURA DE PLANTA.....	42
ANEXO 2: ÁREA FOLIAR.....	42
ANEXO 3: PESO DE RAÍCES.....	43
ANEXO 4: RENDIMIENTO .....	43
ANEXO 5: BIOMASA.....	44
ANEXO 6: ÍNDICE DE COSECHA.....	44
ANEXO 7: ANTOCIANINA .....	45
ANEXO 8: ANALISIS DE SUELOS .....	46



## RESUMEN

Una limitada disponibilidad de oxígeno ( $O_2$ ) en el suelo puede disminuir la productividad de la planta. La profundidad del suelo y la ausencia de labranza reducen la concentración de  $O_2$  en el suelo, afectando el crecimiento de la planta. El objetivo fue evaluar la factibilidad del uso de la aplicación edáfica de 0, 33, 57, 78 y 100 L ha<sup>-1</sup> de peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) como promotor del crecimiento de plantas de maíz morado. La aplicación edáfica del  $H_2O_2$  podría incrementar la disponibilidad de  $O_2$  en ambos casos. Un experimento de campo fue instalado para evaluar la aplicación edáfica de cinco dosis de  $H_2O_2$  (0, 33, 57, 78 y 100 L ha<sup>-1</sup>), en el cultivo de maíz morado PVM 581 sembrado en un suelo con y sin labranza. Las aplicaciones de  $H_2O_2$  fueron semanales y fraccionadas en once partes hasta que la dosis completa fue aplicada. Los parámetros biométricos, el rendimiento de mazorcas por categorías y el contenido de antocianinas fueron evaluados. Un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con arreglo factorial de dos factores de labranza por cinco niveles de  $H_2O_2$  con cuatro repeticiones fueron empleados. La aplicación edáfica de  $H_2O_2$  incrementó el área foliar, el peso de raíces, el rendimiento de mazorcas de primera, segunda, tercera y el contenido de antocianinas. La dosis de 100 L ha<sup>-1</sup> de  $H_2O_2$  arrojó el rendimiento más alto en mazorcas de primera y de antocianinas, tanto en suelo labrado y sin labrar.

**Palabras claves:** antocianina, maíz morado PVM 581, aplicación  $H_2O_2$

## ABSTRACT

Limited oxygen (O<sub>2</sub>) availability in soil can decrease plant productivity. Soil depth and lack of tillage decrease O<sub>2</sub> concentration in soils, affecting plant growth. The aim was to evaluate the feasibility of edaphic application of 0, 33, 57, 78 y 100 L ha<sup>-1</sup> of hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) as plants growth promotor of purple corn. Edaphic applications of hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) can increase O<sub>2</sub> availability in both cases. A field experiment was set up for evaluating the edaphic application of five doses of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0, 33, 57, 78 and 100 L ha<sup>-1</sup>) on the PVM 581 purple corn crop sown in tilled and not tilled soil. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> was applied weekly and was divided into eleven parts until the complete dose was applied. Biometric parameters, corn ear yield by category and anthocyanin content were evaluated. A completely randomized block design with a factorial arrangement of two tillage factors for five levels of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> with four replicates was used. The H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> edaphic application increased the leaf area; root weight; first, second and third ear yield; and anthocyanin content. The dose of 100 L ha<sup>-1</sup> of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> showed the highest first ear yield and anthocyanin content, both in tilled and not tilled soil.

**Key words:** Anthocyanin, PVM 581 purple corn, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> application

## I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de maíz morado es sembrado principalmente en la sierra del Perú y está adquiriendo importancia en la industrialización debido a su contenido de antocianinas. Sin embargo, las áreas de siembra disminuyeron debido a las sequías en los años 2009, 2010 y 2011, cuyas áreas de siembra fueron 213 751, 201 329 y 198 262 hectáreas, respectivamente (MINAGRI 2016).

Las raíces de las plantas consumen altas cantidades de oxígeno en la respiración celular para conseguir energía necesaria para el adecuado crecimiento y desarrollo de la planta, por lo tanto, el oxígeno es un elemento muy importante para diversas funciones fisiológicas de las plantas.

La concentración de oxígeno disminuye a mayor profundidad de la superficie del suelo (Sharma 2007). Además, la condición de aireación, por lo tanto, o nivel de oxígeno en el suelo sin labrar es menor que en un suelo labrado (Topp *et al.* 2000) de este modo se restringe el contenido de oxígeno para las células de las raíces de las plantas, limitando la respiración celular y por ende repercute negativamente en el desarrollo y crecimiento adecuado de la planta, pudiendo correlacionarse con un suelo anóxico o en un suelo saturado con agua, donde las plantas habían crecido con total normalidad, éstas murieron en pocas horas (Foth 1990).

La aplicación edáfica del peróxido de hidrógeno como fuente molecular de oxígeno para las raíces de las plantas que crecen en condiciones limitadas de oxígeno podría suministrar este elemento químico para mejorar el funcionamiento fisiológico de la raíz, porque al reaccionar un litro de dicho compuesto químico al tres por ciento produce 9.88 litros de oxígeno, es decir diez veces el volumen de la solución (Barroso 2015). Es así que la aplicación del peróxido de hidrógeno en suelos o condiciones limitadas de oxígeno como suelos arcillosos, salinos, sin labranza, etc., conlleva a mejores resultados en diferentes cultivos (Bhattarai *et al.* 2004; Goorahoo *et al.* 2001; Gil *et al.* 2009).

En tal sentido, en el presente estudio de investigación, la aplicación dosis crecientes de peróxido de hidrógeno incrementará los parámetros biométricos, agronómicos y el rendimiento del maíz morado, siendo mayor la respuesta en un suelo sin labrar que en el labrado. Por lo que se instaló un experimento a nivel de campo en la comunidad de Higuera, distrito de Kichki, provincia y departamento de Huánuco, para evaluar dicho efecto sobre el rendimiento de mazorcas, parámetros biométricos y agronómicos del maíz morado, con los siguientes objetivos.

**Objetivo general:**

- Evaluar la factibilidad del uso de la aplicación edáfica de 0, 33, 57, 78 y 100 L ha<sup>-1</sup> de peróxido de hidrógeno como promotor del crecimiento de plantas de maíz morado.

**Objetivos específicos:**

- Determinar el efecto de la aplicación edáfica de dosis crecientes de 0, 33, 57, 78 y 100 L ha<sup>-1</sup> de peróxido de hidrógeno sobre las variables biométricas y el rendimiento de mazorcas de maíz morado, sembrado con y sin labranza.
- Evaluar el efecto de las dosis anteriores sobre la calidad del maíz cosechado, medida por su contenido de antocianinas en la tusa.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

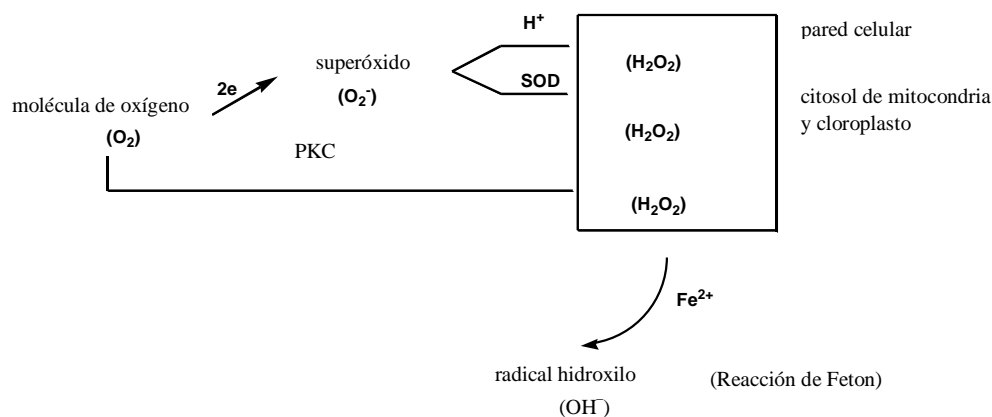
### 2.1. PERÓXIDO DE HIDRÓGENO (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)

El H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> es el producto de la reducción de dos electrones de O<sub>2</sub>, siendo un oxígeno potencialmente reactivo, pero no un radical libre. En comparación con el anión superóxido (O<sub>2</sub><sup>-</sup>) y el radical hidroxilo (OH<sup>-</sup>), el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, en ausencia de metales de transición es relativamente segura o estable entre las especies de oxígeno reactivas (ROS). De tal modo, el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> reacciona fácilmente con moléculas que tienen Fe<sup>2+</sup>, resultando la homólisis del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en dos radicales libres de OH<sup>-</sup>, siendo la toxicidad del agua oxigenada relacionada a esta acción (Cheeseman 2007).

### 2.2. FUNCIÓN DEL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> EN LAS PLANTAS

El rol del peróxido de hidrógeno en la fisiología y bioquímica de las plantas es muy importante porque es producida en las células de las plantas durante la fotosíntesis y fotorrespiración y en menor grado en la respiración. Además, el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en los tejidos de las plantas es altamente móvil.

El O<sub>2</sub> durante una abrupta oxidación es reducido a O<sub>2</sub><sup>-</sup> y éste sufre dismutación espontánea a pH ácido, característico de la pared celular (Figura N° 1). Luego, el O<sub>2</sub><sup>-</sup> es catalizado por la enzima superóxido dismutasa (SOD) la cual está presente en el citosol, cloroplasto y mitocondria; y el O<sub>2</sub><sup>-</sup> puede ser reducido a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> por la proteína C kinasa (PKC), la cual está presente en todos los organelos de las plantas. Finalmente, el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> reacciona con el Fe<sup>2+</sup>, conduciendo a la formación OH<sup>-</sup> (Arora *et al.* 2002) (Gráfico N° 1).



**Figura 1: Transición entre la molécula de oxígeno (O<sub>2</sub>), el anión superóxido (O<sup>2-</sup>), el peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) y los radicales hidroxilos (OH<sup>-</sup>)**

FUENTE: Arora *et al.* (2002).

La fuente extracelular del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> se genera de la desprotonización del O<sub>2</sub><sup>-</sup> y de la reducción de éste a través de un reductor, como ascorbato, tioles, ferredoxin, etc. (Asada y Takahashi 1987). El H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a nivel celular se sintetiza principalmente en el cloroplasto, peroxisoma y mitocondria. En el primero, la cadena de transporte de electrones fotosintético es la responsable de la producción de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y éste es catalizado por SOD que contienen sitios activos de Cu/Zn/Fe-SOD. En el peroxisoma al oxidarse el glicolato se genera H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> vía β-oxidación de los ácidos grasos y oxidación de otros sustratos (Dat *et al.* 2000). En la mitocondria, la producción de radicales anión superóxido ocurre principalmente en el complejo I y III de la cadena de transporte de electrones, formando H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. La cantidad de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> producida en la mitocondria es menor que la de los cloroplastos o peroxisomas cuando la planta está expuesta a la luz, pero en la oscuridad la mitocondria puede ser la principal fuente de ROS.

El H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> participa en muchos mecanismos de resistencia, incluso en el reforzamiento de la pared celular, producción de fitoalexinas y promueve la resistencia a diferentes tipos de estreses. También, actúa como regulador de diferentes procesos fisiológicos como la senescencia, la fotorrespiración, la fotosíntesis, el movimiento estomatal, el ciclo celular, el crecimiento y desarrollo de la planta (Foreman *et al.* 2003). La acumulación excesiva de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> puede conducir a un stress oxidativo en las plantas, el cual puede desencadenar la muerte celular. Es así que la concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a niveles adecuados, concentración baja, fomenta el desarrollo de la planta y refuerza su resistencia a los estreses abióticos y bióticos, y a altas concentraciones programa la muerte celular (Dat *et al.* 2000).

### **2.3. PERÓXIDO DE HIDRÓGENO EN EL SUELO**

El peróxido de hidrógeno en suelos con alto contenido de materia orgánica o de manganeso, usualmente reacciona rápidamente, descomponiéndose desproporcionalmente en agua, radical hidroxilo ( $\text{OH}^\cdot$ ) y dióxígeno, dominando éste, mientras que la formación del  $\text{OH}^\cdot$  representa menos del diez por ciento del total de dicha descomposición. En contraste, en suelos con bajo contenido de materia orgánica, el peróxido de hidrógeno se descompone mucho más lentamente, pero el radical hidroxilo es el principal producto de dicha descomposición (Bhakti *et al.* 2002).

En el aire del suelo la presencia del oxígeno crea un ambiente oxidante e impacta químicamente en el estatus redox del suelo y se difunde en dicha atmosfera en función a las condiciones de instauración de agua y se puede disolver en la solución del suelo, siendo su solubilidad  $1.28 \text{ mmol L}^{-1}$  a  $25^\circ\text{C}$  a 1 atm (Essington 2005).

### **2.4. IMPORTANCIA DEL PERÓXIDO DE HIDRÓGENO RELACIONADA AL OXÍGENO EN LAS PLANTAS**

El oxígeno no es considerado nutriente mineral, pero en término cuantitativo es uno de los elementos químicos de mayor importancia para el desarrollo y crecimiento de las plantas porque representa una concentración promedio de 45 por ciento del peso seco de las plantas (Havlin *et al.* 1999; Marschner 1995).

Las raíces de las plantas consumen altas cantidades de oxígeno en la respiración celular, equivalente a  $5 \text{ mL h}^{-1} \text{ g}^{-1}$  de  $\text{O}_2$  en el tejido seco (Grable 1966). Y, al aumentar la profundidad del suelo la concentración de oxígeno disminuye (Davelouis 1991; Lal y Shukla 2004), incrementándose el contenido de dióxido de carbono (Lal y Shukla 2004), pudiendo llegar a condiciones anóxicas, causando la disminución de la tasa de síntesis de ATP, pasando de una respiración aeróbica a una anaeróbica, es decir de 36 a 2  $\text{mol mol}^{-1}$  de hexosa, respectivamente (Drew 1992), conllevando a un limitando desarrollo de las raíces, así como a la impermeabilidad de las raíces al agua (Davelouis 1991; Drew 1992).

La aplicación al suelo del peróxido de hidrógeno como fuente de oxígeno molecular para las raíces de las plantas que crecen en suelos limitados de oxígeno presenta un alto potencial de

suministro dicho elemento químico para mejorar el funcionamiento fisiológico de la raíz, ya que, al descomponerse un litro al tres por ciento de peróxido de hidrógeno, produce 9.88 litros de oxígeno, es decir 10 veces el volumen de la solución (Barroso 2015).

Las raíces de las plantas tienen aberturas que permiten el intercambio gaseoso de oxígeno y CO<sub>2</sub> y el oxígeno del aire del suelo es usado por las células de las raíces para la respiración celular (Lal y Shukla 2004; Foth 1990), proceso fisiológico que genera energía necesaria para las células de las raíces de la planta para la absorción de nutrientes y síntesis - translocación de compuestos orgánicos necesarios en el crecimiento y desarrollo. Por lo que en un suelo anóxico o hipóxico, en las hojas de la planta incrementa el 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC), el etileno y el ácido abscísico (Bradford y Yang 1980). También, el bajo contenido de oxígeno en el suelo puede dañar la raíz de las plantas, inhibir el crecimiento vegetativo y reproductivo, así como cambiar la anatomía y morfología de las plantas y fomentar la prematura senescencia y mortalidad de la planta (Schaffer *et al.* 1992).

Al disminuir la presión parcial de oxígeno en el suelo de 20 a 5 y 0.5 por ciento, la absorción de potasio en cebada disminuyó 25 y 63 por ciento, respectivamente, así como la del fósforo disminuyó 44 y 60 por ciento, respectivamente (Marschner 1995).

Las plantas incluso entre variedades presentan diferencias notables en su capacidad de tolerar niveles bajos de oxígeno en los suelos. Las plantas de tomate son vulnerables al exceso de humedad, al saturar el suelo donde estaban creciendo, murieron en 24 horas debido a la deficiencia de oxígeno (Foth 1990).

El sistema de labranza, entre un suelo labrado y sin labrar, influye en su contenido de O<sub>2</sub>, en los primeros centímetros de profundidad, no hay diferencia significativa, pero el suelo labrado entre los 20 y 30 cm de profundidad presenta un 14 y 98 por ciento más O<sub>2</sub>, respectivamente, que el suelo sin labrar (Topp *et al.* 2000).

En el cultivo de tomate al aplicar las dosis de 20, 30 y 40 mg L<sup>-1</sup> de oxígeno, disuelto en la solución de nutrientes, por cuatro semanas incrementó el contenido de clorofila foliar y la cantidad de raíces fueron mayores con la última dosis, sin embargo casi todos los parámetros biométricos fueron significativamente reducidos en comparación con las demás, sugiriendo



que el enriquecimiento de la zona radicular con oxígeno a más de 30 mg L<sup>-1</sup> podría causar la reducción del crecimiento y desarrollo de la planta (Zheng *et al.* 2007).

En un experimento en el cultivo de tomate, al aplicar agua oxigenada a una dosis de 50 mM (1.47 mg L<sup>-1</sup>) el contenido de azúcares en el fruto incrementó en un 50 por ciento (Lin y Block 2009).

En un experimento de papa con la variedad Dark Red Norland al adicionar peróxido de hidrógeno a la siembra a una dosis de 1:100 y a 1:50 por dieciséis semanas consecutivas, después de la emergencia de la plántula, el rendimiento incrementó en 41.3 por ciento (Al-Mughrabi 2007), pero este beneficio fue atribuido a la disminución de inóculos infecciosos, aunque no se mostró ni un análisis sobre este tratamiento sanitario.

La aplicación de 5 L ha<sup>-1</sup> en cada riego de peróxido de hidrógeno sobre el suelo arcilloso y saturado con agua con los cultivos de zapallito italiano y calabazas incrementó el rendimiento, el número de frutos y el peso aéreo en 25, 29 y 24 por ciento, respectivamente, comparados con el testigo (Bhattarai *et al.* 2004).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. CARACTERÍSTICAS DEL CAMPO EXPERIMENTAL**

##### **3.1.1. Ubicación**

El presente trabajo experimental fue desarrollado en la comunidad de Higuera, distrito de Kichki, provincia y departamento de Huánuco, localizado a 2108 msnm, a 9° 55' 12'' latitud sur y 76°21'20'' longitud oeste.

##### **3.1.2. Características del suelo**

El suelo del campo experimental está ubicado fisiográficamente en una colina alta. Se caracteriza por ser poco profundo y tener una capa de textura arcillosa debajo de los 20 cm, el drenaje y permeabilidad son moderados, la textura franca, la estructura granular y la consistencia friable en húmedo( Walkley y Black 1934)

La muestra de suelo fue tomada a una profundidad de 20 cm el 15 de noviembre del 2015, meses antes de la instalación del experimento.

Las propiedades físico-químicas del suelo fueron determinadas empleando los métodos seguidos por el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina (LASPAF – UNALM), previa preparación de la muestra de suelo, las cuales se describen a continuación.

La conductividad eléctrica se determinó en base a la suspensión de suelo filtrada y la conductividad eléctrica del extracto obtenido fue medida por un conductímetro o salómetro digital marca YSI (Yellow Springs Instrument) con aproximación al centésimo. Un factor de conversión, obtenido dividiendo  $100\text{ cm}^3$  entre el volumen exacto de agua destilada para preparar la pasta saturada con una muestra de 100 g de suelo, fue multiplicado por las lecturas de conductividad eléctrica en el extracto 1:1 anterior, para obtener dicho parámetro en el extracto de saturación del suelo.

El pH fue determinado potenciométricamente en relación 1:1, agua – suelo y refleja el grado de alcalinidad o acidez que caracteriza al suelo.

El método del hidrómetro de Bouyoucos es una de las formas más rápidas para analizar el tamaño de las partículas del suelo o determinar la textura del suelo. La muestra de suelo dispersa es mezclada en una probeta con agua y una vez que se asienta, la densidad de la suspensión se puede medir con el densímetro. El tiempo que cada tamaño de partícula toma al caer, por debajo de un plano de conjunto imaginario en el cilindro puede ser medido, con las lecturas que son tomadas después de 40 segundos para medir la sedimentación de arena y después de dos horas para medir las partículas de limo.

La materia orgánica del suelo fue determinada por digestión vía húmeda (método de Walkley y Black 1934). El procedimiento se basa en la determinación de carbono orgánico, el cual es multiplicado por el factor 1.724, el porcentaje de materia orgánica se multiplica por el carbono orgánico. Se estima que la materia orgánica de los suelos contiene en promedio 5 por ciento de nitrógeno total y 58 por ciento de carbono.

El fósforo disponible fue determinado por colorimetría con el reactivo amino-naftol-sulfónico sobre el extracto de suelo, empleando el extractante de Olsen ( $\text{NaHCO}_3$  0.5M) tanto para suelos ácidos como para alcalinos.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) fue determinada mediante la destilación de Kjeldahl del suelo saturado con solución de acetato de amonio ( $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  1N). Los cationes cambiabiles fueron determinados por espectrofotometría de absorción atómica del filtrado anterior.

**Tabla 1: Análisis fisicoquímico del suelo del campo experimental en Higueras**

Determinación	Valor	Calificación
Arena (%)	46	
Limo (%)	28	
Arcilla (%)	26	
Clase textural		Franco
CE (dS m <sup>-1</sup> )	0.30	Muy ligeramente salino
pH	7.84	Ligeramente alcalino
CaCO <sub>3</sub> (%)	0.00	
Materia orgánica (%)	1.87	Baja
P disponible (ppm)	5.50	Bajo
K disponible (ppm)	670	Alto
CIC cmol kg <sup>-1</sup>	14.72	Media
Ca <sup>++</sup> cmol kg <sup>-1</sup>	8.77	Inadecuado
Mg <sup>++</sup> cmol kg <sup>-1</sup>	3.93	Adecuado
K <sup>+</sup> cmol kg <sup>-1</sup>	1.64	Elevado
Na <sup>+</sup> cmol kg <sup>-1</sup>	0.38	No sódico
PSB %	100	Alto

La interpretación de los resultados de la caracterización del suelo corresponde a una conductividad eléctrica muy ligeramente salina con valor de 0.30 dS m<sup>-1</sup> (Tabla 1). El pH del campo experimental mostró un valor de 7.84, clasificado como ligeramente alcalino. De textura franca, con un contenido de materia orgánica igual a 1.87 por ciento, clasificado como bajo, el fósforo disponible es de 5.5 ppm, clasificado como bajo, lo cual equivale a 35.3 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y el potasio presenta un valor de 670 ppm, clasificado como alto y equivale a 2180 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O y el porcentaje de saturación de bases al 100 por ciento, clasificado como alto. Finalmente, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo del campo experimental presenta un nivel medio, 14.72 cmol kg<sup>-1</sup>.

### 3.2. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DURANTE EL DESARROLLO DEL EXPERIMENTO

Las variables climáticas promedio por mes dadas durante el desarrollo del cultivo del maíz morado PVM 581 se puede observar en la Tabla 2.

**Tabla 2: Variables climáticas registradas durante el periodo experimental del cultivo**

Mes	Radiación solar (MJ m <sup>-2</sup> )	T (°C)			HR (%)		Evapotranspiración potencial (mm mes <sup>-1</sup> )	Precipitación (mm mes <sup>-1</sup> )
		máx	mín	pro	máx	mín		
		Abril	13.6	17.9	12.5	15.20		
Mayo	16.7	19.9	12.8	16.35	55	46	88.5	12.3
Junio	18.4	22.1	14.2	18.15	61	56	105.5	7.1
Julio	21.5	26.1	16.1	21.10	65	60	116.0	3.0
Agosto	22.9	26.7	15.6	21.15	69	64	134.4	8.0
Set	24.8	26.4	16.9	21.65	73	62	125.3	14.5

FUENTE: Estación Meteorológica Canchán

El tiempo durante el desarrollo y crecimiento del maíz morado PVM 581 en la parcela experimental fue favorable en cuanto a temperatura mínima y máxima, mayor a 10 °C y menor a 30 °C, ideal para plantas C<sub>4</sub>, aunque la precipitación fue mucho menor que la evaporación, por tal motivo se regó para satisfacer la demanda de hídrica del cultivo.

### 3.3. MATERIALES

#### 3.3.1. Material vegetal

Se empleó semillas de maíz morado PVM 581, la cual es una variedad mejorada por la Universidad Nacional Agraria La Molina a partir de la morada de Caraz. Es recomendable sembrar en costa y sierra baja hasta los 2100 msnm. Además, dicha variedad es tolerante a la roya y a la cercospora. Tiene un periodo vegetativo intermedio y produce unas mazorcas de un tamaño ente 15 a 20 cm, de forma alargada, con alto contenido de pigmentos antocianínicos y con un rendimiento potencial de 6 t ha<sup>-1</sup>.

Para el caso del trabajo experimental se necesitó un promedio de cuatro kg de semilla de maíz morado PVM 581, obtenido del Fundo Lurín.

### **3.3.2. Fertilizantes**

Las fuentes de fertilizantes usadas en la presente tesis fueron tres. El nitrato de amonio, cuya fórmula química es  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , con una ley de 33.5 por ciento de N, tipo granular y solubilidad muy alta. El fosfato diamónico cuya fórmula química  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ , con una ley de 18 por ciento de N y 46 por ciento de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , tipo granular y de solubilidad media. Y, el cloruro de potasio (KCl), con una ley del 60 por ciento de  $\text{K}_2\text{O}$ , tipo granular y de alta solubilidad.

### **3.3.3. Peróxido de hidrógeno**

Conocido también como agua oxigenada, cuya fórmula molecular es  $\text{H}_2\text{O}_2$ , con características de un líquido altamente polar, fuertemente enlazado con el hidrógeno tal como el agua, que por lo general se presenta como un líquido ligeramente más viscoso que éste. Es conocido por ser un poderoso oxidante. Para la presente tesis se utilizó la presentación líquida de 10 volúmenes.

## **3.4. TRATAMIENTOS EN ESTUDIO**

Para el presente estudio se contemplaron cinco tratamientos con la aplicación de 0, 33, 57, 78 y 100  $\text{L ha}^{-1}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2$ , respectivamente, con cuatro repeticiones cada uno. Y, estos tratamientos fueron aplicados tanto en suelo labrado y sin labrar, haciendo un total de 10 tratamientos (Tabla 3), conformando un total de 40 unidades experimentales. Además, todos los tratamientos fueron fertilizados usando insumos sintéticos, a una dosis de 120 – 80 – 120 de N-  $\text{P}_2\text{O}_5$ - $\text{K}_2\text{O}$ , respectivamente.

**Tabla 3: Tratamientos en estudio**

Código del tratamiento	Sistema de labranza (L <sub>1,2</sub> )	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (L ha <sup>-1</sup> )
L <sub>1</sub> P <sub>1</sub>		0
L <sub>1</sub> P <sub>2</sub>		33
L <sub>1</sub> P <sub>3</sub>	Labrado (L <sub>1</sub> )	57
L <sub>1</sub> P <sub>4</sub>		78
L <sub>1</sub> P <sub>5</sub>		100
L <sub>2</sub> P <sub>1</sub>		0
L <sub>2</sub> P <sub>2</sub>		33
L <sub>2</sub> P <sub>3</sub>	Sin labrar (L <sub>2</sub> )	57
L <sub>2</sub> P <sub>4</sub>		78
L <sub>2</sub> P <sub>5</sub>		100

**3.5. CAMPO EXPERIMENTAL**

Características del campo experimental:

Parcelas:

Número	: 40
Número de surcos	: 4
Ancho de la parcela	: 3.2 m
Largo de la parcela	: 4 m
Nº plantas m <sup>-1</sup>	: 7.44
Distancia entre surcos:	0.8 m
Área de la parcela	: 12.8 m <sup>2</sup>
Área total	: 512 m <sup>2</sup>

Bloques:

Número	: 4
Nº parcelas/bloque	: 10
Ancho del bloque	: 4 m
Largo del bloque	: 38.4 m
Área del bloque	: 153.6 m <sup>2</sup>

Calle:

Ancho de calles	: 1 m
Largo de calles	: 38.4 m
Nº de calles	: 3
Área de calle	: 115.2 m <sup>2</sup>

Área total del experimento : 729.6

### **3.6. METODOLOGÍA**

El experimento a nivel de campo se condujo en 40 unidades experimentales, compuestas por 10 tratamientos con cuatro repeticiones, divididas en cuatro bloques.

La siembra se realizó en unidades experimentales labradas y sin labrar según la disposición o diseño de bloques al azar. Cinco semillas por golpe fueron sembradas a una distancia entre surcos o hileras a 0.80 m y entre plantas a 0.40 m y en el desahije se eliminaron plántulas de modo que quedaron tres plántulas por golpe, estableciéndose una densidad de 93750 plantas  $\text{ha}^{-1}$ .

A parte de establecer unidades experimentales de testigos absolutos, tanto para el suelo labrado y sin labrar, se instalaron unidades experimentales solamente fertilizadas con N- P- K en ambos sistemas de labranza, pero con la adición edáfica de 0, 33, 57, 78 y 100 L  $\text{ha}^{-1}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2$ , haciendo un total de cinco niveles de aplicación de  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

La aplicación de dicha sustancia se hizo mecánicamente dirigida al cuello de las plantas de maíz morado, semanalmente durante once veces, a partir del primer riego, aplicando la dilución de 75.5 mL, por golpe de siembra, de la mezcla del  $\text{H}_2\text{O}_2$  de 10 volúmenes a una dosis de 600, 1000, 1400 y 1800 mL en 20 L de agua, representando la dosis final de 33, 57, 78 y 100 L  $\text{ha}^{-1}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

### **3.7. INSTALACIÓN DEL ÁREA EXPERIMENTAL**

Las labores realizadas en la conducción del experimento se detallan en la Tabla 4. Las labores pre operativas consistieron en la elección del terreno, para lo cual se eligió un terreno en descanso de dos años con cubierta de maleza seca, el cual reúne condiciones agroecológicas adecuadas para el normal desarrollo y crecimiento de la planta de maíz morado. Además, dicho terreno dispone del área suficiente para la ubicación y disposición de las unidades experimentales para conformar la parcela experimental.

La preparación del terreno o de la parcela experimental se realizó en función a los tratamientos, los cuales están divididos bajo dos sistemas de siembra, labranza tradicional y sin labranza, es así que en función a la disposición de las unidades experimentales se labró y no se labró el suelo (Figura 2a).



La siembra se realizó manualmente el día 10 de abril del 2016, depositando cinco semillas en los hoyos de una profundidad de cuatro centímetros, con un distanciamiento de 0.40 m entre golpes. Y, entre surcos (parcelas labradas) e hileras (parcelas sin labrar), a una distancia de 0.8 m (Figura 2b).

En el desahije las plántulas menos vigorosas se eliminaron antes de la primera fertilización, dejando solamente tres plántulas por golpe, haciendo una densidad de 93750 plantas ha<sup>-1</sup> (Figura 2c).

La fertilización se realizó después del primer riego, a los 21 días después de la siembra (Figura 2d), según la dosis 120 – 80 – 120 de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O, respectivamente. Las fuentes utilizadas fueron el nitrato de amonio, el fosfato diamónico y el cloruro de potasio, respectivamente. Para el caso del nitrógeno se fraccionó en tres partes iguales.

El control de malezas de la parcela experimental se realizó químicamente, de tal modo que la parcela experimental estuvo libre de malezas entre los 15 a 45 días después de la emergencia del maíz, aplicando glifosato al 1.5 por ciento y atrazina al 0.25 por ciento.

El H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> fue aplicado en forma de drench 75.5 mL por planta de la disolución preparada, utilizando la mochila de fumigación manual, dirigida al cuello de planta del maíz morado, semanalmente durante once veces, llegando a una dosis de 33, 57, 78 y 100 L ha<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

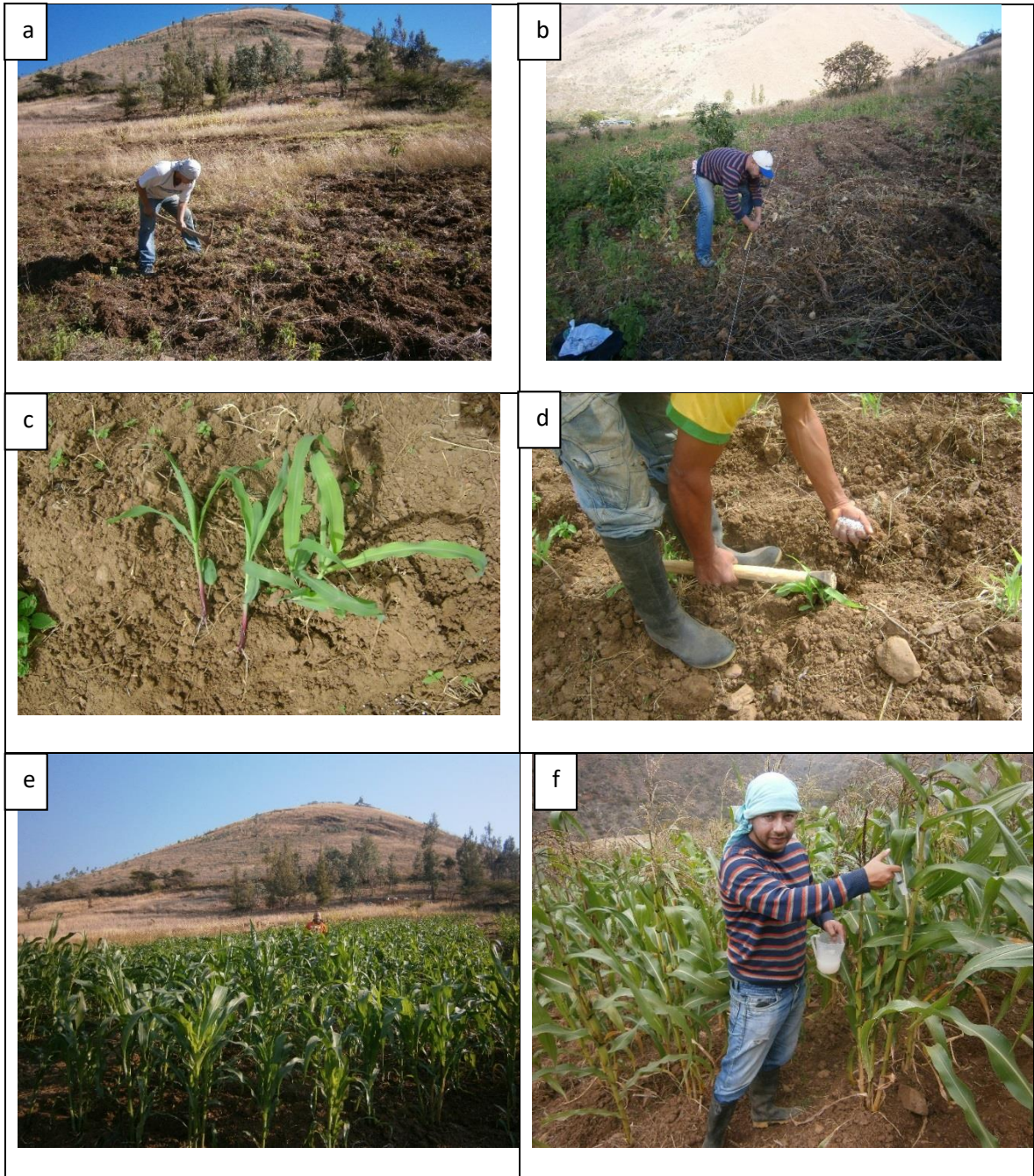
**Tabla 4: Cronograma del ensayo experimental**

Labores de campo	Fecha
Muestreo del campo experimental y análisis de suelo (Anexo 8)	01/12/2015
Preparación de terreno	25/03/2016
Siembra	10/04/2016
Desahije	25/04/2016
Control de gusanos de tierra	26/04/2016
1° fertilización	26/04/2016
1° aplicación de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	27/04/2016
2° aplicación de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	04/05/2016
3° aplicación de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	11/05/2016
4° aplicación de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	18/05/2016
2° fertilización nitrogenada	23/05/2016
5° aplicación de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	25/05/2016
6° aplicación de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	01/06/2016
3° fertilización y crecimiento vegetativo (Figura 2e)	04/06/2016
7° aplicación de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	08/06/2016
8° aplicación de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	15/06/2016
9° aplicación de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	22/06/2016
Medición de altura de planta, área foliar y peso de raíz (Figura 2a,b)	28/06/2016
10° aplicación de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	29/06/2016
11° aplicación de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	06/06/2016
Control del mazorquero ( <i>Heliothis zea</i> ) (Figura 2f)	18/07/2016
Cosecha, cálculo del rendimiento y análisis de antocianinas (Foto 2c,d)	27/09/2016

Los riegos se realizaron oportunamente por gravedad según la necesidad hídrica del cultivo. En el control fitosanitario se controlaron oportunamente las plagas clave que atacan al cultivo de maíz morado. En el estado inicial del cultivo, los gusanos cortadores (*Agrotis* sp, *Feltia* sp), fueron controlados con la aplicación al 2.2 por ciento de clorpirifos y carbofuran cada uno, aplicando dos veces, la segunda 15 días después de la primera fumigación.

El mazorquero fue controlado con la aplicación de una solución de indoxacarp al 0.1 por ciento, a los 98 dds (Figura 2f), dirigida a las mazorcas con la ayuda de jeringas hipodérmicas.

La cosecha se realizó a los 171 días dds (Figura 3c), dejando de regar dos semanas antes para poder cosechar a un adecuado nivel de humedad y luego analizar el contenido de antocianinas de la tusa (Figura 3d).



**Figura 2: Labores agrícolas y culturales realizadas en el campo experimental**

- a. Preparación de terreno, b. Siembra del campo experimental, c. Desahije, d. Primera fertilización, e. Crecimiento maíz morado, f. Control del mazorquero





**Figura 3: Evaluación de variables del campo experimental**

- a. Cálculo del área foliar, b. Medición del peso de raíces, c. Rendimiento de mazorcas, d. Análisis del contenido de antocianinas.

### 3.8. PARÁMETROS EN EVALUACIÓN

#### 3.8.1 Variables biométricas del cultivo de maíz morado PVM 581

**Altura de planta (cm):** Medida en la etapa de floración, desde el cuello de la raíz hasta el último nudo antes de la panoja, tomadas a un promedio de diez plantas (Bioversity International y FAO 2013).

**Índice de área foliar:** Medida en la etapa del 50 por ciento de floración de la parcela experimental. Con un sacabocado se sacaron unos círculos de plantas de cada unidad

experimental y con el área y peso conocido de dichos círculos, fácilmente se relacionaron el peso total con su respectiva área y luego se calculó el promedio.

**Peso de raíces (g planta<sup>-1</sup>):** De las cinco plantas muestreadas para el área foliar se extrajeron cuidadosamente las raíces con todo el suelo alrededor, a una profundidad de 45 cm. Luego, fueron sumergidas en una cubeta de agua por diez minutos, para extraer con mayor facilidad dichas raíces. Luego, se secaron en estufa a 60 °C por ocho horas y se registraron el peso de cada una para obtener el promedio.

### 3.8.2. Rendimiento (kg ha<sup>-1</sup>):

se obtuvo contando el número de mazorcas de la parte central de cada unidad experimental, luego se pesaron y ajustaron al 14 por ciento de humedad, para luego ser convertidos a kg ha<sup>-1</sup>.

### 5.8.3. Parámetros agronómicos del maíz morado PVM 581

**Biomasa (kg ha<sup>-1</sup>):** del número total de las plantas de la parte central (eliminando el efecto de borde) fueron secadas las muestras de hojas, tallo y panoja al medio ambiente por un tiempo de 24 horas y posteriormente se sometió a secado en la estufa (65 °C durante 72 horas). Al peso total se adicionó el peso de las mazorcas para completar la biomasa.

**Índice de cosecha (por ciento):** indica la relación entre el peso de la mazorca de maíz morado y el peso total de la planta incluida la mazorca, multiplicado por 100.

**Antocianinas (mg 100 g<sup>-1</sup>):** previamente la mazorca fue desgranada y las tusas fueron cortadas en rodajas y sumergidas en una proporción de 50 g en 600 mL de agua acidulada, ajustada a un pH 1 y 4.5 con HCl. Una alícuota del extracto se diluyó en una fiola de 25 mL con soluciones buffer de cloruro de potasio (pH 1) y acetato de sodio (pH 4.5). En las soluciones preparadas se determinó el contenido de antocianinas según el método de pH diferencial, de acuerdo a Giusti y Wrosltad (2003), de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\text{Abs} = (\text{Abs } 510 \text{ nm} - \text{Abs } 700 \text{ nm})_{\text{pH}1} - (\text{Abs } 510 \text{ nm} - \text{Abs } 700 \text{ nm})_{\text{pH}4.5}$$

$$\text{Contenido de antocianinas: (mg } 100 \text{ g}^{-1}) = \frac{\text{Abs} \times \text{MW} \times \text{DF} \times 1000}{E} \times L$$

Abs: absorbancia

E: 26900 L mol<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup> (coeficiente de extinción molar)

MW: 449.2 g mol<sup>-1</sup> (peso molecular de cianidina - 3b - glucosa)

$$DF: \frac{(500 \mu L + 49.5 \mu L)}{500 \mu L} = 100$$

1000: conversión de g a mg

L: espesor de la celda (1 cm)

## 5.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

### 5.9.1. Diseño experimental

El diseño experimental aplicado fue un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con arreglo factorial de dos factores (suelo labrado y sin labrar) por cinco niveles (0, 33, 57, 78 y 100 L ha<sup>-1</sup>) y cuatro repeticiones cada uno, haciendo un total de 40 unidades experimentales, cuyo modelo aditivo lineal es:

$$Y_{ijk} = \mu + \phi_k + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

$Y_{ijk}$  : observación del tratamiento del i-ésimo tratamiento en el j-ésimo bloque.

$\mu$  : efecto de la media general.

$\phi_k$  : efecto el bloque k

$\alpha_j$  : efecto del nivel i del factor A

$\beta_j$  : efecto del nivel j del factor B

$(\alpha\beta)_{ij}$  : efecto de la interacción del nivel i del factor A y del nivel j del factor B

$\epsilon_{ijk}$  : efecto aleatorio del error experimental

Donde:

i = 1, 2

j = 0, 33, 57, 78 y 100

k = 1, 2, 3 y 4

El esquema del ANVA para parámetros en comparación:

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>cm</b>	<b>Fcal</b>
Bloques	$r - 1 = 3$	SCBL	cmBL	cmBL/cme
A	$t - 1 = 1$	SCA	cmA	cmA/cme
B	$q - 1 = 4$	SCB	cmB	cmB/cme
A*B	$(t - 1)(q - 1) = 4$	SCAB	cmAB	cmAB/cme
Error	27	SCe	cme	
Total	39	SCT		

### 5.9.2. Tratamiento estadístico

Los datos obtenidos de las evaluaciones de parámetros biométricos, rendimiento de mazorcas y contenido de antocianinas de la tusa fueron sometidos al análisis de variancia (ANVA) con arreglo factorial de dos factores, el nivel de significación fue 0.05. Para establecer las diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos se utilizó la prueba de comparación de Duncan de comparación múltiple, con un nivel de significación de 5 por ciento. Para estos fines estadísticos se empleó el programa de análisis estadístico Statistical Analysis Systems SAS 2008 Versión 9.1 (SAS Institute Inc. 2008).

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de las variables biométricas y parámetros agronómicos del cultivo de maíz morado PVM 581 se resumen en las Tablas del 5 al 9.

**Tabla 5: Efecto de la aplicación edáfica del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sobre las variables biométricas de maíz morado PVM 581**

Tratamientos	Altura de plantas (cm)	Índice área foliar	Peso de raíces (g planta <sup>-1</sup> )
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (L ha <sup>-1</sup> )			
0	147.5 a	2.57 b	8.20 c
33	162.2 a	2.77 b	10.4 c
57	161.7 a	2.78 b	15.0 b
78	161.0 a	2.78 b	13.6 b
100	150.8 a	3.08 a	24.8 a
Labranza			
Labrado	164.5 a	2.82 a	15.0 a
Sin labrar	148.7 b	2.74 a	14.0 a
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	n.s.	*	*
Labranza	*	n.s.	n.s.
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> x Labranza	n.s.	n.s.	n.s.
CV (%)	9.1	9.2	20

**Tabla 6: Promedios del efecto del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sobre las variables biométricas del maíz morado PVM 581**

Tratamientos	Altura de planta (cm)		Índice área foliar		Peso de raíces (g planta <sup>-1</sup> )	
L <sub>1</sub> P <sub>1</sub>	154.4	(100)	2.61	(100)	8.96	(100)
L <sub>1</sub> P <sub>2</sub>	170.8	(111)	2.77	(105)	9.42	(105)
L <sub>1</sub> P <sub>3</sub>	168.5	(109)	2.85	(109)	14.30	(160)
L <sub>1</sub> P <sub>4</sub>	169.3	(109)	2.76	(106)	14.10	(157)
L <sub>1</sub> P <sub>5</sub>	159.4	(103)	3.13	(120)	26.30	(293)
L <sub>2</sub> P <sub>1</sub>	140.6	(100)	2.52	(100)	7.60	(100)
L <sub>2</sub> P <sub>2</sub>	153.4	(109)	2.79	(111)	11.40	(150)
L <sub>2</sub> P <sub>3</sub>	154.8	(110)	2.70	(107)	15.50	(204)
L <sub>2</sub> P <sub>4</sub>	152.7	(108)	2.66	(106)	12.90	(170)
L <sub>2</sub> P <sub>5</sub>	142.2	(101)	3.03	(120)	23.20	(305)

( ): valores indican el incremento porcentual respecto al tratamiento sin H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

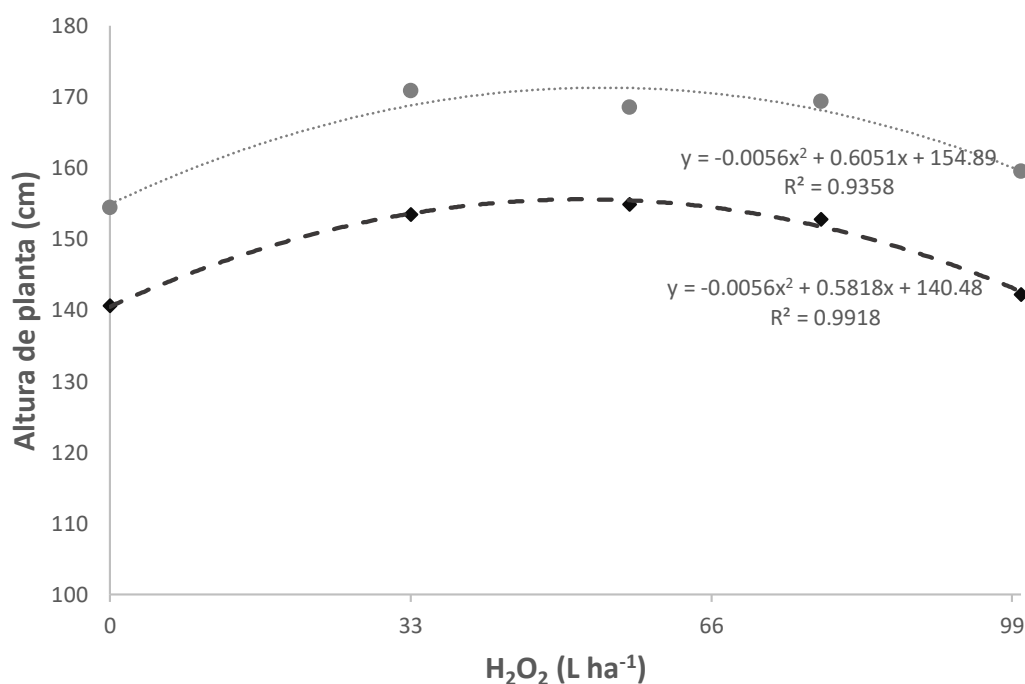


#### 4.1. ALTURA DE PLANTA

En los promedios del efecto de la aplicación edáfica del  $H_2O_2$  sobre la altura de planta (Tabla 6) se puede observar que la altura de planta en los suelos labrados ( $L_1$ ) al aumentar la dosis del  $H_2O_2$  de 0 a 33, 57, 78 y 100  $L\ ha^{-1}$  incrementó 11, 9, 9 y 3 por ciento, respectivamente. Además, al incrementar la dosis de dicha sustancia, la altura de planta presentó un efecto bimodal, con las primeras dosis aumentó la altura de planta y luego mostró una tendencia a disminuir con las últimas dosis y muestra una tendencia de una ecuación cuadrática (Figura 4).

Con respecto al suelo no labrado y con las mismas dosis de  $H_2O_2$ , 33, 57, 78 y 100  $L\ ha^{-1}$ , la altura de la planta incrementó en 9, 10, 8 y 1 por ciento respectivamente (Tabla 6) con referencia al tratamiento sin  $H_2O_2$ , siendo semejante el comportamiento de la altura de planta ante el efecto del  $H_2O_2$  en el suelo labrado, incluso ligeramente más marcado.

En general, la altura de planta con los tratamientos de  $H_2O_2$  en suelo labrado mostraron mayor altura que las obtenidas en el suelo sin labrar (Figura 4). Y, en ambos casos se aprecia claramente que la altura de planta muestra una tendencia a aumentar y luego disminuir ligeramente, al incrementar las dosis de  $H_2O_2$ .



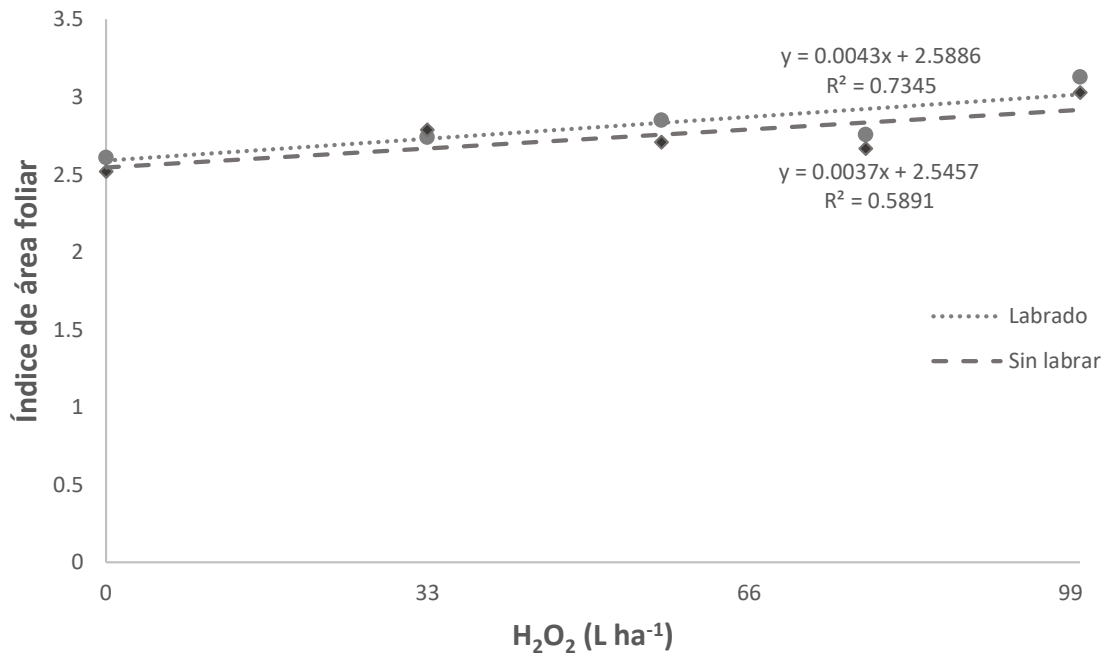
**Figura 4: Efecto de la aplicación edáfica del peróxido de hidrógeno en la altura de plantas de maíz morado en suelo labrado y sin labrar**

En el análisis de variancia (ANVA) la interacción de ambos factores y la aplicación de peróxido de hidrógeno no mostraron diferencia estadística significativa (Tabla 5 y Anexo 1A). Sin embargo, la aplicación de  $H_2O_2$  mostró un incremento cuantitativo ligero en la altura de planta, posiblemente debido a un mayor incremento en la absorción de agua y nutrientes debido a una mayor disponibilidad de oxígeno (Marschner 1995), aunque mostraron una tendencia a disminuir con las últimas dosis de  $H_2O_2$ .

Mientras que el sistema de labranza sí muestra diferencia estadística significativa en la altura de planta, donde las plantas del suelo labrado mostraron un promedio de 15.8 cm más que las plantas de los suelos no labrados (Tabla 5), lo cual podría explicarse por una mayor disponibilidad de oxígeno en el suelo debido a la labranza del suelo (Topp *et al.* 2000).

#### **4.2. ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR**

Los tratamientos de  $H_2O_2$  a las dosis de 33, 57, 78 y 100 L  $ha^{-1}$  aplicadas a las raíces de plantas respecto al tratamiento sin  $H_2O_2$  en el suelo labrado ( $L_1P_1$ ) incrementaron el índice de área foliar en 5, 9, 6 y 20 por ciento, respectivamente, observándose una tendencia a incrementar el índice de área foliar proporcionalmente al incrementar las dosis de  $H_2O_2$ , con excepción del tratamiento de 78 L  $ha^{-1}$ . El tratamiento de 100 L  $ha^{-1}$  mostró el mayor incremento en el área foliar (Figura 5). Mientras que dichos tratamientos aplicados en el suelo sin labrar incrementaron el índice de área foliar en 11, 7, 6 y 20 por ciento, respectivamente (Tabla 6). Efecto análogo fue encontrado al aplicar constantemente  $H_2O_2$  a una dosis de 0.69 mL  $L^{-1}$  al cultivo de palto, sembrado en suelo arcilloso, el área foliar incrementó en 43 por ciento (Gil *et al.* 2009).



**Figura 5: Efecto de la aplicación edáfica del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sobre el índice de área foliar de plantas de maíz morado en un suelo labrado y sin labrar**

Los tratamientos de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 33, 57, 78 y 100 L ha<sup>-1</sup> aplicados a las raíces de plantas de maíz morado en suelo sin labrar mostraron una tendencia a incrementar el índice de área foliar, con la excepción de los tratamientos 57 y 78 L ha<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. El tratamiento de 100 L ha<sup>-1</sup> mostró mayor incremento en el área foliar (Figura 5) y en general el índice de área foliar de las plantas en el suelo labrado fue mayor que las mostradas en el suelo sin labrar.

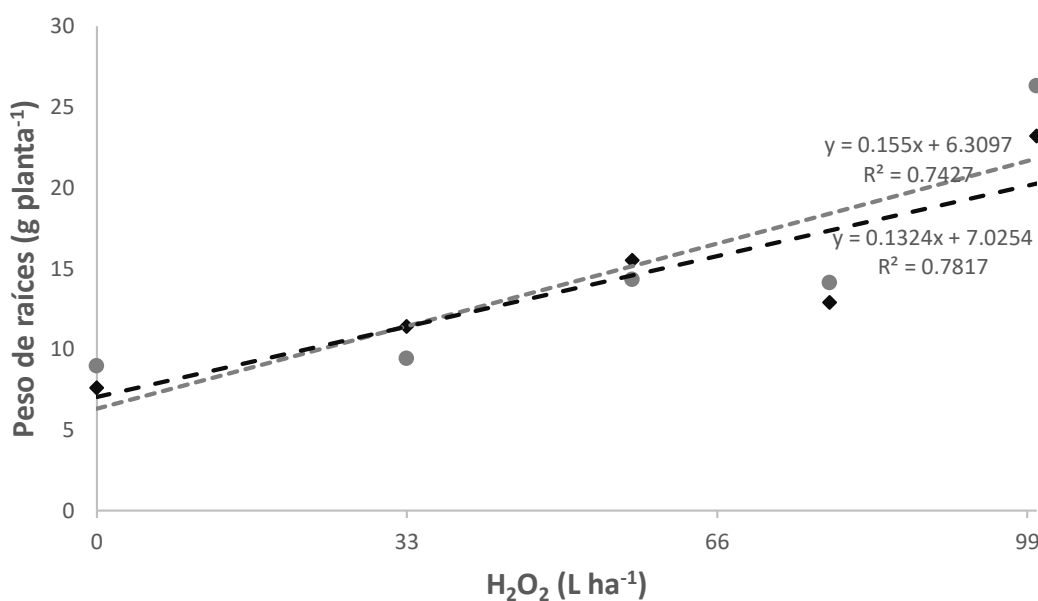
El sistema de labranza y la interacción de ésta con el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> no muestran diferencia estadística significativa. Pero, la aplicación de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> muestra diferencia estadística significativa (Tabla 5 y Anexo 2A), donde la dosis de 100 L ha<sup>-1</sup> incrementó 20.23 por ciento más el índice de área foliar comparada con el testigo, lo cual podría estar asociado a una mayor absorción de nutrientes, debido a una mayor disponibilidad de oxígeno (Marschner 1995) por la aplicación edáfica del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

#### **4.3. PESO DE RAÍCES**

El peso de raíces sin la aplicación de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en el maíz morado en suelo labrado y sin labrar arrojó 8.96 y 7.6 g, respectivamente (Tabla 6). Sobre estos resultados, la adición de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a la dosis de 33, 57, 78 y 100 L ha<sup>-1</sup> en suelo labrado (L<sub>1</sub>) aumentó el peso de raíz a 9.42, 14.39,

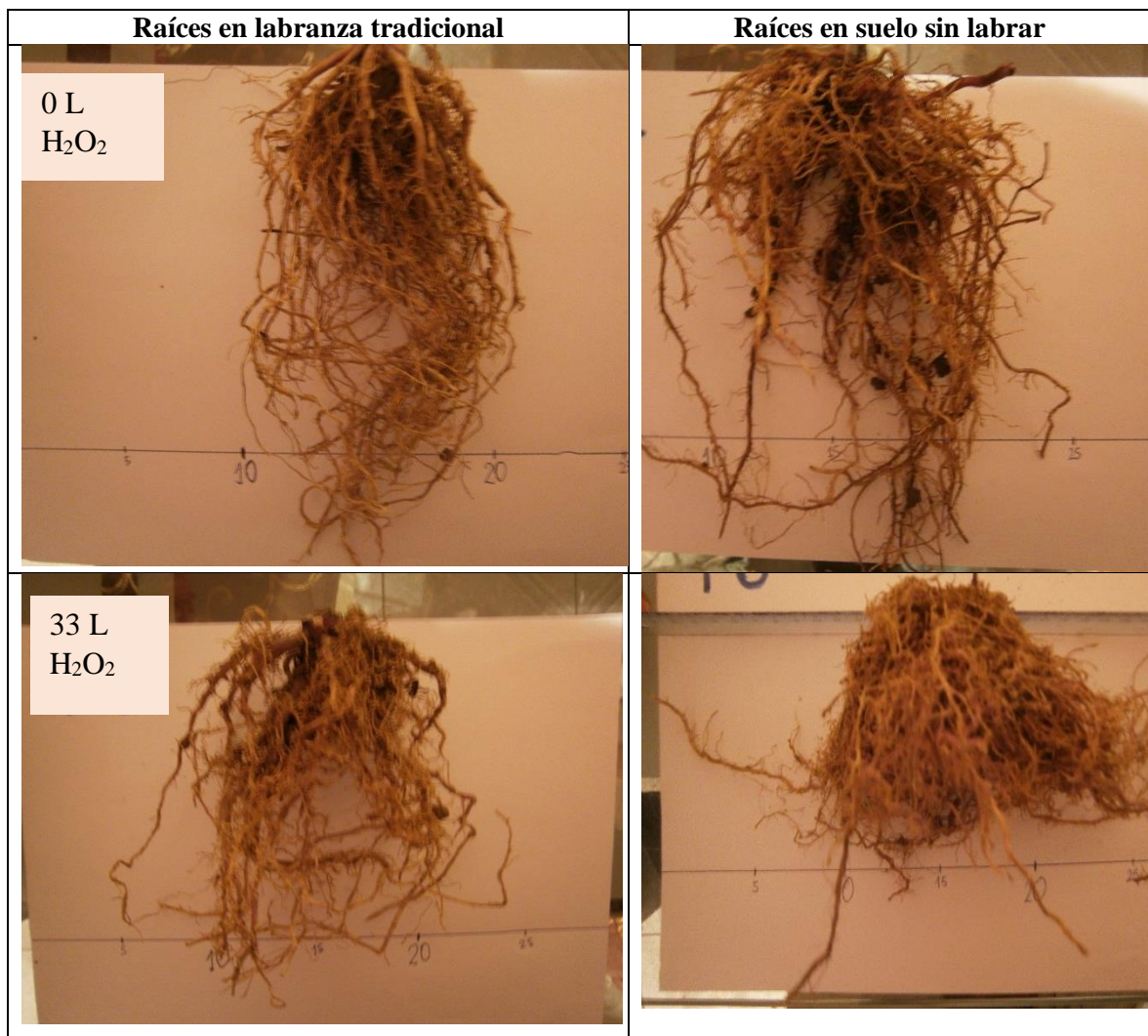
14.1 y 26.35 g, respectivamente. Mientras que en un suelo sin labrar ( $L_2$ ) el efecto conllevó al incremento de 11.46, 15.5, 12.97 y 23.29 g, respectivamente. En ambos sistemas de labranza al incrementar la dosis de  $H_2O_2$  aumentó en el peso de raíces (Figura 6), con una ligera mejor respuesta en el suelo sin labrar, probablemente asociado a la mayor necesidad de oxígeno por las raíces en dicho suelo.

La interacción de factores ni el sistema de labranza mostraron diferencia estadística significativa (Tabla 5). Pero, el tratamiento de  $100 L ha^{-1}$  destaca con el mayor peso de raíz, 26.35 g, siendo la aplicación del  $H_2O_2$  sobre el peso de raíces del maíz morado estadísticamente significativo según la prueba de Duncan. Resultados análogos fueron reportados en el cultivo de palta y tomate, pero no con altos porcentajes de incremento en peso en la raíz. Al aplicar  $0.69 mL L^{-1}$  de  $H_2O_2$  a las raíces de palta incrementaron 0.7 por ciento. Y, en el tomate al adicionar dicho producto las raíces, cualitativamente fueron más fuertes, gruesas y con mayor cantidad de raíces finas (Zheng *et al.* 2007), lo cual coincide con el efecto de los tratamientos empleados en este estudio (Figura N° 6). Dichos efectos podrían indicar que la aplicación de  $H_2O_2$  indirectamente incrementa el contenido de oxígeno en la zona radicular, fomentando una mayor síntesis de ATP en las raíces, conllevando a un mayor crecimiento y desarrollo de las raíces.



**Figura 6: Efecto de la aplicación edáfica de  $H_2O_2$  en el peso de las raíces del maíz morado**

El efecto de la aplicación edáfica del  $H_2O_2$  a las raíces de maíz morado cultivadas en suelo labrado y sin labrar (Figura 6) muestra mayor crecimiento y desarrollo de las raíces a medida que se incrementaron las dosis de dicha sustancia, lo cual concuerda con el incremento de peso de las raíces (Tabla 6). Adicionalmente, se puede apreciar diferencias físicas muy claras de las raíces al crecer en ambos sistemas de labranza. Las que fueron sembradas en suelo labrado mostraron raíces más profundas y con tendencia de crecimiento vertical. Mientras, las que fueron sembradas en suelo sin labrar muestran raíces más superficiales, con tendencia de crecimiento horizontal y con mayor cantidad de raíces finas o pelos absorbentes.







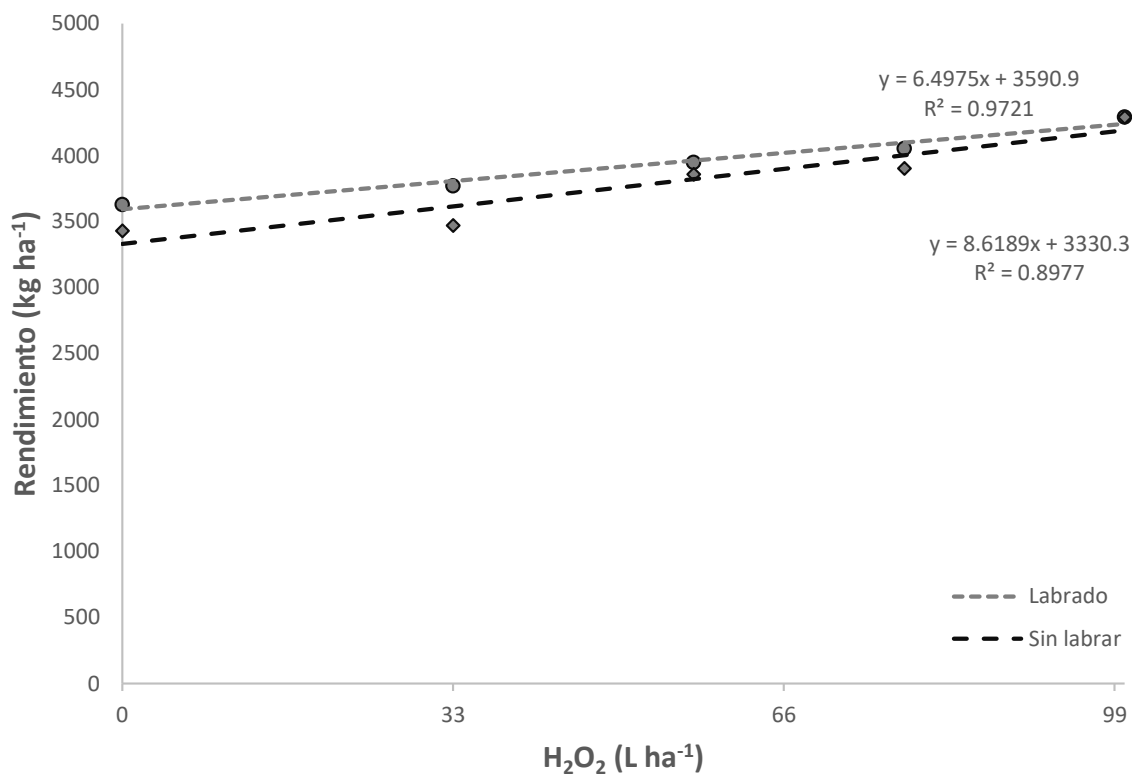
**Figura 7: Efecto de la aplicación edáfica de  $H_2O_2$  en el maíz morado sobre el crecimiento de las raíces**

Además, el sistema de labranza no muestra efecto estadísticamente significativo, tampoco la interacción entre el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y el tipo de labranza sobre el área foliar (Tabla 5). Aunque la labranza aumenta la disponibilidad de oxígeno en el suelo (Topp *et al.* 2000), probablemente no fue lo suficiente para mostrar un efecto significativo sobre el área foliar respecto al suelo sin labrar.

#### **4.4. RENDIMIENTO DE MAZORCAS**

Los rendimientos de mazorcas en un suelo labrado (L<sub>1</sub>) y sin labrar (L<sub>2</sub>) sin aplicación de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> fueron 3628.4 y 3430.1 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabla 7). El sistema de labranza, la aplicación de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y la interacción de ambos factores, según el ANVA y la prueba de Duncan no muestran diferencia estadística significativa (Anexo 4).

Al aplicar las dosis de 33, 57, 78 y 100 L ha<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en suelo labrado, el rendimiento total aumentó a 3704.4, 3948.7, 4054 y 4088.9 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Y, en el suelo sin labrar, el efecto arrojó 3472.8, 3860.8, 3905 y 3970.9 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabla 7). Lo que muestra claramente que los rendimientos tratados con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en los suelos labrados fueron superiores que los obtenidos en suelos sin labrar (Figura 5), pero hubo mejor respuesta en el suelo sin labrar que en el labrado porque el rendimiento incrementó en 15.7 y 12.6 por ciento, respectivamente. Y, los tratamientos de 78 y 100 L ha<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> fueron los que mostraron mejor respuesta, pero no mostraron diferencia estadística significativa (Tabla 7). El incremento del rendimiento total de mazorcas podría explicarse por un aumento de la disponibilidad de oxígeno en el suelo, conllevando a niveles adecuados en el suelo por el suministro del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Dat *et al.* 2000), favoreciendo una mayor absorción de nutrientes, sobre todo de potasio para la traslocación de azúcares a los frutos o reservorios (Marschner 1995) y la mejor respuesta a la aplicación de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> podría asociarse a la menor disponibilidad de oxígeno en suelos no labrados (Topp *et al.* 2000).



**Figura 8: Efecto de la aplicación edáfica del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en el rendimiento de mazorcas de maíz morado en un suelo labrado y sin labrar**

Similares incrementos de rendimiento fueron mostrados por diferentes investigadores. Al aplicar 1 mL L<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> doce veces semanalmente al maíz y soya, los rendimientos incrementaron 45 y 7 por ciento, respectivamente (Melsted *et al.* 1949). Con otros cultivos también fue demostrado el efecto positivo del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en el rendimiento. Al aplicar 5 L de esta sustancia en cada riego, el rendimiento del zapallito italiano y calabazas, sembrados en suelos arcillosos, incrementaron en 25 y 29 por ciento, respectivamente (Bhattari *et al.* 2004). El rendimiento de papa incrementó 41.3 por ciento al adicionar H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en la proporción 1:100, aplicado 15 veces (Al- Mughrabi 2007), aunque el autor atribuyó a la disminución de inóculo de enfermedades, sin embargo, no demostró cuántas colonias de patógenos fueron eliminadas.



**Tabla 7: Rendimientos parciales de mazorcas de maíz morado PVM 581 por efecto de la aplicación edáfica del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en suelo labrado y sin labrar**

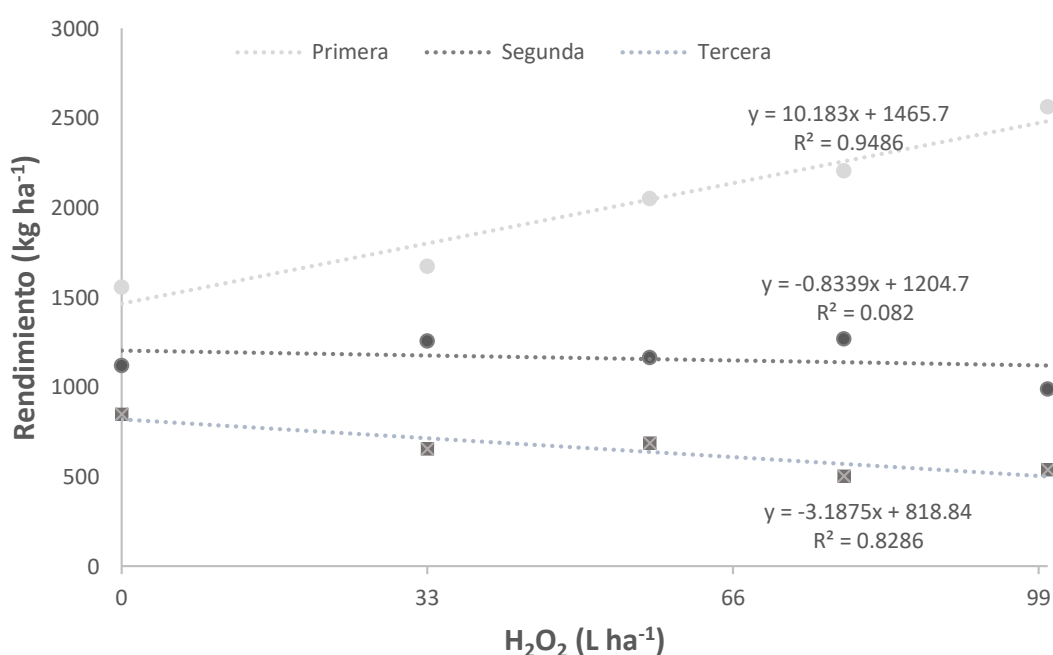
Factor de estudio	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )						
	Primera		Segunda		Tercera		Total
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (L ha <sup>-1</sup> )							
0	1559.24 c	(44)	1120.26 b	(32)	849.75 a	(24)	3529.25 a
33	1675.31 c	(47)	1256.63 a	(35)	656.66 b	(18)	3588.60 a
57	2053.15 b	(53)	1163.99 ab	(30)	687.59 b	(18)	3904.73 a
78	2206.14 b	(55)	1268.64 a	(32)	504.73 c	(13)	3979.51 a
100	2563.73 a	(63)	990.710 c	(24)	541.23 c	(13)	4095.67 a
Labranza							
Labrado	2152.05 a	(55)	1141.74 a	(29)	591.11 b	(15)	3884.90 a
Sin labrar	1870.98 b	(50)	1178.35 a	(32)	678.61 a	(18)	3727.94 a
Promedio	2011.52	(53)	1160.05	(30)	634.86	(17)	3806.41 a
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	*		*		*		n.s.
Labranza	*		n.s.		*		n.s.
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> x Labranza	*		n.s.		*		n.s.
CV (%)	8.5		9.7		12.1		12.3

( ): valores que representan el porcentaje del rendimiento total

Los promedios de rendimientos de primera, segunda y tercera arrojan un promedio de 2011.52, 1160.05 y 634.86 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, los cuales representan el 53, 30 y 17 por ciento del rendimiento total, respectivamente (Tabla 7).

El efecto de la aplicación del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en el rendimiento de mazorcas de primera analizado a través de la prueba de comparación de medias de Duncan mostró diferencia estadística significativa entre dichos tratamientos. El tratamiento de 69 L ha<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> presentó mayor rendimiento, 64.4 por ciento más que el tratamiento de 0 L ha<sup>-1</sup> (Tabla 7), además conjuntamente con la penúltima dosis fueron las que mayor rendimiento arrojaron estadísticamente según el análisis de efectos simples (Anexo 4B), pudiéndose inferir que el suministro de oxígeno aumenta la absorción de nutrientes en la planta (Marschner 1995), resultando en una mejor calidad de mazorcas de maíz.

También, el sistema de labranza a través de la prueba de comparación Duncan mostró diferencia estadística significativa, presentando mayor rendimiento de primera en el suelo labrado, con una ventaja de 281 kg ha<sup>-1</sup> en comparación con el suelo sin labrar, lo cual podría estar ligado a una insuficiente cantidad de oxígeno en el suelo sin labrar (Topp *et al.* 2000). El efecto de la aplicación edáfica del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> respecto al rendimiento de segunda y tercera o descarte, analizado a través de la prueba de comparación de medias de Duncan mostró diferencia estadística significativa, presentando mayor rendimiento de segunda, el tratamiento al 78 L ha<sup>-1</sup> y menor rendimiento de tercera el tratamiento de 100 L ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabla 7). Y, el tratamiento sin H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> presentó mayor rendimiento de tercera.



**Figura 9: Efecto de la aplicación edáfica H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en el rendimiento de mazorcas de primera, segunda y tercera**

De modo muy claro se puede observar que a medida que aumentó la dosis de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> el rendimiento de primera aumentó mientras que el rendimiento de descarte disminuyó (Figura 8), siendo dicho efecto más marcado en el suelo sin labrar, pudiéndose explicar por el efecto del aumento de la presión de oxígeno a partir del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, el cual aumenta la absorción de nutrientes (Marschner 1995).

El factor labranza y la interacción de factores fue estadísticamente significativo en el rendimiento de mazorcas de primera y tercera (Tabla 7), infiriéndose que la labranza podría influir en una mayor disponibilidad de oxígeno en suelos labrados (Topp *et al.* 2000) y mejorar la calidad de las mazorcas de maíz morado.

**Tabla 8: Efecto de la aplicación edáfica del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sobre la biomasa, índice de cosecha y antocianinas del maíz morado**

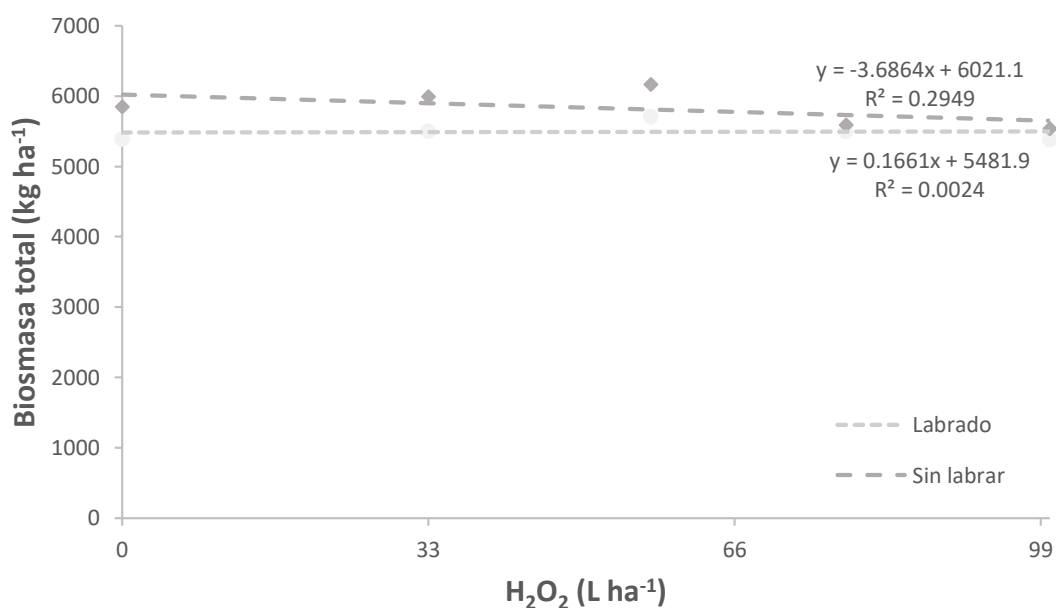
Tratamientos	Biomasa (kg ha <sup>-1</sup> )	Índice de cosecha (%)	Antocianina (mg 100 g <sup>-1</sup> )
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (L ha <sup>-1</sup> )			
0	5784.0 a	62.0 c	114.0 c
33	5743.5 a	62.6 c	115.5 c
57	5932.4 a	66.2 c	126.2 b
78	5539.1 a	72.1 b	139.0 a
100	5201.3 a	77.8 a	148.0 a
Labranza			
Labrado	5460.0 a	71.3 a	131.5 a
Sin labrar	5820.1 a	64.9 b	125.6 a
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	n.s.	*	*
Labranza	n.s.	*	n.s.
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> x Labranza	n.s.	n.s.	n.s.
CV (%)	13.2	7.3	17.4

**Tabla 9: Promedio del efecto del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en la biomasa, índice de cosecha y antocianina en el maíz morado, en un suelo labrado y sin labrar**

Tratamientos	Biomasa (kg ha <sup>-1</sup> )	Índice de cosecha (%)	Antocianina (mg 100 g <sup>-1</sup> )
L <sub>1</sub> P <sub>1</sub>	5331.0	68.0	125.4
L <sub>1</sub> P <sub>2</sub>	5498.8	67.1	120.4
L <sub>1</sub> P <sub>3</sub>	5703.6	69.2	130.0
L <sub>1</sub> P <sub>4</sub>	5492.3	74.1	136.1
L <sub>1</sub> P <sub>5</sub>	4292.9	78.0	146.1
L <sub>2</sub> P <sub>1</sub>	5843.5	56.0	102.5
L <sub>2</sub> P <sub>2</sub>	5988.1	58.1	110.7
L <sub>2</sub> P <sub>3</sub>	6161.2	63.1	122.6
L <sub>2</sub> P <sub>4</sub>	5585.8	70.1	142.0
L <sub>2</sub> P <sub>5</sub>	5538.7	77.6	150.1

#### 4.5. BIOMASA

La biomasa producida en un suelo labrado ( $L_1$ ) y sin labrar ( $L_2$ ) sin la aplicación del  $H_2O_2$  fue 5331 y 6236.9  $kg\ ha^{-1}$ , respectivamente, sin embargo, en la primera se obtuvo mayor rendimiento de mazorca. La aplicación de  $H_2O_2$  a las raíces de maíz morado en el suelo labrado a las dosis de 33, 57, 78 y 100  $L\ ha^{-1}$  incrementó la biomasa a 5498.8, 5703.6, 5492.3 y 5274.4  $kg\ ha^{-1}$ , respectivamente. Las mismas dosis en un suelo sin labrar produjo 5988.1, 6161.2, 5585.8 y 5128.7  $kg\ ha^{-1}$  (Tabla 9). De los cuales se puede observar fácilmente que a medida que se incrementa la dosis del  $H_2O_2$  la biomasa tiende a disminuir (Figura 9), pero con una tendencia en el incremento del rendimiento de mazorcas (Tabla 6) con una disminución en el peso de rastrojo. Efecto análogo fue determinado en el cultivo de palta, al aplicar 0.69  $mL\ L^{-1}$  de peróxido de hidrógeno, en cada riego, la biomasa total incrementó en 17.6 por ciento (Gil *et al.* 2009).

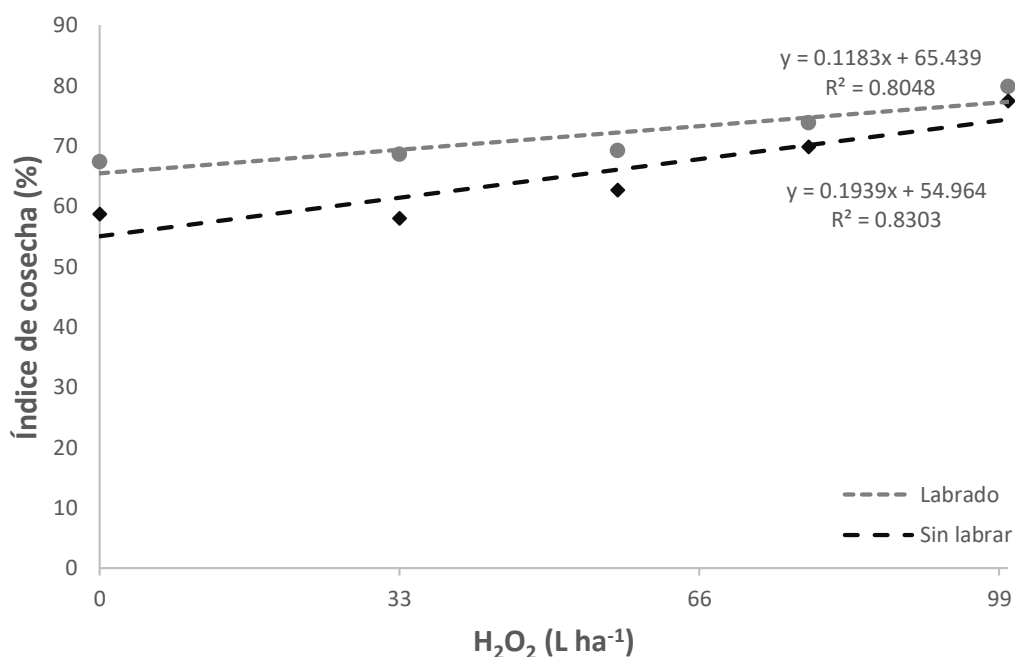


**Figura 10: Efecto de la aplicación edáfica del  $H_2O_2$  en la biomasa del maíz morado en un suelo labrado y sin labrar**

Sin embargo, ni el efecto de la aplicación del  $H_2O_2$ , ni el sistema de labranza, ni la interacción de ambos factores en el cultivo de maíz morado muestran diferencia estadística significativa en la biomasa (Tabla 8). Sin embargo, la disminución cuantitativa de la biomasa pudo estar influenciada por la tendencia a la disminución de la altura de planta y al incremento de peso de mazorcas.

#### 4.6. ÍNDICE DE COSECHA

El tratamiento sin aplicación de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en suelo labrado y sin labrar mostró un mayor índice de cosecha igual a 68 y 56 por ciento, respectivamente. Al aplicar 33, 57, 78 y 100 L ha<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al suelo labrado y sin labrar, el índice de cosecha aumentó a 67.1, 69.2, 74.1, 78 por ciento, y 58.1, 63.1, 70.1, 77.6 por ciento, respectivamente (Tabla 9).



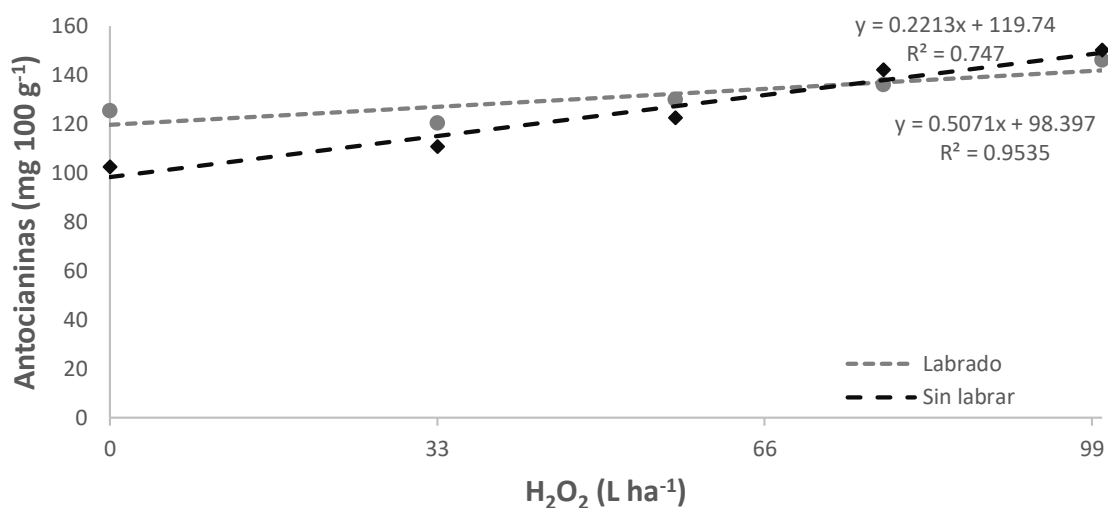
**Figura 11: Efecto de la aplicación edáfica del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en el índice de cosecha del maíz morado en un suelo labrado y sin labrar**

Entonces, al incrementar las dosis de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en ambos sistemas de labranza el índice de cosecha aumentó y en el suelo labrado el índice de cosecha generalmente fue mayor que en el suelo sin labrar (Figura 10). En el análisis de variancia el efecto del factor H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y el sistema de labranza mostraron diferencia estadística significativa sobre el índice de cosecha (Tabla 8). El suministro de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> tal vez pudo favorecer la disponibilidad de oxígeno, aumentando la absorción de nutrientes (Marschner 1995) incluso favoreció más al reservorio y las últimas dosis fueron las que mejor índice de cosecha mostraron. El índice de cosecha del maíz en el suelo labrado mostró un 6.4 por ciento más que en el suelo sin labrar, lo cual podría estar relacionado a la mayor disponibilidad de oxígeno otorgado por la labranza del suelo (Topp *et al.* 2000) e incluso por un mayor crecimiento vertical de la raíz en el suelo labrado, pudiendo absorber mayor cantidad de nutrientes a mayor profundidad y con una adecuada disponibilidad de oxígeno debido a la labranza del suelo.

#### 4.7. ANTOCIANINA

El tratamiento sin aplicación de  $H_2O_2$  en el suelo labrado y sin labrar mostró 125.4 y 102.5  $mg\ 100\ g^{-1}$  de antocianinas, respectivamente (Tabla 9), notándose claramente el efecto de la labranza, generando posiblemente una mayor oxigenación o disminución de la densidad aparente del suelo con mayor disponibilidad de oxígeno para las raíces de las plantas, fomentando mayor producción de ATP (Drew 1992), conllevando a obtener mayor energía para los procesos metabólicos, como las síntesis de antocianinas.

Al aplicar  $H_2O_2$  a la dosis de  $33\ L\ ha^{-1}$  a dichos suelos,  $L_1$  y  $L_2$ , el contenido de antocianina disminuyó ligeramente en el primer caso y aumentó en el segundo, 120.4 y  $110.7\ mg\ 100\ g^{-1}$ , respectivamente. Y, al adicionar 57, 78 y  $100\ L\ ha^{-1}$  de dicha sustancia, la producción de antocianina incrementó en 3, 8 y 16 por ciento en suelos  $L_1$ , respectivamente y 18, 39 y 46 por ciento en suelos  $L_2$ , respectivamente (Tabla 9), observándose mejor respuesta en suelos sin labrar y el contenido de antocianinas fue superior en los suelos sin labrar, siendo estadísticamente significativo el efecto de la aplicación del  $H_2O_2$  sobre el contenido de antocianinas (Figura 11), posiblemente debido a la mayor necesidad de oxígeno de un suelo sin labrar (Topp *et al.* 2000)



**Figura 12: Efecto de la aplicación edáfica del  $H_2O_2$  en el contenido de antocianinas de la tusa del maíz morado en un suelo labrado y sin labrar**

Además, la interacción de los dos factores, ni el sistema de labranza no fueron estadísticamente significativos sobre el contenido de antocianinas (Tabla 8).

## V. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en las que se condujo el experimento se llegó a las siguientes conclusiones:

1. La aplicación edáfica del peróxido de hidrógeno funcionó como promotor de crecimiento de la planta de maíz morado PVM 581.
2. El sistema de labranza no afectó significativamente el contenido de antocianinas.
3. La dosis de 100 L ha<sup>-1</sup> de peróxido de hidrógeno mostró mejor resultado en las variables analizadas, incluso tal dosis y la penúltima disminuyeron la altura de planta e incrementaron el área foliar, el rendimiento de primera y el contenido de antocianinas del maíz morado PVM 581, sembrado tanto en suelo labrado y sin labrar.
4. La concentración de antocianinas en el maíz PVM 581 mostró una tendencia a incrementar a medida que incrementó la dosis del peróxido de hidrógeno en los dos sistemas de labranza.
5. El suelo sin labrar, en corto tiempo, presentó menor rendimiento de la calidad de mazorcas e índice de cosecha, pero no hubo diferencia significativa en el contenido de antocianinas, siendo éste el objetivo del cultivo, comparada con el contenido de antocianinas de las plantas de maíz del suelo labrado.
6. La producción de maíz morado PVM 581 mostró rendimientos adecuados de mazorcas de primera y contenido de antocianina sin la necesidad de labrar el suelo.

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Hacer aplicaciones de peróxido de hidrógeno en cultivos a través de vías de riego por goteo porque hacerlo mecánicamente es muy tedioso.
2. Analizar la dosis óptima del peróxido de hidrógeno en el cultivo de maíz morado debido al alto costo de dicha sustancia.
3. Hacer comparaciones de diferentes variables del cultivo y del suelo labrado y sin labrar durante varios años, porque el suelo sin labrar podría mejorar sus propiedades físicas y podría repercutir positivamente en la oxigenación del suelo y por lo tanto en el crecimiento y desarrollo de la planta.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Mughrabi, K. 2007. Effect of treatment of potatoes in storage and pre-planting with hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) on emergence and yield. *Journal of Plant Sciences* 2(6):613-618
- Arora, A., Sairam, R. and Srivastava, G. 2002. Oxidative stress and antioxidative system in plants. *Current Science* 82 (10), 1227-1234
- Asada, K., and Takahashi, M. 1987. Production and scavenging of active oxygen in photosynthesis. *Plant Physiology*. 141(2): 391–396.
- Barroso, M. 2015. Basic Science applied to chemical engineering. UNAM Press México.
- Bhakti, R., Neil, V. and Alice, C. 2002. Mechanisms of Hydrogen Peroxide Decomposition in Soils. *Environmental Science and Technology*. 36 (4), pp 639–645
- Bhattarai, S., Huber, S., and Midmore, D. 2004. Aerated subsurface irrigation water gives growth and yield benefits to zucchini, vegetable soybean and cotton in heavy clay soils. *Annals of Applied Biology*. 144: 285-298
- Bioversity International y FAO. 2013. Descriptores para quinua y sus parientes silvestres. Roma – Italia.
- Bradford, K. y Yang, S. 1980. Xylem transport of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid, an ethylene precursor, in waterlogged tomato plants. *Plant Physiology* 65: 322 -326.
- Cheeseman, J. 2007. Hydrogen peroxide and plant stress: a challenging relationship. *Plant Stress*. 1(1):4-15
- Dat, J., Vandenabeele, S., Vranova, E., Van Montagu, M., Inze, D. and Van Breusegem, F. (2000). Dual action of the active oxygen species during plant stress responses. *Cellular and Molecular Life Science*. 57: 779-795
- Davelouis M. 1991. Edafología. Tomo I. Primera edición. Lima Perú.
- Drew, M. 1992. Soil aeration and plant root metabolism. *Soil Sciences* 154: 259 - 267

- Essington, M. 2005. Soil and Water Chemistry An Integrative Approach. Florida CRC Press
- Foreman, J., Bothwell, J., Demidchik, V., Mylona, P., Miedema, H. and Torres, M. 2003. Reactive oxygen species produced by NADPH oxidase regulate plant cell growth. *Nature* 422, 442-446
- Foth, H. 1990. Fundamentals of soil science. 8<sup>th</sup> ed. U.S.A. Arcata Graphics Company.
- Gil, P., Ferreyra, R., Barrera, C., Zuñiga, C., and Gurovich, L. 2009. Effect of injecting hydrogen peroxide into heavy clay loam soil on plant water status, net CO<sub>2</sub>, assimilation, biomass, and vascular anatomy of avocado trees. *Chilean Journal of Agricultural Research* 69(1): 97 – 106
- Giusti MM, Wrolstad RE. 2003. Acylated anthocyanin from edible sources and their applications in food systems. *Biochemical Engineering Journal*.14, 217-225.
- Goorahoo, D., Crastensen, G., Zoldoske, D., Norum, E. and Mazzei, A. 2001. Using air in subsurface drip irrigation (SDI) to increase yields in bell pepper. Proceedings of the Irrigation Association Technical Conference, San Antonio, Texas, USA
- Grable AR. 1966. Soil aeration and plant growth. *Advances in Agronomy*18: 57–106.
- Havlin, J., Beaton, J., Tisdale, S. and Nelson, W. 1999. Soil Fertility and Fertilizers. New Jersey: Prentice Hall.
- Lal R. and Shukla M. 2004. Principles of Soil Physics. Ohio. Marcel Dekker.
- Lin, W., and Block, G. 2009. Potential benefits of using hydrogen peroxide in crop production systems. Pacific Agri-Food Research Centre, Agassiz, British Columbia, Canada.
- Melsted, S.W., T. Kurtz, and R. Brady. 1949. Hydrogen peroxide as an oxygen fertilizer. *Agronomy Journal*. 2:41-79.
- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd ed. London: Academic Press.
- Ministerio de Agricultura y Riego del Perú (MINAGRI) 2016. Oficina de estudios económicos y estadísticos
- SAS Institute Inc. 2008. SAS/STAT User's Guide. Ver.9.1. Cary, NC.SAS Institute.
- Sharma, B. 2007. Environmental Chemistry.2nd ed New Dehli.

Schaffer, B., Anderson, P. and Ploetz, R. 1992. Responses of fruit trees to flooding. *Revue Horticole*. 13:257-313

Topp, G., Dow, B., Edwards, M., Gregorich, E., Curnoe, W and Cook, F. 2000. Oxygen measurements in the root zone facilitated by TDR. *Canadian Journal of Soil Science*. 80(1): 33 - 41

Zheng, Y., Wang, L. and Dixon, M. 2007. An upper limit for elevated root zone dissolved oxygen concentration for tomato. *Scientia Horticulturae*. 113 (2): 162 – 165

Walkley, A. and Black I.A. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-38

## VIII. ANEXOS

### ANEXO 1: ALTURA DE PLANTA

1A. Efecto de la aplicación edáfica del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en la altura de planta del maíz morado en un suelo labrado y sin labrar

<b>FV</b>	<b>G.L.</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>Pr &gt; F</b>	<b>Nivel de significancia</b>
Bloques	3	956.744	318.914667	1.570	0.2191	n.s.
Labranza	1	2477.476	2477.476	12.21	0.0017	*
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	4	1538.1935	384.548375	1.90	0.1402	n.s.
Labranza* H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	4	27.5915	6.897875	0.03	0.9976	n.s.
Error	27	5477.671	202.8767			
Promedio (cm)	156.64					
CV (%)	9.09					

### ANEXO 2: ÁREA FOLIAR

2A. Efecto de la aplicación edáfica del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en el área foliar del maíz morado en un suelo labrado y sin labrar

<b>FV</b>	<b>G.L.</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>Pr &gt; F</b>	<b>Nivel de significancia</b>
Bloques	3	349906.905	116635.635	1.81	0.1691	n.s.
Labranza	1	57615.690	57615.690	0.89	0.3527	n.s.
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	4	1145232.324	286308.081	4.44	0.0069	*
Labranza* H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	4	41660.984	10415.246	0.16	0.9559	n.s.
Error	27	1739609.968	64429.999			
Promedio (cm <sup>2</sup> )	2781.5					
CV (%)	9.1					

### ANEXO 3: PESO DE RAÍCES

3A. Efecto de la aplicación edáfica del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en el peso de raíces del maíz morado en un suelo labrado y sin labrar

FV	G.L.	SC	CM	F	Pr > F	Nivel de significancia
Bloques	3	32.848167	10.949389	1.34	0.2829	n.s.
Labranza	1	2.485022	2.485092	0.30	0.5862	n.s.
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	4	1301.300435	325.325109	39.74	< 0.0001	*
Labranza* H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	4	33.778165	8.444541	1.03	0.4091	n.s.
Error	27	221.042308	8.186752			
Promedio (g)	14.41					
CV (%)	19.85					

### ANEXO 4: RENDIMIENTO

4A. Efecto de la aplicación edáfica del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en el rendimiento total del maíz morado en un suelo labrado y sin labrar

FV	G. L.	SC	CM	F	Pr > F	Nivel de significancia
Bloques	3	625943.137	208647.712	0.95	0.4229	n.s.
Labranza	1	246317.330	246317.330	1.13	0.2982	n.s.
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	4	1710811.724	427702.931	1.95	0.1303	n.s.
Labranza* H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	4	27247.271	6811.818	0.03	0.9980	n.s.
Error	27	5911253.436	218935.312			
Promedio (kg ha <sup>-1</sup> )	3806.42					
CV (%)	12.3					

4B. Efectos simples del rendimiento de mazorcas de primera

Interacción	gl	SC	cm	Fc	Duncan
sist lab en (0)	1	345405.161	345405.161	11.6454568	d
sist lab en (23)	1	198922.781	198922.781	6.70675172	c
sist lab en (39)	1	136189.805	136189.805	4.5916873	b
sist lab en (54)	1	116861.951	116861.951	3.9400419	a
sist lab en (69)	1	58996.125	58996.125	1.98907516	a
Sc	27	800822.115	29660.0783		
total	39				

4C. ANVA de los rendimientos de 1°, 2° y 3°

F. V.	G.L.	Pr > F del rendimiento			Significación		
		1°	2°	3°	Rdto 1°	Rdto 2°	Rdto 3°
Labranza	1	< .0001	0.042	0.0057	*	*	*
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	4	< .0001	0.062	< .0001	*	n.s.	*
Interacción	4	0.04	0.0520	< .0001	*	n.s.	*

### ANEXO 5: BIOMASA

5A. Efecto de la aplicación edáfica del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en la biomasa del maíz morado en un suelo labrado y sin labrar

FV	G. L.	SC	CM	F	Pr > F	Nivel de significancia
Bloques	3	3878776.28	1292925	2.34	0.0961	n.s.
Labranza	1	1296280.815	1296280.81	2.34	0.2375	n.s.
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	4	2556615.193	639153.798	1.15	0.3524	n.s.
Labranza* H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	4	13033226.42	325831.60	0.59	0.6736	n.s.
Error	27	14630664.58	541876.47			
Promedio (kg ha <sup>-1</sup> )	5640.04					
CV (%)	13.2					

### ANEXO 6: ÍNDICE DE COSECHA

6A. Efecto de la aplicación edáfica del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en el índice de cosecha del maíz morado en un suelo labrado y sin labrar

FV	G. L.	SC	CM	F	Pr > F	Nivel de significancia
Bloques	3	348.899068	116.299689	4.66	0.0094	*
Labranza	1	397.971723	397.971723	15.96	0.0004	*
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	4	1453.820590	363.455148	14.58	< 0.0001	*
Labranza* H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	4	158.269890	39.567473	1.59	0.2064	n.s.
Error	27	142.955708	5.294656			
Promedio (%)	68					
CV (%)	7.4					

## ANEXO 7: ANTOCIANINA

7A. Efecto de la aplicación edáfica del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en el contenido de antocianina del maíz morado en un suelo labrado y sin labrar

<b>FV</b>	<b>G. L.</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>Pr &gt; F</b>	<b>Nivel de significancia</b>
Bloques	3	10326.72675	3442.24225	34.19	< 0.0001	*
Labranza	1	355.81225	355.81225	3.53	0.7010	n.s.
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	4	7035.98750	1758.99688	17.47	<0.0001	*
Labranza* H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	4	1085.41150	271.35287	2.70	0.0520	n.s.
Error	27	271842575	100.68244			
Promedio (mg 100 <sup>-1</sup> g <sup>-1</sup> )	128.59					
CV (%)	17.40					

## ANEXO 8: ANALISIS DE SUELOS

### ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

<b>ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION</b>																					
Solicitante :		SUÑER DELGADO SOBRADO																			
Departamento :		HUÁNUCO												Provincia :		KICHKI					
Distrito :		HIGUERAS												Predio :							
Referencia :		H.R. 52281-132C-15						Bolt.: 12703				Fecha :		01/12/15							
Número de Muestra		C.E.		CaCO <sub>3</sub> %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases	
Lab	Claves	pH (1:1)	(1:1) dS/m					Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup>				
												meq/100g									
14992		7.84	0.30	0.00	1.87	5.5	670	46	28	26	Fr.	14.72	8.77	3.93	1.64	0.38	0.00	14.72	14.72	100	
<p>A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso</p>																					
																		<i>Dr. Sady García Bendezú</i>			
																		<i>Jefe del Laboratorio</i>			