

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**Biofertilización con hongos micorrízicos arbusculares y
Azospirillum sp. en el rendimiento de maíz amiláceo
(*Zea mays* L.) en Quinua a 3180 msnm - Ayacucho**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGRÓNOMO**

**PRESENTADO POR:
Basilio Gutiérrez Contreras**

Ayacucho – Perú

2019

*A Dios por darme el talento académico y
poder llegar a este momento.*

*A mis padres, Cristóbal Gutiérrez, Julia
Contreras y familiares*

A mi amor, la señorita Wendy Soledad

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Agronomía por esmerarse en lograr profesionales cada vez más competentes.

A mi asesora Ph.D. Nery Santillana Villanueva por la gran bondad de brindarme sus conocimientos en el presente trabajo de investigación.

A los miembros Dr. Rolando Bautista Gómez, Ing. Edgar Tenorio Mancilla y Bióloga Roberta Esquivel Quispe por su apoyo en la redacción y sugerencias en el campo experimental.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice general.....	iv
Índice de tablas	vi
Índice de figuras.....	vii
Índice de anexos.....	viii
Resumen.....	1
Introducción	3
CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO	5
1.1. Antecedentes	5
1.2. Biofertilizante	6
1.3. Hongos micorrízicos arbusculares (HMA).....	7
1.4. Bacterias <i>azospirillum sp.</i>	17
1.5. Cultivo de maíz.	19
CAPÍTULO II METODOLOGÍA.....	33
2.1. Ubicación.....	33
2.2. Registro de datos meteorológicos.....	34
2.3. Diseño experimental.....	36
2.4. Tratamientos	37
2.5. Descripción del campo experimental	37
2.6. Análisis de caracterización del suelo.....	39
2.7. Material biológico	40
2.8. Variables en estudio	40
2.9. Procedimiento.....	40
2.10. Evaluación de los variables en estudio.....	42
2.11. Procesamiento de datos y análisis estadísticos.....	46
CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
3.1. Variables de precocidad	47
3.2. Variables de rendimiento.....	48

3.3. Influencia de microorganismos aplicados	60
3.4. Mérito económico de los tratamientos	63
Conclusiones	66
Recomendaciones	67
Referencia bibliográfica.....	68
Anexos	74

ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1.1.	Clasificación taxonómica de los hongos micorrízicos arbusculares.	13
Tabla 1.2.	Estados fenológicos del maíz amiláceo y requerimiento climático..	24
Tabla 1.3.	Rendimiento del maíz amiláceo en kg/ha y su respuesta a la aplicación de fertilizante para la sierra.....	26
Tabla 1.4.	Producción nacional (año 2017) del maíz amiláceo blanco.....	27
Tabla 1.5.	Costo de producción para maíz amiláceo blanco en Ayacucho con tecnología alta.....	31
Tabla 2.1.	Análisis de caracterización del suelo. terreno experimental, Wuiruypaqcha distrito de Quinua a 3180 msnm, 2017.....	39
Tabla 2.2.	Estimación de rendimiento final (kg/ha) para cada tratamiento.....	45
Tabla 3.1.	Variables de precocidad en número de días después de la siembra (ndds), Wuiruypaqcha distrito de Quinua a 3180 msnm.....	47
Tabla 3.2.	Análisis de variancia de la atura de plantas de maíz amiláceo blanco, Wuiruypaqcha distrito de Quinua a 3180 msnm.....	49
Tabla 3.3.	Análisis de variancia para la longitud de mazorca de maíz amiláceo blanco, Wuiruypaqcha distrito de Quinua a 3180 msnm...	51
Tabla 3.4.	Análisis de variancia del diámetro de mazorcas de maíz amiláceo blanco, Wuiruypaqcha distrito de Quinua a 3180 msnm.....	52
Tabla 3.5.	Análisis de variancia del número de granos por mazorcas de maíz amiláceo blanco, Wuiruypaqcha distrito de Quinua a 3180 msnm...	53
Tabla 3.6.	Análisis de variancia del número de hileras por mazorca de maíz amiláceo blanco, Wuiruypaqcha distrito de Quinua a 3180 msnm...	54
Tabla 3.7.	Análisis de variancia del peso de mil semillas de maíz amiláceo blanco, Wuiruypaqcha distrito de Quinua a 3180 msnm.....	56
Tabla 3.8.	Análisis de variancia del rendimiento de maíz amiláceo blanco, Wuiruypaqcha distrito de Quinua a 3180 msnm.....	58
Tabla 3.9.	Análisis de variancia de la longitud de raíz de maíz amiláceo blanco, Wuiruypaqcha distrito de Quinua a 3180.....	60
Tabla 3.10.	Análisis de variancia de la cantidad de esporas de los HMA en 100 g de suelo, Wuiruypaqcha distrito de Quinua a 3180 msnm.....	62
Tabla 3.11.	Evaluación del mérito económico de los tratamientos en base al índice de rentabilidad (I.R), Wuiruypaqcha distrito de Quinua a 3180 msnm.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 2.1.	Ubicación de la zona del experimento.....	34
Figura 2.2.	Climograma, Wuiruypaqcha distrito de Quinua a 3180 msnm.....	35
Figura 2.3.	Descripción de la unidad experimental.....	38
Figura 2.4.	Croquis del campo experimental.....	38
Figura 3.1.	Prueba de Tukey de la altura de las plantas de maíz amiláceo blanco. Wuiruypaqcha, distrito de Quinua a 3180 msnm.....	50
Figura 3.2.	Prueba de Tukey para la longitud de mazorca de maíz amiláceo blanco, Wuiruypaqcha distrito de Quinua a 3180 msnm.....	51
Figura 3.3.	Prueba de Tukey para diámetro de mazorca de maíz amiláceo blanco, Wuiruypaqcha distrito de Quinua a 3180 msnm.....	52
Figura 3.4.	Prueba de Tukey para el número de granos por mazorca de maíz amiláceo blanco, Wuiruypaqcha distrito de Quinua a 3180 msnm.	54
Figura 3.5.	Número de hileras por mazorca de maíz amiláceo blanco, Wuiruypaqcha distrito de Quinua a 3180 msnm.....	55
Figura 3.6.	Prueba de Tukey del peso de mil semillas del maíz amiláceo blanco, Wuiruypaqcha distrito de Quinua a 3180 msnm.....	57
Figura 3.7.	Prueba de Tukey del rendimiento de maíz blanco amiláceo en Kg.ha^{-1} . Wuiruypaqcha, distrito de Quinua a 3180 msnm.....	59
Figura 3.8.	Prueba de Tukey de la longitud de raíz de las plantas de maíz amiláceo blanco. Wiruypaqcha, distrito de Quinua a 3180 msnm..	61
Figura 3.9.	Prueba de Tukey del número de esporas de HMA en 100 g de suelo, Wuiruypaqcha distrito de Quinua a 3180 msnm.....	63
Figura 3.10.	Índice de rentabilidad (I.R) para la producción de maíz amiláceo blanco con diferentes tipos de biofertilización y fertilización química, Wuiruypaqcha distrito de Quinua a 3180 msnm.....	65

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Datos meteorológicos para los meses que duró el experimento, Wuiruypaqcha distrito de Quinua a 3180 msnm.....	75
Anexo 2. Número de plantas emergidas y el porcentaje de germinación, Wuiruypaqcha distrito de Quinua a 3180.....	75
Anexo 3. Plantas con panoja (inflorescencia masculina).....	76
Anexo 4. Plantas con inflorescencia femenina.....	76
Anexo 5. Plantas con madurez fisiológica.....	77
Anexo 6. Altura final de la plantas.....	78
Anexo 7. Longitud de mazorca expresada en centímetros.....	79
Anexo 8. Diámetro de mazorca expresado en centímetros.....	80
Anexo 9. Número de hileras por de mazorca.....	81
Anexo 10. Número de granos por de mazorca.....	82
Anexo 11. Peso de mil semillas expresado en gramos.....	83
Anexo 12. Rendimiento en Kg.ha ⁻¹ de grano seco de maíz amiláceo blanco.....	84
Anexo 13. Longitud de raíces, expresado en centímetros.....	85
Anexo 14. Número de esporas por cada 100 gramos de suelo.....	85
Anexo 15. Costo de producción del maíz amiláceo con el tratamiento testigo....	86
Anexo 16. Costo de producción del maíz amiláceo con Biofertilización HMA..	87
Anexo 17. Costo de producción del maíz amiláceo con biofertilización <i>Azospirillum sp</i>	88
Anexo 18. Costo de producción del maíz amiláceo con biofertilización HMA + <i>Azospirillum sp</i>	89
Anexo 19. Costo de producción del maíz amiláceo con fertilización Química...	90
Anexo 20. Panel fotográfico.....	91

RESUMEN

El uso de microorganismos benéficos en la agricultura, tiene como fin primordial la producción de alimentos saludables y el cuidado del medio ambiente, que garantiza la vida sostenible del ser humano y otros seres vivos. En ese sentido se propuso la biofertilización en la producción de maíz amiláceo blanco con el objetivo de evaluar el efecto de la biofertilización con hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y bacterias *Azospirillum* sp en el rendimiento del maíz amiláceo blanco y determinar el mérito económico de los tratamientos. El experimento se realizó en el anexo de Wuiruypaqcha, distrito de Quinua, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho, durante la campaña agrícola 2018. Se consideró cinco tratamientos: testigo, biofertilización con HMA, biofertilización con *Azospirillum* sp, biofertilización HMA + *Azospirillum* sp y fertilización química evaluados en el Diseño Bloque Completo Randomizado. La biofertilización a base de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) tuvo el rendimiento más alto con 3187.00 Kg.ha⁻¹ de grano seco de maíz amiláceo blanco seguido de la fertilización química (2881.75 kg), testigo (2673.75 kg), *Azospirillum* sp (1930.25 kg) y HMA + *Azospirillum* sp (1831.25 kg). La biofertilización a base de bacterias *Azospirillum* sp tuvo un efecto en la precocidad del cultivo resultando la madurez de cosecha a los 207 días pos siembra. El mejor mérito económico se obtuvo con la biofertilización a base de HMA con un índice de rentabilidad de 2.04 seguido del testigo (1.97), fertilización química (1.31) y *Azospirillum* sp (1.05). La biofertilización con HMA + bacterias *Azospirillum* sp resultó no ser rentable, con índice de rentabilidad de 0.62, debido a que el costo de producción resulta ser alto y el rendimiento bajo con 1831.25 kg.ha⁻¹.

INTRODUCCIÓN

El maíz es el segundo cereal en importancia a nivel mundial, después del trigo, en el Perú el rendimiento varía entre 986 kg.ha⁻¹ (Cajamarca) y 3500 kg.ha⁻¹ (Arequipa) (MINAGRI; 2018). El rendimiento promedio del maíz amiláceo blanco a nivel de la región Ayacucho para la campaña agrícola 2017 fue de 1695 kg.ha⁻¹ , sembrada en una superficie de 17 035 ha (DRA-Ayacucho, 2018).

En la actualidad la producción convencional de maíz y otros alimentos tienen un enfoque netamente económico, sin cuidar el medio ambiente, los recursos naturales y la salud de los consumidores humanos y otros seres vivos del planeta. Una de las alternativas para mitigar este problema mundial es la biofertilización, que mejora las características físicas y químicas del suelo, mejora la eficiencia de la nutrición mineral de la planta y no contamina el medio ambiente. Olivares (2012) menciona que la biofertilización es una alternativa ecológica y económica en la agricultura basada en la aplicación de microorganismos promotores del crecimiento vegetal.

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y las bacterias *Azospirillum* sp, son habitantes naturales del suelo que están asociados o en simbiosis con la raíz de las plantas, ayudando a la nutrición mineral, a la absorción del agua, al control de patógenos del suelo y a la regeneración del suelo degradado. Los microorganismos benéficos se encuentran en mayor cantidad en suelos que no han sido afectados por el uso excesivo de fertilizantes químicos y pesticidas que disminuyen o eliminan dicha población (INIFAP, 2016).

Puente (2013) menciona la utilización de bacterias rizosféricas con la finalidad de aumentar el rendimiento de los cultivos y disminuir el uso desmedido de fertilizantes químicos, por consiguiente reducir la contaminación ambiental y obtener alimentos mucho más inocuos. Dentro de las bacterias asociativas más estudiadas, indica las

pertencientes al género *Azospirillum*, que se ha convertido en el grupo más promisorio de diazótrofos asociados con gramíneas y otras plantas no leguminosas. Asimismo, Pérez (2014) considera los HMA como los organismos que establecen simbiosis con el 80% de plantas vasculares, capaces de aumentar la accesibilidad de las plantas a los nutrientes y al agua presentes en el suelo.

Los biofertilizantes pueden presentar grandes ventajas como la producción orgánica, bajos costos de producción, protección del medio ambiente y aumento de la fertilidad y la flora microbiana del suelo (INTAGRI, 2016) sin embargo, como son productos biológicos es necesario evaluarlos en diferentes cultivos y ecosistemas.

Teniendo en cuenta las consideraciones expuestas, se ha planteado el presente trabajo de investigación, con los siguientes objetivos:

Objetivo General

Evaluar el efecto de la biofertilización con hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y *Azospirillum* sp en el rendimiento del maíz amiláceo blanco en condiciones de Quinua a 3180 msnm

Objetivos específicos

1. Demostrar la influencia de la biofertilización con HMA en el rendimiento del maíz amiláceo blanco.
2. Evaluar la influencia de la biofertilización con bacterias *Azospirillum* sp en el rendimiento del maíz amiláceo blanco.
3. Comprobar la influencia de la biofertilización combinada HMA + *Azospirillum* sp en el rendimiento del maíz amiláceo blanco.
4. Determinar el mérito económico de los tratamientos.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES

Olivares (2012) estudió el efecto de *Azospirillum* sp (cepa UAP154) en el rendimiento de grano del maíz en dos experimentos establecidos durante 2007 en Tamaulipas, México. Determinó que la inoculación de *Azospirillum* sp incrementa el rendimiento de grano en comparación con el testigo no fertilizado ni inoculado, el experimento desarrollado durante otoño-invierno incrementó la relación beneficio /costo en 58%.

García (2012) evaluó la producción de auxinas in vitro en tres cepas (CBG-180, CBG-181, CBG-497) de *Azospirillum* sp nativas del norte de Tamaulipas, México y su efecto en la producción de biomasa, grano y forraje de maíz (*Zea mays* L.). La cepa CBG-497 (de la localidad Río Bravo) produjo mayor cantidad de auxinas in vitro que las cepas CBG-180 y CBG-181 (ambas de la localidad Díaz Ordaz). En invernadero, la cepa CBG-497 incrementó significativamente la producción de biomasa (20 a 90 %) en tres híbridos de maíz (Garst-8222, Dekalb-2003, Asgrow-Tigre) en comparación con el testigo no inoculado. En campo, el rendimiento de grano y de forraje del maíz no mostraron diferencia significativa entre la aplicación de biofertilizantes basados en cepas nativas de *Azospirillum* sp y la fertilización química, pero la aplicación de biofertilizantes incrementó la rentabilidad del maíz (36 % en promedio) al reducir los costos de fertilización

Uribe (2006) indica que en cuatro años consecutivos de evaluación de la producción de maíz en México, registró diferencias estadísticas en rendimiento ($p < F = 0.05$) entre tratamientos con microorganismos benéficos con HMA y *Azospirillum* sp que superaron en forma aritmética al testigo absoluto y fueron similares al testigo fertilizado.

INTA (2013) realizó ensayos a nivel del invernadero, para determinar el efecto de las bacterias promotoras de crecimiento vegetal en trigo y maíz. Indica mayor efecto positivo con las bacterias *Azospirillum* sp.

Faggioli et al. (2015) indican que el porcentaje de micorrización con HMA, en suelos sin abonamiento va de 29% a 65%, así mismo los suelos disturbados presentan una menor diversidad de especies de HMA en comparación a los suelos no disturbados, con una relación de 1 a 2.

Escalante (2014) evaluó métodos de inoculación de dos cepas de *Azospirillum* sp en plantas de maíz morado (*Zea mays* L.) en Huanta a 2650msnm, determinó mayor rendimiento (7298 kg.ha⁻¹) con la cepa dos en soporte líquido en relación a la fertilización química y al control.

INIFAP (2016) indica que el uso de inoculantes microbianos tanto en el maíz criollo como en el híbrido H-40 permite reducir en promedio hasta un 50% la fertilización mineral al suelo asociado a un ahorro de alrededor de 52% del costo por fertilizantes químicos, además es posible tener incrementos en rendimiento de un 25%, que equivale a 0.7 por hectárea, por lo anterior, es factible mejorar la rentabilidad financiera del cultivo

Egerton et al. (2001) mencionan que el enriquecimiento con N, a niveles de contaminación a partir de la actividad agrícola, tiene repercusiones en la diversidad y funcionamiento de las comunidades de HMA. Se observaron que los géneros *Glomus* tienden a disminuir la producción de esporas, mientras algunas especies del genero *Gigaspora* y *Scutellospora* adoptan características parasíticas e incrementan su número.

1.2. BIOFERTILIZANTE

Parra y Cuevas (2002) mencionan que los biofertilizantes son productos naturales a base de microorganismos benéficos del suelo como las bacterias y hongos principalmente, en el mercado estos biofertilizantes tienen presentaciones en sustratos y soluciones líquidas.

Un biofertilizante es un fertilizante orgánico natural que ayuda a proporcionar a las plantas todos los nutrientes que necesitan y a mejorar la calidad del suelo creando un entorno microbiológico natural (Antoun y Presvost, 2005).

Rodríguez (2015) propone producir y utilizar biofertilizantes para mejorar el rendimiento de los cultivos mediante bacterias promotoras de crecimiento vegetal (*Azospirillum* sp) y HMA capaces de aumentar la accesibilidad de los nutrientes y agua presentes en el suelo.

Los biofertilizantes son insumos formulados con uno o varios microorganismos benéficos (hongos, bacterias y otros), los cuales aumentan la disponibilidad de nutrientes y agua para las plantas. Estos biofertilizantes pueden presentar grandes ventajas como una producción a menor costo, protección del ambiente y aumento de la fertilidad y biodiversidad del suelo (INTAGRI, 2016).

1.3. HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES (HMA)

1.3.1. Historia

El término micorriza fue acuñado por el botánico alemán Albert Bernard Frank en 1885, y procede del griego ‘mykos’ que significa hongo y del latín ‘rhiza’ que significa raíz, es decir, que literalmente quiere decir “hongo-raíz”, definiendo así la asociación simbiótica, o mutualista, entre el micelio de un hongo y las raíces de una planta terrestre (Andrade, 2010).

Harrison (1997) estableció que la asociación hongo planta era mutualista dados los beneficios que reporta la misma para ambos participantes, y comprende la penetración radical por parte del hongo y la carencia de respuesta perjudicial hacia éste por parte de la planta hospedera.

La relación entre hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA), tiene un registro fósil de alrededor de 460 millones de años, similar al tiempo cuando las plantas colonizaron la tierra (Simon et al., 2006). Por ello, estas asociaciones están presentes en casi todos los grupos de plantas terrestres. Aparecen en Briofitos, sobre todo en Hepáticas, en todos los grupos de Gimnospermas y en la mayoría de Angiospermas. No están presentes en algunas familias de Angiospermas en las que han desarrollado

resistencia, como: Ciperáceas, Juncáceas, Cariofiláceas o Crucíferas (Harley y Smith, 2003).

Originalmente los hongos formadores de micorrizas arbusculares se hallaban clasificados en la división *Zygomycota*. El Congreso Internacional de Micología de 1994; un consenso la reubico en la división *Glomeromycota*, basados en la reconstrucción filogenética que subyace a esta clasificación (Redecker et al. 2013).

Las micorrizas se clasifican en tres grupos, según la estructura que la micorriza forma: Ectomicorrizas o formadoras de manto, Ectoendomicorrizas, que incluye arbutoides y monotropoides y las Endomicorrizas, caracterizadas por la colonización intracelular de las células del córtex de la raíz, y que a su vez se subdividen en Ericoides, Orquidoides y Arbusculares (Peyronel et al., 2001 citado por Orihuela 2017)

1.3.2. Tipos de micorrizas

- Ectomicorrizas

El hongo coloniza las raíces externamente formando un manto; se presenta en general en las plantas leñosas perennes, coníferas donde la ramificación de la raíz es corta y lignificada, que dificultan la captura óptima de nutrimentos y agua. En este caso, el hongo, además de incrementar la absorción de sales minerales, tiene la capacidad de utilizar fuentes nitrogenadas no disponibles para las plantas y de producir antibióticos (Bruns et al., 2002).

- Endomicorrizas

Es el tipo de asociación hongo-raíz más extendido en la naturaleza, no desarrolla red de Harting y colonizan intracelularmente la corteza de la raíz por medio de estructuras especializadas denominadas arbusculos, que actúan como órganos de intercambio de nutrimentos entre la célula vegetal y el huésped. Algunos géneros de estos hongos forman también otro tipo de estructuras llamadas vesículas, compuestas principalmente por lípidos, las cuales actúan como estructura de reserva y de reproducción asexual. Estas vesículas están presentes intercelularmente en la corteza de la raíz y se consideran reservorios de nutrimentos para el hongo. La presencia tanto de arbusculos como de vesículas dio lugar a que la simbiosis se conociera originalmente como vesícula-arbuscular (VAM), sin embargo, no todas las especies de hongos forman vesículas, por

lo que en la actualidad la asociación se conoce como micorriza arbuscular (HMA) (Corwell et al., 2001).

Los micelios del hongo no solo penetran en la capa cortical de la raíz, sino que también se alojan en el interior de sus células, y en parte son digeridas por la planta hospedante, que se beneficia de sus albuminoides y nitrógeno orgánico. Las Endomicorizas no son tan específicas, por lo que una especie puede colonizar a muchas especies de plantas y se adaptan mejor a las condiciones del medio porque sus esporas crecen con facilidad y pueden sobrevivir sin contacto con las raíces. Esas son dos causas principales por las cuales abundan más en la naturaleza que el resto de las micorizas. Las micorizas arbusculares (HMA) son más abundantes en climas cálidos con suelos secos, tierras de pastos y bosques caducifolios con alta tasa de renovación de materia orgánica, y donde el aporte de fósforo es limitado (Harley y Smith, 2003).

- **Ectoendomicorizas**

Los hongos que las producen colonizan de forma dual las raíces; externamente formando un manto cortical e internamente penetrando intracelularmente en el córtex, formando unas estructuras de tirabuzón llamadas coil (Álvarez y Ramos, 2004).

1.3.3. Morfología de los HMA dentro de la raíz

Las esporas de los hongos micorrízicos arbusculares que se encuentran en la rizósfera, penetran a la raíz en un periodo de 20 a 25 días, observándose un desarrollo de los tubos germinales y penetración de la hifa a la planta hospedera. A este primer periodo se le denomina “fase lag”, durante la segunda fase después de 30 a 35 días, la micorriza se desarrolla y extiende en las raíces del hospedero. Finalmente en la tercera fase el hospedero fructifica y envejece, la proporción de las raíces micorrizadas o no micorrizadas permanecen constantes (Harley y Smith, 2003).

- **Esporas y esporocarpos**

Las esporas y esporocarpos son estructuras que contienen en su interior lípidos y glúcidos por lo que son considerados como órganos de reserva y de infección. Estas estructuras pueden conservar su potencial de infección aun después de tres años (Tummerup y Kidby, 1985).

Las esporas son producidas rápidamente en presencia de una planta hospedera, de manera que a los 4 meses en promedio son producidas miles de nuevas esporas del mismo tipo. Las esporas son formadas en el micelio extraradical o intraradical, dependiendo de la especie, o en estructuras más o menos definidas denominadas esporocarpos, aunque en ciertos géneros la presencia de esporocarpos es importante, las características individuales de las esporas son las que principalmente se utilizan para su identificación. Las esporas difieren en forma, estructura, contenido citoplasmático, color, tamaño, número de paredes, vías de germinación y presencia o ausencia de esporocarpos (Mosse et al. 1981 citado por Orihuela 2017).

- **Hifas**

Las hifas de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) presentan dos tipos de redes miceliales; una externa y una interna. La red externa se origina a lo largo de la raíz del hospedero en donde forma puntos de penetración para luego extenderse en forma tridimensional, en la superficie de la rizósfera; la hifa interna por otro lado, forma un apresorio en la raíz del hospedero, invadiendo los tejidos de las células de la corteza, las células epidérmicas de esta por su parte sufren un incremento en el tamaño del núcleo y el citoplasma; este último se desarrolla de manera intracelular formando una vaina delgada. El nuevo plasmalema que ha sido sintetizado por el hospedero, separa esta vaina de las células que se encuentran alrededor. A poca distancia de los ápices terminales se desarrollan los arbusculos; las hifas nunca penetran en la endodermis, tejidos vasculares, meristemos, clorofílicos, partes viejas de la raíz, o en meristemos especializados de órganos vivos (Ocampo 1980 citado por Orihuela 2017).

- **Arbusculos**

El intercambio de nutrientes del huésped al hongo y viceversa se da por los arbusculos, siendo ésta, la estructura más importante en la simbiosis. Al principio el crecimiento de los arbusculos es similar al de las hifas intercelulares, pero la fina ramificación característica de los arbusculos puede llenar la célula por completo, la vida media de los arbusculos es de siete días; los arbusculos tienen como función principal el intercambiar sustancias nutritivas procedentes del exterior de la raíz. Estos órganos están compuestos por un tronco que ha sido formado por la hifa que ha penetrado en las células de la corteza, (localizada alrededor del cilindro vascular), después de ello la hifa se desarrolla formando una estructura coraloide altamente ramificada; se incrementa el citoplasma de

la celular, el almidón desaparece, el núcleo se alarga y divide, y por último los organelos incrementan su número. Después de haberse formado los arbusculos estos sufren un proceso de transporte activo, en el que existe un intercambio de nutrientes entre la planta y el hongo; por último las células y sus estructuras retornan a su estado normal en el que los gránulos de almidón vuelven a reaparecer. Esta célula esta lista para que se forme un nuevo arbusculos (Ocampo 1980, Harley y Harley 1987 citados por Orihuela 2017).

- **Vesículas**

Se definen las vesículas como órganos de reserva del hongo. Posterior o simultaneo a la formación de arbusculos del hongo, aparecen en las raíces, son de formas globosas y/u ovals. Se forman intracelular o intercelularmente. Estas estructuras actúan como fuente de reserva o como estructura de reproducción asexual (Ocampo 1980, Harley y Harley 1987 citado por Orihuela).

1.3.4. Interacción planta hongo

Las micorrizas funcionan como prolongaciones de las raíces en la rizósfera. El incremento en la absorción del agua, es uno de los principales beneficios que las plantas obtienen en las zonas áridas, mejorando la absorción de agua en el suelo y las raíces a diferencia de raíces sin micorrizas (Ramos, 2000).

Allen (2006) hace referencia a las micorrizas como reservorios de agua durante la noche, cuando la planta no la utiliza. De esta manera, el hongo puede crecer y llegar a nuevos micro depósitos de agua en el suelo. Durante el día, el agua es trasladada hacia las planta para su uso. Las plantas pueden perder de un 5% a 10% del total de carbohidratos fotosintetizados debido a esta relación.

Severding y Toro (2009) encontraron que diferentes especies de micorrizas causan efectos diferenciales en la absorción de nitrógeno (N), fosforo (P) y potasio (K) al igual que en la tolerancia al estrés hídrico en el maíz (*Zea mays* amiláceo L.). De igual forma, a menor concentración de P mayor es la colonización de HMA en la rizósfera. Muchos estudios han demostrado los beneficios que otorgan las micorrizas a las plantas en cuanto al P, ya que el P es utilizado en mayor medida en ciertas etapas de alta necesidad energética, como cuando la planta es joven o durante la fructificación.

El enriquecimiento del suelo con N puede favorecer la proliferación de especies del género *Glomus* que sean potencialmente menos mutualistas y más parasíticas (Collins et al., 2003). A mayor cantidad de N disminuyen las estructuras de los HMA. Así como se ha observado que las micorrizas son capaces de adquirir N tanto orgánico como inorgánico, incluso de manera directa de la materia orgánica presente en el suelo (Hawkes et al., 2000). Se han observado intercambios de N entre plantas a través de los HMA. Otros elementos como el cobre (Cu), zinc (Zn), manganeso (Mn), azufre (S) y hierro (Fe), son transportados de las HMA hacia las plantas (Leigh et al., 2008 citado por Orihuela 2017).

1.3.5. Medio ambiente y esporulación

La interacción planta-hongo es mediada por una serie de señales químicas de ambos organismos. Algunos compuestos producidos por las plantas, como los sesquiterpenos, inducen la ramificación de las hifas de los HMA. Flavonoides y estringolactonas son importantes en los primeros pasos de colonización del hongo, así como para el metabolismo y ramificación de las micorrizas. Se han advertido que los hospederos tienen un efecto considerable en el crecimiento y desarrollo de las micorrizas más que en el tiempo de esporulación de las mismas. Una amplia diversidad de factores bióticos y abióticos tienen influencia en el desarrollo de las micorrizas y por consiguiente su esporulación. De acuerdo a esto es importante considerar estos factores al momento de dilucidar sobre posibles relaciones directas o indirectas que tenga el ambiente (Parniske, 2008).

1.3.6. Sistemática de los HMA

La sistemática de estos organismos se reestructuró el 2013, considerando los caracteres morfológicos y tomando en cuenta caracteres que se pudieran interpretar evolutivamente, un consenso la reubicó en la división Glomeromycota, basados en la reconstrucción filogenética que subyace a esta clasificación (Redecker et al., 2013), Propusieron la siguiente clasificación:

Tabla 1.1. Clasificación taxonómica de los hongos micorrízicos arbusculares

FHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO
				<i>Glomus</i>
			<i>Glomeraceae</i>	<i>Funneliformis</i>
		<i>Glomerales</i>		<i>Rhizophagus</i>
				<i>Septoglomus</i>
			<i>Claroideoglomeraceae</i>	<i>Claroideoglomus</i>
		<i>Paraglomerales</i>	<i>Paraglomaceae</i>	<i>Paraglomus</i>
			<i>Archaeosporaceae</i>	<i>Archaeospora</i>
		<i>Achaeosporales</i>	<i>Ambisporaceae</i>	<i>Ambispora</i>
			<i>Geosiphonaceae</i>	<i>Geosiphon</i>
Glomeromycota	Glomeromycetes		<i>Acaulosporaceae</i>	<i>Acaulospora</i>
				<i>Entrophospora</i>
				<i>Centraspora</i>
				<i>Dentiscutata</i>
			<i>Gigasporaceae</i>	<i>Racocentra</i>
		<i>Diversisporales</i>		<i>Gigaspora</i>
				<i>Scutellospora</i>
			<i>Diversisporaceae</i>	<i>Diversispora</i>
				<i>Redeckera</i>
			<i>Pacisporaceae</i>	<i>Pacispora</i>

1.3.7. Características morfológicas de las esporas del HMA

a) Forma de las esporas

Las esporas de HMA, en su mayoría son globosas (esféricas), pero algunas especies tienen esporas ovales, oblongas, troncocónicas, sub-globosas e irregulares, para la caracterización se toma en cuenta el típico de la población y se describe de adicional la segunda forma típica (en caso de apreciarse), la hifa de sostén que permanece fiel a las esporas pueden ser cilíndricas, ensanchadas, globosas, achatadas, abocinadas o hinchadas, y pueden ser solitarias o ramificadas (Redecker et al. 2013).

b) Tamaño de las esporas

El parámetro de tamaño se considera como el menos útil en comparación a muchos otros criterios taxonómicos debido a su variabilidad (Redecker et al. 2013), pero las diferencias sustanciales en el tamaño de las esporas pueden ayudar a distinguir géneros y especies. Los HMA tienen esporas que caen una gama de tamaños desde muy

pequeños (20 a 50 μm), pequeños (50 a 120 μm), medianas (120 a 250 μm), a grandes (mayor a 250 μm), (Redecker et al. 2013).

c) Color de las esporas

El color varía entre géneros y en los aislamientos sin embargo son una herramienta útil dado que la variación se da en la misma gama de color. Los colores de esporas deben ser identificados mediante el uso de una carta de colores que defina los colores CYMK como porcentajes (Cian, Amarillo, Magenta y Negro), para estandarizar el color se recomienda el uso de “Pantone® Process Color System Guide”, (Redecker et al. 2013).

e) Estructuras asociadas con las hifas del suelo

Son vesículas auxiliares también llamados órganos auxiliares o células auxiliares, se agrupan en estructuras producidas por las hifas del suelo de la familia Gigasporaceae, su fin es la de servir como estructura de reserva o propagación (Redecker et al. 2013).

1.3.8. Mecanismo y proceso de colonización

Las esporas pueden considerarse solamente uno de los tipos de propágulos de los HMA debido a que las raíces de las plantas se colonizan también por trozos de micelio activo que se ramifica para desarrollar la infección. En las micorrizas arbusculares existen dos fases del sistema micelial, un micelio interno en la corteza de la raíz de la planta y un micelio externo en el suelo, que varía en extensión y volumen (Harley y Smith, 2003).

El inicio de la colonización de la planta y con ello la formación de la simbiosis comienza con la germinación de las esporas de resistencia en el suelo cuando las condiciones de temperatura y humedad son favorables o bien mediante el crecimiento de hifas a partir de propágulos del suelo que se encuentran cerca del sistema radical susceptible. El crecimiento del micelio se incrementa algunas veces debido a que los exudados de la raíz pudieran proporcionar sustratos adecuados para el desarrollo de las hifas después de que las reservas de nutrimentos sobre todo en las esporas, se hubieran agotado. Sin embargo, a pesar del crecimiento micelial en presencia de raíces, las hifas no parecen tomar una dirección hacia ellas, sino hasta que se encuentran muy cerca, es decir unos pocos milímetros. La hifa finalmente tiene contacto con la célula epidérmica o un pelo radical y produce un apresorio ligeramente engrosado, a partir del cual se desarrollan ramificaciones infectivas cortas. Posteriormente se produce la penetración

de la epidermis o del pelo radical mediante la presión ejercida por la hifa en crecimiento sobre la pared celular, lo cual hace que la hifa y se vuelva mucho más delgada en las células corticales. No se sabe si está involucrada la producción de enzimas por el hongo, pero parece probable que ocurra una alta actividad hidrolítica y se ha sugerido también que la entrada de la hifa a la raíz se facilita por la presencia de pectinasas (Bolan y Abbott, 2004 citado por Orihuela 2017).

Una vez que la hifa penetra la raíz, generalmente entre las células epidérmicas, se dispersa también intercelularmente a lo largo de la corteza, alcanzando la segunda capa de células corticales. La colonización se vuelve intracelular cuando la hifa degrada la pared de la célula e invagina la membrana para ramificarse y formar una estructura parecida a un arbúsculo, denominada arbúsculo, dentro de la célula. Este es el sitio donde se lleva a cabo el intercambio de nutrimentos entre ambos simbiosis (Harley y Smith, 2003).

Otras ramificaciones de las hifas intraradicales en algunos géneros de hongos endomicorrízicos, forman vesículas intercelulares que parecen ser reservorios de nutrimentos dado que presentan gran cantidad de lípidos (Bowen, 2001).

La vida media de un arbúsculo en actividad es muy corta y varía entre dos y quince días, al cabo de los cuales se colapsa y permanece rodeado por el plasmalema de la célula vegetal, siendo encapsulado por material depositado en la zona interfacial proveniente presumiblemente del hospedero (Harley y Smith, 2003).

Este continuo proceso de degradación de arbúsculos a la vez que se forman otros nuevos es ventajoso para la planta, un arbúsculo en degradación, lleno de nutrimentos puede liberar su contenido a la célula de la raíz y a partir de allí distribuirse a toda la planta (Salazar, 2002).

La colonización del hongo puede extenderse también mediante hifas por la superficie de la raíz y penetrar en ésta a intervalos irregulares (Sieverding y Toro, 2009).

1.3.9. Factores que afectan el establecimiento de HMA

a) Luz y temperatura

Cuando las plantas micorrizadas se exponen al sol la infección y la producción de las esporas se incrementa. A menor cantidad de luz, la fotosíntesis se realiza de forma inadecuada en la planta, resultando en una disminución de los azúcares que son secretados por ella; de allí que exista una disminución en el número de esporas, ya que necesitan más tiempo para madurar; las altas temperaturas (30 a 35°C), estimulan la infección y el desarrollo de las esporas; en raíces de poas los arbusculos se desarrollan mejor a 30°C, el micelio entre 28 y 34°C y las esporas y vesículas a 35°C (Schenk y Schoroder, 1998 citado por Orihuela 2017).

b) Susceptibilidad del hospedero

Gray y Gerdemann (2001) indica que la susceptibilidad micorrízica es el grado en el que la planta es dependiente sobre la condición micorrízica para producir un máximo de desarrollo y producción a un nivel conocido sobre la capacidad del suelo, de ahí que algunos hospederos son más dependientes que otros.

c) Microorganismos del suelo

Existen muchos microorganismos que pueden beneficiar al HMA y en consecuencia estimular el crecimiento de la misma. Un ejemplo son las bacterias fijadoras de nitrógeno, microorganismos solubilizadores de fosforo y otros; estos microorganismos pueden producir compuestos que incrementan la permeabilidad de la membrana, la síntesis de fitoalexinas, fitohormonas y vitaminas (Gray y Gerderman, 2001).

d) Fertilizantes

Los fertilizantes provocan una reacción negativa en los HMA, las grandes cantidades de fosforo, impiden que los HMA se extiendan en el suelo para absorber los nutrientes necesarios, siendo tóxicos para ellos. Se ha reportado que a mayor cantidad de fertilizante, los HMA sufren una reducción de su peso seco (extensión y colonización) de hasta un 50% (Gray y Gerderman, 2001).

e) Pesticidas

Los pesticidas son generalmente dañinos para los microorganismos benéficos que se encuentran en la rizósfera, incluyendo a los HMA; el mecanismo que ejerce en el

hospedero influye en el desarrollo de los HMA, aquellos que incrementan la exudación de los carbohidratos en las raíces pueden incrementar la infección micorrízicas, mientras que los que la reducen pueden disminuir o eliminar la infección. Por otra parte las plantas que son altamente dependientes sufren deficiencias extremas de nutrientes lo que ocasiona el debilitamiento de la misma al erradicarse o disminuirse severamente la infección de los hongos HMA (Gray y Gerderman, 2001).

Algunos fungicidas pueden evitar la infección del hospedero con HMA. Estos son: Arazan, Benomyl, Botran, Mylone y Thiabendazole. Otros fungicidas mostraron, en estudios con especies de HMA conocidas, poco o ningún efecto negativo en el desarrollo de esta en los hospederos. Estos son: Ethoprop, Funsophotian, Ethazoe, Captan, Maneb, Rido- mil, Aliette, Pyroxiclor y Thiophanate. Algunos fungicidas como Ethazoles pueden estimular la infección si se aplican en pocas cantidades (10-40 ppm) entre 30 y 60 días después la inoculación. (Corominas, 2012).

1.4. BACTERIAS *Azospirillum sp.*

1.4.1. Historia

En el año 1973 Peña y Dobereiner iniciaron el estudio de la bacteria *Azospirillum sp.*, realizaron estudios taxonómicos de *A. lipoferum* conducentes a su reclasificación en un género nuevo, *Azospirillum sp.* Pocos años después del redescubrimiento de *Azospirillum sp* y hasta alrededor de 1993, este género fue el más estudiado entre las bacterias asociadas a plantas. La capacidad de *Azospirillum sp* para estimular el crecimiento de las plantas y de aumentar el rendimiento de los cereales, fue estudiado por numerosos estudios sobre la ecología, fisiología y genética de esta bacteria (Villegas, 2009).

En 1925, Beijerinck aisló la primera especie de *Azospirillum sp* y se le denominó *Spirillum lipoferum*. Posteriormente, en 1978 se postula a *Azospirillum sp* como un género de acuerdo a las diferencias morfológicas y fisiológicas entre varias cepas y experimentos de homología del ADN encontrando dos especies: *Azospirillum brasiliense* y *A. lipoferum* (García, 2012).

1.4.2. Bacterias *Azospirillum sp* promotoras de crecimiento vegetal y fijadores de nitrógeno

Las bacterias *Azospirillum sp* se asocian con gramíneas, fijan el nitrógeno atmosférico (70 Kg N/ha/año) y son promotoras del crecimiento vegetal (Alcázar, 2011).

La bacteria *Azospirillum sp* se encuentra en especies distintas en las gramíneas e incluso en cactus opuntia, en diversidad de suelos, climas y manejo agronómico (Alcázar, 2011).

Las bacterias promotoras de crecimiento vegetal son conocidas como PGPR (promoting growth plant rhizobacteria), llamadas también Bacterias Edáficas o de Vida Libre. Son aquellas bacterias que colonizan las raíces de las plantas y ejercen un efecto positivo en el crecimiento y desarrollo de la planta de manera directa o indirecta (Alcázar, 2011).

El *Azospirillum sp* es una bacteria que se encuentra en la rizósfera de las plantas comúnmente de las gramíneas (Rodríguez, 2015).

El *Azotobacter*, *Azospirillum* y *Pseudomona* son bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico, aumentan la capacidad de solubilización del fósforo orgánico e inorgánico del suelo, colonizan las raíces de las plantas produciendo fitohormonas como giberelinas (inducen a la germinación de las semillas y controlan el crecimiento vegetal), citocininas (fomentan y favorecen el crecimiento de las yemas laterales), auxinas (sustancias promotoras del crecimiento vegetal), esto trae como consecuencia un aumento en la captación de nutrientes (Rodríguez, 2015).

Las bacterias *Azospirillum sp* viven de forma natural en el suelo cercano a las raíces de las plantas, desde donde establecen una relación de mutuo beneficio (simbiosis) con las raíces (Alcázar, 2011).

Las plantas alimentan a la bacteria *Azospirillum* mediante azúcares producidos por medio de la fotosíntesis y a cambio las bacterias toman el nitrógeno que se encuentra en abundancia en el aire y lo transforman en amonio, nitratos y nitritos, los cuales depositan en el suelo para que lo puedan aprovechar las plantas a través de sus raíces. A su vez, las bacterias producen hormonas que estimulan el desarrollo de las plantas y

compiten contra otras bacterias capaces de producir enfermedades en las raíces (bacterias patógenas), disminuyendo el efecto negativo que tienen las bacterias nocivas sobre la salud de la plantas (Rodríguez, 2015).

Hernandez-Castellano et al. (2015) indican que la inoculación del género *Azospirillum*, en las plantas favorece a un aumento significativo del sistema radical, inducen resistencia a agentes patógenos, proveen de elementos tan necesarios como el nitrógeno, inhibe la proliferación de plantas parásitas y producen hormonas que estimulan el crecimiento vegetal, lo que permite un desarrollo más económico y saludable de los cultivos.

Woodard & Bly, (2000); Velazco, (2001) citados por Hernandez-Castellanos et al. (2015) mencionan que varios artículos científicos describen que la inoculación con diferentes cepas de *Azospirillum* provoca el aumento de peso seco total, tamaño de la hoja, brotes, aparición temprana de la espiga, número y granos en estas, peso y tamaño del grano, altura de la planta, índice de área foliar y tasa de germinación, asimismo indican efectos marcados sobre el sistema radical de las plantas, dados por el incremento en el número de raíces, la aparición temprana de los pelos radicales, el aumento de la longitud lateral, las cuales incrementan el volumen.

Hernandez-Castellano et al. (2015) también indican que *Azospirillum* es una de las bacterias que más se ha usado a escala comercial, incrementando de manera significativa la producción de diferentes cultivos de importancia económica. Se ha reportado que los biofertilizantes que contienen esta rhizobacteria incrementan el rendimiento en maíz entre un 5 y 30%.

1.5. CULTIVO DE MAÍZ

1.5.1. Centro de origen

Valadez (1994) y Janick (1962) identifican como centro de origen geográfico y de domesticación, para el maíz amiláceo (*Zea mays* amiláceo L.), el centro sur de México a una altitud de 2500 msnm.

1.5.2. Clasificación taxonómica

Cabrerizo (2012) indica la siguiente clasificación taxonómica del maíz amiláceo blanco:

Reino	: Plantae
División	: Magnoliophyta
Clase	: Liliopsida
Subclase	: Commelinidae
Orden	: Poales
Familia	: Poaceae
Subfamilia	: Panicoideae
Tribu	: Andropogoneae
Género	: Zea
Especie	: <i>Zea mays</i> L spp. Amiláceo
Nombre común	: Maíz amiláceo blanco

1.5.3. Características botánicas

La planta de maíz es de porte alto, con abundantes hojas y un sistema radicular fibroso, normalmente con un solo tallo que tiene hasta 30 hojas. Algunas veces se desarrollan una o dos yemas laterales en la axila de las hojas en la mitad superior de la planta; éstas terminan en una inflorescencia femenina la cual se desarrolla en una mazorca cubierta por hojas que la envuelven; esta es la parte de la planta que almacena reservas. La parte superior de la planta termina en una inflorescencia masculina o panoja; esta tiene una espiga central prominente y varias ramificaciones laterales con flores masculinas, que producen abundantes granos de polen (Ritchie y Hanway, 1992).

- La raíz

López (2007) afirma que la planta tiene dos tipos de raíz, las primarias son fibrosas, presentando además raíces adventicias, que nacen en los primeros nudos por encima de la superficie del suelo.

Añez (2005) mencionan que los exudados radicales del maíz crean condiciones específicas que a su vez regulan el control de huéspedes que conforman la estructura microbiana propia de cada planta.

- El tallo

Añez (2005) menciona que el tallo es simple erecto, de elevada longitud pudiendo alcanzar los 3 metros de altura, es robusto y sin ramificaciones. Por su aspecto recuerda

al de una caña, no presenta entrenudos y si una médula esponjosa al realizar un corte transversal.

- **Las Hojas**

Ospina (2015) indica que las hojas del maíz son lanceoladas paralelinervias y alternas, su aspecto en el borde de la hoja es áspero, nacen muy pegadas al tallo y es donde se desarrollan las mazorcas. Las hojas tienen una gran importancia en el desarrollo y evolución de los granos. Dependiendo de cómo se cultiva una planta de maíz puede tener de 12 a 24 hojas.

- **Inflorescencia**

López (2007) afirma que el maíz es una planta monoica de flores unisexuales; sus inflorescencias masculinas y femeninas se encuentran bien diferenciadas en la misma planta.

- **Granos (semilla)**

Ospina (2015) indica que en la mazorca cada grano o semilla es un fruto independiente llamado cariósipide que está insertado en el raquis cilíndrico u olote; la cantidad de grano producido por mazorca está limitada por el número de granos por hilera y de hileras por mazorca.

1.5.4. Ecología del cultivo

- **Suelo**

El maíz se adapta muy bien a todos los tipos de suelo, pero en suelos de textura franca, franco-arcilloso y franco-limoso, con pH de 6,5 a 7,5 es donde se aprecia el mejor desarrollo. Requieren además suelos profundos, ricos en materia orgánica con buen drenaje (INFOAGRO, 2012).

El terreno debe tener altos niveles de nitrógeno y fósforo. Adicionalmente, hay un consumo significativo de calcio, magnesio y azufre (Ruiz, 2016).

- **Clima**

El maíz es una gramínea de fotosíntesis tipo C4 por ello requiere una temperatura que está entre 15 y 30 °C; el maíz puede soportar temperaturas mínimas de 8 °C y por

encima de los 30 °C pueden aparecer problemas de mala absorción de nutrientes minerales y agua. Se menciona además que la temperatura ideal para el desarrollo de la mazorca está entre los 15 a 25°C (FAO, 2002)

El maíz requiere de un porcentaje de humedad atmosférica que está entre 60 y 80% (Ospina, 2015).

1.5.5. Requerimiento hídrico

De la siembra a la madurez de cosecha la planta de maíz requiere de 500 a 800 mm de lámina de agua, la fase crítica del requerimiento hídrico es la floración (MINAGRI, 2016).

Cuando las condiciones de evaporación corresponden a 5-6 mm/día, el agotamiento del agua del suelo hasta un 55% del agua disponible, tiene un efecto negativo sobre el rendimiento. Para estimular un desarrollo rápido y profundo de las raíces puede ser ventajoso un agotamiento algo mayor del agua durante los periodos iniciales de desarrollo (Ruiz, 2016).

1.5.6. Fenología del cultivo

Añez (2005) menciona que el desarrollo fenológico del maíz se refiere al ritmo de crecimiento vegetativo y reproductivo expresado en función de los cambios morfológicos y fisiológicos de la planta, relacionados con el ambiente.

- Etapa vegetativa (V)

Añez (2005) afirma que esta fase inicia desde la siembra y dura hasta poco antes de que aparezcan las estructuras reproductivas, es decir, cuando se comienza a visualizar la espiga del maíz (flor masculina).

- Etapa reproductiva (R)

Añez (2005) indica que inicia cuando se visualiza la espiga del maíz y termina hasta que el estigma de la inflorescencia femenina esté seco, lo que indica que la fecundación ya se produjo.

- **Etapa de maduración (M)**

a) Formación de grano

Comienza con el desarrollo del grano que tiene la forma de ampollitas, alrededor de 16% de materia seca, concluye cuando el grano haya alcanzado su tamaño final (Ruiz, 2016).

b) Estado lechoso

El grano tiene estado lechoso con un contenido de materia seca de 40%, que están óptimos para su consumo como choclo (Ruiz, 2016).

c) Estado pastoso

El fluido interno alcanza en este estado, una consistencia pastosa (masa blanda) y la corteza de la mazorca presenta un color rosado a rojo suave. Los granos en este estado presentan alrededor de un 55% de materia seca y acumulan cerca de la mitad de su peso seco total (MINAGRI, 2017).

d) Madurez fisiológica

Los granos logran su máxima acumulación de materia seca (65%), la capa de almidón duro avanza hasta la zona de unión del grano con la coronta (MINAGRI, 2017).

e) Madurez completa

Se muestra el grano duro y brillante con 70% de materia seca, que a la vez gradualmente irá perdiendo humedad hasta el momento de cosecha que puede tener 15% de humedad (MINAGRI, 2017).

- **Senescencia**

Se produce cuando la planta se encuentra totalmente muerta y los tallos se quiebran (MINAGRI, 2017).

Tabla 1.2. Estados fenológicos del maíz amiláceo y requerimiento climático

Presentación de los Estados fenológicos del maíz amiláceo (dds)								
Germinación	Emergencia	desarrollo de hojas	Inflorescencia masculina (panojamiento)	Inflorescencia femenina (espigamiento)	maduración lechosa	Maduración pastosa	Madurez fisiológico	Senescencia
0	7 - 14	90 - 100	100 - 120	115 - 135	135 - 160	160 - 190	190 - 200	220
T° ambiet. 15C° a 25C°	T° ambiet. 15C° a 25C°	T° ambiet. 15C° a 25C°	T° ambiet. 15C° a 20C°	T° ambiet. 15C° a 25C°	T° ambiet. 15C° a 20C°	T° ambiet. 15C° a 20C°	T° ambiet. 15C° a 20C°	T° ambiet. 15C°
H° atmosf. 60% - 80%	H° atmosf. 60% - 80%	H° atmosf. 60% - 80%	H° atmosf. 60% - 80%	H° atmosf. 60% - 80%	H° atmosf. 60% - 80%	H° atmosf. 60% - 80%	H° atmosf. 60% - 80%	H° atmosf. 60%
Riego (sensible)	Riego (sensible)	Riego (sensible)	Riego (sensible)	Riego (sensible)	Riego (tolerante)	Riego (tolerante)	Riego (tolerante)	Riego (nulo)

Fuente: MINAGRI, 2017

Elaboración: propia

1.5.7. Manejo del cultivo

- Manejo de semilla

La semilla tiene que ser de buena calidad cumpliendo con los parámetros de evolución como pureza varietal, porcentaje de germinación mayor a 80%, buen vigor, peso de mil semillas y sanidad (Ospina, 2015).

La densidad de siembra a nivel de la sierra es 70 a 100 kg.ha⁻¹ dependiendo al distanciamiento entre surcos y golpes y al densidad de plantas que se maneja es de 50000 a 60000 plantas/ha (MINAGRI, 2017).

- Preparación de suelo

El cultivo del maíz es de siembra directa por lo que se requiere de una buena preparación del terreno y con una pendiente no mayor al 4% (Ospina, 2015).

- Limpieza de terreno

Ospina (2015) manifiesta que se inicia con la limpia del terreno, la cual puede ser manual o mecanizada, luego se procede a eliminar los rastrojos que puedan ser incorporados o eliminados del terreno. Se recomienda no utilizar la práctica de quema de rastrojos debido a que en el suelo existen microorganismos benéficos.

- **Arado**

López (2007), indica que para cultivos como el maíz se debe iniciar con una roturación profunda, un paso de arado y uno a tres pasos de grada según el tipo de suelo, también es necesario arar y rastrillar ya que en verano se reduce la cantidad de agua en la tierra, a su vez entra más luz. Se eliminan las plantas hospedera en las que prefieren vivir los insectos adultos los que dañan el cultivo.

- **Surcado**

López (2007) menciona que el surcado del terreno se realiza al momento de la siembra a una profundidad de 20cm -25cm que puede ser a tracción animal o tractor agrícola.

- **Tapado del surco**

López (2007) menciona que el tapado del surco es inmediato con una capa de tierra no muy alta para no perjudicar la emergencia.

- **Riego**

De la siembra a la madurez requiere de 500 a 800 mm de lámina de agua, siendo la etapa crítica la floración (Ruiz, 2016).

- **Fertilización**

Manrique (2000) indica que el nivel de fertilización de nitrógeno y fósforo tiene mayor influencia en el desarrollo y rendimiento del maíz que cualquier otro nutriente y sugiere aplicar 80 de N, 40 de P_2O_5 , 80 de K_2O , $kg.ha^{-1}$ para lograr una producción promedio de $3554 kg.ha^{-1}$. Se aplica la mitad del nitrógeno y todo el fósforo y potasio al momento de la siembra, el resto del nitrógeno se aplica al momento del aporque.

Tabla 1.3. Rendimiento del maíz amiláceo en kg/ha y su respuesta a la aplicación de fertilizante para la sierra

N-P-K	Rendimiento kg.ha⁻¹
0-0-0	1621
40-0-0	2662
40-40-40	2925
40-40-80	2892
40-40-160	2912
80-40-0	3275
80-40-40	3492
80-40-80	3554
80-40-160	3113

Fuente: Manrique, 2000

1.5.8. Labores culturales

- Control de malezas

Ospina (2015) menciona que es necesario de 2-3 limpiezas en la etapa de crecimiento para evitar la competencia ya que al desarrollar follaje inhibe el crecimiento de maleza.

- Barreras vivas

Ospina (2015) menciona que al rededor del campo del maíz se debe sembrar pasto, avena, sorgo para limitar el paso de insectos chupadores.

- Aporque

Ospina (2015) indica que se debe realizar a los 30 días después de la emergencia, controla el crecimiento de malezas y ayuda a que las plantas crezcan con firmeza. Se debe tener el cuidado de no causar daño a las hojas y raíces para evitar la entrada a las enfermedades como los hongos y bacteriosis.

1.5.9. Cosecha

Herrera (2013) manifiesta que la cosecha del maíz se realiza en dos formas cortando la planta o solamente recolectando las mazorcas de las plantas en pie. La planta tiene que estar en madurez de cosecha es decir la planta debe estar casi seca los granos duros con 14% humedad.

1.5.10. Rendimiento

El maíz es el segundo cereal en importancia a nivel mundial, después del trigo, presentando un incremento del 51%, del año 1985 a 2001 (FAO, 2002).

Tabla 1.4. Producción nacional (año 2017) del maíz amiláceo blanco

Región	Superficie sembrada (ha)	Rendimiento (kg/ha)	Costo en chacra (s/. x kg)
Cajamarca	38679	986	2.30
Cusco	26481	2476	2.85
Apurímac	23098	1388	2.75
Ayacucho	17035	1697	2.80
Huancavelica	16850	1587	2.40
La libertad	12636	1452	2.85
Huánuco	12527	1234	2.85
Ancash	9609	1286	2.50
Junín	7929	2105	2.30
Arequipa	5894	3500	2.90
Tacna	3532	2795	3.30

Fuente: MINAGRI, 2018

El rendimiento promedio de maíz amiláceo blanco a nivel de la región Ayacucho para la campaña agrícola 2017 fue de 1695 kg.ha⁻¹ (DRA-Ayacucho, 2018).

Las Regiones con mayor rendimiento de maíz amiláceo blanco para el año 2017 fueron Arequipa con 3500 kg.ha⁻¹, Cuzco con 2637 kg.ha⁻¹, Tacna con 2795 kg/ha y Cusco con 2476 kg.ha⁻¹ (MINAGRI, 2018).

Pérez (2014), al evaluar rendimiento de semilla de seis compuestos raciales de maíz (*Zea mays L.*) en el distrito de Acosvinchos obtuvo un rendimiento máximo de 4.0 tn/ha.

El mayor rendimiento a nivel de la sierra es 4500 kg.ha⁻¹ (equivale a 405 gramos por metro cuadrado) con la variedad mejorada INIA 606- choclero prolífico (INIA, 2015).

El consumo per cápita anual es 8,7 kilogramos. En los departamentos de Junín, Huancavelica y Ayacucho existe 81 mil productores dedicados a esta actividad, que representa el 28% del total nacional, siembran 41814 hectáreas que equivale 27% del total nacional (MINAGRI, 2017).

El máximo rendimiento de maíz se puede lograr incrementando el rendimiento unitario por planta, debiendo considerar los procesos de formación del rendimiento en su conjunto, entre ellos la formación y reducción de los elementos formadores de rendimiento, así como sus mutuas relaciones y compensaciones, de igual forma los efectos de la especie, variedad prácticas del cultivo y clima (López, 2007).

1.5.11. Enfermedades del cultivo de maíz

- Fusariosis (*Fusarium oxysporum*)

El organismo es el hongo perteneciente a la clase Deuteromycete denominado *Fusarium oxysporum*. Se les llama hongos imperfectos porque carecen de fase sexual, el desarrollo óptimo se presenta a 20 °C el rango va de 12 a 28°C. Esta temperatura acompañada de alta humedad relativa, días cortos de baja intensidad lumínica favorecen el desarrollo de la enfermedad. Otros factores son los suelos ácidos, arenosos, con bajo pH, pobres en nitrógeno y alto suministro de potasio. Las heridas ocasionadas a las raíces por maquinaria o nematodos como es el caso de *Melodogyne incognita* aumentan la susceptibilidad del hospedero (Agudelo, 2007).

Fusarium oxysporum, invade la planta bien sea de forma activa a través de las raíces o pasivamente a través de orificios en la zona callosa de esquejes jóvenes. Después de la penetración, el patógeno se desarrolla dentro del sistema vascular de la planta. Los vasos, en especial del xilema son bloqueados y destruidos de manera que el transporte del agua y nutrientes se dificulta, lo que conduce al marchitamiento, que con frecuencia es parcial en la planta. Externamente los síntomas comprenden decoloración de las hojas, sobre todo de un lado de la planta, donde el patógeno ha penetrado. Las hojas se tornan amarillas y la parte superior de la planta se enrolla hacia abajo. En estados posteriores la planta se marchita totalmente, se amarilla y finalmente mueren. Internamente puede observarse una decoloración café en los tejidos vasculares cuando la planta es atacada por *Fusarium oxysporum*, las raíces permanecen inicialmente intactas, en contraposición a los ataques por otras especies de *Fusarium* que destruyen la base del tallo o las raíces (Agudelo, 2007).

- Roya de la hoja (*Puccinia sorghi*)

Esta enfermedad se presenta frecuentemente a nivel de las hojas. Los síntomas iniciales se observan después de 60 días a la siembra o al inicio de la floración, y aparecen

como puntos de color amarillo cuando el hongo es todavía inmaduro y los agricultores generalmente no perciben esta etapa de desarrollo de los hongos en la planta. Las manchas pardas como producto de la muerte de las células, provocadas por estos patógenos se hacen notorias a la producción y maduración de las plantas, lo que los agricultores perciben el daño y conocen con el nombre de la “rancha del maíz” (Agudelo, 2007).

- **Pudrición de granos (*Fusarium moniliforme*)**

La planta adquiere una coloración que va de rojiza a rosada, comenzando por la punta, que se pudre mientras que la mazorca es invadida completamente. Las pancas se adhieren a la mazorca presentando la misma tonalidad rosácea. La enfermedad es frecuente en los maíces amiláceos (Agudelo, 2007).

- **Carbón del maíz (*Ustilago maydis*)**

Es endémico en toda las zonas donde se cultiva el maíz, el hongo afecta los tejidos de la inflorescencia femenina desarrollando agallas variados de color verde grisáceo, el interior de estas agallas es de color oscuro por la presencia de una masa de esporas que es la fuente de diseminación del hongo.

1.5.12. Plagas del cultivo de maíz amiláceo blanco

- **Polilla-gusano cortador (*Agrotis ipsilon*)**

Sevilla (2008) indica que las larvas de los gusanos cortadores en los primeros estadios, en forma gregaria, realizan comeduras irregulares y superficiales en las plántulas de maíz. La larva más desarrollada se alimenta realizando comeduras profundas a la altura del cuello en plantas recién germinadas, luego las plantas inician el marchitamiento del cogollo y posteriormente con el propio peso de las hojas llegan a tumbarse a la altura del cuello ocasionando la muerte violenta de las mismas. Una larva del cuarto estadio puede cortar de 3-4 plantas por noche.

- **Cogollero del maíz (*Spodoptera frugiperda*)**

Sevilla (2008) afirma que el daño en la planta es de varias formas, algunas veces puede comportarse como cortador a la altura del cuello cuando la planta es muy tierna. Su importancia es cuando se comporta como perforador de los cogollos y cuando este se abre al crecer, las hojas muestran agujeros irregulares al medio y borde de las hojas del

maíz. Una forma de reconocer es por la presencia de excrementos a nivel de cogollo de las plantas. El daño por las larvas puede continuar hasta la etapa de la floración. También se ha observado realizando daños a nivel de choclo aun cuando no es su comportamiento normal del insecto.

- **Cigarritas (*Dalvulus maidis*)**

Sevilla (2008) menciona que son agentes transmisores de algunas enfermedades importantes del maíz, como la virosis conocida como el amarillo rayado, habiéndose detectado campos con muy fuerte incidencia.

- **Mazorquero (*Heliothis Zea*)**

Sevilla (2008) indica que las larvas en los primeros estadios se alimentan de los pistilos, luego se dirigen hacia la parte superior de la mazorca, ingresan al interior para iniciar la alimentación del grano lechoso. Al completar su desarrollo las larvas abandonan la mazorca perforando las brácteas y dejando un agujero que sirve de entrada a las moscas *Euxesta*, *Caopophilus* y hongos que ocasionan pudriciones por completo a la mazorca. Estos daños indirectos de la plaga son más destructivos que los causados por la larva, especialmente si el daño es abundante en épocas de lluvia.

- **Mosca del pistilo (*Euxesta stigmatias*)**

Los adultos son unas moscas pequeñas de color verde metálica con ojos rojizos y con alas con bandas negras que comúnmente se encuentra asociada al maíz, se puede considerar una plaga secundaria ya que las hembras solo ovipositan los huevos blancos en las barbas de las mazorcas dañadas o atacadas por el gusano de la mazorca (*Heliothis Zea*) ya que es atraída por las exudaciones y excrementos de este. Una vez eclosionan los huevos, las larvas blancas se alimentaran de los granos tiernos ayudando así al daño y a la pudrición de la mazorca. En ocasiones las larvas pueden penetrar el centro o corazón de la mazorca provocando un mal crecimiento y grano de baja calidad. Al madurar el maíz el insecto sale de la mazorca y pupa en el suelo ocasionalmente se puede encontrar pupas en la mazorca (Sevilla, 2008).

- **Insectos del grano de maíz almacenado (*Sitophilus zeamais*)**

Son larvas y adultos de coleópteros (gorgojos), estos insectos se alimentan del endospermo del grano de maíz. Es importante que el almacén tenga mallas metálicas o

el grano esté guardado con repelentes químicos para prevenir infestaciones (Sevilla, 2008).

1.5.13. Costo de producción

Los costos de producción de maíz amiláceo blanco para la sierra varían de acuerdo al nivel tecnológico, así para un nivel medio el costo aproximado es 3,100 soles por hectárea y para un nivel tecnológico alto 5,000 soles por hectárea (MINAGRI, 2017).

Tabla 1.5. Costo de producción para maíz amiláceo blanco en Ayacucho con tecnología alta

RESUMEN	
1. COSTOS DIRECTOS	4460.00
2. COSTOS INDIRECTOS	500.00
TOTAL DE COSTO DE PRODUCCIÓN	4960.00
Precio de venta S/. Kg. en chacra	3.00
Rendimiento (kg /Ha)	3500.00
Valor bruto de la producción	10500.00
Costo de producción	4960.00
Utilidad neta de la producción	5540.00
Índice de rentabilidad (I.R)	1.12

FUENTE: DRA- Ayacucho, 2010.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. UBICACIÓN

La evaluación del material biológico y medidas de precisión, se realizó en el laboratorio de Microbiología Agrícola de la Escuela Profesional de Agronomía – UNSCH ubicada en el campus de la ciudad universitaria, situada en el distrito de Ayacucho, provincia de Huamanga, región de Ayacucho, a una altitud de 2792 msnm, encontrándose en las coordenadas UTM, E 584300 y N 8546685. Los inoculantes hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y *Azospirillum* sp fueron proporcionados por el Laboratorio de Rhizobiología, del Programa de Investigación en Pastos y Ganadería - UNSCH, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrarias situada en el distrito de Ayacucho, provincia de Huamanga, región Ayacucho, a una altitud de 2750 msnm, Abraham Valdelomar N° 249.

La investigación se instaló en el anexo de Wuiruypaqcha, distrito de Quinoa provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho, ubicado a 13° 04' 37" latitud sur, 74° 07' 00.11" longitud oeste.

La parcela del experimento se ubica en la siguiente coordenada UTM:
E 586307 – N 8544168; H 3180 msnm.

Zona de vida: Páramo muy húmedo Subandino Subtropical y Bosque húmedo Montano Subtropical (INRENA, 1995).

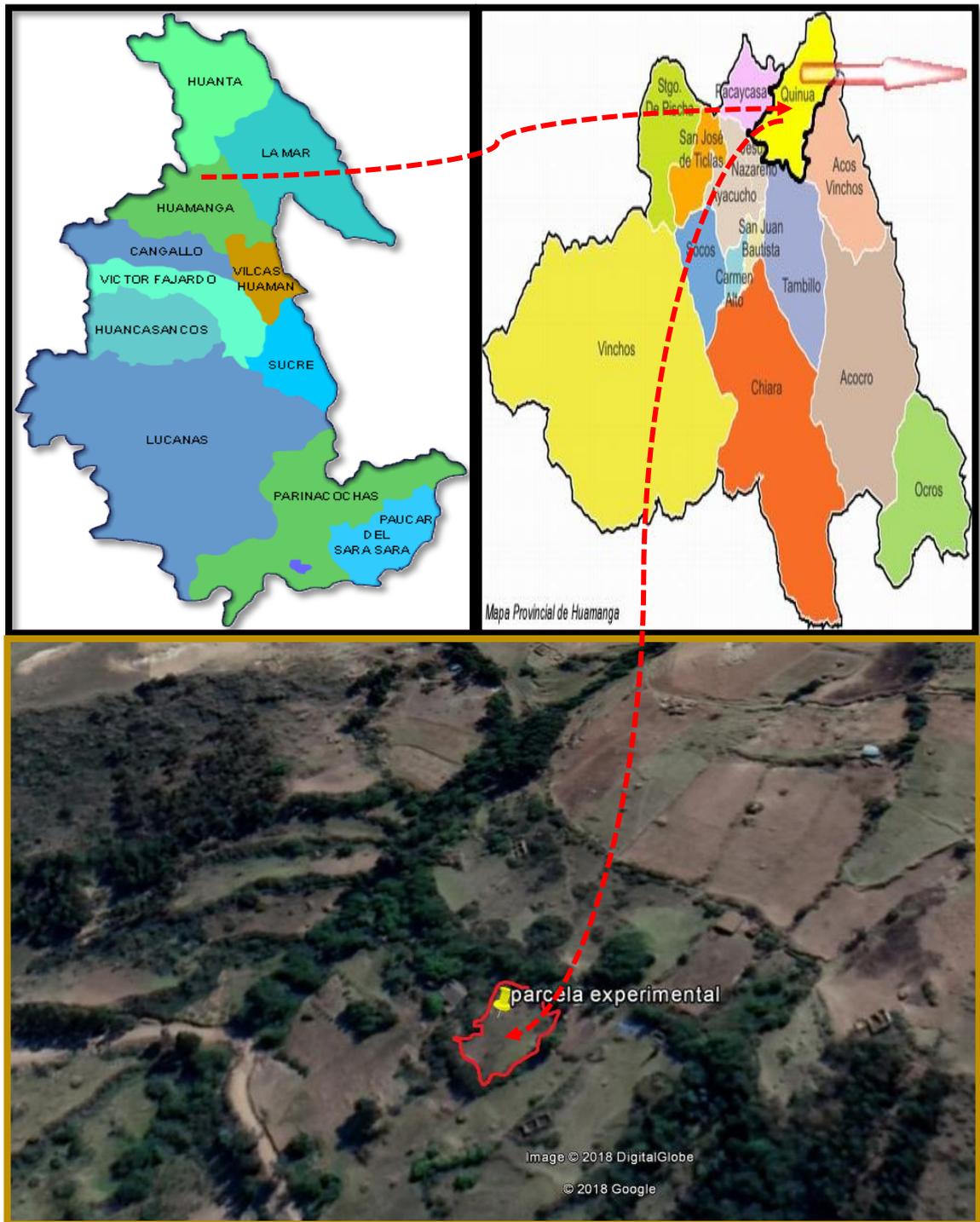


Figura 2.1. Ubicación de la zona del experimento

2.2. REGISTRO DE DATOS METEOROLÓGICOS

Se consideraron solo los datos para los meses que duró el experimento

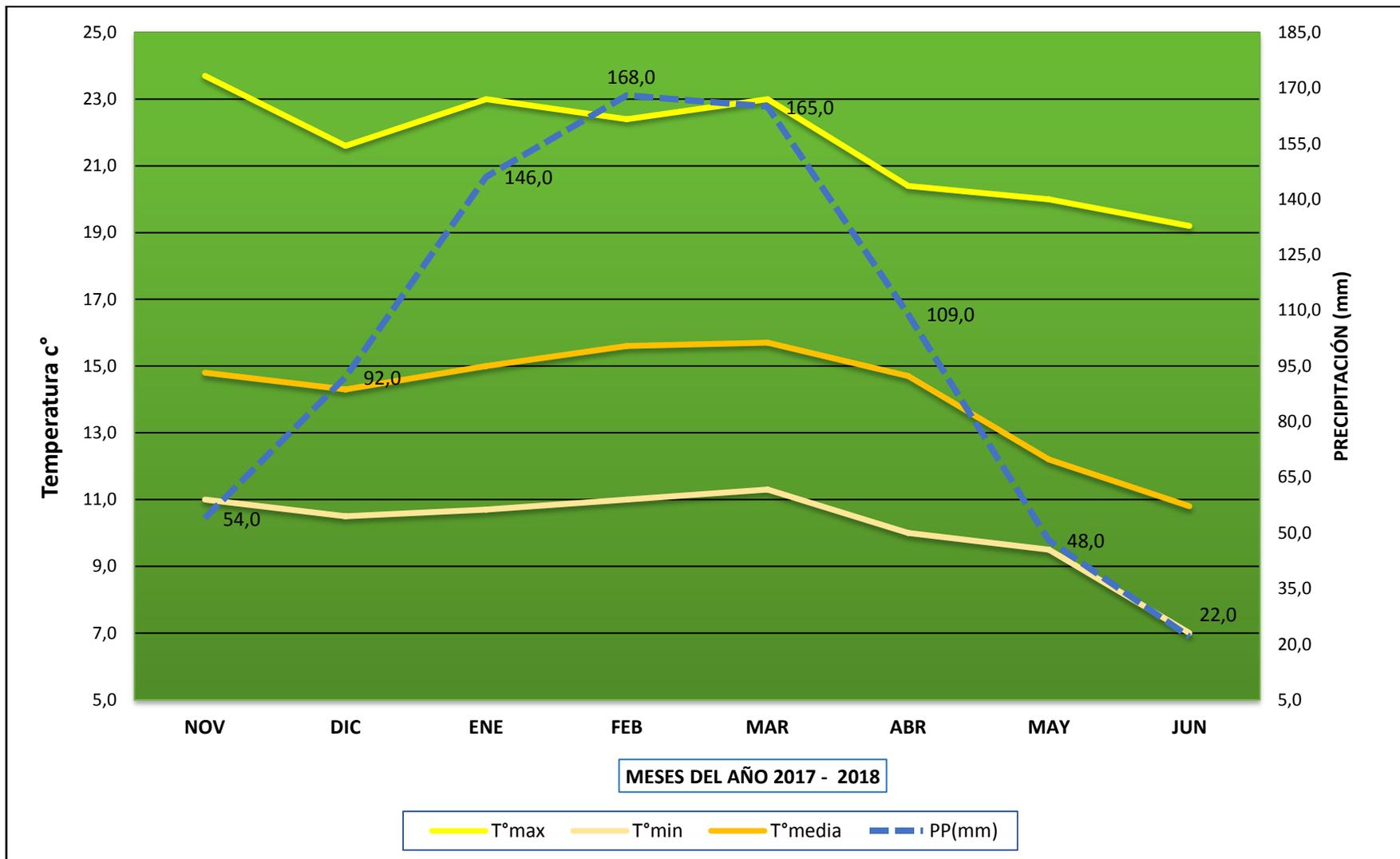


Figura 2.2. Climograma, Wuirupaqcha distrito de Quinua a 3180 msnm

Los datos del clima fueron obtenidos a partir de los registros de la estación meteorológica SENAMHI - QUINUA, con fecha 20 de julio de 2018.

Como se observa en la figura 2.1 el clima en Wuiruypaqcha es templado seco. Los veranos son mucho más lluviosos y calurosos que los inviernos con una precipitación máxima en el mes de febrero con 168 mm y temperatura máxima de 23.7 C° en el mes de noviembre. La precipitación mínima se produjo en los meses de noviembre y diciembre con valores promedios de 54mm y 92 mm respectivamente y temperaturas altas durante el día por lo que se observó la presencia de veranillo, que perjudicó en buena medida el inicio de desarrollo de la planta. En los meses de mayo y junio, en la época de cosecha, la lluvia persistió observándose precipitaciones de 48 mm 22 mm respectivamente. La temperatura más baja fue en los meses de mayo y junio.

La precipitación total para los meses que duró la investigación fue 743mm de lámina de agua, valor que se encuentra dentro del rango del requerimiento hídrico para el cultivo de maíz amiláceo blanco, aunque la presencia de esta agua no fue uniforme en el tiempo porque el riego dependía de las lluvias (bajo secano).

2.3. DISEÑO EXPERIMENTAL

Para el análisis estadístico se empleó el diseño bloque completo randomizado (DBCR), con 5 tratamientos y 4 repeticiones (bloques).

El modelo aditivo lineal es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + B_j + T_i + E_{ij}$$

Dónde:

X_{ij} = observación cualquiera dentro del experimento

μ = media poblacional

B_j = efecto aleatorio del j-ésimo bloque o repetición

T_i = efecto aleatorio del i-ésimo tratamiento

E_{ij} = error del experimento

$i = 1, 2, \dots, t$ tratamientos

$j = 1, 2, \dots, r$ repeticiones

2.4. TRATAMIENTOS

Los tratamientos evaluados fueron los siguientes:

- T1 : Testigo
- T2 : Biofertilización con hongos micorrízicos arbusculares (170 kg.ha⁻¹)
- T3 : Biofertilización con *Azospirillum* sp (70 lit.ha⁻¹)
- T4 : Biofertilización con hongos micorrízicos arbusculares más *Azospirillum* sp (170 kg.ha⁻¹ y 70 lit.ha⁻¹)
- T5 : Fertilización Química. (83 N- 36 P -70 K)

2.5. DESCRIPCIÓN DEL CAMPO EXPERIMENTAL

El experimento se realizó en un terreno de barbecho, capa arable 40 cm y con una pendiente de 14%.

BLOQUES	
Número de bloques del experimento	4
Largo del bloque	17.0 m
Ancho del bloque	2.8 m
Número de parcelas por bloque	5
Número total de parcelas	20
Área total del campo experimental	241.4 m ²
UNIDAD EXPERIMENTAL	
Ancho de la parcela	2.8 m
Largo de la parcela	3 m
Distanciamiento entre parcelas	0.5 m
Área de las parcelas	8.4 m ²
Número de surcos por parcela	4
Número de golpes por surco	10
Número de plantas por golpe	2

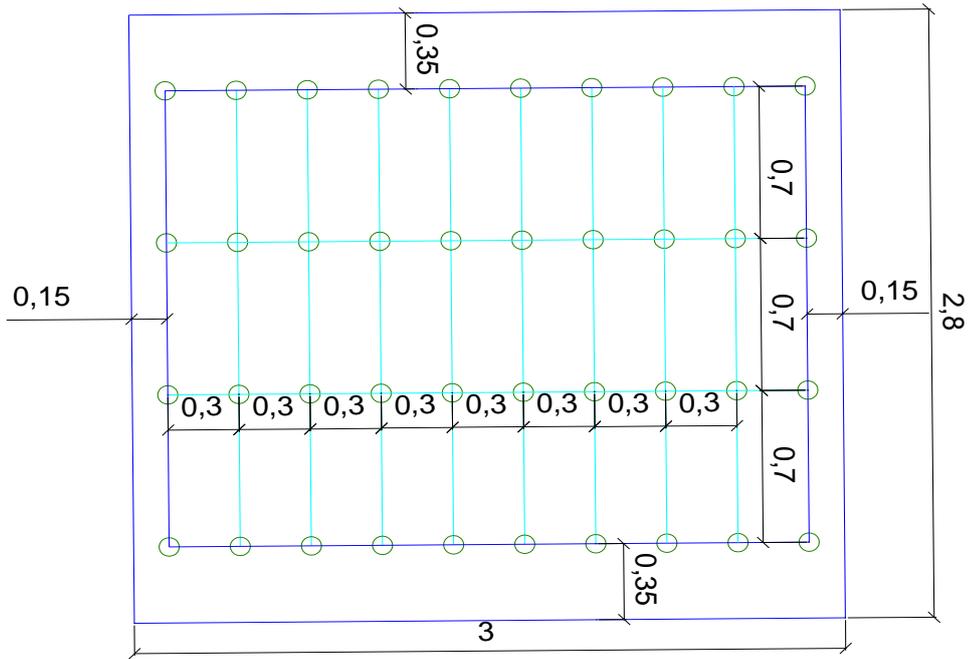


Figura 2.3. Descripción de la unidad experimental

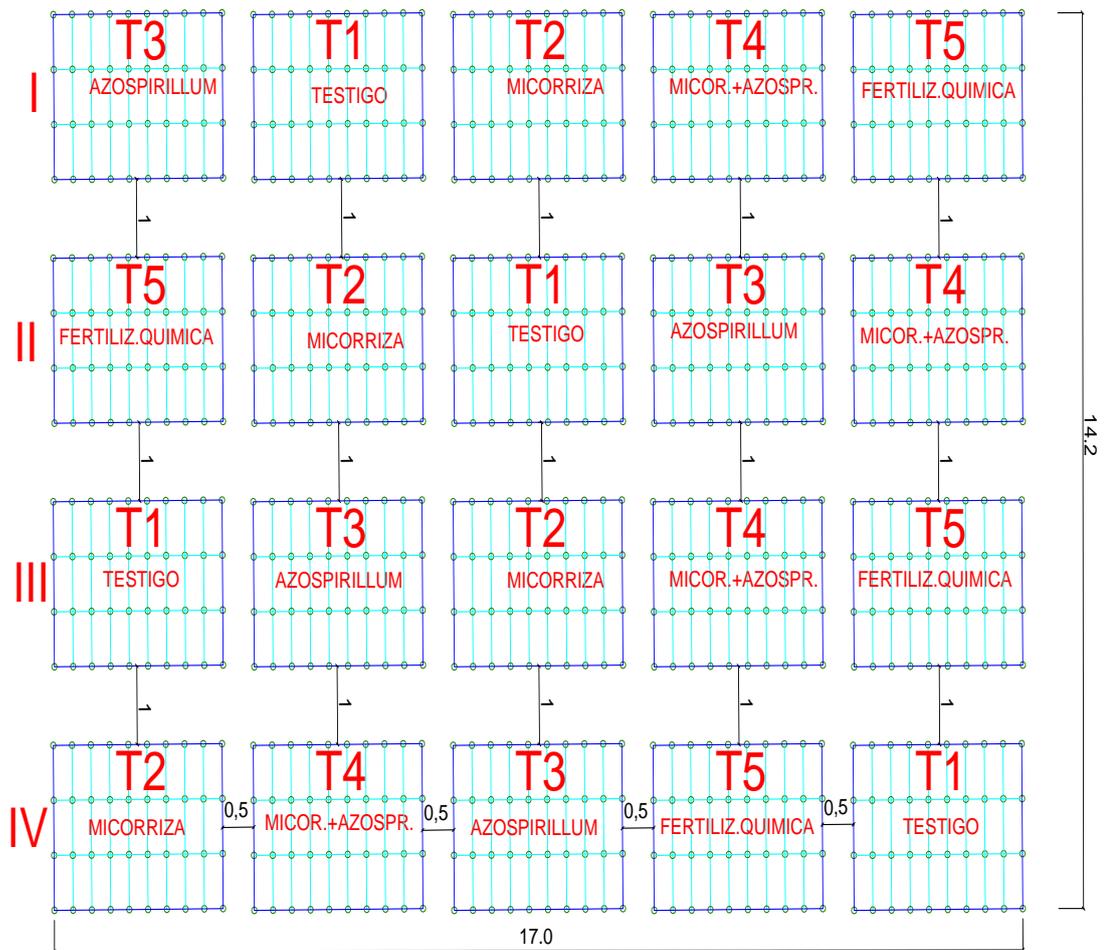


Figura 2.4 Croquis del campo experimental

En la figura 2.3 se puede observar la distribución de los tratamientos y bloques con sus respectivas dimensiones en unidad de metros (m), dibujado en el programa AutoCAD.

2.6. ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

Las muestras de suelo se tomaron en zig zag a lo largo del terreno, a una profundidad de 20 cm, las cuales fueron homogenizadas y resumidas a 1 kg de suelo que se llevó al Laboratorio de Análisis de Suelo y Análisis Foliar “Nicolás Roulet”, del Programa de Investigación en Pastos y Ganadería, de la Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, para su análisis, obteniéndose los siguientes resultados

Tabla 2.1. Análisis de caracterización del suelo. Terreno experimental, Wuiruypaqcha distrito de Quinua a 3180 msnm, 2017

Propiedad	Unidad	Contenido	Interpretación	Método del análisis
Arena	(%)	47.9	Franco arcillo	Hidrómetro
Limo	(%)	22.7	Arenoso	
Arcilla	(%)	29.4		
Potencial Hidrógeno	pH	6.4	Ligeramente ácido	potenciómetro
Conductividad Eléctrica	dS/m	1.03	ligeramente Salino	Pasta de saturación
M.O.	(%)	4.97	alto	Walkley y Black
P-disp.	ppm	44.2	alto	Bray kurtz I
K-disp.	ppm	96.7	medio	Acetato de amonio
Al³⁺	(cmol(+)/kg)	0	-	Yuan
H⁺	(cmol(+)/kg)	0	-	Yuan
C.I.C	(cmol(+)/kg)	12.1	Nivel medio	Acetato de amonio

Fuente: Elaboración propia en función a los resultados del análisis de suelo.

En base a la propuesta de interpretación de Ibáñez y Aguirre (1983), la salinidad es ligera, la clase textural es franco arcilloso arenoso, predominando en mayor porcentaje la arena, el pH es ligeramente ácido, el contenido de materia orgánica, fosforo y potasio disponible es alto, alto y medio respectivamente, mientras que los cationes cambiables para Al³⁺ e H⁺, son nulos y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) es nivel medio.

2.7. MATERIAL BIOLÓGICO

Como material biológico para el experimento se usó la semilla de maíz amiláceo blanco, adquirido de los productores de maíz de la zona.

Los microorganismos, hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y las bacterias *Azospirillum* sp fueron proporcionados por el laboratorio de Rhizobiología.

2.8. VARIABLES EN ESTUDIO

En el presente trabajo de investigación, se consideró las siguientes variables:

A. Precocidad

- Emergencia (expresado en rango, ndds)
- Floración masculina y femenina (expresado en rango, ndds)
- Madurez fisiológica (expresado en rango, ndds)
- Madurez de cosecha (expresado en rango, ndds)

B. Rendimiento

- Altura final de la planta (cm)
- Longitud de mazorca (cm)
- Diámetro de mazorca (cm)
- N° de granos por mazorca (unidades)
- N° de hileras por mazorca (unidades)
- Peso de 1000 semillas (g)
- Rendimiento ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)

C. Influencia de microorganismos aplicados

- Longitud de raíces (cm)
- Población de HMA en el suelo (N° de esporas/100g de suelo)

2.9. PROCEDIMIENTO

2.9.1. Preparación del terreno

Se realizó el barbecho manual con azadones, luego pasada de yunta y para finalizar desterronado, mullido y nivelado del terreno en forma manual, utilizando picos rastrillos con la finalidad de proveer a la semilla las condiciones más óptimas para su crecimiento y desarrollo.

2.9.2. Estacado y demarcación del terreno

Esta labor se realizó tomando en cuenta el croquis del experimento, para tal fin se utilizó cordel, wincha y estacas con los cuales se procedió a demarcar y poner las estacas a las parcelas, calles y bloques.

2.9.3. Biofertilización y fertilización química

La bacteria *Azospirillum* sp se aplicó a las semillas de maíz, remojándolo en una solución bacteriana (1×10^8 bacterias/ml), a razón de 400ml/500g de semilla.

Los HMA (género *Clareidoglossus*) fueron aplicados en sustrato de arena + suelo agrícola, a razón de 5g/golpe (75 esporas) una vez realizado el surcado.

El tratamiento con fertilización química se realizó en función al análisis químico del suelo y la extracción del cultivo de maíz. Siendo la dosis recomendada para las condiciones de sierra 80- 40- 80 (N-P-K), para un rendimiento de $3554 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Manrique, 2000).

El fertilizante químico utilizado fue de marca “FERTIMAX” cuya riqueza es 20-20-20 de N, P_2O_5 y K_2O . La cantidad de fertilizante se determinó con la siguiente fórmula considerando el análisis de suelo.

$$Q = (E - SF1) / F3$$

Que resultó la siguiente fórmula: 83 - 0 - 0 (N-P-K), por tratarse de un abono compuesto la cantidad real aplicado fue: 83 - 36 - 70 (N-P-K). Se fraccionó en siembra y aporque. El tratamiento testigo, no recibió ningún tipo de abonamiento.

2.9.4. Siembra

La siembra se realizó el 4 de noviembre de 2017, en surcos de 0.70 m y entre golpes de 0.30 m utilizando 3 semillas por golpe, con una densidad de siembra de 70kg/ha. La apertura de los surcos se realizó cuidadosamente con un pico.

Los distanciamientos fueron sugeridos por los productores de maíz de la zona.

Al culminar la siembra se realizó un riego pesado a nivel de los surcos usando mangueras y baldes.

2.9.5. Labores culturales

Las labores culturales se realizaron en función a los estados fenológicos del maíz, se inició con el raleo dejando dos planta por golpe, esto con la finalidad de asegurar una planta por golpe, esta labor se hizo a los 21 días pos siembra.

A los 30 días de pos siembra se realizó el aporque y a la vez la segunda fertilización química nitrogenada en el tratamiento correspondiente.

El riego hasta los 45 días pos siembra se realizó cada 4 días luego con un intervalo de 7 días propuesta por Herrera (2013), posteriormente el requerimiento hídrico fue abastecido por el agua de lluvia. El control de plagas y enfermedades no fueron necesarias debido a que no se reportaron ninguna incidencia grave que afecte el umbral económico del cultivo.

2.10. EVALUACIÓN DE LOS VARIABLES EN ESTUDIO

2.10.1. La precocidad

A. Emergencia

Las primeras plántulas vivas al ras del suelo se observaron el 18 de noviembre de 2017 a 7 días pos siembra y duró un tiempo máximo de 18 días. La evaluación se realizó cada 7 días contabilizando las plántulas emergidas por cada tratamiento y repeticiones llevando un registro minucioso.

Los datos obtenidos se presentan en el Anexo 2.

A 3 meses pos raleo de plantas se estimó una población de 58000 plantas/ha.

B. Floración masculina

Se evaluó la presencia de las primeras panojas por tratamiento y luego se estableció la fecha de inicio de floración masculina y final de floración para cada tratamiento.

Se observó que el tratamiento con *Azospirillum* sp presentó la floración masculina unos días antes que el resto de los tratamientos. Los datos se registraron a partir del 27 de enero al 10 de febrero de 2018.

Los datos obtenidos se presentan en el Anexo 3.

C. Floración femenina

A partir de los cinco hasta 10 días después de la primera floración masculina se evaluaron las parcelas de cada tratamiento contabilizando la flor femenina de las plantas las cuales fueron registradas en tablas previamente elaboradas. Los datos se registraron durante los días 10 a 17 de febrero de 2018.

Los datos obtenidos se presentan en el Anexo 4.

D. Madurez fisiológica

Transcurrido 80 días pos floración femenina y una vez observada la presencia del choclo de buen tamaño, duro de consistencia al tacto, se realizó la evaluación de la madurez fisiológica por tratamiento y por repetición.

Los criterios de madurez fisiológica fueron la presencia de la capa negra en el grano y la dureza del grano.

La evaluación se realizó durante los días 06 a 14 de mayo de 2018.

Los datos registrados se observan en el Anexo 5.

E. Madurez de cosecha

La cosecha se realizó considerando el tiempo transcurrido después de la evaluación de la madurez fisiológica, se esperó que los granos estén secos, con un promedio de 15% de humedad, se esperó un tiempo máximo de 20 días después de la madurez fisiológica para cosechar.

Se cosechó directamente de la planta es decir sin hacer el corte, retirando las mazorcas manualmente con la ayuda del “tipina” por cada tratamiento y repetición cuidadosamente colocando en costales debidamente identificados.

La cosecha se realizó el 27 de Mayo de 2018.

2.10.2. Variables de rendimiento

A. Altura de plantas

La medida de la altura final de la planta se realizó de acuerdo a lo sugerido por López (2007) quien menciona que la planta de maíz alcanza su altura máxima solamente hasta la floración femenina (104 dds) posteriormente deja de crecer.

Se procedió a medir la altura final de la planta con el flexómetro desde el ras del suelo (cuello de la planta) hasta la base de la panoja. Se tomó cinco muestras por cada repetición de los tratamientos. La evaluación se realizó el 25 de febrero de 2018.

B. Longitud de mazorcas

Cinco mazorcas cosechadas tomadas como muestra por cada repetición de los tratamientos fueron medidos con una regla graduada de metal desde la base a la punta de la mazorca. La evaluación se realizó el 17 de junio de 2018.

C. Diámetro de mazorcas

Se evaluó el diámetro de mazorcas haciendo uso de 2 reglas. Se midió la parte media perpendicularmente a su longitud el cual se expresó en centímetros. La evaluación se realizó el 19 de junio de 2018.

D. Número de hileras por mazorca

Las hileras de cinco mazorcas por repetición de cada tratamiento fueron contados con la ayuda de un marcador de color negro y anotados en una tabla para registrar los datos. La evaluación se realizó el 21 de junio de 2018.

E. Número de granos por mazorca

Las mazorcas fueron desgranadas en un sobre manila debidamente identificado para su posterior recuento, anotando en una tabla previamente elaborada. La evaluación se realizó el 23 de junio de 2018.

F. Peso de mil semillas

Se tomó al azar 400 unidades de grano seco de maíz por repetición de cada tratamiento, se pesó y luego se realizó el cálculo en base a mil semillas. La evaluación se realizó el 27 de junio de 2018.

G. Rendimiento total en grano seco ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)

Se cosechó todas las mazorcas de cada unidad experimental en bolsas debidamente identificados por tratamientos. Se hizo el desgrane y se pesó todo los granos de maíz. Se observó plantas que no desarrollaron mazorcas debido a la densidad alta. La evaluación se realizó el 20 de junio de 2018.

Tabla 2.2. Estimación de rendimiento final (kg/ha) para cada tratamiento

$\frac{2.673 \text{ kg}}{8.40 \text{ m}^2} \times 10000 \text{ m}^2 = X$ <p>X=3182 kg.ha⁻¹.</p>

BLOQ	TRATA	Kg.ha ⁻¹
I	Micorrizas	3182
II	Micorrizas	3185
III	Micorrizas	3193
IV	Micorrizas	3188

2.10.3. Influencia de microorganismos aplicados

Estas evaluaciones se realizaron en el Laboratorio de Microbiología, de la Escuela Profesional de Agronomía – UNSCH, juntamente con la asesora del trabajo de investigación.

A. Longitud de raíces

Se recolectaron 3 muestras de raíz por cada repetición de los tratamientos del campo experimental con fecha 29 de mayo de 2018.

Al día siguiente de la recolecta se midió la longitud de raíces secundarias haciendo el uso de una regla metálica graduada.

B. Recuento de esporas de HMA

Para determinar el número de esporas, se utilizó el método de tamizado y decantación en húmedo propuesto por Gerdemann y Nicolson, (1963) y modificado que consiste en lo siguiente: 100 g de suelo rizosférico se colocó en un envase con capacidad de 1 litro, a dicho envase se adicionó agua corriente y se agitó manualmente por un periodo de 5 minutos, asegurándose de eliminar los agregados, se dejó reposar por un periodo de 10 minutos, para permitir que las partículas de arcilla sedimenten, se tamizó el sobrenadante sobre una columna de tamices graduados de mayor a menor (500, 200 y 45 μm , de diámetro de poro), se repitió este procedimiento 5 veces, la fracción retenida en el tamiz de 45 μm se lavó con agua destilada y se colocó en tubos de ensayo de 15 ml de capacidad.

A partir de esta suspensión se tomaron 4 muestras utilizando un gotero cada muestra de 1ml de volumen el cual fue colocado en una placa de Petri con papel filtro estéril

(cuadrado 0.5”), esto para facilitar el conteo de campos con la ayuda de un estereoscopio con lámpara de tungsteno y una aguja hipodérmica. Se contabilizó cada placa de manera individual y posteriormente se multiplicó por 100 cada uno de los datos para obtener el número de esporas en 100 gramos de suelo. La evaluación se realizó el 9 de junio de 2018, después de la cosecha.

2.11. PROCESAMIENTO DE DATOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Los resultados de las variables de precocidad se ordenaron en tablas de rango para su respectiva evaluación e interpretación.

Los resultados de las variables de rendimiento e influencia de microorganismos, se ordenaron en tablas y luego se realizó el Análisis de varianza (ANVA). Al encontrar significación estadística, se procedió a realizar la prueba de Tukey (0.05).

El procesamiento de datos estadísticos se realizó en el programa SAS, y la elaboración de tablas y gráficos, en el programa Excel versión 2010.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. VARIABLES DE PRECOCIDAD

En la tabla 3.1 se presentan los rangos de variación en número de días después de la siembra del maíz, amiláceo blanco del experimento, que evalúan los factores de precocidad como son: días a la emergencia (dds), días a la floración masculina (dds), días a la floración femenina (dds), días a la madurez fisiológica (dds), días a la madurez de cosecha (dds).

Se consideró este tipo de análisis de datos debido a que los estados de desarrollo evaluados corresponden a un periodo dentro de un rango en número de días, esto quiere decir que el inicio y fin de una determinada etapa de desarrollo no se presentan en un tiempo exacto, aún dentro de una misma unidad experimental.

Tabla 3.1. Variables de precocidad en número de días después de la siembra (nlds), Wuiruypaqcha distrito de Quinua a 3180 msnm

Tratamientos	Emergencia (nlds)	Floración masculina (nlds)	Floración femenina (nlds)	Madurez fisiológica (nlds)	Madurez de cosecha (nlds)
Testigo	7 - 14	87 - 96	93 - 103	183	207
(HMA)	7 - 18	88 - 95	97 - 104	185	207
<i>Azospirillum sp</i> (AZ)	7 - 14	84 - 91	92 - 98	181	202
HMA + <i>Azospirillum sp</i>	7 - 14	87 - 94	95 - 102	184	205
Fertilización Química	7 - 18	89 - 96	96 - 103	185	207

Fuente: Elaboración propia en función a los resultados del de la investigación.

Al evaluar el porcentaje de emergencia se observó los siguientes resultados: *Azospirillum sp* (94.72%), HMA + *Azospirillum sp* (90.80%), HMA (89.44%), testigo (87.78%) y fertilización química (53.33%). Estos resultados indican que los

tratamientos con microorganismos tuvieron un efecto positivo en la variable evaluada, y fueron superiores al resultado obtenido por Quillca (2012) quien reportó 88.75% de germinación en maíz con microorganismos eficientes y asociado con trébol.

Al evaluar el número de días de la floración masculina y femenina se observó también el efecto positivo del tratamiento *Azospirillum* con valores de 84-91 y 92-98 días respectivamente. Al respecto Escalante (2014) reporta en maíz morado inoculados con cepas de *Azospirillum* sp, entre 80 y 88 días la floración masculina y femenina respectivamente.

En cuanto a la madurez fisiológica INIA (2014) indica que la variedad precoz INIA 606- choclero se cosecha en grano seco a los 195 dds mientras que en la presente investigación se obtuvo entre 202 a 207 días posiblemente debido a factores climáticos del experimento y a la carga genética de la variedad utilizada.

Se observa que los estados fenológicos del tratamiento con *Azospirillum* sp seguido de HMA+ *Azospirillum* sp acortaron el tiempo expresado en dds. Posiblemente debido a que las bacterias *Azospirillum* sp son microorganismos promotores de crecimiento vegetal por medio de la inducción de fitohormonas en las plantas de maíz (Puente, 2013).

3.2. VARIABLES DE RENDIMIENTO

3.2.1. Altura de plantas

En el anexo 6 se presentan los resultados obtenidos de la altura de plantas evaluados a los 104 dds.

En la tabla 3.2 se muestra el análisis de variancia de la altura final de la planta de maíz amiláceo blanco donde se observa que existen diferencias significativas entre tratamientos y diferencias no significativas entre bloques. El coeficiente de variación muestra un valor de buena precisión del experimento.

La figura 3.1 de la prueba de Tukey muestra que no existe diferencias significativas entre los tratamientos *Azospirillum* sp, HMA, fertilización química y testigo. Sin embargo, la biofertilización a base de *Azospirillum* sp tiene la mayor altura con 221.38

cm superando numéricamente al resto de los tratamientos, posiblemente debido a su capacidad promotora del crecimiento de plantas. Al respecto, García-Olivares et al. (2012) indican que la inoculación del maíz y otras gramíneas con *Azospirillum sp* es benéfica, ya que puede aportar del 30 al 50% de los requerimientos de N.

Las plantas con biofertilizantes HMA más *Azospirillum sp* son las que tienen menor altura con 201.1 cm. Al respecto, Russo et al. (2005) indican que existen diversos estudios que sugieren que *Azospirillum* no ejerce un efecto antagónico sobre los HMA, sin embargo, algunas especies pueden producir metabolitos secundarios de naturaleza antimicrobiana.

Vega (2012) obtuvo plantas altas con promedio de 242 cm de altura y plantas con porte baja con promedio de 117 cm de altura, inferiores a los obtenidos en el presente experimento donde se obtuvieron alturas entre 201 a 221 cm, posiblemente debido a la constitución genética de las variedades evaluadas.

Tabla 3.2. Análisis de variancia de la altura de plantas de maíz amiláceo blanco, Wuiruypaqcha distrito de Quinua a 3180 msnm

F. variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr >F
Bloque	3	107.3295	35.7765	0.47	0.7057 NS
Tratamiento	4	989.932	247.483	3.28	0.049 *
Error	12	904.388	75.365667		
Total	19	2001.6495			

CV=4.13%

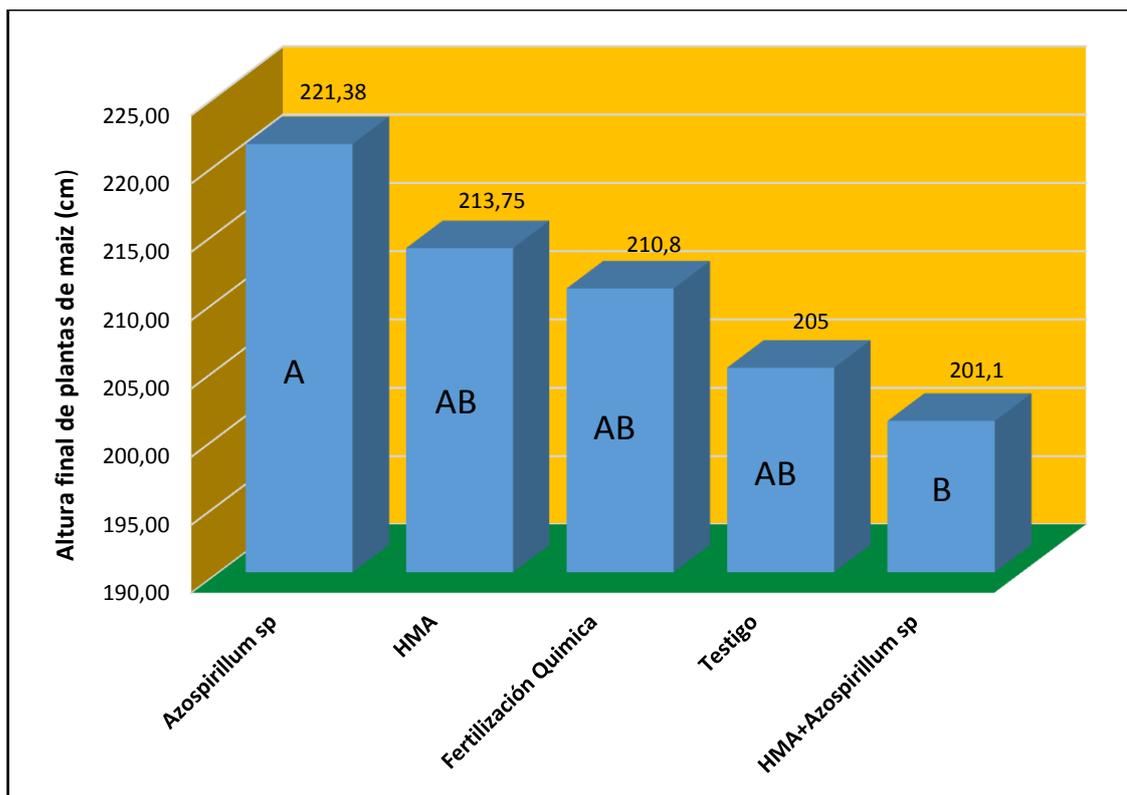


Figura 3.1. Prueba de Tukey de la altura de las plantas de maíz amiláceo blanco. Wuiruypaqcha, distrito de Quinoa a 3180 msnm

3.2.2. Longitud de mazorcas

En el anexo 8 se presentan los resultados obtenidos de la longitud de mazorcas. En la tabla 3.3 se muestra el análisis de variancia para la longitud de mazorcas de maíz amiláceo blanco donde se observa diferencias significativas entre tratamientos y no así entre bloques. El coeficiente de variación muestra un valor de buena precisión del experimento.

La figura 3.2 de la prueba de Tukey de la longitud de mazorcas muestra que existen diferencias significativas entre la biofertilización con HMA y HMA + *Azospirillum sp* mientras que los tratamientos con fertilización química, *Azospirillum sp* y testigo no muestran diferencias estadísticas, quiere decir que la longitud de mazorcas es similar entre estos tratamientos.

Vega (2012) en su trabajo de investigación con fertilización química y dos aporques obtuvo una longitud de mazorca máxima de 17.8 cm, en el presente trabajo se obtuvo 16.1 cm un valor muy próximo.

Tabla 3.3. Análisis de variancia para la longitud de mazorca de maíz amiláceo blanco, Wuiruypaqcha distrito de Quinua a 3180 msnm

F. variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr >F
Bloque	3	0.1975	0.065833	0.1	0.956 NS
Tratamiento	4	10.925	2.73125	4.33	0.0214 *
Error	12	7.575	0.63125		
Total	19	18.6975			

CV=5.36%

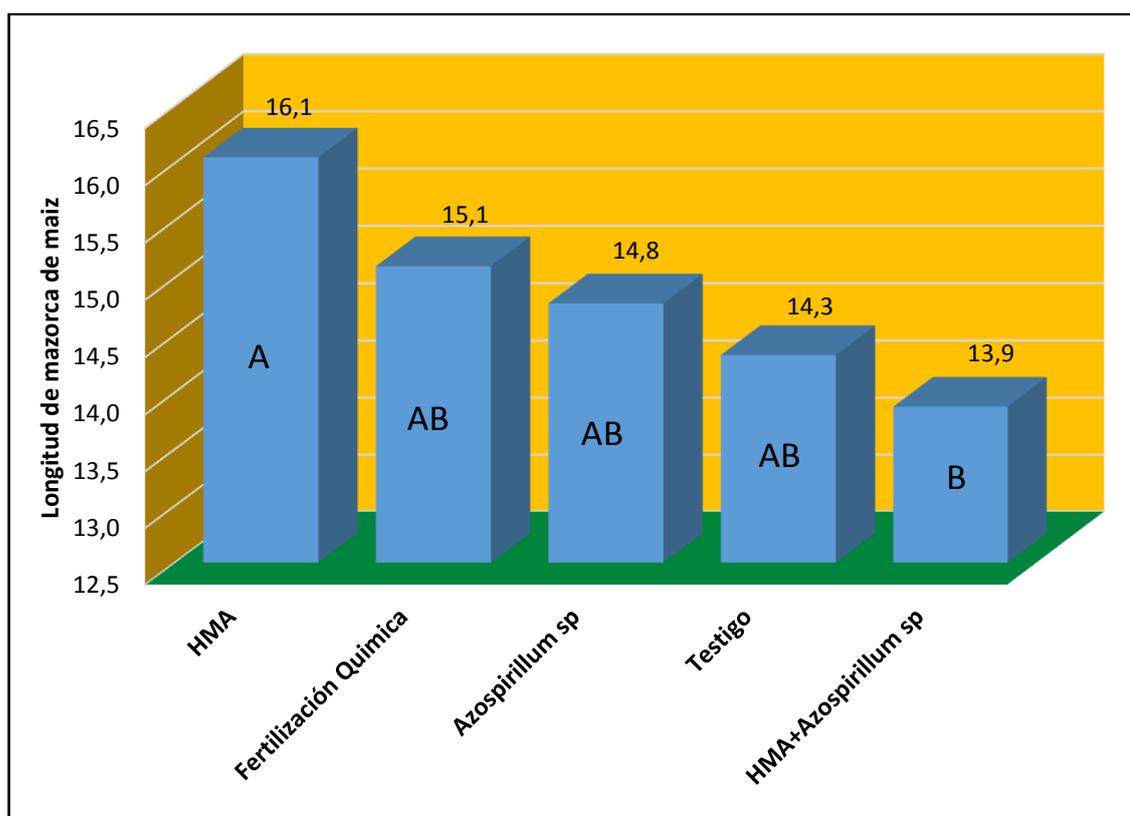


Figura 3.2. Prueba de Tukey para la longitud de mazorca de maíz amiláceo blanco, Wuiruypaqcha distrito de Quinua a 3180 msnm

3.2.3. Diámetro de mazorca

En el anexo 9 se presentan los resultados obtenidos del diámetro de mazorca. En la tabla 3.4 muestra el análisis de variancia del diámetro de mazorca de maíz amiláceo blanco, donde se observa diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. No se observó diferencias significativas entre bloques.

El coeficiente de variación muestra un valor de buena precisión del experimento.

Tabla 3.4. Análisis de variancia del diámetro de mazorcas de maíz amiláceo blanco, Wuiruypaqcha distrito de Quinua a 3180 msnm

F.variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr >F
Bloque	3	0.2135	0.0711667	0.64	0.6064 NS
Tratamiento	4	1.888	0.472	4.21	0.0233 *
Error	12	1.344	0.112		
Total	19	3.4455			

CV=5.7%

La figura 3.3 de la prueba de Tukey muestra que hay diferencia estadística entre la biofertilización con HMA y *Azospirillum* sp mientras que los tratamientos con fertilización química, HMA + *Azospirillum* sp y testigo no muestran diferencia estadística quiere decir que los diámetros de las mazorcas son similares.

Quilca (2012) determinó un valor promedio de 5.9 cm de diámetro de mazorca con el tratamiento trébol +EM suelo y foliar; en el presente trabajo de investigación se obtuvo 6.35 cm un valor superior con el tratamiento HMA.

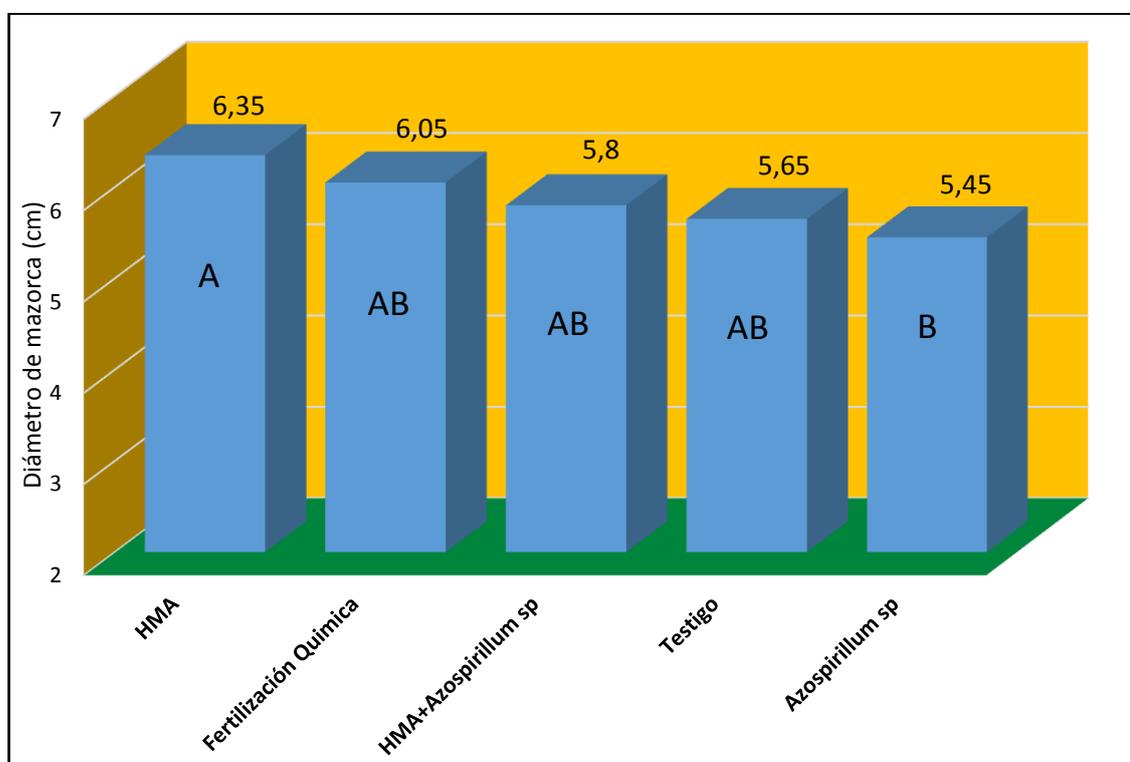


Figura 3.3. Prueba de Tukey para diámetro de mazorca de maíz amiláceo blanco, Wuiruypaqcha distrito de Quinua a 3180 msnm

3.2.4. Número de granos por mazorca

En la tabla 3.5 se muestra el análisis de variancia del número de granos por mazorca de maíz amiláceo blanco donde se observa que hay diferencia significativa entre tratamientos, y no así entre bloques. El coeficiente de variación muestra un valor de buena precisión del experimento.

Tabla 3.5. Análisis de variancia del número de granos por mazorcas de maíz amiláceo blanco, Wuirupaqcha distrito de Quinoa a 3180 msnm

F. variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr >F
Bloque	3	274.8135	91.6045	0.5	0.6881 NS
Tratamiento	4	8678.35	2169.5875	11.88	0.0004 * *
Error	12	2190.794	182.56617		
Total	19	11143.958			

CV=7.72%

La figura 3.4 de la prueba de Tukey del número de grano por mazorca muestra la superioridad del tratamiento HMA y la fertilización química, sin diferencias significativas entre ambos tratamientos. Los tratamientos con *Azospirillum* sp, HMA más *Azospirillum* sp y el testigo, no presentaron diferencias estadísticas entre ellos solamente una diferencia numérica de granos por mazorca.

Álvarez y Ramos (2004) mencionan que el número de granos por mazorca influye en el rendimiento del maíz amiláceo blanco.

Pérez (2014) en su trabajo de investigación reporta un valor máximo de 205.70 número de granos por mazorca en la localidad de Acos Vinchos.

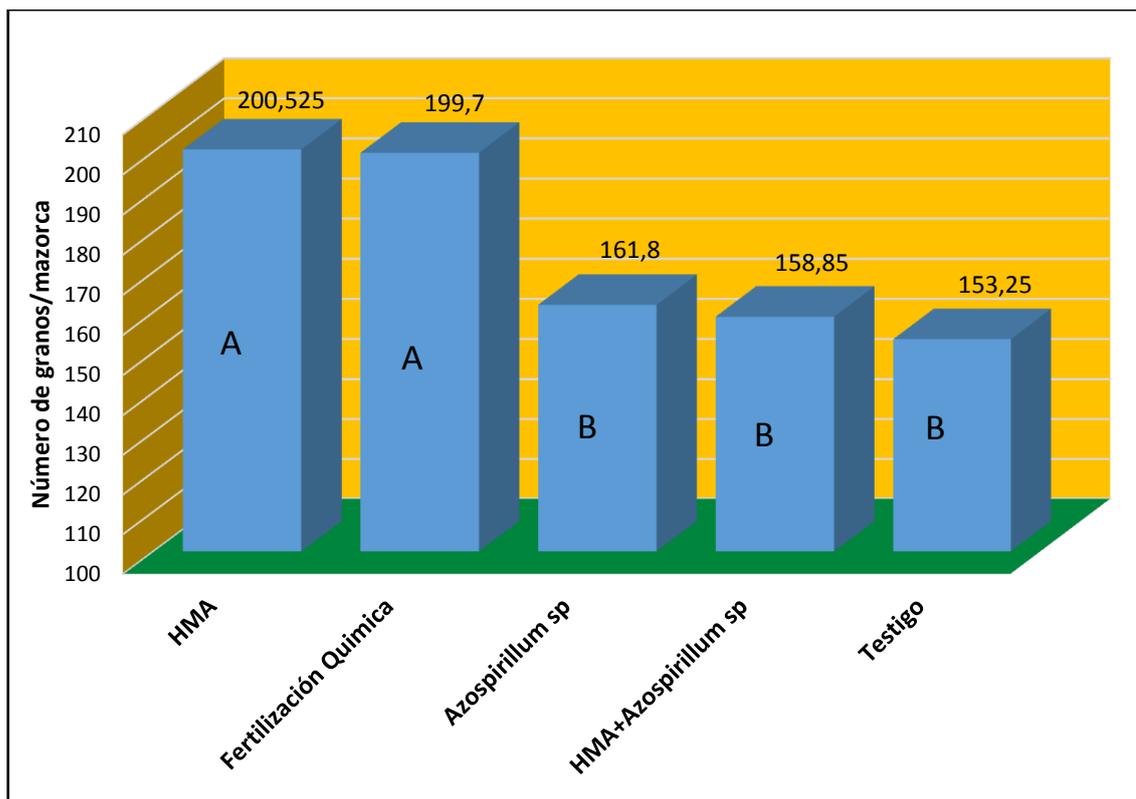


Figura 3.4. Prueba de Tukey para el número de granos por mazorca de maíz amiláceo blanco, Wuiruypaqcha distrito de Quinua a 3180 msnm

En el anexo 11 se presentan los resultados obtenidos de la evaluación número de granos por mazorca.

3.2.5. Número de hileras por mazorca

En el anexo 10 se presentan los resultados obtenidos de la evaluación número de hileras por mazorca.

En la tabla 3.6 se muestra el análisis de variancia para el número de hileras por planta de maíz amiláceo blanco donde se observa que no existe diferencia significativa entre tratamientos tampoco entre bloques. El coeficiente de variación muestra un valor de buena precisión del experimento.

Tabla 3.6. Análisis de variancia del número de hileras por mazorca de maíz amiláceo blanco, Wuiruypaqcha distrito de Quinua a 3180 msnm

F. variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr >F
Bloque	3	0.31	0.10	0.28	0.8419 NS
Tratamiento	4	1.852	0.463	1.23	0.3476 NS
Error	12	4.5	0.375		
Total	19	6.662			

CV=6.42%

La figura 3.5 del número de hileras por mazorca indica similar resultados en todos los tratamientos evaluados es decir la biofertilización no tuvo ningún efecto en la variable evaluada. Sin embargo, los valores obtenidos fueron superiores a trabajos similares, así por ejemplo Quillca (2012) reportó un valor máximo de 8.79 hileras por mazorca en el tratamiento trébol + EM suelo y foliar, mientras que en el presente trabajo se obtuvo un valor máximo de 10 hileras con el tratamiento HMA.

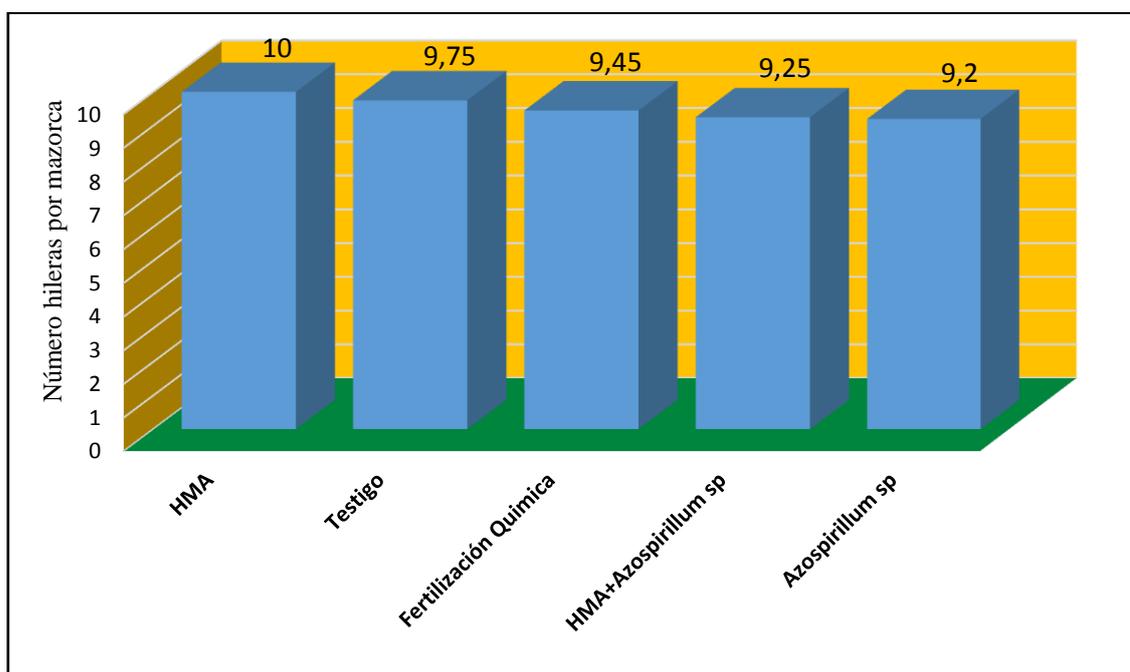


Figura 3.5. Número de hileras por mazorca de maíz amiláceo blanco, Wuiruypaqcha distrito de Quinua a 3180 msnm

3.2.6. Peso de mil semillas

En la tabla 3.7 se muestra el análisis de variancia para el peso de mil semillas de maíz amiláceo blanco, donde se observa que existe diferencia altamente significativa entre

tratamientos, mientras que entre bloques es solamente significativa. El coeficiente de variación muestra un valor de buena precisión del experimento.

Álvarez y Ramos (2004) mencionan que el peso de mil semillas viene a ser la variable relacionada con el rendimiento de grano en el maíz amiláceo blanco.

La figura 3.6 muestra que la biofertilización a base de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y la fertilización química tiene la mayor respuesta en el peso de mil semillas sin diferencia estadística entre ellos, con valores de 430.75 y 419 g respectivamente. Mientras que el tratamiento HMA + *Azospirillum* sp tiene el menor peso con un valor de 281.5g. Como se mencionó anteriormente, posiblemente se debe a que la especie de *Azospirillum* sp utilizada podría producir sustancias antagónicas al HMA inoculado (Russo et al., 2005).

Pérez (2014) indica que el peso de mil semillas del maíz amiláceo blanco está en un rango de 250 g a 450 g.

Los datos obtenidos en el presente trabajo de investigación se encuentran dentro de este rango (281 - 430 g).

Tabla 3.7. Análisis de variancia del peso de mil semillas de maíz amiláceo blanco, Wuiruypaqcha distrito de Quinoa a 3180 msnm

F. variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr >F
Bloque	3	703.35	234.45	4.74	0.021*
Tratamiento	4	65079.3	16269.825	328.74	<0.0001 **
Error	12	593.9	49.49167		
Total	19	66376.55	49.49167		

CV=1.87%

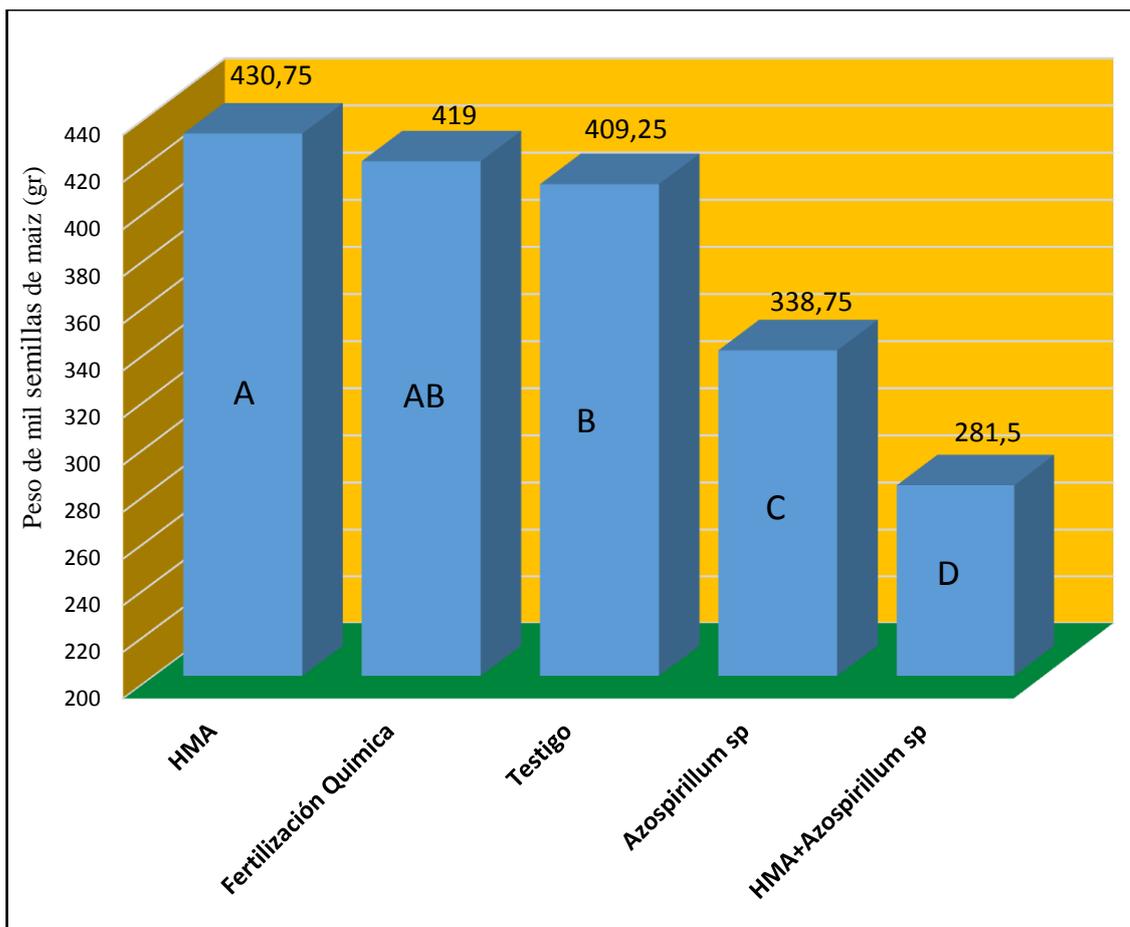


Figura 3.6. Prueba de Tukey del peso de mil semillas del maíz amiláceo blanco, Wuiruypaqcha distrito de Quinua a 3180 msnm

En el anexo 12 se presentan los resultados obtenidos de la evaluación del peso de mil semillas.

3.2.7. Rendimiento kg por hectárea

En la tabla 3.8 se muestra el análisis de variancia para el rendimiento de maíz blanco amiláceo donde se observa que existe diferencia altamente significativa entre los tratamientos y diferencia significativa entre bloques. El coeficiente de variación muestra un valor de buena precisión del experimento.

Tabla 3.8. Análisis de variancia del rendimiento de maíz amiláceo blanco, Wuiruypaqcha distrito de Quinoa a 3180 msnm

F. variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr >F
Bloque	3	11475.6	3825.2	4.03	0.043 *
Tratamiento	4	5678918.2	1419729.6	1494.01	<0.0001 **
Error	12	11403.4	950.283		
Total	19	57011797.2			

CV=1.24%

La figura 3.7 de la prueba de Tukey del rendimiento muestra que el tratamiento biofertilización a base de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) tiene el mayor rendimiento de grano seco seguido de la fertilización química, testigo, *Azospirillum sp* y en el último lugar HMA más *Azospirillum sp* con valores de 3185, 2881.75 y 1831.25 kg respectivamente y con diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos.

En la campaña agrícola 2017, la producción de maíz amiláceo blanco en el distrito de Quinoa fue de 1800 kg.ha⁻¹ y 2800 kg.ha⁻¹ con estiércol y fertilización química respectivamente. El rendimiento obtenido con el tratamiento HMA (3185 Kg.ha⁻¹) superó al rendimiento del distrito de Quinoa y al rendimiento de la región Ayacucho (1697 Kg.ha⁻¹) (MINAGRI 2018) evidenciando el efecto positivo de los HMA en el cultivo de maíz amiláceo en las condiciones de Wuiruypaqcha, distrito de Quinoa a 3180 msnm. Al respecto Herrera et al. (2011) indican que la efectividad de la simbiosis debido a la inoculación depende de la adaptación de los hongos a las condiciones del suelo. Los hongos no deben ser solamente efectivos sino tener la capacidad de adaptarse a las condiciones del suelo y del ambiente.

Referente a los resultados de rendimiento obtenido con la biofertilización de *Azospirillum sp* posiblemente se debe a su capacidad bioestimulante que ha permitido mejorar solamente las características de precocidad y altura de la planta. Resultados similares fueron observados por Contreras (2009) al evaluar el efecto de *Azospirillum* en el crecimiento de plantas de trigo.

En lo que se refiere al resultado obtenido con el tratamiento HMA + *Azospirillum sp*, Russo et al. (2005) indica que algunas especies podrían producir sustancias antagónicas que inhiben el efecto de los HMA.

Los resultados obtenidos en el tratamiento Testigo posiblemente se deben a las características físico químicas adecuadas del suelo, Franco arcilloso arenoso, pH ligeramente ácido, contenido alto de materia orgánica y fósforo y contenido medio de potasio que han permitido una producción adecuada incluso superior a los tratamientos *Azospirillum* sp y HMA + *Azospirillum* sp. Resultados similares fueron obtenidos por García-Olivares et al. (2012) quienes obtuvieron 4 tn.ha⁻¹ con el testigo y 3.9 tn.ha⁻¹ en el tratamiento con *Azospirillum*, explican que los factores responsables de tales inconsistencias generalmente se atribuyen a las condiciones ecológicas y ambientales variables, tales como las condiciones físico-químicas del suelo, temperatura y humedad disponible, presencia de microorganismos en la rizósfera, genotipo del hospedante o capacidad de la bacteria para establecerse y para competir con la microflora nativa.

El rendimiento máximo obtenido fue inferior al de Quillca (2012) quien reporta un rendimiento máximo de 3548.33 kg.ha⁻¹ utilizado microorganismos eficientes (EM) inoculado al suelo y hojas del maíz y asociado con *Medicago hispida* (trébol + EM suelo y foliar).

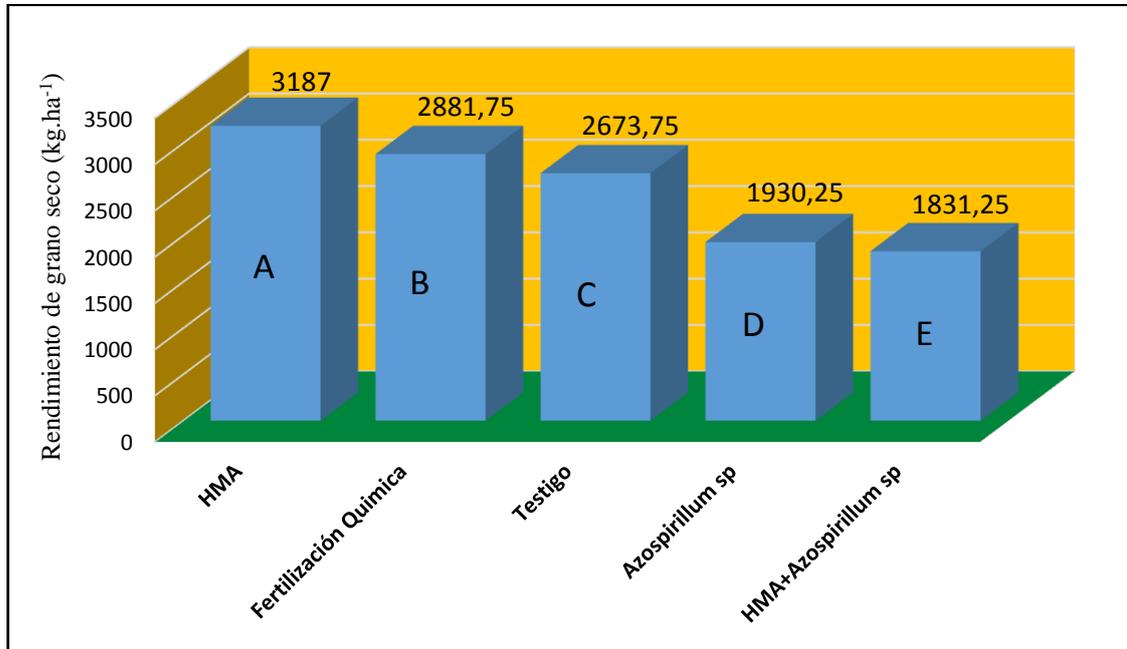


Figura 3.7. Prueba de Tukey del rendimiento de maíz blanco amiláceo en Kg.ha⁻¹. Wuirupaqcha, distrito de Quinua a 3180 msnm

En el anexo 13 se presentan los resultados obtenidos del rendimiento de grano por hectárea.

3.3. INFLUENCIA DE MICROORGANISMOS APLICADOS

3.3.1. Longitud de raíz

En el anexo 14 se presentan los resultados obtenidos de la evaluación longitud de raíces. En la tabla 3.9 se muestra el análisis de variancia de la longitud de raíces de la planta de maíz amiláceo blanco se observar que existe alta significación estadística entre tratamientos y bloques, la significación entre bloques mide la diferencia entre la variación entre bloques. El coeficiente de variación muestra un valor adecuado del experimento.

La figura 3.8 de la prueba de Tukey muestra que el tratamiento biofertilización a base de hongos micorrízicos arbusculares (HMA), presenta la mayor longitud de raíz en segundo lugar se encuentra el tratamiento biofertilización a base de las bacterias *Azospirillum sp* y en último lugar se encuentra el tratamiento fertilización química con valores 25.9, 22.9 y 17.5cm respectivamente.

Tabla 3.9. Análisis de variancia de la longitud de raíz de maíz amiláceo blanco, Wuirupaqcha distrito de Quinua a 3180 msnm

F. variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr >F
Bloque	3	42.652	14.217333	13.48	0.0004**
Tratamiento	4	202.427	50.60675	48.00	<0.0001 **
Error	12	12.653	1.0544167		
Total	19	257.732			

CV=4.96%

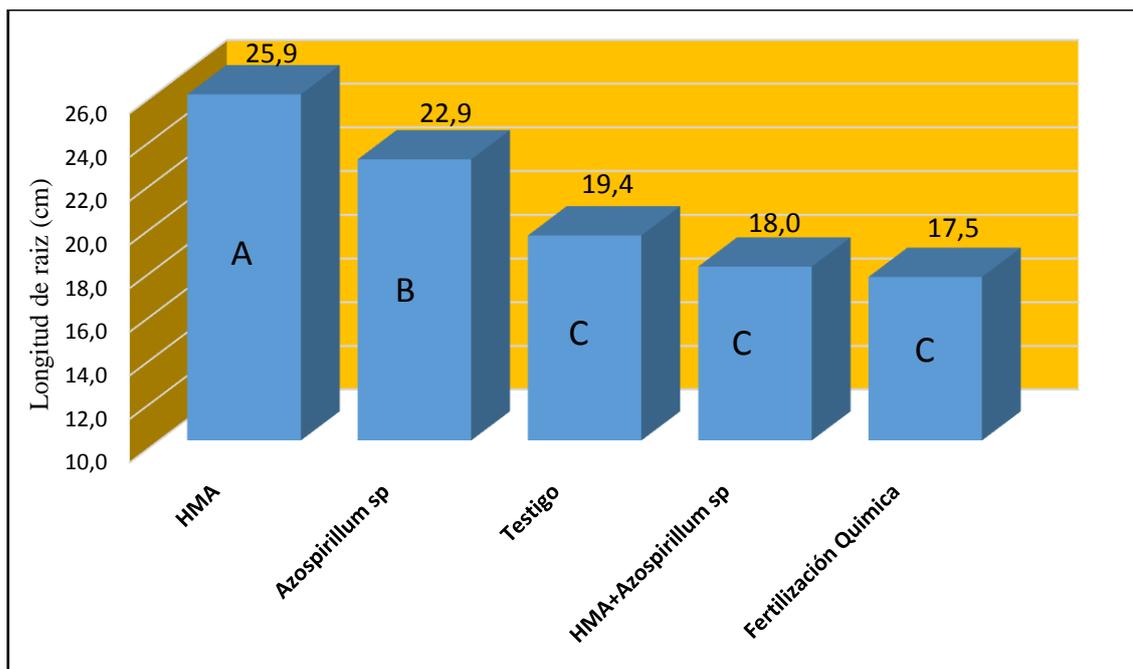


Figura 3.8. Prueba de Tukey de la longitud de raíz de las plantas de maíz amiláceo blanco. Wiruypaqcha, distrito de Quinua a 3180 msnm

INIFAP (2016) indica que el uso de inoculantes microbianos a base de HMA permite mayor supervivencia a sequías y buena interceptación mineral debido al gran desarrollo radicular de la planta de maíz como se puede observar la Figura 3.9 el tratamiento con HMA tiene mayor longitud de raíz con 25.9 cm.

Puente (2013) mencionan que las bacterias *Azospirillum* sp son aquellas bacterias que colonizan las raíces de las plantas y ejercen un efecto positivo en el crecimiento y desarrollo de la planta de manera directa induciendo la producción de fitohormonas. Como se puede observar la figura 3.8 el tratamiento con *Azospirillum* sp tiene una longitud de raíz de 25.9 cm superando a los tratamientos testigo, HMA + *Azospirillum* sp y fertilización química.

Herrera (2013) menciona que un buen desarrollo radicular en la planta de maíz se considera mayores a 20 cm, los valores obtenidos en el presente trabajo utilizando HMA y *Azospirillum* sp superaron este valor.

3.3.2. Población de HMA

La tabla 3.10 muestra el análisis de variancia del número de esporas de hongos micorrízicos arbusculares, donde existen diferencias altamente significativas entre tratamientos, por lo que se procedió a realizar la prueba de Tukey. El coeficiente de variación muestra un valor aceptable.

Tabla 3.10. Análisis de variancia de la cantidad de esporas de los HMA en 100 g de suelo, Wuirupaqcha distrito de Quinua a 3180 msnm

F. variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr >F
Bloque	3	485500	161833.33	0.27	0.8476 NS
Tratamiento	4	30202000	7550500	12.48	0.0003 **
Error	12	7262000	605166.67		
Total	19	37949500			

CV=16.75%

La figura 3.9 de la prueba de Tukey muestra que el biofertilizante a base de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) presenta el mayor número de esporas por 100 gramos de suelo (6125 esporas), en segundo lugar se encuentra el biofertilizante HMA más *Azospirillum* sp (5840 esporas) sin diferencia estadística entre ellos, superando estadísticamente al resto de los tratamientos; esto debido a que fueron inoculados con los HMA al momento de la siembra.

Orihuela (2017) encontró 3516 esporas de HMA en 100 g de suelo de la C.E. Canán en época seca, en la presente investigación se observó hasta 6125 esporas de HMA por 100 g de suelo, posiblemente debido a las características físico químicas (mayor contenido de materia orgánica) y al tipo de manejo del suelo de Quinua (sin fertilización química).

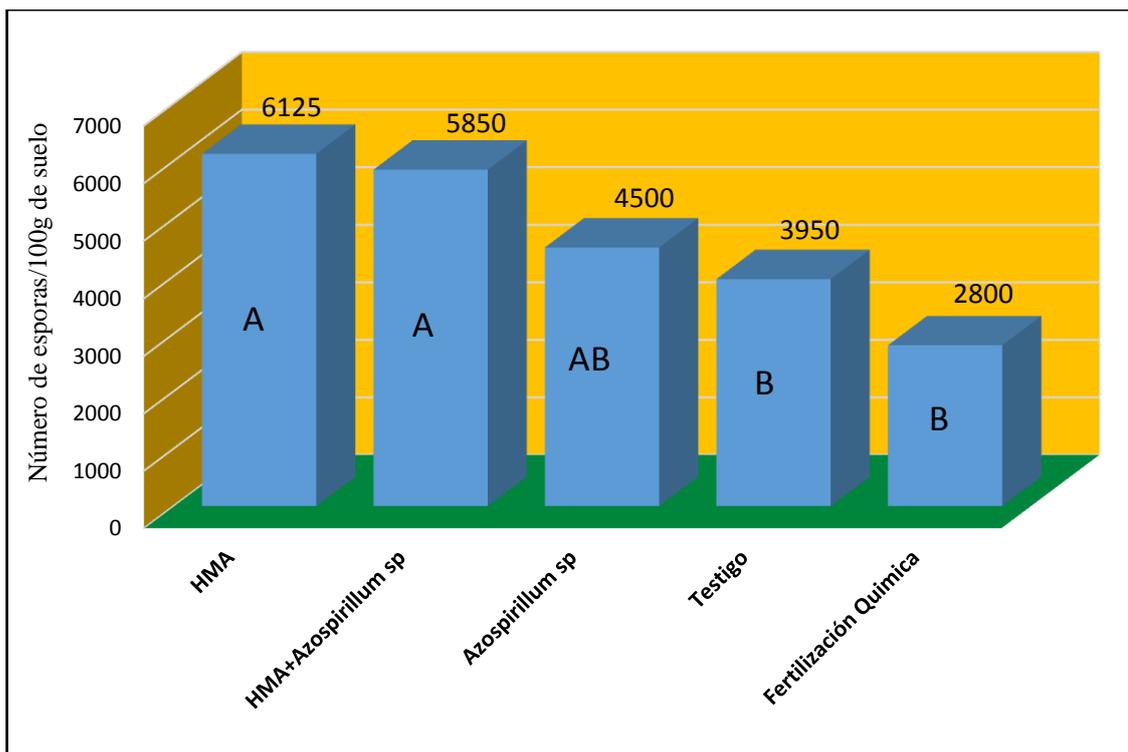


Figura 3.9. Prueba de Tukey del número de esporas de HMA en 100 g de suelo, Wuiruypaqcha distrito de Quinua a 3180 msnm

En el anexo 15 se presentan los resultados obtenidos del recuento de esporas.

3.4. MÉRITO ECONÓMICO DE LOS TRATAMIENTOS

La tabla 3.11 muestra la evaluación del mérito económico de los tratamientos evaluados, siendo el parámetro de evaluación el índice de rentabilidad (I.R).

Los costos de producción, valor bruto de la producción y utilidad neta de la producción están expresados en base a una hectárea.

El costo de producción se determinó en función al precio de los insumos agrícolas, herramientas comprados en la ciudad de Ayacucho para el año 2017 y flete puesto en chacra.

Tabla 3.11. Evaluación del mérito económico de los tratamientos en base al índice de rentabilidad (I.R), Wuiruypaqcha distrito de Quinoa a 3180 msnm

Tratamientos	Costo de producción (soles)	venta en chacra (soles)	Rendimiento (Kg.ha ⁻¹)	Valor bruto de la producción (soles)	Utilidad neta de la producción (soles)	I.R
Testigo	2700.00	3.00	2673.75	8021.25	5321.25	1.97
HMA	3150.00	3.00	3187.00	9561.00	6411.00	2.04
<i>Azospirillum sp</i>	2830.00	3.00	1930.25	5790.75	2960.75	1.05
HMA + <i>Azospirillum sp</i>	3400.00	3.00	1831.25	5493.75	2093.75	0.62
Fertilización Química	3750.00	3.00	2881.75	8645.25	4895.25	1.31

La figura 3.10 muestra el índice de rentabilidad donde se observa que los tratamientos HMA, Testigo, Fertilización Química y *Azospirillum sp* tienen valores mayores que 1 quiere decir que son muy rentables en la producción de maíz amiláceo blanco, mientras que el tratamiento HMA + *Azospirillum sp* muestra un valor 0.62 quiere decir que resulta con menor rentabilidad esta biofertilización en la producción de maíz amiláceo blanco.

Muñoz (2005) indica que el IR es utilizado en la evaluación de muchos proyectos productivos y negocios agropecuarios, donde un inversionista puede observar la cantidad de dinero que aumenta por cada nuevo sol invertido

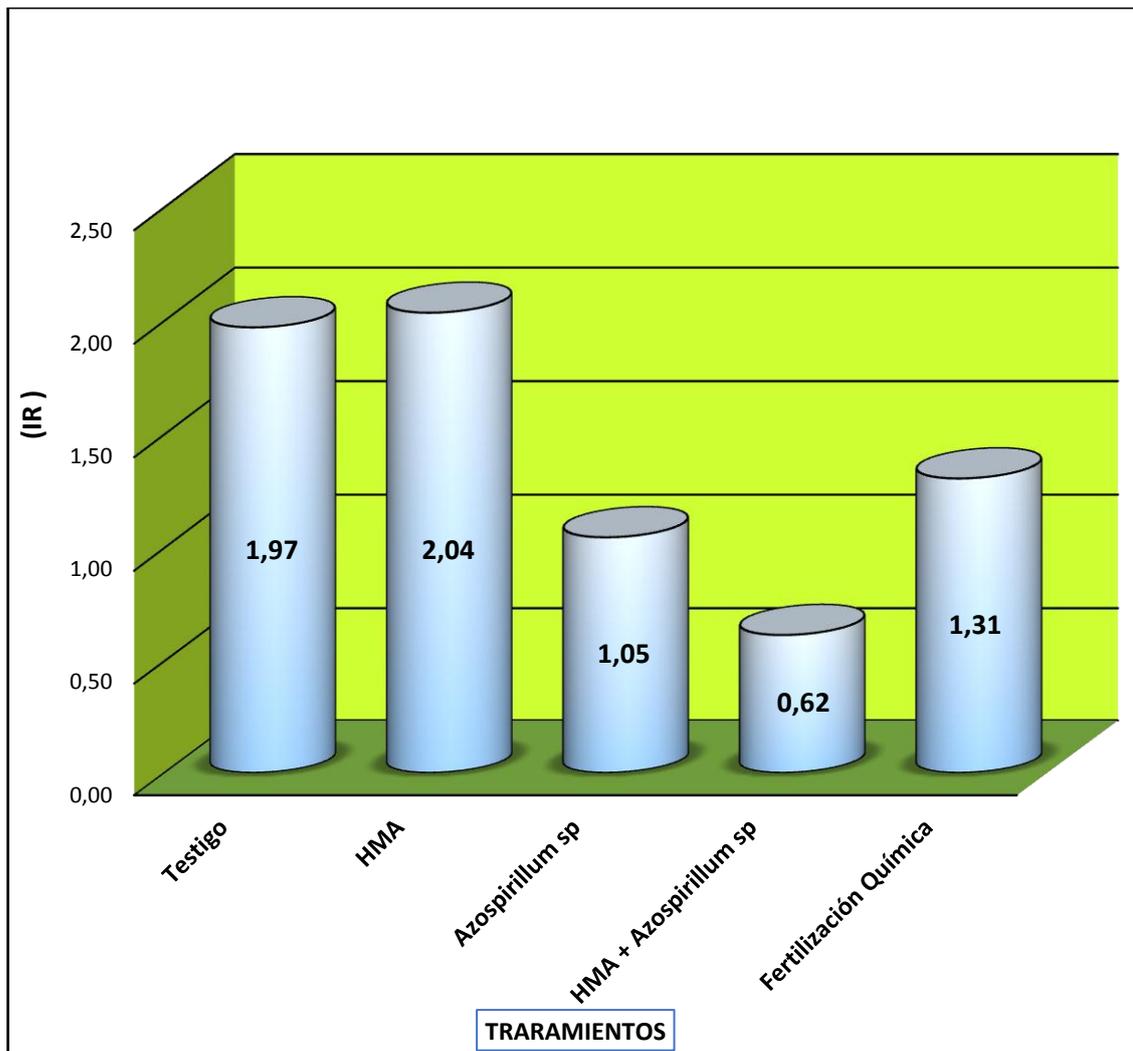


Figura 3.10. Índice de rentabilidad (I.R) para la producción de maíz amiláceo blanco con diferentes tipos de biofertilización y fertilización química, Wuiruypaqcha distrito de Quinua a 3180 msnm

CONCLUSIONES

De acuerdo a la información obtenida a través de este estudio, se llegó a las siguientes conclusiones:

1. La biofertilización a base de HMA ha influido positivamente en el cultivo de maíz amiláceo blanco, en las condiciones de Wuiruypaqcha distrito de Quinua, con un rendimiento en grano seco de $3187.00 \text{ Kg.ha}^{-1}$, superior a la Fertilización Química ($2881.75 \text{ kg.ha}^{-1}$) y al testigo ($2673.75 \text{ Kg.ha}^{-1}$)
2. La biofertilización a base de *Azospirillum* sp en el cultivo de maíz amiláceo blanco, en las condiciones de Wuiruypaqcha distrito de Quinua, solo ha influido en las características de precocidad (emergencia, madurez fisiológica y madurez a la cosecha, altura).
3. La biofertilización a base de HMA + *Azospirillum* sp en el cultivo de maíz amiláceo blanco, en las condiciones de Wuiruypaqcha distrito de Quinua, no ha influido en el rendimiento tampoco en las características de precocidad.
4. El mejor índice de rentabilidad se obtuvo en la biofertilización con HMA con 2.04; seguida del testigo, fertilización química y *Azospirillum* sp con valores de 1.97, 1.31 y 1.05 respectivamente. En la biofertilización con HMA más las bacterias *Azospirillum* sp se obtuvo un índice de rentabilidad de 0.62 por lo que resulta ser con menor rentabilidad.

RECOMENDACIONES

De acuerdo a las conclusiones, se plantea las siguientes recomendaciones:

1. En el marco de la producción orgánica de los alimentos, específicamente en maíz amiláceo blanco para el distrito de Quinua y otros lugares de similar condición climática y geográfica, se recomienda la biofertilización con hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y conservar los microorganismos nativos benéficos del suelo entre ellos los HMA.
2. Se recomienda continuar con la investigación de la biofertilización con HMA y bacterias *Azospirillum* sp en otras especies de gramíneas y tipos de suelo a nivel del campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, E. 2006.** Influence of Vesicular arbuscular mycorrhizal on water movement trough *Bouteloua gracilis*. *New Phytol*, 421, p 322-375.
- ANDRADE, A. 2010.** Estudio de la interacción plantas y Hongo. *Biotechnology Journals*, vol.290, p105- 174.
- ALCAZAR, N. 2011.** Inoculación de bacterias promotoras de crecimiento vegetal en plantas cultivadas. *Redalyc*, Vol. 209, p 213-225.
- ANTON, H. Y PRÉVOST, D. 2005.** Ecology of plant growth promoting rhizobacteria. PGPR, Biocontrol and Biofertilization. *Springer*, Pp. 1-38.
- BOWEN, G. 2001.** Endogone strain and host plant differences in development of vesicular- arbuscular mycorrhizas. In *Endomycorrhizas. Academia Press London*, Vol. 486, p 345-398.
- BRUNS, V.; CAMARGO-RICALDE, S. & JOHNSON, N. 2002.** Ecological Aspects of Mycorrhizal Symbiosis: With Special Emphasis on the Functional Diversity of Interactions Involving the Extraradical Mycelium. *Journal of Experimental Botany*, vol.268, p115-126.
- COLLINS, N., N.D. ROELAND, L. CORKIDI, L.M. EGERTON-WABURTON Y E.B. ALLEN, 2003.** Nitrogen enrichment alters mycorrhizal allocation at five mesic to semiarid grassland. *Plant Protection*, Vol.240, p 156 – 180.
- CORWELL W.; BEDFORD B. Y CHAPIN C. 2001.** Ocurrance of arbuscular mycorrhizal fungi in a phosphorus poor wetland and mycorrhizal response to phosphorus fertilization. *American Journal of Botany*, vol.278, p 176-204.
- COROMINAS, M. 2012.** Diversidad de Hongos micorrízicos arbusculares asociados al cedro rojo (*Cedrela odorata L.*) en dos ecosistemas tropicales de Veracruz, México. Tesis para obtener el título de ingeniero Forestal, Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales.
- ESCALANTE, M. 2014.** Métodos de inoculación de dos cepas de *Azospirillum sp* en plantas de maíz morado, en Huanta a 2650 msnm. Tesis para obtener el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- EGERTON, E.; WARBURTON L. Y GUTMAN G. 2001.** Shifts in arbuscular mycorrhizal communities along an anthropogenic nitrogen deposition gradient. *Ecological Applications*, vol.556, p 484-496.

- GARCIA, J. 2012.** Efecto de capes de *Azospirillum* sp en el crecimiento y rendimiento de grano de maíz. *Fitotecnia Mexicana*, 30(3):10-21.
- GARCÍA-OLIVARES, JG; MENDOZA-HERRERA, A. MAYEK-PÉREZ, N.** (2012). Efecto de *Azospirillum brasilense* en el rendimiento del maíz en el norte de Tamaulipas, México. *Universidad y Ciencia*, 28(1):79-84.
- GRAY, L. & Y GERDEMANN, J. 2001.** Uptake of Phosphorus 32 by vesicular arbuscular mycorrhizae. *Plant Soil*, vol.139, p 87- 89.
- GERDEMANN, J. Y NICOLSON, T. 1963.** Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transaction of the British Mycological Society* 46. pp 235-244.
- HARLEY, J. Y SMITH, G. 2003.** A Check-List of Mycorrhiza in the British Flora. *New Phytologist*, Vol. 105, p 68.
- HARRISON, M. 1997.** The Arbuscular Micorrhizal simbiosis. *Academic Press England*, vol.408, p 345-387.
- HAWKES, C.V.; HARTLEY, I.P.; INESON,P & FITTER, A.H. 2008.** Soil temperature affects carbón allocation with arbuscular mycorrhizal network and carbón transport from plant to fungus. *Golb. Chan Biología*, 214:181-1190.
- HERNÁNDEZ-CASTELLANO,M.;TERRY E. C.; ALMOGUEA F.M. 2015.** Uso de *Azospirillum* en la Agricultura. *Agroecosistemas* Vol.3 No.1: 401- 413.
- HERRERA-PERAZA, R.; CHANTAL, H.F.F.; FERRER, R.; FURRAZOLA, E. 2011.** Soil – strain compatibility: The key to effective use of arbuscular mycorrhizal inoculants. *Plant and soil*, 21:183-193.
- INRENA, 1995.** Guía explicativa del mapa ecológico del Perú. Lima Perú.
- IBAÑEZ, R. Y AGUIRRE, G. 1983.** Fertilidad de suelos: Manual de prácticas. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, UNSCH, Ayacucho. p 136
- MENDEZ, M.; BAHRAMI HA.; REJALI, F. Y MALAKOUTI, J. 2013.** Effects of soil compaction and arbuscular mycorrhiza on corn (*Zea mays* L.) nutrient uptake. *Soil & Tillage Research*, vol. 178, p 164.
- MUÑOZ, C. 2005.** Indicadores de rentabilidad y eficiencia económica en la producción agrícola. *Agricultural Economics*, vol.658, p 385-405.
- OLIVARES, A. 2012.** Efecto de *Azospirillum brasilense* en el rendimiento de maíz al norte de Tamaulipas-México. *Universidad y Ciencia*, 28(1):79-84.

- ORIHUELA, D. 2017.** Morfotipos de Hongos Endomicorrizógenos Asociados al Maíz Amiláceo (*Zea mays* L. *amiláceo*) y su capacidad antagónica para el control de *Fusarium axysporum*. Tesis para obtener título profesional de ingeniero Agrónomo – UNSCH.
- PARNISKE, M. 2008.** Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. *Nature Reviews Microbiology*. Vol 6, p 763-775.
- PÉREZ, L. 2014.** Rendimiento de semilla de seis compuestos raciales de maíz (*Zea mays* L.) en la sierra central del Perú. Tesis para obtener título profesional de ingeniero Agrónomo – UNCP.
- PARRA, Y. Y CUEVAS, F. 2002.** Potencialidad del *Azospirillum* como inoculante para la agricultura. *Cultivos Tropicales*, 23(3): 31-41
- QUILLCA, A. 2012.** Efecto de microorganismos efectivos en el rendimiento del cultivo de maíz amiláceo (*Zea mays* L.) asociado al trébol (*Medicago hispida*), en condiciones de secano. Tesis para obtener el título profesional de ingeniero agrónomo –UNH.
- RODRÍGUEZ, D. 2015.** Trehalose accumulation in *Azospirillum brasilense* improves drought tolerance and biomass in maize plants. *Federation of European Microbiological Societies*, vol. 296, p 52-59.
- RITCHIE, W. & HANWAY, J. 1992.** How a corn plant develops. Special report No. 48. Ames, IA, USA. *Iowa State University*.vol.354, p245.
- RUSSO, A.; FELICI, C.; TOFFANIN, M.; BAREA J.; NUTI, M. 2005.** Effect of *Azospirillum* inoculants on arbuscular mycorrhiza establishment in wheat and maize plant. *Biol. Fertil. Soil*, 41:301-309.
- SALAZAR, M. 2002.** Los Hongos Micorrízicos Arbusculares en suelos vivos. *Biotechnology Journals*, vol. 203, p 154 -169.
- SIEVERDING, E. 2009.** Proyecto Micorriza, Manual de Métodos para la Investigación de la Micorriza Vesícula Arbuscular en el Laboratorio. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. Pp123.
- SIEVERDING, E. & TORO, S. 2009.** Influence of soil Water Regimens on VA Mycorrhiza V. Performance of Different VAM fungal Species whit Cassava. *Journal of Agronomy and Crop Sciences*. Vol. 461, p 322-332.
- SIMON L., BOUSQUET, R.; LEVESQUE, G. Y LALONDE, A. 2006.** Origin and diversification of endomicorrhizal fungi and coincidence whit vascular land plants. *Nature*. Vol. 363, p 67-69.

- RAMOS J.A, 2000.** Biodiversidad de Hongos Micorrízicos Arbusculares en comunidades naturales. *Plant Science*, vol.356, p 234-241
- TUMMERUP, D. Y KIDBY, J. 1985.** Arguments for Diagnoses bas don unaltered Wall and spored structures. *Mycotaxon*, vol. 315, P 215-222.
- URIBE, R. 2006.** Estudio de la biofertilización en maíz con microorganismos benéficos del suelo. *Soil Science*, vol.336, p.234-238.
- VILLEGAS, J. 2009.** Estudio de las bacterias promotoras de crecimiento vegetal en suelos tropicales. *Crop Science*, vol.227, p 89.
- VEGA, C. 2012.** Número de aporques en el rendimiento de maíz amiláceo (*Zea mays* L.) Vilcashuamán a 3050 msnm. Tesis para obtener título profesional de ingeniero Agrónomo – UNSCH.
- AGUDELO, F. 2007.** Enfermedad del maíz y su manejo, compendio ilustrativo, ICA. Disponible en <http://www.fenalce.org/archivos/maiz.pdf>. Consultado: 14/06/2018.
- ÁLVAREZ, S. & RAMOS, T. 2004.** Micorrizas: Una gran Unión debajo del Suelo. Revista digital Universitaria. Vol 13 (7). Disponible en <http://www.revista.unam.mx/vol.13/num7/art72/art72.pdf>. Consultado: 16/08/2018.
- AÑEZ, R. 2005.** Descripción botánica del maíz. Disponible en <http://repiica.iica.int/docs/b3469e/b3469e.pdf>. Consultado: 20/08/2018.
- CABRERIZO, C. 2012.** El maíz en la alimentación Humana. Disponible en <https://www.infoagro.com>. Consultado: 12/09/2018.
- DRA-AYACUCHO, 2010.** Boletín informativo de costo de producción de maíz amiláceo para la región de Ayacucho. Disponible en <https://www.agroayacucho.gop.pe>. Consultado: 14/09/2018.
- FAO 2002.** El Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación. Disponible en <http://www.Fao.Org>. Consultado: 23/09/2018.
- FAGGIOLI, V.; FREYTES, G. Y GALARZA, C. 2015.** Micorrización natural del maíz y su relación con la absorción del fosforo del suelo en diferentes sistemas de labranzas y fertilización. *Biología de Suelos*. INTA EEA Marcos Juárez, Instituto de Ciencias Básicas Aplicadas, UNVM, Córdoba. Disponible en <http://inta.gob.ar/documentos/micorrizacion-natural-de-maiza>. Consultado: 27/09/2018.
- HERRERA, M. 2013.** Guía técnica para el manejo integrado del maíz amiláceo en la sierra. Disponible en <https://www.agrobanco.com>. Consultado: 17/10/2018.

- INFOAGRO, 2012.** Técnicas del cultivo de maíz amiláceo. Disponible en <https://www.infoagro.com>. Consultado: 10/11/2018.
- INIA, 2014.** Fortalecimiento de los productores de maíz amiláceo a nivel de la sierra cuzqueña. Boletín informativo disponible en <https://www.inia.gob.pe>. Consultado: 20/11/2018.
- INIFAP, 2016.** Efecto de los Hongos Micorrízicos Arbusculares en el rendimiento de maíz en el estado de Tlaxcala - México. Disponible en <https://www.inifap.gob.mx>. Consultado: 22/11/2018.
- INTA, 2013.** Uso actual y potencial de microorganismos para mejorar la nutrición y desarrollo de los cultivos del maíz y trigo. Disponible en <https://www.intainformación.inta.gov.ar>. Consultado: 22/11/2018.
- INTAGRI, 2016.** Biofertilizantes en la agricultura moderna. Disponible en <https://www.investigación.intagri.com.mx>. Consultado: 24/11/2018.
- LÓPEZ, M. 2007.** Fenología del cultivo de maíz milenario. Disponible en <https://www.cmathews.minagri.gob.pe>. Consultado: 21/10/2018.
- MANRIQUE, P. 2000.** El cultivo de maíz en el Perú. Concytec, Lima, p 244. Disponible en <https://www.concytec.gob.pe>. Consultado: 15/12/2018.
- MINAGRI, 2017.** Requerimientos agroclimáticos del maíz amiláceo blanco. Ficha técnica n°2. Disponible en <https://www.minagri.gob.pe>. Consultado: 28/10/2018.
- MINAGRI, 2018.** Manual de observaciones fenológicas del cultivo de maíz amiláceo. Disponible en <https://www.minagri.gob.pe>. Consultado: 06/09/2018.
- OSPINA, G. 2015.** Manual de cultivo del maíz bajo buenas técnicas agrícolas. Disponible en [https://conectarural.org/cultivo de maíz, pdf](https://conectarural.org/cultivo-de-maiz-pdf). Consultado: 02/12/2018.
- PUENTE, M. 2013.** Aspectos agronómicos de la bacteria *Azospirillum* sp. Disponible en <https://www.inta.gob>. Consultado: 24/11/2018.
- REDECKER, D.; SCHUBLER, A.; STOCKINGER, H. Y WALKER, C. 2013.** Systematics and taxonomy of the arbuscular endomycorrhizal fungi (Glomales) - a possible way forward; disponible en <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00885447>
<http://invam.wvu.edu/the-fungi/species-descriptions>. Consultado: 27/11/2018.
- RUIZ, R. 2016.** Producción de maíz orgánico con buenos manejos agronómicos. Disponible en <https://www.técnicoagrícola.es>, pdf. Consultado: 29/11/2018.

SENAMHI-AYACUCHO, 2018. Registro de datos meteorológicos para el distrito de Quinoa-anexo de Wuiruypaqcha. Disponible en <https://www.senamhi.gob.pe.dp/ayacucho>. Consultado: 09/07/2018.

SEVILLA, R. 2008. Plagas del cultivo de maíz en el Perú. Recuperado de <http://www.psi.gob.pe/pdf>. Consultado: 10/10/2018

ANEXOS

Anexo 1. Datos meteorológicos para los meses que duró el experimento,
Wuiruypaqcha distrito de Quinua a 3180 msnm

Datos meteorológicos	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
T°max	23.7	21.6	23.0	22.4	23.0	20.4	20.0	19.2
T°min	10.0	10.5	10.7	11.0	11.3	10.0	9.5	7.0
T°media	14.8	14.3	15.0	15.6	15.7	14.7	12.2	10.8
PP(mm)	54.0	92.0	146.0	168.0	165.0	109.0	48.0	22.0

Anexo 2. Número de plantas emergidas y el porcentaje de germinación,
Wuiruypaqcha distrito de Quinua a 3180

Tiempo en Semanas	Testigo	HMA	<i>Azospirillum</i>	HMA + <i>Azospirillum</i>	Fertilización química
1	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
Promedio	0	0	0	0	0
2	91	47	60	45	9
	90	60	73	68	27
	60	41	63	50	25
	38	59	56	49	34
Promedio	70	52	63	53	24
3	95	80	85	75	38
	98	94	92	73	43
	62	83	90	86	52
	61	65	74	93	59
Gran suma	316	322	341	327	192
gran promedio	79	81	85	82	48
% EMERGENCIA	87.78	89.44	94.72	90.83	53.33

Anexo 3. Plantas con panoja (inflorescencia masculina)

Bloque	Testigo	HMA	<i>Azospirillum</i>	HMA + <i>Azospirillum</i>	Fertilización química
I	7	8	10	7	2
II	5	7	12	10	2
III	9	10	15	12	4
IV	4	9	12	13	6
Σ	25	34	49	42	14
\bar{X}	6	9	12	11	4

Anexo 4. Plantas con inflorescencia femenina

Bloque	Testigo	HMA	<i>Azospirillum</i>	HMA+ <i>Azospirillum</i>	Fertilización química
I	9	5	7	7	3
II	7	9	13	8	6
III	5	12	12	11	5
IV	10	8	13	12	5
Σ	31	34	45	38	19
\bar{X}	8	9	11	10	5

Anexo 5. Plantas con madurez fisiológica

Bloque	Testigo	HMA	<i>Azospirillum</i>	HMA+ <i>Azospirillum</i>	Fertilización química
I	0	1	1	0	0
	1	0	0	0	1
	0	1	1	1	0
	0	1	1	1	0
II	0	1	1	0	0
	1	1	1	1	1
	1	0	1	1	0
	1	1	1	1	1
III	0	0	0	1	0
	1	1	0	0	1
	1	0	1	1	0
	0	0	1	1	0
IV	0	1	1	0	1
	1	0	0	1	0
	1	1	1	1	0
	0	0	1	0	0
Σ	8	9	12	10	5

Anexo 6. Altura final de la plantas

BLOQUE	TRATAMIENTO	ALTURA FINAL
I	Testigo	184.0
II	Testigo	215.0
III	Testigo	212.0
IV	Testigo	209.0
I	HMA	215.2
II	HMA	211.2
III	HMA	212.6
IV	HMA	216.0
I	<i>Azospirillum</i>	222.0
II	<i>Azospirillum</i>	217.6
III	<i>Azospirillum</i>	219.2
IV	<i>Azospirillum</i>	217.6
I	HMA + <i>Azospirillum</i>	2004.4
II	HMA + <i>Azospirillum</i>	193.4
III	HMA + <i>Azospirillum</i>	213.2
IV	HMA + <i>Azospirillum</i>	193.4
I	Fertilización química	209.4
II	Fertilización química	209.4
III	Fertilización química	206.0
IV	Fertilización química	218.4

Anexo 7. Longitud de mazorca expresada en centímetros

BLOQUE	TRATAMIENTO	LONGITUD DE MAZORCA
I	Testigo	15.68
II	Testigo	14.24
III	Testigo	15.14
IV	Testigo	15.3
I	HMA	15.82
II	HMA	15.54
III	HMA	16.72
IV	HMA	16.18
I	<i>Azospirillum</i>	14.44
II	<i>Azospirillum</i>	15.16
III	<i>Azospirillum</i>	15.34
IV	<i>Azospirillum</i>	14.24
I	<i>HMA + Azospirillum</i>	14.44
II	<i>HMA + Azospirillum</i>	14.06
III	<i>HMA + Azospirillum</i>	14.14
IV	<i>HMA + Azospirillum</i>	12.94
I	Fertilización química	14.46
II	Fertilización química	13.92
III	Fertilización química	13.56
IV	Fertilización química	16.22

Anexo 8. Diámetro de mazorca expresado en centímetros

BLOQUE	TRATAMIENTO	DIAMETRO DE MAZORCA
I	Testigo	5.9
II	Testigo	6.1
III	Testigo	6.08
IV	Testigo	5.74
I	HMA	6.06
II	HMA	6.22
III	HMA	6.8
IV	HMA	6.34
I	<i>Azospirillum</i>	5.6
II	<i>Azospirillum</i>	5.62
III	<i>Azospirillum</i>	5.42
IV	<i>Azospirillum</i>	5.34
I	HMA + <i>Azospirillum</i>	5.32
II	HMA + <i>Azospirillum</i>	5.88
III	HMA + <i>Azospirillum</i>	6.36
IV	HMA + <i>Azospirillum</i>	5.64
I	Fertilización química	5.18
II	Fertilización química	5.72
III	Fertilización química	6.4
IV	Fertilización química	6

Anexo 9. Número de hileras por de mazorca

BLOQUE	TRATAMIENTO	N° DE HILERAS /MAZORCA
I	Testigo	10.0
II	Testigo	9.0
III	Testigo	10.0
IV	Testigo	10.0
I	HMA	9.2
II	HMA	10.8
III	HMA	10.2
IV	HMA	9.8
I	<i>Azospirillum</i>	9.2
II	<i>Azospirillum</i>	9.0
III	<i>Azospirillum</i>	9.0
IV	<i>Azospirillum</i>	9.6
I	HMA + <i>Azospirillum</i>	8.8
II	HMA + <i>Azospirillum</i>	10.4
III	HMA + <i>Azospirillum</i>	9.2
IV	HMA + <i>Azospirillum</i>	8.6
I	Fertilización química	9.4
II	Fertilización química	9.0
III	Fertilización química	9.4
IV	Fertilización química	10.0

Anexo 10. Número de granos por de mazorca

BLOQUE	TRATAMIENTO	N° DE GRANOS /MAZORCA
I	Testigo	149.0
II	Testigo	167.0
III	Testigo	209.0
IV	Testigo	161.0
I	HMA	154.6
II	HMA	170.2
III	HMA	210.0
IV	HMA	189.2
I	<i>Azospirillum</i>	157.6
II	<i>Azospirillum</i>	167.2
III	<i>Azospirillum</i>	176.4
IV	<i>Azospirillum</i>	146.0
I	HMA + <i>Azospirillum</i>	140.0
II	HMA + <i>Azospirillum</i>	148.2
III	HMA + <i>Azospirillum</i>	175.4
IV	HMA + <i>Azospirillum</i>	171.8
I	Fertilización química	136.8
II	Fertilización química	152.0
III	Fertilización química	166.4
IV	Fertilización química	224.2

Anexo 11. Peso de mil semillas expresado en gramos

BLOQUE	TRATAMIENTO	PESO DE MIL SEMILLAS
I	Testigo	417
II	Testigo	416
III	Testigo	423
IV	Testigo	420
I	HMA	421
II	HMA	428
III	HMA	439
IV	HMA	435
I	<i>Azospirillum</i>	328
II	<i>Azospirillum</i>	352
III	<i>Azospirillum</i>	331
IV	<i>Azospirillum</i>	344
I	HMA + <i>Azospirillum</i>	268
II	HMA + <i>Azospirillum</i>	274
III	HMA + <i>Azospirillum</i>	294
IV	HMA + <i>Azospirillum</i>	290
I	Fertilización química	397
II	Fertilización química	409
III	Fertilización química	414
IV	Fertilización química	417

Anexo 12. Rendimiento en Kg.ha⁻¹ de grano seco de maíz amiláceo blanco

BLOQUE	TRATAMIENTO	RENDIMIENTO Kg/Ha
I	Testigo	2870
II	Testigo	2875
III	Testigo	2896
IV	Testigo	2886
I	HMA	3182
II	HMA	3185
III	HMA	3193
IV	HMA	3188
I	<i>Azospirillum</i>	1863
II	<i>Azospirillum</i>	1973
III	<i>Azospirillum</i>	1988
IV	<i>Azospirillum</i>	1897
I	HMA + <i>Azospirillum</i>	1807
II	HMA + <i>Azospirillum</i>	1839
III	HMA + <i>Azospirillum</i>	1853
IV	HMA + <i>Azospirillum</i>	1826
I	Fertilización química	2590
II	Fertilización química	2675
III	Fertilización química	2710
IV	Fertilización química	2720

Anexo 13. Longitud de raíces, expresado en centímetros

BLOQUE	TRATAMIENTO	LONGITUD DE RAICES
I	Testigo	21.4
II	Testigo	21.9
III	Testigo	16.3
IV	Testigo	18.0
I	HMA	28.2
II	HMA	26.7
III	HMA	24.6
IV	HMA	23.9
I	<i>Azospirillum</i>	23.1
II	<i>Azospirillum</i>	24.2
III	<i>Azospirillum</i>	23.1
IV	<i>Azospirillum</i>	21.1
I	HMA + <i>Azospirillum</i>	20.2
II	HMA + <i>Azospirillum</i>	18.1
III	HMA + <i>Azospirillum</i>	17.4
IV	HMA + <i>Azospirillum</i>	16.2
I	Fertilización química	19.6
II	Fertilización química	18.1
III	Fertilización química	16.2
IV	Fertilización química	16.1

Anexo 14. Número de esporas por cada 100 gramos de suelo

Bloque	Testigo	HMA	<i>Azospirillum</i>	HMA + <i>Azospirillum</i>	Fertilización química
I	3500	5600	3800	6600	3600
II	4500	5800	5000	7000	2200
III	4000	6800	4800	4300	2500
IV	3800	6300	4400	5500	2900

Anexo 15. Costo de producción del maíz amiláceo con el tratamiento testigo

COSTOS	UNIDAD DE MEDIDA	CAN TIDAD (ha)	COSTO UNITARIO (S/.)	SUB TOTAL (S/.)	TOTAL (S/.)
A. COSTOS DIRECTOS					2200.2
1. Mano de Obra					
1.1. Preparación del Terreno				740	
Chacmeo	Jornal	8	40	320	
Arado de yunta	yunta	6	70	420	
1.2. Siembra				400	
Surcado con yunta	yunta	4	70	280	
Colocador de semillas	Jornal	4	30	120	
- Primer Abonamiento	Jornal	0	0	0	
1.3. Labores Culturales				460	
- Aporque	Jornal	10	40	400	
- Control Fitosanitario	Jornal	0	0	0	
- Deshierbo	Jornal	2	30	60	
1.4. Cosecha				1100	
- Corte de la planta (arcuy)	Jornal	6	40	240	
- Despanque	Jornal	10	40	400	
- Desgrane	Jornal	8	40	320	
Transporte	bloque			140	
- Ensacado, cosida y pesada	Jornal	5	40	200	
2. instrumentos Agrícolas					211.5
Mochila agrícola	unidad	0	0	0	
Herramientas manuales (Lampas, pico)	3% MO			91.5	
Canastas, costales, fanegas, etc.	sacos	60	2	120	
3. Insumos				360	360
3.1 Semillas	Kilo	90	4	360	
3.3 Fertilizantes (Especificar producto)					
Abono compuesto (FERTIMAX)	saco(50kg)	0	0	0	
3.4 Agroquímicos (Pesticidas)					
Tamarón	Litro	0	0	0	
Citowet	Litro	0	0	0	
Total Costos Directos					2200.2
B. COSTOS INDIRECTOS					
- Alquiler de Terreno	arriendo			500	500
RESUMEN					
1. COSTOS DIRECTOS		2200.2			
2. COSTOS INDIRECTOS		500			
TOTAL COSTO DE PRODUCCIÓN		2700.2			

Anexo 16. Costo de producción del maíz amiláceo con Biofertilización HMA

COSTOS	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD (ha)	COSTO UNITARIO (S/.)	SUB TOTAL (S/.)	TOTAL (S/.)
A. COSTOS DIRECTOS					2650.2
1. Mano de Obra					
1.1. Preparación del Terreno				740	
- Chacmeo	Jornal	8	40	320	
- Arado de yunta	yunta	6	70	420	
1.2. Siembra				400	
- Surcado con yunta	yunta	4	70	280	
- Colocador de semillas	Jornal	4	30	120	
- Primer Abonamiento	Jornal	0	0	0	
1.3. Labores Culturales				460	
- Aporque	Jornal	10	40	400	
- Control Fitosanitario	Jornal	0	0	0	
- Deshierbo	Jornal	2	30	60	
1.4. Cosecha				1300	
- Corte de la planta (arcuy)	Jornal	6	40	240	
- Despanque	Jornal	10	40	400	
- Desgrane	Jornal	8	40	320	
Transporte	bloque			140	
- Ensacado, cosida y pesada	Jornal	5	40	200	
2. instrumentos Agrícolas					181.2
mochila agrícola	unidad	0	0	0	
Herramientas (Lampas, pico, etc)	2% MO			61.2	
Canastas, costales, fanegas, etc.	sacos	60	2	120	
3. Insumos				1064	1064
3.1 Semillas	Kilo	90	4	360	
3.3 Biofertilizante					
Hongos micorrízicos arbusculares (HMA)	kilos	176	4	704	
3.4 Agroquímicos (Pesticidas)					
Tamarón	Litro	0	0	0	
Citowet	Litro	0	0	0	
B. COSTOS INDIRECTOS					
- Alquiler de Terreno	arriendo			500	500
RESUMEN					
1. COSTOS DIRECTOS				2650.2	
2. COSTOS INDIRECTOS				500	
TOTAL COSTO DE PRODUCCIÓN				3150.2	

Anexo 17. Costo de producción del maíz amiláceo con biofertilización *Azospirillum sp*

COSTOS	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD (ha)	COSTO UNITARIO (S/.)	SUB TOTAL (S/.)	TOTAL (S/.)
A. COSTOS DIRECTOS					2330.3
1. Mano de Obra					
1.1. Preparación del Terreno				740	
Chacmeo	Jornal	8	40	320	
Arado de yunta	yunta	6	70	420	
1.2. Siembra				420	
Surcado con yunta	yunta	4	70	280	
Remojo y colocado de semillas	Jornal	4	35	140	
- Primer Abonamiento	Jornal	0	0	0	
1.3. Labores Culturales				520	
- Aporque	Jornal	10	40	400	
- Control Fitosanitario	Jornal	0	0	0	
- Deshierbo	Jornal	4	30	120	
1.4. Cosecha				1300	
- Corte de la planta (arcuy)	Jornal	6	40	240	
- Despanque	Jornal	10	40	400	
- Desgrane	Jornal	8	40	320	
Transporte	bloque			140	
- Ensacado, cosida y pesada	Jornal	5	40	200	
2. instrumentos Agrícolas					182.8
Mochila agrícola	unidad	0	0	0	
Herramientas (Lampas, pico, etc)	2% MO			62.8	
Canastas, costales, fanegas, etc.	sacos	60	2	120	
3. Insumos				576	576
3.1 Semillas	Kilo	90	4	360	
3.3 Biofertilizante	litros				
Azospirillum (solución bacteriana)	litros	72	3	216	
3.4 Agroquímicos (Pesticidas)					
Tamarón	Litro	0	0	0	
Citowet	Litro	0	0	0	
B. COSTOS INDIRECTOS					
- Alquiler de Terreno (Ha)	arriendo			500	500
RESUMEN					
1. COSTOS DIRECTOS			2330.3		
2. COSTOS INDIRECTOS			500		
TOTAL COSTO DE PRODUCCIÓN			2830.3		

Anexo 18. Costo de producción del maíz amiláceo con biofertilización HMA + *Azospirillum sp*

COSTOS	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD (Ha.)	COSTO UNITARIO (S/.)	SUB TOTAL (S/.)	TOTAL (S/.)
A. COSTOS DIRECTOS					2900.4
1. Mano de Obra					
1.1. Preparación del Terreno				740	
Chacmeo	Jornal	8	40	320	
Arado de yunta	yunta	6	70	420	
1.2. Siembra				430	
Surcado con yunta	yunta	4	70	280	
Remojo, colocador de semilla y micorriza	Jornal	5	30	150	
- Primer Abonamiento	Jornal	0	0	0	
1.3. Labores Culturales				460	
- Aporque	Jornal	10	40	400	
- Control Fitosanitario	Jornal	0	0	0	
- Deshierbo	Jornal	2	30	60	
1.4. Cosecha				1300	
- Corte de la planta (arcuy)	Jornal	6	40	240	
- Despanque	Jornal	10	40	400	
- Desgrane	Jornal	8	40	320	
Transporte	bloque			140	
- Ensacada, cosida y pesada	Jornal	5	40	200	
2. instrumentos Agrícolas					182.4
Mochila agrícola	unidad	0	0	0	
Herramientas (Lampas, pico, etc)	2% MO			62.4	
Canastas, costales, fanegas, etc.	sacos	60	2	120	
3. Insumos				1064	1064
3.1 Semillas	Kilo	90	4	360	
3.3 Biofertilizantes					
Hongos micorrízicos arbusculares (HMA)	kg	176	4	704	
Azospirillum (solución bacteriana)	Litro	72	3	216	
3.4 Agroquímicos (Pesticidas)					
Tamarón	Litro	0	0	0	
Citowet	Litro	0	0	0	
B. COSTOS INDIRECTOS					
- Alquiler de Terreno (Ha)	arriendo			500	500
RESUMEN					
1. COSTOS DIRECTOS			2900.4		
2. COSTOS INDIRECTOS			500		
TOTAL COSTO DE PRODUCCIÓN			3400.4		

Anexo 19. Costo de producción del maíz amiláceo con fertilización química

COSTOS	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD (ha)	COSTO UNITARIO (S/.)	SUB TOTAL (S/.)	TOTAL (S/.)
A. COSTOS DIRECTOS					3250
1. Mano de Obra					
1.1. Preparación del Terreno				740	
Chacmeo	Jornal	8	40	320	
Arado de yunta	yunta	6	70	420	
1.2. Siembra				480	
Surcado con yunta	yunta	4	70	280	
- Primer Abonamiento	Jornal	5	40	200	
1.3. Labores Culturales				520	
- Aporque	Jornal	10	40	400	
- Control Fitosanitario	Jornal	0	0	0	
- Deshierbo	Jornal	4	30	120	
1.4. Cosecha				1300	
- Corte de la planta (arcuy)	Jornal	6	40	240	
- Despanque	Jornal	10	40	400	
- Desgrane	Jornal	8	40	320	
Transporte	bloque			180	
- Ensacado, cosida y pesada	Jornal	5	40	200	
2. instrumentos Agrícolas					184.6
Mochila agrícola	unidad	0	0	0	
Herramientas (lampas, pico, limas etc)	2% MO			64.6	
Canastas, costales, fanegas, etc.	sacos	60	2	120	
3. Insumos				850	850
3.1 Semillas	Kilo	90	4	360	
3.3 Fertilizantes (Especificar producto)					
Abono compuesto (FERTIMAX)	saco(50kg)	7	70	490	
3.4 Agroquímicos (Pesticidas)					
Tamarón	Litro	0	0	0	
Citowet	Litro	0	0	0	
B. COSTOS INDIRECTOS					
- Alquiler de Terreno (Ha)	arriendo			500	500
RESUMEN					
1. COSTOS DIRECTOS			3250		
2. COSTOS INDIRECTOS			500		
TOTAL COSTO DE PRODUCCIÓN			3750		

Anexo 20. Panel fotográfico



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
 PROGRAMA DE INVESTIGACION EN PASTOS Y GANADERIA
LABORATORIO DE SUELOS Y ANALISIS FOLIAR
 Jr. Abraham Valdelomar N° 249 - Telf. 315936 RPM # 966842996
 Ayacucho - Perú
 "Año del Buen Servicio al Ciudadano"

Región : Ayacucho
 Provincia : Huamanga
 Distrito : Quimua
 Comunidad : Huiriyaccha
 Proyecto : "TESIS"
 Solicitante : Sr. Basilio Gutiérrez Contreras

ANALISIS DE CARACTERIZACION

Muestra	Análisis mecánico (%)			Clase Textural	pH (H ₂ O)	C. E. (dS/m)	CaCO ₃ (%)	M.O. (%)	Nt (%)	Elementos Disp. (ppm)		Cationes cambiables (Cmol(+)Kg)						C. I. C. (Cmol(+)Kg)
	Arena	Limo	Arcilla							P	K	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³	H ⁺	
01	47.9	22.7	29.4	Fr-Ar-Ao	6.40	1.030	0.0	4.97	0.25	44.2	96.7	8.76	2.68	0.50	0.46	0.0	0.0	12.1

Ayacucho, 08 de Noviembre del 2017

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS
 PLANTA AGUAS Y FERTILIZANTES
 RESPONSABLE

 Juan Bl Giron Molina
 C.I.P. 77120

Análisis de caracterización del suelo del campo experimental



Sustrato de los HMA, laboratorio de microbiología agrícola



Aplicación de biofertilizantes al momento de la siembra



Evaluación de porcentaje de emergencia



Raleo de plántulas



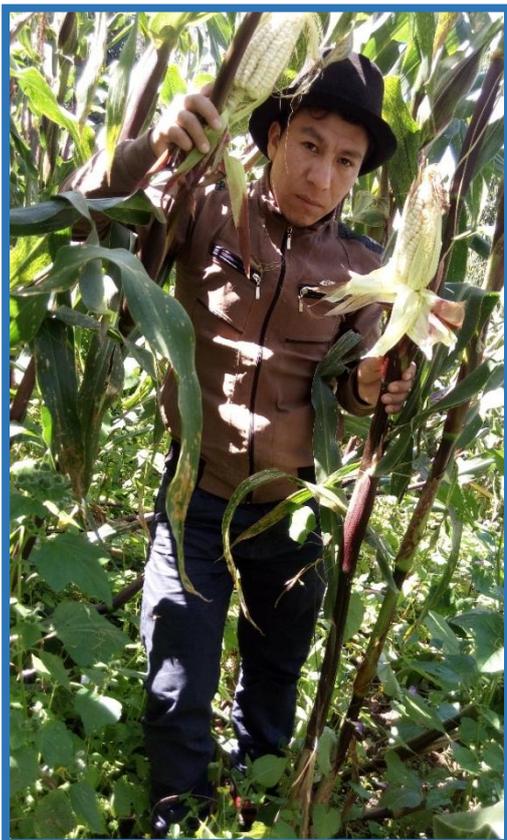
Visita al campo experimental por parte de la asesora y jurados de la investigación



Evaluación de la altura final de plantas



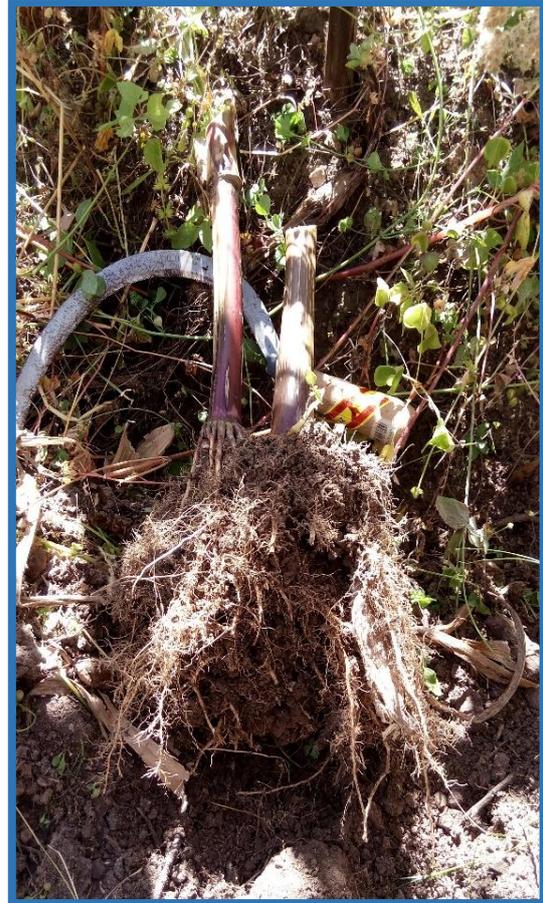
Floración masculina y femenina del maíz amiláceo blanco



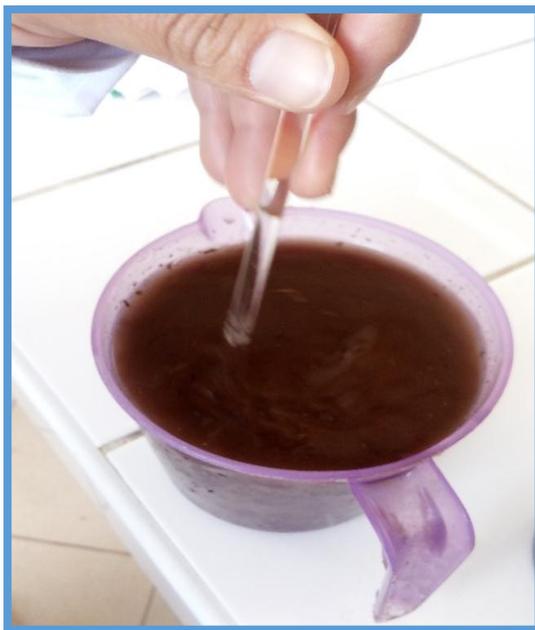
Evaluación de la madurez fisiológica



Cosecha de maíz amiláceo blanco



Muestreo de suelo rizosférico del campo de cultivo de maíz amiláceo blanco



Tamizado y decantación en húmedo para la extracción de espora de HMA