

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



TESIS:

**Respuesta agronómica de cinco variedades de maíz morado
(*Zea mays* L.) a la inoculación con *Azospirillum* y *Glomus*,
Canaán 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho**

Para optar el título profesional de:

INGENIERO AGRÓNOMO

PRESENTADO POR:

Bach. Bhill Thoño RONDINEL HUANACO

ASESOR:

Dr. José Antonio QUISPE TENORIO

COASESORES:

M.Sc. Eugenia Rocío QUISPE MEDINA

Dr. Cayo GARCÍA-BLÁSQUEZ MOROTE

AYACUCHO - PERÚ

2025

DEDICATORIA

Estoy agradecido con Dios por apoyar mi crecimiento académico, físico y mental, así como por darme la oportunidad de dedicarme y aportar a la sociedad.

A mis progenitores Honorato Rondinel S. y Karina Huanaco L., hermanos Danny Rondinel, Mahikol Rondinel, Diana Rondinel y Herick Rondinel quienes estaban presente constantemente en mi desarrollo académico para poder consagrarme como profesional.

Con mucho amor y cariño a Miriam Brenda G. S. Por el cariño sin límites y el ánimo que siempre me brindan día a día, generando más amor, Valoración hacia la carrera y la existencia

AGRADECIMIENTO

A mi querida Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, en especial a la Facultad de Ciencias Agrarias y a la Escuela Profesional de Agronomía, por ser guía y sostén en este camino de aprendizaje. Gracias por acogerme, apoyarme y acompañarme con compromiso y dedicación a lo largo de mi formación, haciéndome posible soñar y alcanzar mis metas.

A todo el plantel de docentes de la Escuela Profesional de Agronomía, quienes me orientaron e inculcaron los valores, conocimientos y disciplina para formarme como una persona ética

Al Dr. José Antonio Quispe Tenorio, mi asesor, quien me brindó su respaldo en el diseño e instalación del proyecto de tesis, quien me ayudo en la conducción del proyecto, inculcándome su vasta sabiduría para la culminación de este trabajo.

A mi coasesora M.Sc. Eugenia Rocío Quispe Medina, quien me ayudo en la conducción del trabajo, brindándome sus experiencias, conocimientos y consejos de día a día que serán de gran ayuda para mi persona.

Al Dr. Cayo García-Blásquez Morote por sabiduría y experiencias dadas en el rubro de los microorganismos y suelos.

Al señor Cesar Suárez personal técnico de apoyo del proyecto PROSEM en el manejo del cultivo.

Al Proyecto PROSEM en la EEA Canaán-INIA, Ayacucho, Proyecto PROSEM desarrollado en la Estación Experimental Agraria Canaán-INIA, Ayacucho, correspondiente a la iniciativa de inversión denominada “Mejoramiento de la disponibilidad, acceso y aprovechamiento de semillas certificadas de papa, maíz amiláceo, legumbres de grano y cereales en las regiones de Junín, Ayacucho, Cusco y Puno”.

Al Proyecto FOCAM – UNSCH: Uso de microorganismos para la producción orgánica sostenible de quinua, maíz y palto en la región de Ayacucho.

A mi familia, mi gratitud inmensa por el apoyo, la alegría y motivación día a día.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
RESUMEN	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
MARCO TEÓRICO	3
1.1 Antecedentes de la investigación	3
1.2 Cultivo de maíz morado	6
1.2.1 Origen y distribución del maíz morado	6
1.2.2 Categorización taxonómica en maíz morado	7
1.2.3 Rasgos morfológicos del maíz morado	8
1.2.4 Fenología del maíz morado	10
1.2.5 Condiciones climáticas	10
1.2.6 Condiciones edáficas	11
1.2.7 Manejo agronómico	11
1.3. Bacteria PGPR <i>Azospirillum brasilense</i>	13
1.3.1. Historia	13
1.3.2. Característica del <i>Azospirillum</i>	13
1.3.3. Inoculación del <i>Azospirillum</i> en la planta	14
1.3.4. Inoculación en maíz con <i>Azospirillum</i>	14
1.3.5. Producción del ácido-3-indol acético por <i>Azospirillum</i>	15
1.4. Hongos micorrízicos arbusculares (HMA)	15
1.4.1. Colonización de la raíz	16
1.4.2. <i>Glomus iranicum</i>	16
CAPÍTULO II	18
METODOLOGÍA	18
2.1. Lugar del experimento	18
2.1.1. Ubicación política	18

2.1.2. <i>Ubicación geográfica</i>	18
2.2. Antecedentes del suelo	21
2.3. Condiciones climáticas.....	21
2.4. Características físico – químicas del suelo.....	22
2.5. Tratamientos y material genético	24
2.5.1. <i>Tratamientos</i>	24
2.5.2. <i>Material genético</i>	25
2.6. Diseño experimental.....	27
2.7. Característica de la unidad experimental.....	29
2.8. Instalación y manejo del experimento.....	29
2.8.1 <i>Preparación del suelo</i>	29
2.8.2 <i>Delimitación</i>	29
2.8.3 <i>Abonamiento</i>	30
2.8.4 <i>Inoculación y siembra de la semilla</i>	30
2.8.5 <i>Deshierbo</i>	31
2.8.6 <i>Aporque</i>	31
2.8.7 <i>Aplicación de Glomus</i>	31
2.8.8 <i>Cosecha</i>	31
2.9. Análisis estadístico	32
2.10. Materiales y criterio de evaluación	32
2.10.1 <i>Materiales</i>	32
2.10.2 <i>Criterios de evaluación</i>	32
CAPÍTULO III.....	34
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
3.1. Crecimiento	34
3.1.1 <i>Emergencia</i>	34
3.1.2 <i>Altura de planta</i>	36
3.1.3 <i>Altura de mazorca</i>	39
3.1.4 <i>Diámetro de tallo</i>	42
3.1.5 <i>Longitud de mazorca</i>	44
3.1.6 <i>Diámetro de mazorca</i>	47
3.2. Rendimiento	50
3.2.1 <i>Rendimiento de mazorca</i>	50
3.2.2 <i>Rendimiento de tusa</i>	53

3.2.3	<i>Peso de 1000 semillas</i>	56
3.2.4	<i>Rendimiento de grano</i>	59
3.2.5	<i>Índice de cosecha</i>	62
3.2.6	<i>Biomasa</i>	64
3.3	<i>Desarrollo de raíz</i>	65
3.3.1	<i>Peso de raíz</i>	65
3.3.2	<i>Longitud de raíz</i>	67
3.3.3	<i>Volumen de raíz</i>	68
3.3.4	<i>Diámetro de raíz</i>	70
3.3.5	<i>Ramificaciones de raíz</i>	71
	CONCLUSIONES	73
	RECOMENDACIONES.....	74
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
	ANEXOS	80

ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 3.1	<i>Análisis de varianza sobre la altura promedio de planta en cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) cultivadas con la asociación biológica Azospirillum y Glomus, bajo condiciones experimentales en dos localidades de Ayacucho: Canaán situada a 2735 m s. n. m. e Iribamba a 2336 m s. n. m</i>	36
Tabla 3.2	<i>Se llevó a cabo una prueba de Tukey para comparar la altura de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) cultivadas en dos localidades de Ayacucho: Canaán, situada a 2735 msnm, e Iribamba, ubicada a 2336 msnm</i>	36
Tabla 3.3	<i>Prueba de Tukey de la altura de planta de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba a 2336 msnm, Ayacucho</i>	37
Tabla 3.4	<i>Prueba de Tukey de la altura de planta de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba a 2336 msnm, Ayacucho</i>	38
Tabla 3.5	<i>Prueba de Tukey de la altura de planta de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba a 2336 msnm, Ayacucho</i>	38
Tabla 3.6	<i>Análisis de varianza de la altura a la mazorca de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba a 2336 msnm, Ayacucho</i>	39
Tabla 3.7	<i>Prueba de Tukey de la altura a la mazorca de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho</i>	40
Tabla 3.8	<i>Prueba de Tukey de la altura a la mazorca de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba a 2336 msnm, Ayacucho</i>	40
Tabla 3.9	<i>Prueba de Tukey para altura a la mazorca de cinco variedades de la altura de mazorca de maíz morado (Zea mays L.) en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho</i>	41

Tabla 3.10	<i>Prueba de Tukey de la altura a la mazorca de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho</i>	<i>41</i>
Tabla 3.11	<i>Análisis de varianza del diámetro del tallo de planta de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en dos localidades Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho</i>	<i>42</i>
Tabla 3.12	<i>Prueba de Tukey para el diámetro de tallo de planta de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en dos localidades Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho</i>	<i>43</i>
Tabla 3.13	<i>Prueba de Tukey para diámetro de tallo de planta de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.), Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho</i>	<i>43</i>
Tabla 3.14	<i>Análisis de varianza de la longitud de mazorca de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) inoculadas con Azospirillum y Glomus en dos localidades: Canaán a 2 735 msnm e Iribamba a 2 336 msnm, Ayacucho</i>	<i>44</i>
Tabla 3.15	<i>Prueba de Tukey de la longitud de mazorca de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho</i>	<i>44</i>
Tabla 3.16	<i>Prueba de Tukey de la longitud de mazorca de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho</i>	<i>45</i>
Tabla 3.17	<i>Prueba de Tukey para la longitud de mazorca de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho</i>	<i>45</i>
Tabla 3.18	<i>Prueba de Tukey para la longitud de mazorca de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho</i>	<i>46</i>
Tabla 3.19	<i>Análisis de varianza del diámetro de mazorca de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en dos localidades Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho</i>	<i>47</i>

Tabla 3.20	<i>Prueba de Tukey para el diámetro de mazorca de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho</i>	<i>47</i>
Tabla 3.21	<i>Prueba de Tukey para el diámetro de mazorca de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho</i>	<i>48</i>
Tabla 3.22	<i>Prueba de Tukey para el diámetro de mazorca de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho</i>	<i>48</i>
Tabla 3.23	<i>Prueba de Tukey para el diámetro de mazorca de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho</i>	<i>49</i>
Tabla 3.24	<i>Análisis de varianza del rendimiento de mazorca de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en dos localidades Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho</i>	<i>50</i>
Tabla 3.25	<i>Prueba de Tukey del rendimiento de mazorca de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) en dos localidades Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho</i>	<i>50</i>
Tabla 3.26	<i>Prueba de Tukey del rendimiento de mazorca de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho</i>	<i>51</i>
Tabla 3.27	<i>Prueba de Tukey del rendimiento de mazorca de cinco variedades maíz morado (Zea mays L.) en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho</i>	<i>51</i>
Tabla 3.28	<i>Prueba de Tukey del rendimiento de mazorca de cinco variedades maíz morado (Zea mays L.) en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho</i>	<i>52</i>
Tabla 3.29	<i>Análisis de varianza del rendimiento en tusa de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho</i>	<i>53</i>
Tabla 3.30	<i>Prueba de Tukey del rendimiento en tusa de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho</i>	<i>53</i>

Tabla 3.31	<i>Prueba de Tukey del rendimiento en tusa de 5 variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en 2 localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho</i>	<i>54</i>
Tabla 3.32	<i>Prueba de Tukey del rendimiento en tusa de 5 variedades del peso de mazorca de maíz morado (Zea mays L.) en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho</i>	<i>54</i>
Tabla 3.33	<i>Prueba de Tukey del rendimiento en tusa de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho</i>	<i>55</i>
Tabla 3.34	<i>Análisis de varianza sobre el peso de mil semillas de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) tratadas con Azospirillum y Glomus, evaluadas en las localidades de Canaán a 2735 msnm e Iribamba a 2336 msnm, Ayacucho</i>	<i>56</i>
Tabla 3.35	<i>Se realizó la prueba de Tukey sobre el peso de 1000 semillas de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) en dos sitios, Cana a 2735 m e Iribamba a 2336 m, ambos en Ayacucho.....</i>	<i>56</i>
Tabla 3.36	<i>Prueba de Tukey del peso de 1000 semillas de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho</i>	<i>57</i>
Tabla 3.37	<i>Prueba de Tukey del peso de 1000 semillas de maíz morado (Zea mays L.) en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho</i>	<i>57</i>
Tabla 3.38	<i>La prueba de Tukey para los efectos de variedad y ubicación en maíz morado (Zea mays L.) cultivado a 2735 msnm en Canaán y a 2336 msnm en Iribamba, Ayacucho</i>	<i>58</i>
Tabla 3.39	<i>Análisis de varianza sobre el rendimiento a grano de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) inoculadas con Azospirillum y Glomus, evaluadas en dos localidades de Ayacucho: Canaán, a 2 735 msnm, e Iribamba, a 2 336 msnm.....</i>	<i>59</i>
Tabla 3.40	<i>Los resultados de la prueba de Tukey aplicada al rendimiento en grano de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) cultivadas en dos contextos altitudinales de Ayacucho, Canaán a 2 735 m s.n.m. e Iribamba a 2 336 m s.n.m.....</i>	<i>59</i>

Tabla 3.41	<i>Evaluación comparativa mediante la prueba de Tukey sobre el rendimiento de grano en cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.), cultivadas con inoculación de Azospirillum y Glomus, en dos localidades de Ayacucho, Canaán a 2735 msnm e Iribamba a 2336 msnm.....</i>	<i>60</i>
Tabla 3.42	<i>Prueba de Tukey del rendimiento en grano de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho</i>	<i>61</i>
Tabla 3.43	<i>Prueba de Tukey del rendimiento de grano de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho</i>	<i>61</i>
Tabla 3.44	<i>Análisis de varianza del índice de cosecha de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho</i>	<i>62</i>
Tabla 3.45	<i>Prueba de Tukey del Índice de cosecha de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho</i>	<i>63</i>
Tabla 3.46	<i>Prueba de Tukey del Índice de cosecha de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho</i>	<i>63</i>
Tabla 3.47	<i>Análisis de varianza de biomasa de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho</i>	<i>64</i>
Tabla 3.48	<i>Prueba de Tukey de biomasa de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho</i>	<i>64</i>
Tabla 3.49	<i>Prueba de Tukey de biomasa de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho.....</i>	<i>65</i>
Tabla 3.50	<i>Análisis de varianza del peso de raíz de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en la localidad de Canaán a 2735 Ayacucho.....</i>	<i>65</i>

Tabla 3.51	<i>Prueba de Tukey del peso de raíz de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.), Azospirillum y Glomus en la localidad de Canaán a 2735 msnm, Ayacucho</i>	66
Tabla 3.52	<i>Prueba de Tukey del peso de raíz de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.), en la localidad de Canaán a 2735 msnm, Ayacucho</i>	66
Tabla 3.53	<i>Análisis de varianza de la longitud de raíz de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en la localidad de Canaán a 2735 msnm, Ayacucho</i>	67
Tabla 3.54	<i>Prueba de Tukey de la longitud de la raíz de la planta de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en la localidad de Canaán a 2735 msnm, Ayacucho</i>	67
Tabla 3.55	<i>Prueba de Tukey de la longitud de raíz de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) en la localidad de Canaán a 2735 msnm, Ayacucho</i>	68
Tabla 3.56	<i>Análisis de varianza del volumen de raíz de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en la localidad de Canaán a 2735 msnm, Ayacucho</i>	68
Tabla 3.57	<i>Prueba de Tukey del volumen de raíz de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en la localidad de Canaán a 2735 msnm, Ayacucho</i>	69
Tabla 3.58	<i>Prueba de Tukey del volumen de raíz de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) en la localidad de Canaán a 2735 msnm, Ayacucho</i>	69
Tabla 3.59	<i>Análisis de varianza del diámetro de raíz de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en la localidad de Canaán a 2735 msnm, Ayacucho</i>	70
Tabla 3.60	<i>Prueba de Tukey del diámetro de raíz de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en la localidad de Canaán a 2735 msnm, Ayacucho</i>	70
Tabla 3.61	<i>Prueba de Tukey del diámetro de raíz de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) en la localidad de Canaán a 2735 msnm, Ayacucho</i>	71

Tabla 3.62	<i>Análisis de varianza de ramificaciones de la raíz de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en la localidad de Canaán a 2735 msnm, Ayacucho.....</i>	<i>71</i>
Tabla 3.63	<i>Prueba de Tukey de la ramificación de la raíz de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en la localidad de Canaán a 2735 msnm, Ayacucho.....</i>	<i>72</i>
Tabla 3.64	<i>Prueba de Tukey de la ramificación de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) en la localidad de Canaán a 2735 msnm, Ayacucho</i>	<i>72</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 <i>Mazorcas de maíz morado</i>	8
Figura 1.2 <i>Ciclo fenológico del maíz morado</i>	10
Figura 1.3 <i>Estructura del hongo micorrizico arbusculares (Glomus iranicum)</i>	17
Figura 2.1 <i>Mapa que señala la posición exacta del ensayo INIA-CANAÁN dentro del distrito de Andrés Avelino Cáceres Dorregaray, provincia de Huamanga y departamento de Ayacucho, elaborado con el programa QGIS y tomando como base archivos Shapefile</i>	19
Figura 2.2 <i>Mapa que muestra la localización precisa del experimento dentro del Fundo de Iribamba, que se sitúa en el distrito de Luricocha, provincia de Huanta y departamento de Ayacucho, y fue elaborado con el programa QGIS utilizando archivos Shapefile</i>	20
Figura 2.3 <i>Climograma referencial de EEA – Canaán elaborado por el software Excel</i>	22
Figura 2.4 <i>Climograma referencial del Fundo de Iribamba elaborado por el software Excel</i>	22
Figura 2.5 <i>Inoculante en líquido y turba de Azospirillum brasilense</i>	26
Figura 2.6 <i>Producto Mycoup Bioestimulante (Glomus Iranicum)</i>	27
Figura 2.7 <i>Croquis y diseño del campo experimental</i>	28
Figura 2.8 <i>Inoculación del Azospirillum brasilense en la semilla del maíz morado</i>	30
Figura 2.9 <i>Aplicación del hongo Glomus en maíz morado</i>	31
Figura 3.1 <i>Porcentaje de emergencia en maíz morado en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba a 2336 msnm, con la aplicación de Azospirillum y Glomus</i>	34
Figura 3.2 <i>Porcentaje de emergencia de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con la aplicación de Azospirillum y Glomus en dos localidades Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho</i>	35
Figura 3.3 <i>Porcentaje de emergencia de maíz morado (Zea mays L.) con la inoculación de Azospirillum y Glomus, en dos localidades Canaán a 2735 msnm e Iribamba a 2336 msnm, Ayacucho</i>	35

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1 Resultados del análisis de suelo del Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliare - LABSAF Canaán, Centro Experimental Canaán.....	81
Anexo 2 Resultados del análisis de suelo del Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliare -LABSAF Canaán, Fundo Iribamba	81
Anexo 3 Costos y presupuestos del proyecto de investigación	82
Anexo 4 Preparación del campo experimental para la siembra.....	83
Anexo 5 Inoculación del <i>Azospirillum brasilense</i> en semilla de maíz morado (<i>Zea mays</i> L.)	83
Anexo 6 Abonamiento de fondo con Mallki	84
Anexo 7 Siembra del maíz morado en la parcela demostrativa.....	84
Anexo 8 Deshierbo del cultivo de maíz morado	85
Anexo 9 Control fitosanitario del cultivo de maíz.....	85
Anexo 10 Aporque del cultivo del maíz morado con el uso del tractor facilitado por la Estación Experimental de Canaán - INIA.....	86
Anexo 11 Dosificación y aplicación del <i>Glomus iranicum</i> var. <i>tenuihypharum</i> . en el maíz morado.....	86
Anexo 12 Evaluación de la altura de mazorca y planta del maíz	87
Anexo 13 Pesaje de mazorcas del maíz.....	87
Anexo 14 Mazorcas de maíz morado de las variedades INIA 601, INIA 615, Sintético MM, Canteño y PMV 581	88
Anexo 15 Evaluación de parámetros de crecimiento, rendimiento de la mazorca del maíz morado de las variedades INIA 601, INIA 615, Canteño, PMV 581 y Sintético MM.	89
Anexo 16 Evaluación del diámetro de la mazorca	90
Anexo 17 Evaluación del parámetro de longitud de la mazorca.	90
Anexo 18 Evaluaciones de los parámetros de la raíz del maíz morado.....	91

RESUMEN

Se analizó el rendimiento agronómico de cinco cultivares de maíz morado luego de inocular cada lote con dos microorganismos rizosféricos en las comunidades ayacuchanas de Canaán, situada a 2735 m s. n. m., e Iribamba, a 2336 m s. n. m. La investigación buscó determinar el impacto de *Azospirillum brasilense* y *Glomus iranicum* var. *tenuihypharum* sobre el crecimiento vegetativo y la cosecha final de las variedades INIA 601, INIA 615 Negro Canaán, Canteño, PMV 581 y “Sintético MM”. Para asegurar homogeneidad y reducir errores experimentales, se dispuso un diseño de bloques completos al azar, de modo que en cada bloque se asignó uno de los tratamientos microbianos, limitando así las variaciones ambientales entre ciclos: *Azospirillum*, *Glomus*, *Azospirillum* + *Glomus* y Testigo. Las semillas fueron inoculadas con *Azospirillum* 200 g/ha (turba) y 150 ml/ha (líquido) a 1.0×10^8 UFC/ml, la inoculación con *Glomus* a una dosis $3 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ con 120 propágulos/g. Se evaluaron 17 caracteres cuantitativos, entre ellos el rendimiento de mazorca, tusa y grano. La coinoculación *Azospirillum* + *Glomus* supera al testigo tanto en Canaán e Iribamba con $2923.37 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, $690.83 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, $2232.54 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$; $3825.33 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, $481.49 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, $3343.84 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, respectivamente; por otro lado, en lo que a la altura de la planta y de la mazorca se refiere, la inoculación de ambos microorganismos en Canaán e Iribamba superó al testigo en 40.58 cm, 25.36 cm y 31.28 cm, 21.94 cm, respectivamente; en la raíz el peso, longitud, volumen, diámetro, ramificaciones de raíz superando al testigo en 101.79 g, 5.54 cm, $13.92 \text{ cm}^3/\text{planta}$, 0.45 mm y 12.28 unidades, respectivamente; Del mismo modo, las variedades Canteño, INIA 615 Negro Canaán e INIA 601 reaccionaron positivamente a los tratamientos; la inoculación con organismos promotores del crecimiento, tal como *Azospirillum* y *Glomus*, surge como una estrategia viable para elevar el rendimiento del maíz morado sin recurrir en exceso a la fertilización química.

Palabras clave: *Azospirillum*, *Glomus*, maíz morado.

INTRODUCCIÓN

El maíz morado (*Zea mays* L.) es una variedad andina de maíz donde su historia se anida entre las montañas de Perú y Bolivia. Aparte de su intenso color violeta, este maíz tiene propiedades nutricionales y un significado cultural muy particular (Mayorga & Pérez, 2018). Su tonalidad se debe a las antocianinas, pigmentos flavonoides con fama de antioxidantes que combaten el estrés oxidativo; se les atribuyen beneficios como prevenir el cáncer, cuidar el corazón, reducir la inflamación y fortalecer las defensas del cuerpo (Medina et al., 2020).

Durante los últimos cinco años, la producción de maíz morado y la extensión de terreno ocupada por este cultivo han experimentado un crecimiento sostenido, con un promedio anual de 2,7 en la producción y 2,4 en el área sembrada. El rendimiento promedio a nivel nacional se sitúa ahora en 5,6 t ha⁻¹. Esta variedad de maíz se siembra en trece regiones del país, pero Lima, Ayacucho, Cajamarca, Ancash, Arequipa y Huánuco aportan el 80 de la producción. Ayacucho, la segunda región en importancia, concentra el 35 de la cosecha, y sus principales zonas productivas son las provincias de Huanta, Huamanga y Lucanas (MIDAGRI, 2022).

El maíz morado se adapta razonablemente bien a los valles interandinos; no obstante, los rendimientos siguen siendo bajos, principalmente porque los agricultores no aplican un manejo adecuado y utilizan semillas que no cuentan con certificación.

El uso excesivo de fertilizantes genera la dependencia en las futuras siembras por ello como alternativa sostenible y ecológica el empleo de microorganismos beneficiosos, como *Azospirillum* y *Glomus*, para incrementar la productividad.

Objetivo general

Evaluar la respuesta agronómica de cinco variedades de maíz morado a la aplicación de *Azospirillum* y *Glomus* en condiciones de Canaán (2735 msnm) e Iribamba (2336 msnm), Ayacucho.

Objetivos específicos

1. Evaluar la respuesta agronómica de cinco variedades de maíz morado a la aplicación de *Azospirillum* y *Glomus* en los componentes del **crecimiento** en condiciones de Canaán 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho.
2. Evaluar la respuesta agronómica de cinco variedades de maíz morado a la aplicación de *Azospirillum* y *Glomus* en los componentes del **rendimiento** en condiciones de Canaán 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho.
3. Evaluar la respuesta agronómica de cinco variedades de maíz morado a la aplicación de *Azospirillum* y *Glomus* en los componentes del **desarrollo de raíz** en condiciones de Canaán 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes de la investigación

Escalante (2014), llevó a cabo una investigación comparativa empleando distintos métodos de inoculación con dos cepas de *Azospirillum sp.* en cultivos de maíz morado (*Zea mays L.*).

Los ensayos tuvieron lugar a 2682 msnm, en el caserío Espíritu Santo, provincia de Huanta. Antes de la siembra, se analizaron propiedades físicas y químicas del suelo para fijar la dosis óptima de fertilizante en cada tratamiento, y las semillas fueron inoculadas en medios líquidos y sólidos justo antes de la siembra. El diseño experimental fue un arreglo de bloques al azar, con seis tratamientos y tres réplicas por tratamiento. Los mayores rendimientos correspondieron a T6 (fertilizantes sintéticos), seguido de T4 (segunda cepa en medio sólido) y T3 (segunda cepa en medio líquido), que produjeron 7761,11, 7111,73 y 7299,82 kg.ha⁻¹, respectivamente.

El tratamiento T5 (testigo), o grupo control, mostró el contenido más alto de sólidos en la mazorca, alcanzando 55,80 %. En cuanto a la materia seca acumulada en toda la planta, el mejor rendimiento correspondió al tratamiento T3, que usó la segunda cepa formulada en medio líquido, con un 40,80 %. Cabe señalar que el tratamiento T2, donde se aplicó la primera cepa sobre un soporte sólido, presentó el índice de tinción más elevado.

Gómez (2014), examinó el efecto de diferentes concentraciones de *Glomus iranicum* sobre cultivos de *Zea mays L.* en un invernadero de la región Ayacucho, con el fin de determinar los beneficios que estos propágulos podrían aportar al crecimiento del maíz.

Se probaron cinco variantes experimentales: 25, 50, 75 y 100 propágulos de *Glomus sp.* por recipiente, además de un grupo testigo sin inoculación. Los

tratamientos se establecieron en contenedores de 1 kg de capacidad, empleando sustrato previamente desinfectado. Tanto las esporas como las semillas fueron desinfectadas antes de la siembra, la cual se realizó en un laboratorio con condiciones de higiene controladas. Posteriormente, las macetas fueron trasladadas al invernadero, donde se mantuvieron durante un período de 100 días. Al concluir este periodo, se examinaron diversos indicadores, tales como el porcentaje de ocupación radicular, la cantidad de propágulos, la extensión de la biomasa aérea (en centímetros), la masa fresca y seca de la parte superior (en gramos), así como el número de raíces primarias. Los hallazgos evidenciaron diferencias estadísticamente relevantes en la proporción de ocupación radicular y en la cantidad de propágulos para las variantes experimentales con mayores concentraciones: 100 propágulos (82.5% y 5207 unidades reproductivas) y 75 propágulos (80% y 3623 unidades reproductivas). De igual manera, las variantes experimentales con 50 y 25 propágulos (3277 y 3163 unidades reproductivas, respectivamente) también evidenciaron resultados positivos. En cuanto a las propiedades generales de las plantas, se constató que la aplicación de 100 y 75 propágulos de *Glomus sp.* favoreció una mayor cantidad de raíces primarias, mientras que las variantes experimentales con 50 y 25 unidades reproductivas exhibieron un desarrollo semejante al del grupo testigo.

Gutiérrez (2019), investigó la inoculación con HMA y bacterias promotoras del crecimiento (*Azospirillum sp.*) en plantas de maíz tipo amiláceo bajo condiciones altoandinas en el distrito de Quinua, en Ayacucho a una altitud de 3180 msnm.

El estudio incluyó cinco tratamientos: un control, aplicación de biofertilizantes con hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA), bioestimulación con la bacteria *Azospirillum sp.*, inoculación combinada de HMA y *Azospirillum sp.*, y aporte de nutrientes mediante fertilización química., todo ello bajo un diseño experimental de bloques completamente al azar. Los resultados indicaron que el tratamiento con HMA obtuvo el mayor rendimiento, alcanzando 3.18 TM de grano seco por hectárea, seguido por la fertilización química (2.88 TM), el control (2.67 TM), la aplicación de *Azospirillum sp.* (1.93 TM) y la combinación de HMA y *Azospirillum sp.* (1.83 TM). Asimismo, se observó que la utilización de *Azospirillum sp.* favoreció el desarrollo precoz de la planta, permitiendo que la etapa de recolección se completara a los 207 días posteriores a la siembra. Desde

una perspectiva económica, la aplicación de (HMA) demostró mayor rentabilidad (índice de 2.04), superando al control (1.97), la “fertilización química” (1.31) y *Azospirillum sp.* (1.05). No obstante, la co-inoculación HMA + *Azospirillum sp.* mostró una rentabilidad negativa (0.62), atribuida a los elevados costos de producción y los bajos rendimientos registrados.

Roveda & Polo (2007), Analizó los mecanismos mediante los cuales el maíz, en asociación con *Glomus spp.*, se adapta a suelos con deficiencia de fósforo.

El experimento se realizó utilizando un esquema experimental de bloques completamente aleatorizados, conformado por seis variantes experimentales y seis repeticiones para cada una de ellas. Se dispusieron tres concentraciones de fósforo en el sustrato (1, 40 y 100 mg·kg⁻¹), aplicadas tanto de manera individual como en combinación con la inoculación de *Glomus spp.*. Los hallazgos revelaron que la reducción del área foliar y de la materia seca, registrada a los 20 días después de la emergencia, estuvo asociada a la baja disponibilidad de fósforo. Como respuesta adaptativa a esta deficiencia, las plántulas redistribuyeron carbohidratos desde las hojas hacia las raíces, alterando así el equilibrio de materia seca, un fenómeno que se hizo evidente a los 10 días de iniciado el estrés. Las plantas inoculadas con *Glomus* presentaron tasas de crecimiento superiores, mejor estado nutricional (N, K, P, Mg, Ca, S) y mayor proporción de azúcares en sus tejidos, esto se relaciona con la importancia clave del fósforo en la producción de carbohidratos, asimismo, en las variantes experimentales con 1 y 40 mg·kg⁻¹ de fósforo, los ejemplares asociados con micorrizas evidenciaron un incremento en la concentración de proteínas en sus tejidos. Los hallazgos indican que *Glomus spp.* contribuye a la producción de proteínas asociadas a la respuesta al estrés causado por la carencia de fósforo, generando una regulación diferencial de genes y la síntesis de nuevas proteínas, conocidas como micorrizinas, que pueden mejorar la capacidad de las plantas para adaptarse a ambientes desfavorables.

Pérez-Luna & Álvarez (2021), estudiaron el efecto de aplicar biofertilizantes en el cultivo de maíz en situaciones con y sin cobertura vegetal.

La investigación se llevó a cabo durante la temporada de primavera-verano, en el municipio de Tenejapa, Chiapas, México. Siete parcelas se destinaron al cultivo de maíz, de las cuales tres habían recibido previamente un cultivo de frijol nescafé

(*Mucuna deeringiana* Merr.). Las otras cuatro parcelas carecían de la cobertura anterior. Cada bloque se segmentó en áreas experimentales de 1500 m², donde se asignaron aleatoriamente cuatro tratamientos: (1) inoculación con hongos micorrízicos arbusculares; (2) aplicación de fertilizante foliar; (3) la combinación de ambos; y (4) un testigo sin inoculación ni fertilización, de acuerdo con un diseño de bloques completamente aleatorizado. Los hallazgos revelaron que la cobertura previa favoreció el rendimiento del maíz, con un promedio de 4213.7 kg/ha ($p = 0.013$), Incrementos superiores a 1000 kg/ha en comparación con el testigo en determinados casos, respecto al testigo en algunos casos. Se observó una alta colonización micorrízica en las raíces, y no se evidenció influencia estadísticamente significativa de la aplicación de fertilizante foliar en el rendimiento. En conjunto, tanto La adopción previa de cultivos de cobertura junto con la inoculación micorrízica contribuyeron a mejorar la productividad del maíz.

1.2 Cultivo de maíz morado

De acuerdo con Sánchez (2014), el maíz es una monocotiledónea ampliamente cultivada a nivel global y constituye un alimento fundamental para gran parte de la población. Las especies pertenecientes al género *Tripsacum*, incluidas en la familia de las gramíneas y en la tribu Maydeas, constituyen variantes silvestres del maíz originarias del continente americano; sin embargo, no poseen relevancia económica inmediata.

1.2.1 Origen y distribución del maíz morado

El maíz, originario de América, forma parte de la familia Poaceae. Es la única especie de su grupo que tiene un destacado valor económico en la producción agrícola y se clasifica dentro de la tribu Maydeas (Mayorga & Pérez, 2018).

Existen diversas teorías sobre el origen del maíz y aún persiste debate entre los especialistas en su domesticación. Se estima que el maíz figura entre las primeras plantas cultivadas por los seres humanos, con una antigüedad aproximada de entre 7,000 y 10,000 años. Las evidencias arqueológicas antiguas provienen de México, donde se hallaron pequeñas mazorcas de una antigüedad de 5,000 años en cuevas habitadas por comunidades primitivas (FAO, 2016).

Desde principios del siglo, investigaciones llevadas a cabo por Vavilov y otros autores como Bukasov (1981) y Vavilov (1997) evidenciaron que la mayor diversidad genética de las plantas cultivadas se encuentra en regiones específicas del mundo, conocidas como los "centros de origen y diversidad". Entre estas, Mesoamérica se distingue como una de las siete regiones identificadas por Vavilov, donde se destacan los cultivos de maíz por su amplia diversidad genética y la existencia de especies y subespecies silvestres relacionadas, como el teosintle (FAO, s. f.).

Según Maita et al. (2021), Estudios arqueológicos muestran que la diversificación del maíz en Perú tiene un origen de alrededor de 7,000 años, momento en el que ya se cultivaban variadas razas en lugares como el valle de Chicama. Tales descubrimientos coinciden con los datos aportados por las excavaciones en Los Gavilanes, en Huarmey, costa norte peruana. Gracias a esto, el principal responsable del descubrimiento en Chicama pudo precisar que, hace alrededor de 4,000 años, existían al menos tres razas diferentes de maíz: Proto Confite Morocho, Chavinenese y Kculli Confite.

La raza Kculli está relacionada con el maíz morado contemporáneo, cuyo nombre en quechua significa "negro". Se han encontrado vestigios de esta variedad en las culturas Paracas y Nazca, con una antigüedad de aproximadamente 2,500 años. Se observa una gran variabilidad dentro del maíz morado, el cual se distingue de otras razas principalmente por el tono morado del pericarpio de sus granos y de la tusa. Asimismo, la lígula de sus hojas exhibe una coloración marrón oscura (Maita et al., 2021).

1.2.2 Categorización taxonómica en maíz morado

Según Medina (2022), el maíz morado se categoriza de la siguiente manera:

Tabla 1.1

Categorización Taxonómica en maíz morado

Característica	Detalle
Reino	: Plantae
División	: Tracheophyta
subdivisión	: Spermatophytina
Clase	: Magnoliopsida
superorden	: Liliales
Orden	: Poales
familia	: Poaceae
genero	: Zea L.
especie	: <i>Zea mays</i> L.

1.2.3 Rasgos morfológicos del maíz morado

La planta es monoica y exhibe un marcado tono morado oscuro, particularmente en el tallo y en la mazorca, fenotipo que se atribuye a la acumulación de antocianinas. Desarrolla una panoja que contiene flores estaminadas funcionales, junto con mazorcas que surgen en la parte inferior y llevan flores pistiladas; estas últimas emergen, por lo general, entre el quinto y el sexto nudo contando desde la panoja (Medina, 2022).

Figura 1.1

Mazorcas de maíz morado



Raíz. Las raíces adventicias no surgen de la radícula del embrión; en cambio, emergen de otros segmentos de la planta, como el tallo, las hojas e inclusive de raíces más viejas, y desempeñan labores de absorción y sujeción, sobre todo en fases avanzadas del crecimiento o cuando se presentan condiciones particulares (Medina, 2022).

Esa red de raíces adventicias agarra el suelo y mantiene erguida a la planta, y esta corona sigue apareciendo hasta que brotan los primeros entrenudos por encima de la línea del suelo. Se calcula que alrededor del setenta y cinco por ciento de la biomasa radicular se acumula en los primeros ciento veinte a ciento cincuenta centímetros de profundidad (Medina, 2022).

Tallo. Funciona como canal de nutrientes y reserva temporal de carbohidratos. Según la variedad y las condiciones ambientales, puede tener entre veinte y treinta nudos separados por entrenudos. Esta organización comienza a desarrollarse en las etapas iniciales del crecimiento vegetativo. De cada nudo parte una hoja, cuya anatomía se descompone en tres regiones: una lámina larga y plana, marcada por un nervio central y venas paralelas; una vaina que rodea al entrenudo; y una lígula que hace el enlace entre la vaina y la lámina (Medina, 2022).

Hoja. Según Medina (2022), señala que la hoja se dispone de manera ascendente a lo largo del tallo y se divide, por practicidad, en tres partes bien delimitadas: una lámina angosta y plana, donde una nervadura central y nervios secundarios avanzan casi en paralelo; una vaina que envuelve el entrenudo; y una lígula que une ambos componentes.

Panoja. Según Medina (2022), explica que la dehiscencia del polen comienza en la zona baja del tercio medio-alto del eje principal de la panoja y avanza de modo gradual hacia los extremos, conforme el sistema merece la expansión horizontal. Una vez que toda la panoja se ha desplegado, la inflorescencia alcanza la capacidad de liberar entre 15 y 50 millones de granos de polen que el viento dispersa, garantizando así la polinización Medina (2022).

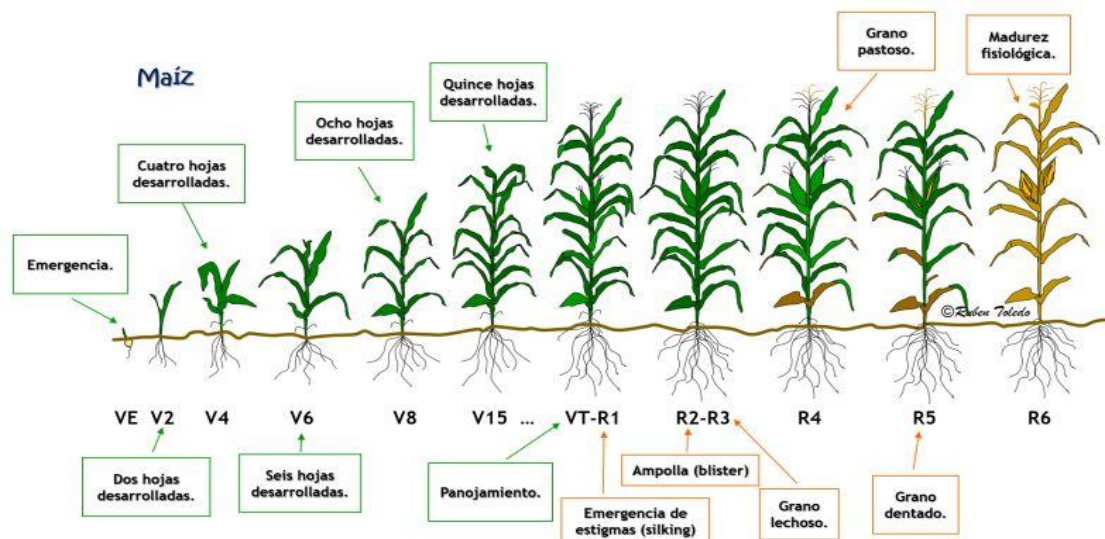
Mazorca. Según Medina (2022), la mazorca presenta un cariátide púrpura oscuro que se relaciona directamente con la presencia de antocianinas en el revestimiento. Su longitud resulta variable y depende, a su vez, de la densidad de individuos vegetales implantados en el terreno: cuanto mayor sea esta, menor será el tamaño. Las hileras oscilan entre 8 y 24, conforme a la variedad, y, en la práctica agrícola, la población de plantas puede ser todavía más elevada (Medina, 2022).

Grano. Según Medina (2022), indica que el tamaño del grano está influido tanto por el ambiente durante el cultivo como por la densidad de plantas sembradas por hectárea; en general, una siembra más densa tiende a producir granos más pequeños. Del mismo modo, la cantidad de hileras que se forma por espiga varía de una variedad a otra y se sitúa en un rango que va de ocho a veinticuatro (Medina, 2022).

1.2.4 Fenología del maíz morado

Figura 1.2

Ciclo fenológico del maíz morado



Medina (2022), describe que el maíz presenta fases vegetativas (VE, V2, V4, V6, V8, V15, VT) y reproductivas (R1, R2–R3, R4, R5, R6), cada una con características fenológicas bien definidas.

1.2.5 Condiciones climáticas

El cultivo investigado puede cultivarse en una amplia gama de climas en la costa y la sierra peruana, gracias a la capacidad de adaptarse a diferentes condiciones climáticas. En cualquier lugar donde se produzca, se aprovechan principalmente los climas secos y con temperaturas moderadas, típicos de las regiones de valle interandino en las cuencas hidrográficas del Pacífico y del Atlántico, ubicados entre los 600 – 2500 msnm. Estas condiciones climáticas favorecen su crecimiento y rendimiento (Pinedo, 2015).

La especie exhibe una notable adaptación a las condiciones ecológicas de la sierra intermedia, región caracterizada por pendientes, quebradas y altiplanicies ubicadas entre 1 800 y 2 800 metros sobre el nivel del mar (Pinedo, 2015).

1.2.6 Condiciones edáficas

Según Pinedo (2015), el maíz se desarrolla mejor en suelos fértiles, francos, profundos, bien drenados y con alta retención de humedad, mientras que un pH óptimo se sitúa entre 6 y 7.

1.2.7 Manejo agronómico

Preparación del suelo. Según Pinedo (2015), El éxito en la germinación y el desarrollo del sistema radicular depende de una adecuada preparación del terreno, lo que implica realizar labores como el arado y la formación de surcos, manteniendo una distancia de 80 a 90 centímetros entre ellos. Además, es fundamental aplicar un riego controlado para asegurar la humedad óptima del suelo, favoreciendo así el establecimiento inicial de las plantas. Preparar el terreno es esencial porque contribuye a aflojar la tierra, optimiza su ventilación y facilita la incorporación de materia orgánica. Asimismo, resulta clave eliminar insectos que puedan estar en estado latente y exponer adecuadamente el suelo a posibles hongos y bacterias, ya que estos organismos, si están presentes, pueden perjudicar la salud de las plantas.

Siembra. Según Pinedo (2015), las características del clima durante el año y la duración del ciclo de la variedad influyen en el momento de la siembra. Se recomienda realizar en suelos con una uniforme profundidad, no superior a 10 cm, asegurándose de que estén adecuadamente preparados y con suficiente humedad para obtener uniformidad de emergencia de las plantas.

Riego. Según Pinedo (2015), sostiene que el riego implica utilizar la capacidad del suelo para almacenar humedad en la zona radicular, con el propósito de reponer el agua perdida por las plantas a través de la evapotranspiración. Este proceso puede ser gestionado por el agricultor con distintos grados de control, permitiendo así optimizar el suministro hídrico según las necesidades del cultivo.

Control de malezas. De acuerdo con Pinedo (2015), señala que el control de malezas es esencial para mantener el cultivo libre de competencia, especialmente durante los primeros 45 días después de la siembra. Este manejo se efectúa principalmente mediante la remoción manual con azadones para eliminar las malezas presentes en el campo.

Control fitosanitario. Es fundamental mantener bajo control la ocurrencia de insectos dañinos y patologías en los cultivos, ya que su proliferación puede causar pérdidas significativas. Para ello, se implementa un manejo integrado que incluye métodos como el control mecánico, biológico, etológico y químico (Medina, 2022).

Deshije. Con el fin de establecer la densidad adecuada de plantas por superficie cultivada, se procede a eliminar aquellos individuos considerados excedentes durante cada intervención. Esta práctica se lleva a cabo cuando las plántulas alcanzan cerca de 20 centímetros de altura, seleccionando entre una y tres de las más vigorosas por punto de siembra (Pinedo, 2015).

Aporque. Se realizan dos aplicaciones de aporque en los momentos adecuados: la primera, a una altura de 30 cm, la segunda cuando miden entre 40 y 50 cm. El aporque es esencial, ya que favorece una adecuada sujeción de las plantas, mejora la circulación del aire en el suelo y favorece a eliminar las malezas. Este proceso es vital, ya que facilita la incorporación de la segunda dosis de fertilizante nitrogenado, previene el crecimiento de malezas, oxigena el suelo, controla la presencia de insectos y proporciona sostén al cultivo, protegiéndolas del viento y del peso de las mazorcas de maíz (Pinedo, 2015).

Cosecha. Esta etapa consiste en recolectar las espigas del cultivo y retirarles la cubierta conocida como "panca". El procedimiento se efectúa usualmente cuando el grano alcanza un nivel de humedad cercano al 30% (Pinedo, 2015).

Secado. Corresponde a la fase final del ciclo del cultivo de maíz, y su adecuada ejecución es fundamental, ya que permite preservar la calidad del grano y disminuir las pérdidas asociadas a cosechas tardías (Pinedo, 2015).

1.3. Bacteria PGPR *Azospirillum brasilense*

Desde la década de los 70, la inoculación con *Azospirillum brasilense* se ha convertido en una práctica habitual, pues esta bacteria favorece el crecimiento de raíces, intensifica la asimilación de nitrógeno, refuerza la resistencia frente a patógenos, limita el avance de especies parásitas y promueve la producción plural de fitohormonas (Licea et al., 2020).

Introducir rizobacterias que, a través de simbiosis con la raíz o con otros microorganismos, alterando la morfología de la planta como la estructura del suelo, ofreciendo una alternativa sostenible para la recuperación de suelos agrícolas degradados(Licea et al., 2020).

1.3.1. Historia

Según Licea et al.,(2020), en 1925, Beijerinck describió por primera vez el género *Spirillum lipoferum*. Después, en 1936, las observaciones de Peña-Cabrales y Döbereiner fueron a investigar esta bacteria por su habilidad para acumular nitrógeno atmosférico. El *A. brasilense* se reclasificó gracias a los estudios taxonómicos de *S. lipoferum*.

Se han registrado en la actualidad 21 especies de los cuales las primeras especies descritas fueron *A. lipoferum* y *A. brasilense* (Licea et al., 2020).

1.3.2. Característica del *Azospirillum*

Esta bacteria tiene forma de bastón, es gram negativa y presenta un movimiento tipo aleteo causado por un sistema de flagelos en disposición mixta. Sus dimensiones oscilan entre 0,8 y 1 μm de longitud y de 2 a 4 μm de ancho. Además, fija nitrógeno atmosférico (N_2) y suele encontrarse asociada a las raíces de pastos y cereales en regiones agrícolas de todo el planeta(Licea et al., 2020).

Estas cepas poseen una gran plasticidad ecológica y ya se registraron en climas templados, tropicales y subtropicales. La morfología celular varía según la calidad del medio y la fase de crecimiento del cultivo. Mientras colonizan el suelo o un medio líquido, estas células siguen siendo móviles y ajustan el patrón flagelar al ambiente. Por esa movilidad y por su capacidad de vivir dentro y fuera de las raíces, se consideran

diazótrofos endofíticos facultativos y se hallan practicantes en el mucígeno de la rizósfera (Licea et al., 2020).

Distinguiéndose por su localización en la rizósfera, esas bacterias actúan como promotoras del crecimiento vegetal, lo que las hace atractivas en prácticas agrícolas. Su interés radica sobre todo en la producción de fitohormonas que liberan mientras se establecen sobre las raíces. Estas hormonas originan cambios fisiológicos que facilitan la absorción de nutrientes, aceleran el crecimiento y, en consecuencia, incrementan el rendimiento de los cultivos (Sangoquiza et al., 2018).

La bacteria opera mejor entre 28 y 41 °C y, durante ese rango, despliega una competencia notable en las áreas radiculares de las plantas al aprovechar, entre otras, amoníaco, nitrito, nitrato, nitrógeno gaseoso, aminoácidos, y ácidos orgánicos como malato, piruvato, succinato o fructosa como sustratos de nitrógeno y carbono para su metabolismo (Domingues et al., 2020).

Cuando se inocula en cultivos, *A. brasilense* favorece la tolerancia al estrés hídrico, mejora la captación de agua y nutrientes, y contribuye al control biológico; en maíz, su aplicación ha mostrado aumentar la eficiencia productiva y disminuir costos de producción (Domínguez et al., 2020).

1.3.3. Inoculación del *Azospirillum* en la planta

Según Domingues et al., (2020), su modo de acción en la planta es:

- Producción de reguladores vegetales (citocininas, giberelinas, auxinas).
- Resistencia a la asimilación de nitrato.
- Fijación biológica de N₂.
- Tolerancia al estrés hídrico.
- Aumento del sistema radicular.
- Mayor absorción de nutrientes y agua.

1.3.4. Inoculación en maíz con *Azospirillum*

Según Licea et al. (2020), al inocular diferentes cepas de *Azospirillum* sp. en maíz (*Zea mays* L.), se observan mejoras como un mayor contenido de clorofila y un aumento

en la altura de las plantas. Los análisis de expresión génica han mostrado que, incluso cuando *Azospirillum* se mezcla con otras bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR), esta especie sigue activando en primer lugar los genes *nif*, que codifican las enzimas responsables de fijar nitrógeno. Este hallazgo refuerza la idea de que *Azospirillum* desempeña un papel central en la fijación biológica de nitrógeno en maíz. Un comportamiento similar se documenta en soya (*Glycine max*): los productos comerciales basados en *Azospirillum spp.* incrementan la biomasa radicular, el diámetro del tallo, la altura, el número de vainas y, sobre todo, el índice SPAD del tejido foliar y del suelo. Producción del ácido-3-indol acético por *Azospirillum*.

1.3.5. Producción del ácido-3-indol acético por *Azospirillum*

El ácido indol-3-acético (AIA) se considera la hormona vegetal más influyente; controla la división celular, alarga tejidos y orienta el crecimiento hacia la gravedad y la luz. Su fabricación suele iniciarse con triptófano (TRP), un aminoácido que las plantas superiores obtienen de su metabolismo general. En los meristemos apicales, en hojas jóvenes y entre los frutos en desarrollo se produce AIA por vías que dependen y que no dependen de esa misma reserva de TRP (Licea et al., 2020).

Se han descrito varias rutas biosintéticas de AIA en algunas bacterias, en especial en los cultivos de *Azospirillum spp.*, que igualmente utilizan el triptófano como su precursor. Dentro de *Azospirillum brasilense* se han caracterizado tres vías principales: el camino del ácido indol-3-pirúvico (IPyA), el de indol-3-acetonitrilo (IAN) y el de indol-3-acetamida (IAM), y también una cuarta alternativa que prescinde por completo del TRP. De forma análoga, el hongo *Trichoderma koningiopsis* produce AIA a partir del ácido antranílico o bien del ácido chorísmico. Aunque *Azospirillum spp.* puede sintetizar AIA sin recurrir al TRP, los metabolitos concretos del recorrido alternativo no han sido identificados por completo, dejando ese aspecto como una promesa para indagaciones futuras (Licea et al., 2020).

1.4. Hongos micorrízicos arbusculares (HMA)

El botánico alemán Albert Bernhard Frank fue el primero en observar los hilos de un hongo creciendo junto a las raíces de un manzano y, en 1885, decidió darles el nombre de micorriza, nombre que todavía usamos, aunque su uso ha cambiado ampliamente. Ya a principios del siglo XX se vio que sin esos hongos las orquídeas apenas podían

sobrevivir, así que el francés Bernard, en 1900, hizo hincapié en su papel clave en esa especie. Con el tiempo, y desde 1910, la curiosidad se extendió a cultivos agrícolas y plantas de jardín, por lo que muchas investigaciones empezaron a buscar cómo mejorar la relación entre hongo y planta (Velázquez, 2023).

Micorriza es ahora la etiqueta que usamos para identificar el acuerdo entre raíces vegetales y hifas fúngicas que se enredan entre sí en el suelo. Esa alianza se considera, hoy en día, el recurso más importante que la mayoría de las plantas terrestres tiene para capturar nutrientes (Camarena-Gutiérrez, 2012).

1.4.1. Colonización de la raíz

Las esporas de hongos micorrízicos pueden germinar y crecer sin la necesidad de plantas hospedantes, pero su crecimiento continuo y la formación de estructuras de infección dependen de señales específicas de las plantas. Inicialmente, las hifas se ramifican para buscar raíces, pero su crecimiento se limita a 20-30 días sin un hospedante, tras lo cual muestran modificaciones morfológicas. Las señales de las raíces fomentan la ramificación intensa y la proliferación de hifas, mientras que su ausencia impide la morfogénesis y la formación de estructuras como el apesorio. Compuestos como flavonas, flavonoides e isoflavonoides han demostrado estimular el crecimiento de hifas y favorecer las interacciones celulares en las etapas iniciales de la simbiosis arbuscular (Camarena-Gutiérrez, 2012).

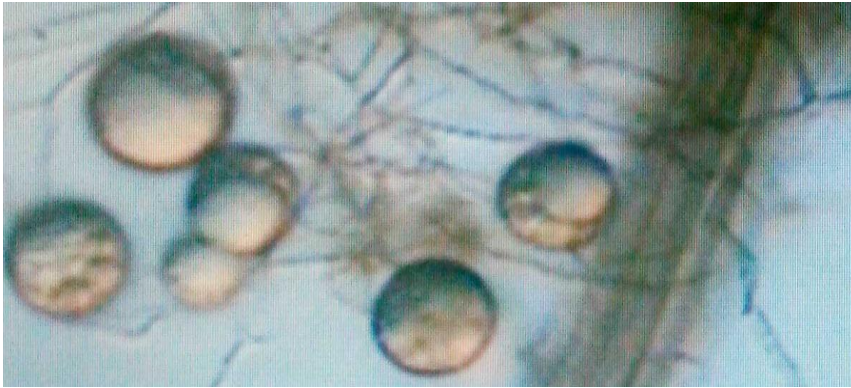
La interacción de planta – hongo micorrízico genera una reacción hipersensitiva que confronta al patógeno que ataca a la planta, esta es una defensa química, localizada, rápida y por la muerte de las células de la planta que rodean la infección (Camarena-Gutiérrez, 2012).

1.4.2. Glomus iranicum

Glomus iranicum es un hongo perteneciente a la familia Glomeraceae y al género *Glomus*. Funciona como un bioestimulante que establece una relación simbiótica con el cultivo, contribuyendo así al incremento del potencial productivo (Symborg, 2018).

Figura 1.3

Estructura del hongo micorrizico arbusculares (Glomus iranicum)



Este hongo ha sido patentado como bioestimulante conforme al Tratado de Budapest. Su uso favorece la captura de CO₂, optimiza el empleo de agua y nutrientes, y estimula rutas metabólicas ligadas a la fotosíntesis, lo que eleva la producción de fotoasimilados y origina un crecimiento adicional tanto de biomasa como de raíces, favoreciendo una mayor exploración del suelo (Symborg, 2018).

Glomus iranicum entrega agua y nutrientes a la planta, que a su vez le cede azúcares fruto de la fotosíntesis. Los nutrientes son llevados hasta la raíz mediante vesículas del hongo, un mecanismo que mitiga el daño de metales pesados sobre la planta sin perjudicar el suelo ni el medio ambiente (Symborg, 2018)

Además, este hongo favorece la tolerancia de los cultivos frente al estrés abiótico, como la salinidad, y es adecuado para suelos con un pH que varía entre 4 y 9 (Symborg, 2018).

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Lugar del experimento

2.1.1. Ubicación política

Lugar Canaán

Departamento : Ayacucho

Provincia : Huamanga

Distrito : Andrés Avelino Cáceres Dorregaray

Lugar : Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) – Centro
Experimental Canaán, Ayacucho

Lugar Iribamba

Departamento : Ayacucho

Provincia : Huanta

Distrito : Luricocha

Lugar : Fundo Iribamba – UNSCH

2.1.2. Ubicación geográfica

Lugar Canaán

Latitud : 13° 9' 49.557" S

Longitud : 74° 12' 6.405" O

Altitud : 2735 m.s.n.m.

Región natural: Región Quechua

Lugar Iribamba

Latitud : 12°54'42.54"S

Longitud : 74°18'23.37"O

Altitud : 2336 m.s.n.m.

Región natural: Región Quechua

Figura 2.1

Mapa que señala la posición exacta del ensayo INIA-CANAÁN dentro del distrito de Andrés Avelino Cáceres Dorregaray, provincia de Huamanga y departamento de Ayacucho, elaborado con el programa QGIS y tomando como base archivos Shapefile

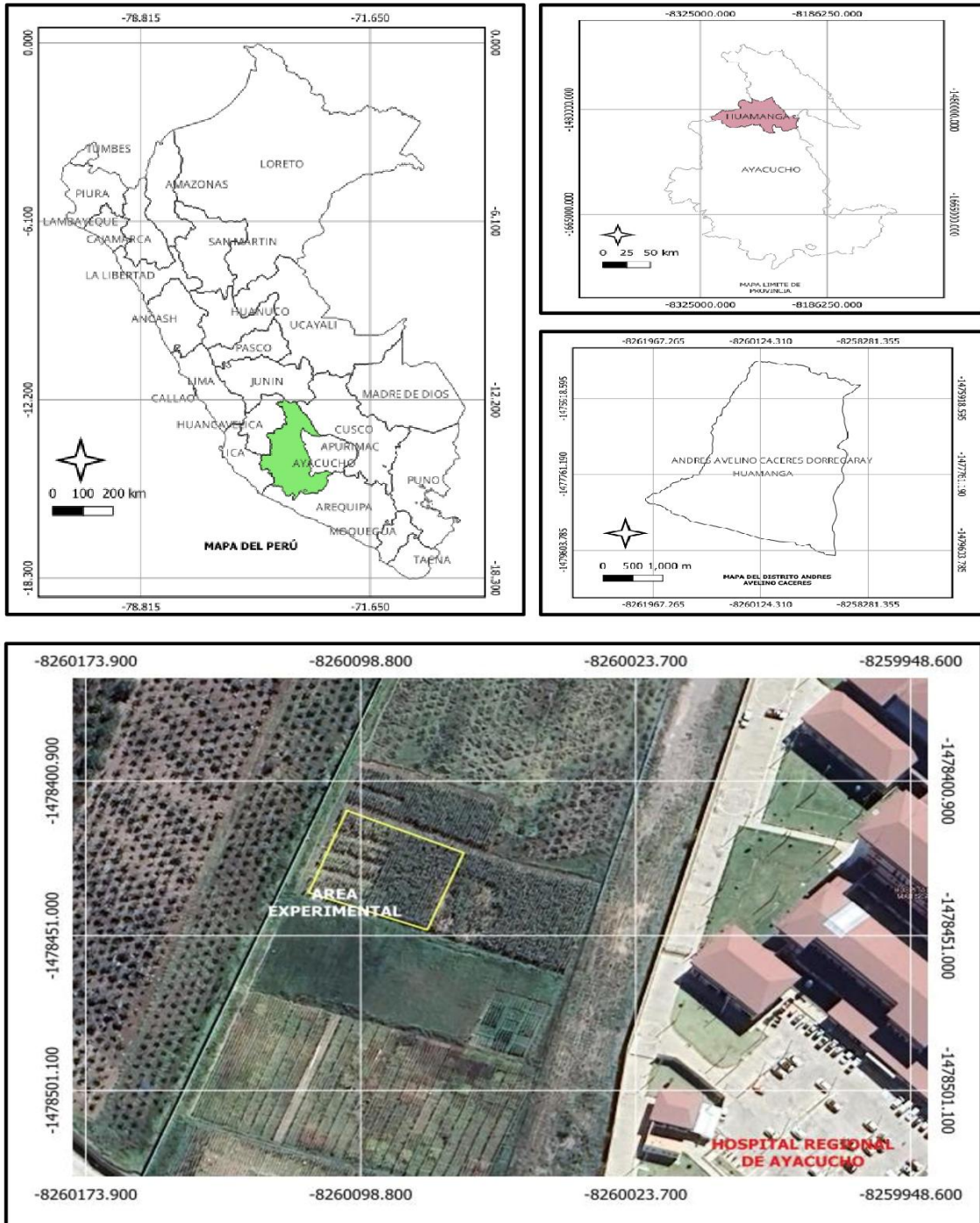
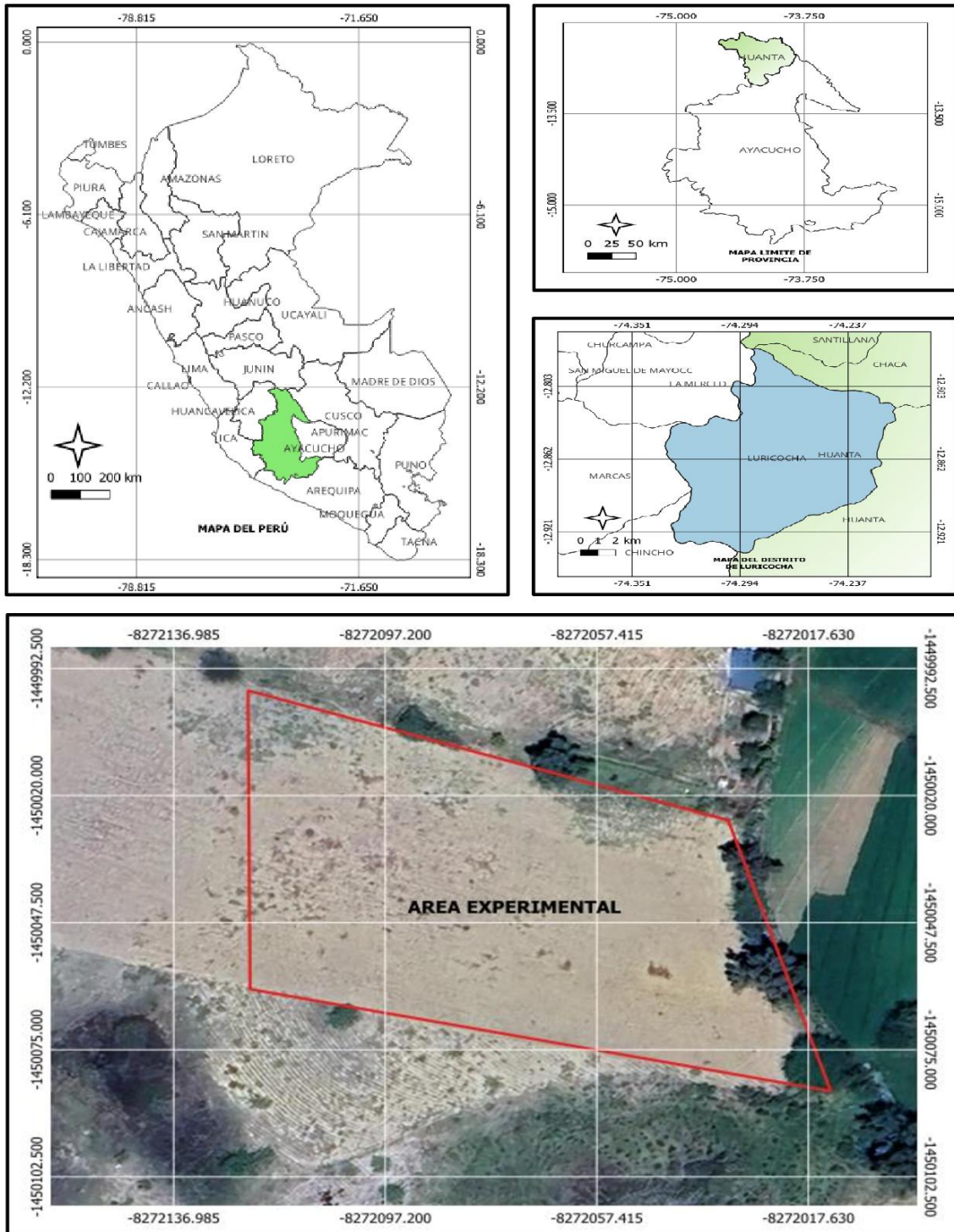


Figura 2.2

Mapa que muestra la localización precisa del experimento dentro del Fundo de Iribamba, que se sitúa en el distrito de Luricocha, provincia de Huanta y departamento de Ayacucho, y fue elaborado con el programa QGIS utilizando archivos Shapefile



2.2. Antecedentes del suelo

Es un suelo en descanso de 3 años cuya pendiente es de 2 %, cuya vegetación estuvo conformado por el maíz, papa, quinua.

2.3. Condiciones climáticas

Tabla 2.1

Datos climáticos de la EEA Canaán 2023 – 2024

Campaña 2023-2024														
Descripción	UNID.	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	Total
T° máx.	°C	25.74	26.52	25.97	26.43	26.43	25.54	24.84	24.63	24.23	25.74	26.08	24.67	
T° min	°C	7.13	8.12	10.37	12.24	11.94	11.63	11.76	11.43	11.62	9.93	9.31	6.99	
T° med	°C	16.44	17.32	18.17	19.34	19.19	18.59	18.30	18.03	17.93	17.84	17.70	15.83	
Número de días		31	31	30	31	30	31	31	29	31	30	31	30	
Factor		4.96	4.96	4.8	4.96	4.8	4.96	4.8	4.64	4.96	4.8	4.96	4.8	
Precipitación	mm	0	1.2	17.4	26	42.8	93	80.1	157.8	194.6	21	43.3	17.8	695
ETP mm	mm	139	154.9	182.6	157.6	141.4	127.2	128.8	117	117	97	117.8	106.9	1587.2
Factor		0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	
ETP Ajust	mm	55.6	61.96	73.04	63.04	56.56	50.88	51.52	46.8	46.8	38.8	47.12	42.76	
H del suelo	mm	-55.6	-60.8	-55.6	-37	-13.8	42.12	28.58	111	147.8	-17.8	-3.82	-25	
Exceso	mm						42.12	28.58	111	147.8				
Déficit	mm	-55.6	-60.8	-55.6	-37	-13.8					-17.8	-3.82	-25	

Tabla 2.2

Datos climáticos del Fundo de Iribamba 2023 – 2024

Descripción	Campaña 2023 - 2024													Total
Meses	unidad	JUL	AGOS	SEPT	OCT	NOV	DIC	ENE	FEBR	MAR	ABR	MAY	JUN	
T° min	°C	1.06	1.77	3.53	4.78	4.63	3.27	4.48	3.61	3.25	2.31	0.45	-2.47	
T° máx.	°C	27.24	31.37	28.07	27.68	27.89	20.53	25.91	25.66	24.68	26.34	27.31	24.93	
T° C	°C	14.15	16.57	15.80	16.23	16.26	11.90	15.20	14.64	13.97	14.33	13.88	11.23	
Nro. de días		31	31	30	31	30	31	31	29	31	30	31	30	
Factor		4.96	4.96	4.80	4.96	4.80	4.96	4.96	4.64	4.96	4.80	4.96	4.80	
Precipitación	mm	0	4.1	13.9	27.3	30.5	56.5	93.9	142.7	119.9	24.9	32.3	4.6	550.6
ETP (mm)	mm	119.5	125	109.7	110.2	127.6	76.9	105.3	87.8	83.6	78.2	86.1	74.5	1184.40
FC		0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	
ETP ajustada	mm	54.97	57.50	50.46	50.69	58.70	35.37	48.44	40.39	38.46	35.97	39.61	34.27	
H del suelo	mm	-54.97	-53.40	-36.56	-23.39	-28.20	21.13	45.46	102.31	81.44	-11.07	-7.31	-29.67	
Exceso	mm						21.13	45.46	102.31	81.44				
Déficit	mm	-54.97	-53.40	-36.56	-23.39	-28.20					-11.07	-7.31	-29.67	

Figura 2.3

Climograma referencial de EEA – Canaán elaborado por el software Excel

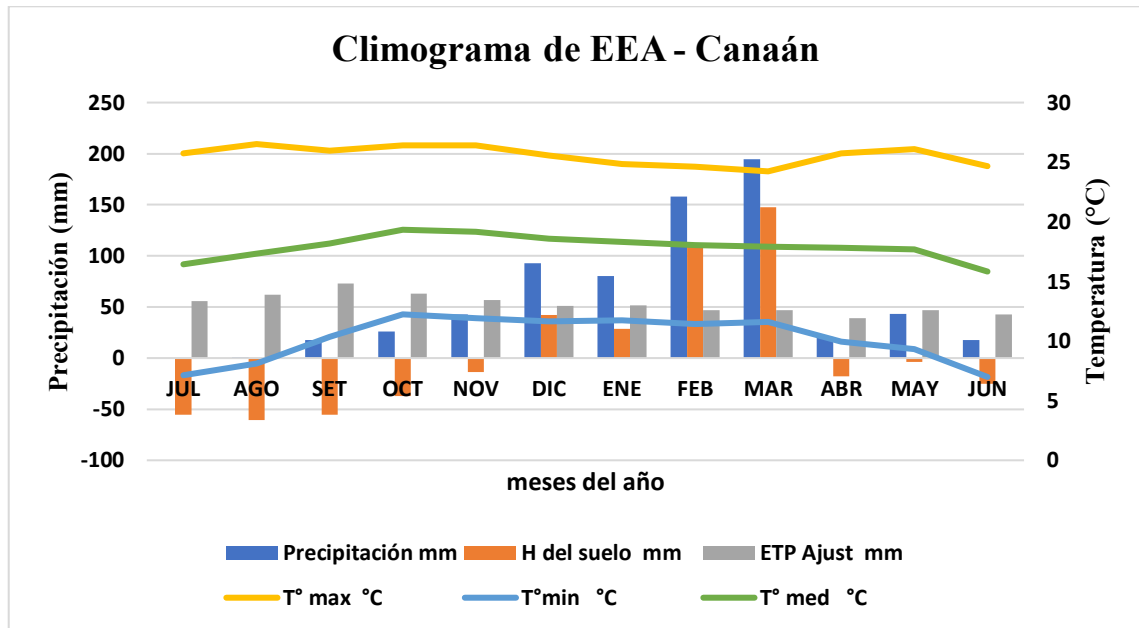
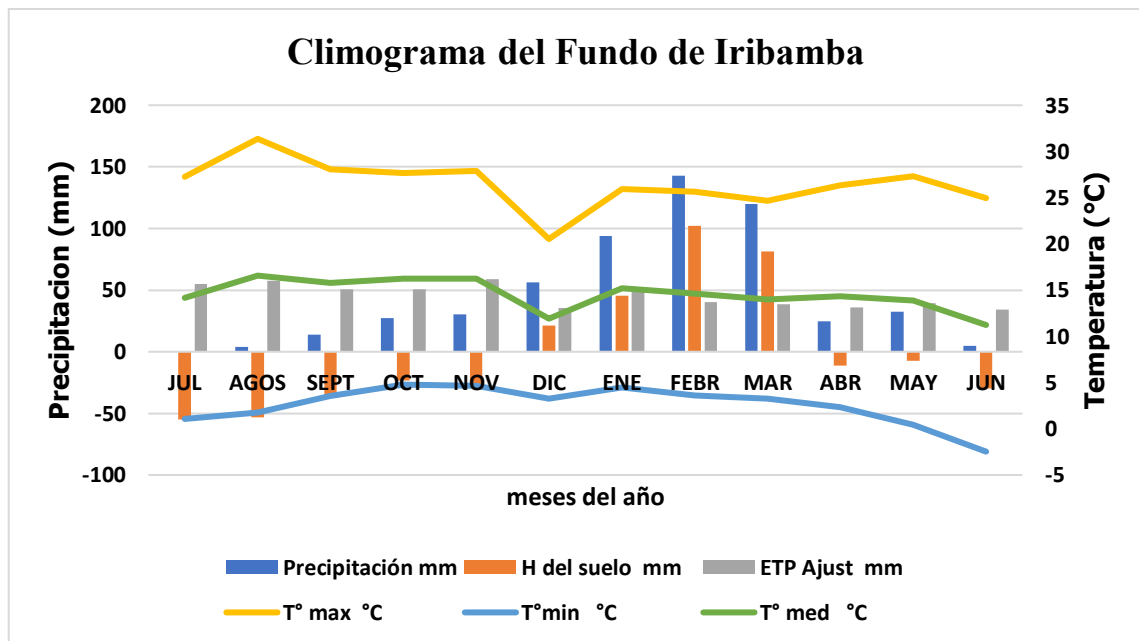


Figura 2.4

Climograma referencial del Fundo de Iribamba elaborado por el software Excel



2.4. Características físico – químicas del suelo

Se extrajo una muestra de suelo de 20 cm de profundidad, luego se llevó al laboratorio de suelos, aguas y foliares de la Estación Experimental Canaán (LABSAF – CANAÁN) del Instituto Nacional de Investigación e Innovación Agraria (INIA).

Tabla 2. 3

Interpretación de los resultados de la parcela experimental del Instituto Nacional de Innovación Agraria – EEA Canaán, Andrés Avelino Cáceres Dorregaray Huamanga

Descripción	Valores	Unidad	Interpretación
pH	7.80	--	Medianamente alcalino
CE	0.131	dS/cm	Normal
CO ₃ (**)	0.00	%	Normal
MO (**)	2.30	%	Medio
P (**)	15.79	Ppm	Alto
K (**)	1.99	Ppm	Alto
CICe	46.48	meq/100 g	Muy alto
Nt (**)	0.12	%	Pobre
Textura	Fr	--	Franco
Acidez intercambiable (**)	0.00	--	--
Ca ⁺⁺	37.93	meq/100 g	Alto
Mg ⁺⁺	6.10	meq/100 g	Alto
K ⁺	1.99	meq/100 g	Alto
Na ⁺	0.46	meq/100 g	Normal

Tabla 2. 4

Interpretación de los resultados de la parcela experimental del Fundo de Iribamba, Luricocha, Huanta

Descripción	Valores	Unidad	Interpretación
pH	7.60	--	Medianamente alcalino
CE	0.831	dS/cm	Normal
CO ₃ (**)	0.00	%	Normal
MO (**)	1.8	%	Bajo
P (**)	12.99	Ppm	Alto
K (**)	380.99	Ppm	Alto
CICe	43.77	meq/100 g	Muy alto
Nt (**)	0.09	%	Pobre
Textura	Fr	--	Franco Limoso
Acidez intercambiable (**)	0.00		
Ca ⁺⁺	35.54	meq/100 g	Alto
Mg ⁺⁺	3.79	meq/100 g	alto
K ⁺	1.82	meq/100 g	Alto
Na ⁺	2.62	meq/100 g	Posible toxicidad por sodio

2.5. Tratamientos y material genético

2.5.1. Tratamientos

El material genético consta de 5 variedades y 4 tratamientos en dos lugares: Instituto Nacional de Innovación Agraria (Canaán) y Fundo de Iribamba.

Las combinaciones de microorganismos son:

Te: Testigo (sin microorganismos)

Az: El tratamiento con *Azospirillum brasilense*, tanto en su forma sólida "turba" (0.200 kg.ha⁻¹) como en su forma líquida (0.150 L.ha⁻¹), se aplicó a las semillas media hora antes de plantarlas a una concentración de 1.0 x 10⁸ UFC /g/ml. Se aplicó una dosis adicional de refuerzo en su forma líquida (0.150 L.ha⁻¹), antes del inicio de la floración.

Gl: Aplicación de *Glomus iranicum* (3 kg.ha⁻¹), se realizó tras el aporque.

Az + Gl: *Azospirillum brasilense* junto con *Glomus iranicum* se aplicó en una concentración de 0.200 kg.ha⁻¹ y 0.150 L.ha⁻¹ + 3 kg.ha⁻¹, respectivamente.

Tabla 2. 5

Tratamientos de cinco variedades de maíz morado con Azospirillum brasilense y Glomus iranicum

Microorganismo	Bloque	Tratamiento	Variedad
Testigo (Sin microorganismo)		t1	INIA 615 v1
Testigo (Sin microorganismo)		t2	INIA 601 v2
Testigo (Sin microorganismo)	b1	t3	Canteño v3
Testigo (Sin microorganismo)		t4	PMV 581 v4
Testigo (Sin microorganismo)		t5	Sintético MM v5
<i>Azospirillum</i>		t1	INIA 615 v1
<i>Azospirillum</i>		t2	INIA 601 v2
<i>Azospirillum</i>	b2	t3	Canteño v3
<i>Azospirillum</i>		t4	PMV 581 v4
<i>Azospirillum</i>		t5	Sintético MM v5
<i>Glomus</i>		t1	INIA 615 v1
<i>Glomus</i>		t2	INIA 601 v2
<i>Glomus</i>	b3	t3	Canteño v3
<i>Glomus</i>		t4	PMV 581 v4
<i>Glomus</i>		t5	Sintético MM v5
<i>Azospirillum</i> + <i>Glomus</i>		t1	INIA 615 v1
<i>Azospirillum</i> + <i>Glomus</i>		t2	INIA 601 v2
<i>Azospirillum</i> + <i>Glomus</i>	b4	t3	Canteño v3
<i>Azospirillum</i> + <i>Glomus</i>		t4	PMV 581 v4
<i>Azospirillum</i> + <i>Glomus</i>		t5	Sintético MM v5

2.5.2. *Material genético*

El siguiente resumen ofrece una caracterización genética de cinco tipos de maíz, de acuerdo con el material suministrado por el Instituto Nacional de Investigación e Innovación Agraria (INIA):

INIA 601. es una variedad de polinización abierta que se adapta bien a la sierra del noreste peruano y se siembra entre 2600 y 2900 msnm. Seleccionada en 1990 en la subestación experimental de Cajabamba, esta línea procede de 256 progenies: 108 de la variedad morado Caraz y 148 de negra Parubamba (Abanto et al., 2014).

La época de siembra es octubre-noviembre, prefiere suelos de estructura granular, suavécitos, aireados y que retengan humedad (Medina et al., 2016).

El pH que favorece el cultivo ronda entre 6,0 y 6,5, las plagas principales son el cogollero (*Spodoptera frugiperda*) y el mazorquero (*Helicoverpa zea*), y el rendimiento potencial llega hasta 6 t/ha (Estación Experimental Agraria, 2003).

INIA 615. Esta variedad, desarrollada en la Estación Experimental Agraria de Canaán-Ayacucho, se siembra en valles interandinos situados de 2000 a 3000 msnm (INIA Canaán, 2007).

la primera quincena de octubre lo más recomendable es sembrar esas fechas, suelo granular, suave, aireado y con alta retención de humedad (Medina et al., 2016).

El pH óptimo es de 6.0 a 6.5, la plaga principal es el cogollero (*Spodoptera frugiperda*) y el mazorquero (*Helicoverpa zea*), moderada susceptibilidad a ataques de hongos (*Fusarium*, *Diplodía sp*), el rendimiento potencial es 9.6 t/ha (INIA Canaán, 2007).

Canteño. Esta variedad se originó en Lima y se cultiva desde 500 hasta 2400 msnm, en suelos con pH de 5,5 a 8, siempre que tengan buen drenaje y retención de humedad; se siembra entre abril y septiembre, es muy susceptible a plagas y enfermedades y su rendimiento promedio es de 24 t/ha (Pinedo, 2015).

PMV 581. Es un maíz mejorado originado en el Perú, pH de suelo es de 6 a 8, suelos bien drenados con buen contenido de nutrientes, se siembra en épocas de verano o primavera, es susceptible a plagas y enfermedades, rendimiento potencial de 2 a 4 t/ha (Medina et al., 2016).

Sintético MM. Es un maíz mejorado experimental denominado MM, originado en la Estación Experimental Agraria – Cajamarca, se adapta desde los 2000 a 3000 msnm, pH de suelo 5.5 a 7, suelos bien drenados con buen contenido de nutrientes, época de siembra en verano, son poco tolerantes a las plagas y enfermedades, rendimiento es de 3.75 t/ha (Rabanal-Atalaya & Medina -Hoyos, 2022).

Turba y líquido inoculante de *Azospirillum brasilense*. *Azospirillum* y otros microorganismos benéficos prosperan en la turba, un medio orgánico que retiene la humedad y tiene un buen flujo de aire, suministra nutrientes esenciales para que sobreviva *Azospirillum*, mientras que en el líquido es un medio acuoso que brinda la estabilidad y proliferación de la bacteria. El ingrediente activo es el *Azospirillum brasilense*, su mecanismo de acción es fijar el nitrógeno, producción de fitohormonas, mejora la estructura del suelo y optimiza el suministro de nutrientes.

Figura 2.5

*Inoculante en líquido y turba de *Azospirillum brasilense**



Mycoup. Es un bioinoculante sólido que incorpora un hongo micorrízico arbuscular altamente eficiente y biológicamente estable, el cual ha sido probado exitosamente en diversas condiciones edáficas y climáticas (Symborg, 2018).

MycoUp es un inoculante biológico, Este preparado incluye *Glomus iranicum* var. *tenuihypharum*, que, suspendido en un soporte mineral arcilloso, se presenta a una densidad de 1.2×10^4 propágulos por cada 100 ml de mezcla, (determinada mediante el enfoque del Número Más Probable) (Symborg, 2018).

MycoUp Al ser aplicado, el inoculante favorece una colonización intensa de raíces, que a su vez estimula el crecimiento radical, amplía la captura de agua y nutrientes del suelo y, en definitiva, incrementa tanto el vigor como el rendimiento de los cultivos (Symborg, 2018).

Según Symborg (2018), tiene los siguientes beneficios.

- Promueven el crecimiento vegetal y elevan los rendimientos, al facilitar un uso más eficiente de fertilizantes y agua.
- Aumentan la tolerancia ante condiciones de sequía y suelos salinos.
- Evita las emisiones de CO₂ al capturar el gas y convertirlo en biomasa del hongo.
- Emitir también garantiza una operación sostenida de los ecosistemas y mantiene su productividad.

Figura 2. 6

Producto Mycoup Bioestimulante (Glomus Iranicum)



2.6. Diseño experimental

El estudio se realizó siguiendo un diseño de bloques completos al azar en el que se cultivaron cinco variedades de maíz morado, tratadas como tratamientos

independientes y dispuestas en cuatro bloques homogéneos, cada uno asociado a un grupo distinto de microorganismos, lo que produjo veinte unidades experimentales en cada sitio. A continuación, se presenta la formulación del modelo aditivo lineal correspondiente al diseño:

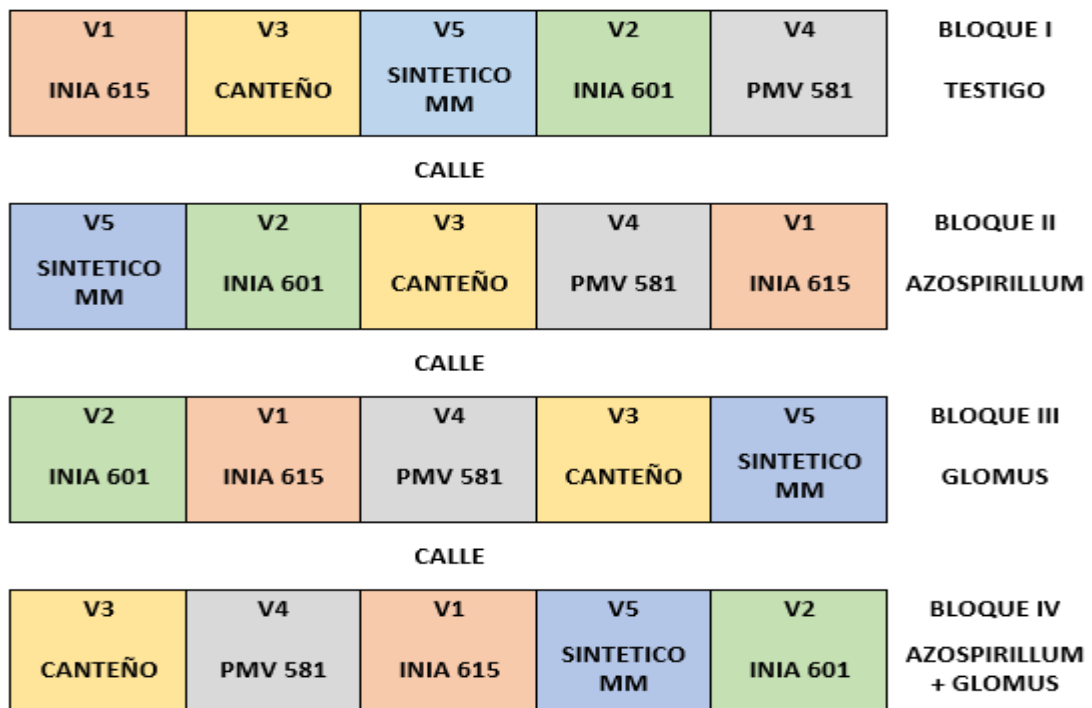
$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

- Y_{ij} : Observación cualquiera del i-ésimo tratamiento y j-ésimo bloque (Microorganismo)
- μ : Promedio de las unidades experimentales
- τ_i : Efecto del i-ésimo tratamiento
- β_j : Efecto del j-ésimo bloque (Microorganismo)
- ε_{ij} : Error experimental
- i : varia de 1, 2, 3, ..., t
- j : varia de 1, 2, 3, ..., b
- t : es el número de tratamientos
- r : es el número de bloques o repeticiones

Figura 2.7

Croquis y diseño del campo experimental



2.7. Característica de la unidad experimental

Las propiedades y medidas de cada unidad experimental aparecen resumidas en la tabla que sigue:

Tabla 2.6

Extensión de la parcela experimental

Descripción	unidad	medida
Ancho de UE	m	3.2
Largo de la UE	m	4
Área de la UE	m ²	12.8
Largo del bloque	m	16
Área del bloque	m ²	64
Distancia entre golpes	m	0.5
Numero de surcos/ UE	unidades	4
Distancia entre surcos	m	0.8
Numero de semillas/ UE	unidades	96
Numero de semillas/ surco	unidades	24
Calle	m	1.5

2.8. Instalación y manejo del experimento

La instalación y el manejo se llevó a cabo en la campaña grande en los meses de diciembre 2023 y mayo 2024.

2.8.1 Preparación del suelo

Mediante la disposición del tractor INIA, se limpió el terreno removiendo los rastrojos, piedras, además dejando surcos preparados para la siembra.

2.8.2 Delimitación

Se inicio de acuerdo al diseño experimental, delimitando los bloques y a su vez cada unidad experimental con las calles correspondientes. Se utilizó diferentes herramientas como azadón, flexómetro, estacas y varas para el distanciamiento de golpes, con ayuda de amigos, personal del INIA y asesores.

2.8.3 *Abonamiento*

Según el resultado de los análisis del suelo resultó fértil apta para el cultivo, se realizó 2 dosis de 75 kg de abono mallki, y en el Fundo de Iribamba se aplicó 2 dosis de Terrasur 50 kg y 25 kg de roca fosfórica, en ambos lugares se realizó la aplicación de *Glomus* en 2 dosis de 22 gr por todo el tratamiento, adicionalmente se le aportó abono foliar Bayfolan aktivator XL en 2 dosis de 50 ml por mochila.

2.8.4 *Inoculación y siembra de la semilla*

Se preparó un inoculante mezclando 400 g de polvo de turba con 50 ml de solución de *Azospirillum* y 25 ml de goma arábica, el cual se aplicó a las semillas de maíz morado antes de la siembra. Mentalmente, el operador calculó que, al depositar tres semillas inoculadas por golpe, y dejando medio metro entre golpes y ochenta centímetros entre surcos, podría lograr una distribución uniforme del material biológico en el campo. La siembra tuvo lugar el 28 de noviembre de 2023 en el Instituto Nacional de Innovación Agraria (Canaán), mientras que en el Fundo de Iribamba la actividad se realizó el 1 de diciembre del mismo año.

Figura 2.8

*Inoculación del *Azospirillum brasilense* en la semilla del maíz morado*



2.8.5 Deshierbo

Se realizó el deshierbo el día 18/12/2024 con el uso de azadones y con apoyo del personal del INIA.

2.8.6 Aporque

Se realizó el aporque con el uso del tractor el 11/01/2024 en el Instituto Nacional de Innovación Agraria (Canaán) y el 13/01/2024 en el Fundo de Iribamba utilizando azadones y con ayuda de familiares.

2.8.7 Aplicación de *Glomus*

Se aplicó 22 gr de Mycoup (*Glomus iranicum* var. *tenuihypharum*), diluido en 64 L de agua en ambos lugares Canaán e Iribamba.

Figura 2. 9

*Aplicación del hongo *Glomus* en maíz morado*



2.8.8 Cosecha

Se realizó en las fechas 26/04/2024 en el Fundo de Iribamba y el 8/05/2024 en el Instituto Nacional de Innovación Agraria (Canaán), también se sacó muestras de plantas para las evaluaciones correspondientes.

2.9 Análisis estadístico

Mediante el uso del software Infostat se realizó análisis de varianza (ANOVA, $\alpha=0.05$) y análisis de comparación de pruebas Tukey para determinar el nivel de significancia en caso de comparaciones respectivas:

Lugar\Lugar>Miefi
Lugar>Miefi
Varie
Varie*Lugar

En caso de datos faltantes se evaluará mediante los datos imputados, para evitar la pérdida de datos.

2.10 Materiales y criterio de evaluación

2.10.1 Materiales

Para las evaluaciones se utilizaron los siguientes materiales:

- Cuaderno de tesis
- Cámara fotográfica (celular)
- Lapicero, lápiz y borrador
- Regla de madera para la altura de la planta
- Balanza de precisión
- Vernier
- Regla de aluminio
- Probeta
- Tijera de podar
- Bolas de papel para las muestras
- Costales para el traslado

2.10.2 Criterios de evaluación

Crecimiento

Emergencia. Esta variable se midió cuando el 50 % de las plantas de cada variedad mostró emergente completa del suelo.

Altura de planta. Se registró al alcanzar la madurez fisiológica de la cosecha, desde la base del cuello hasta el último nudo del tallo usando una regla de madera, contabilizando diez plantas por tratamiento.

Altura de mazorca. Se tomó en grano lechoso, midiendo desde el cuello hasta el nudo de anclaje de la mazorca, con una regla de madera, también sobre 10 plantas por tratamiento.

Diámetro de tallo. A la madurez fisiológica se determinó el grosor del tallo en la zona del cuello, utilizando un calibrador y cinco plantas por cada tratamiento.

Longitud de mazorca. Luego de la cosecha se midió con un flexómetro la extensión total de cada mazorca y se registró la uniformidad entre todas.

Diámetro de mazorca. Se calculó el tamaño a la mitad de la mazorca, usando un vernier para asegurar precisión, y se evaluó la homogeneidad entre las muestras.

Rendimiento

Rendimiento de mazorca. Se pesaron 10 mazorcas, utilizando una balanza de precisión, para estimar el rendimiento medio, considerando siempre la uniformidad del lote analizado.

Rendimiento de tusa. Se pesaron diez mazorcas libres de granos, es decir, sólo el eje central, utilizando una balanza de precisión de alta sensibilidad.

Peso de grano de 1000 semillas. Se pesó el grano con la balanza de precisión.

Rendimiento en grano. Se pesó con una balanza el grano del maíz y se llevó a toneladas por hectárea.

Índice de cosecha. Este parámetro se calculó dividiendo el rendimiento en grano entre el peso seco total de la planta.

$$I.C = (\text{Rendimiento} / \text{peso seco total}) \times 100$$

Biomasa. Se obtuvo mediante el peso de las plantas representativas, donde se expresó gr/planta (peso seco) utilizando la estufa.

Desarrollo de raíz

Peso de raíz. Se pesó con la balanza de precisión de 5 muestras de raíz por cada unidad experimental,

Longitud de raíz. Se usó flexómetro y regla de aluminio para obtener la longitud de la raíz.

Volumen de raíz. Mediante el uso de la probeta se obtuvo un volumen conocido y luego se agregó la raíz para obtener el volumen.

Diámetro de raíz. Se usó vernier para poder obtener los datos.

Ramificación de raíz. Se observó y anotó las ramificaciones de raíces secundarias.

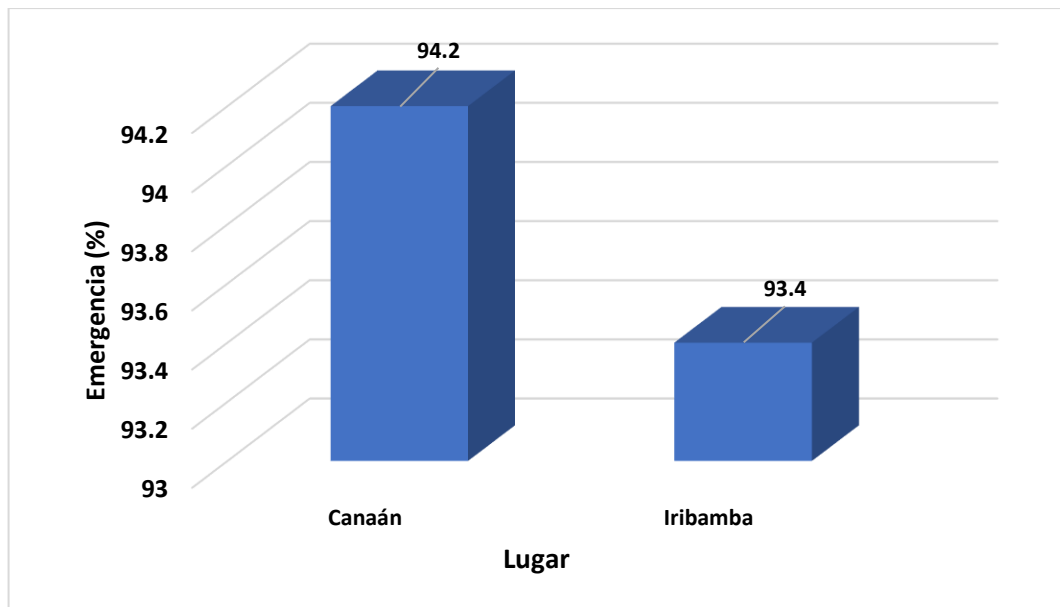
CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Crecimiento

3.1.1 Emergencia

Figura 3.1

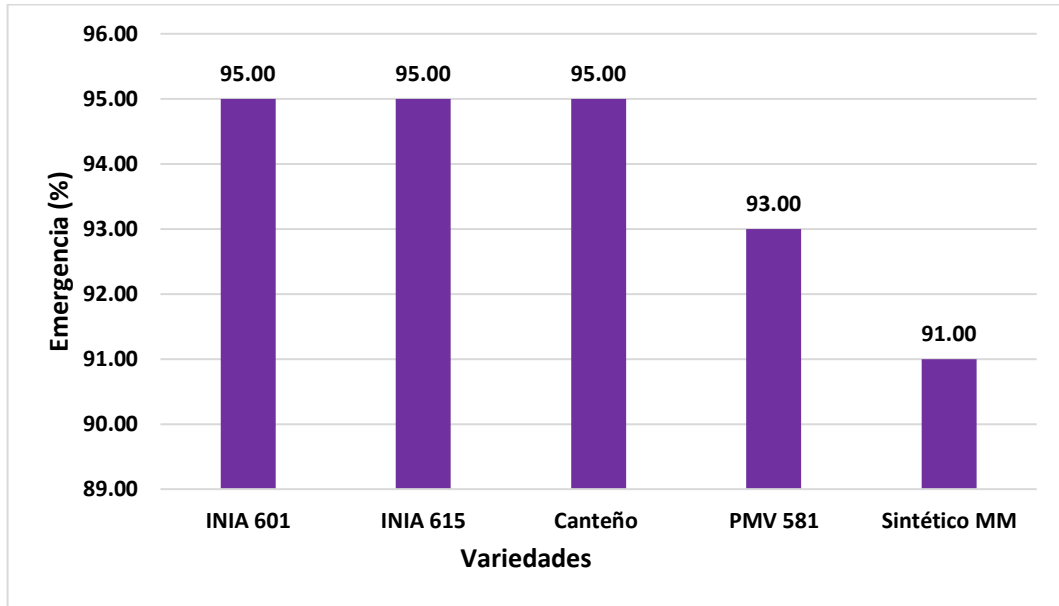
Porcentaje de emergencia en maíz morado en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba a 2336 msnm, con la aplicación de Azospirillum y Glomus



El porcentaje de emergencia en Canaán superó a Iribamba con promedios de 94.2 y 93.4 % respectivamente. Gutiérrez (2019), encontró un promedio de 93 % – 95 % de emergencia en condiciones similares a Canaán (Figura 3.1)

Figura 3.2

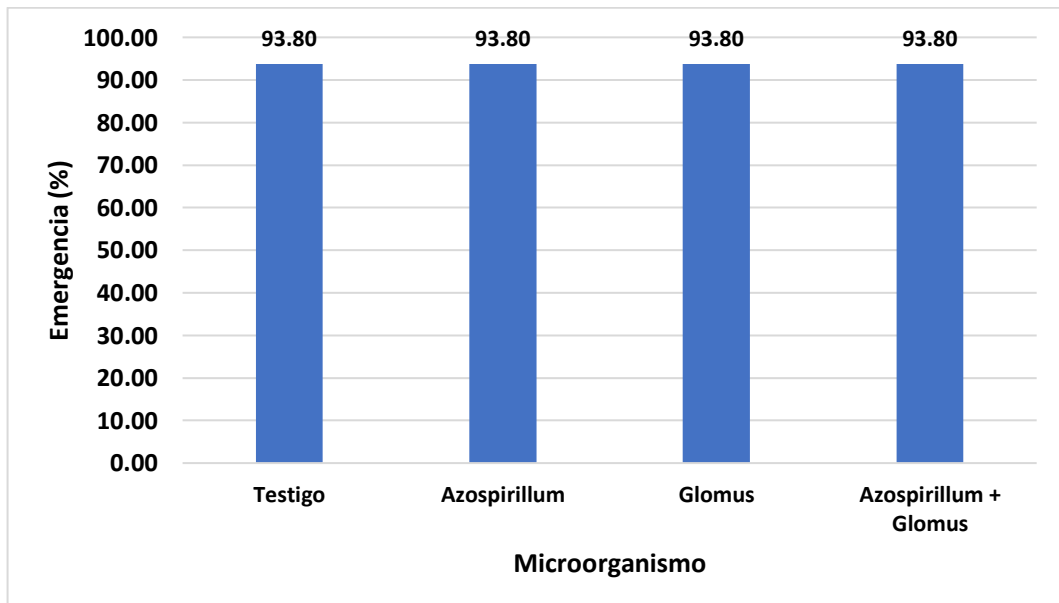
Porcentaje de emergencia de cinco variedades de maíz morado (*Zea mays* L.) con la aplicación de *Azospirillum* y *Glomus* en dos localidades Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho



Las variedades de mayor porcentaje de emergencia fueron INIA 601, INIA 615 y Canteño, con 95 % de porcentaje de emergencia, seguido de PMV 581, con 93 %, mientras que Sintético MM tiene el porcentaje de emergencia más bajo, con 91 % (Figura 3.2).

Figura 3.3

Porcentaje de emergencia de maíz morado (*Zea mays* L.) con la inoculación de *Azospirillum* y *Glomus*, en dos localidades Canaán a 2735 msnm e Iribamba a 2336 msnm, Ayacucho



No se observaron diferencias significativas del porcentaje de emergencia entre los microorganismos y el testigo (Figura 3.3).

3.1.2 Altura de planta

Tabla 3.1

Análisis de varianza sobre la altura promedio de planta en cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) cultivadas con la asociación biológica Azospirillum y Glomus, bajo condiciones experimentales en dos localidades de Ayacucho: Canaán situada a 2735 m s. n. m. e Iribamba a 2336 m s. n. m

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Lugar	21581.23	1	21581.23	19.50	0.0045**
Microorganismos (Lugar)	6640.18	6	1106.70	38.50	<0.0001**
Variedad	5461.12	4	1365.28	47.49	<0.0001**
Variedad x Lugar	942.00	4	235.49	8.19	0.0003**
Error	661.16	23	28.75		
Total	35285.67	38			

Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas entre todas las fuentes de variación consideradas en el modelo ($p < 0,05$). La altura media de las cinco variedades de maíz morado fue 208,62 cm, con un coeficiente de variación de 13,21 %; este valor se ubica dentro del rango considerado aceptable (Gordón-Mendoza & Camargo-Buitrago, 2015) (Tabla 3.1).

Tabla 3.2

Se llevó a cabo una prueba de Tukey para comparar la altura de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) cultivadas en dos localidades de Ayacucho: Canaán, situada a 2735 msnm, e Iribamba, ubicada a 2336 msnm

Lugar	Promedio (cm)	n	
Canaán	232.60	20	a
Iribamba	184.64	19	b

Los resultados muestran que, en Canaán, la altura promedio de cinco variedades de maíz morado alcanza 232,6 cm, mientras que en Iribamba solo llega a 184,64 cm; esta diferencia es estadísticamente significativa Pinedo (2015), documentó en Canaán una

altura de 204 cm, que es inferior a la registrada en este estudio, pero superior a la media observada en Iribamba; por otro lado. Escalante (2014), reportó que la altura del maíz puede fluctuar entre 172 y 206 cm en otras localidades. Estos antecedentes, junto con las medidas actuales, destacan que el microclima y otras condiciones ambientales de cada zona modulan a la planta y su crecimiento.

Tabla 3.3

Prueba de Tukey de la altura de planta de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba a 2336 msnm, Ayacucho

Lugar	Microorganismo	Promedio (cm)	%	
Canaán	<i>Azospirillum + Glomus</i>	254.78	119	a
Canaán	<i>Azospirillum</i>	231.10	108	b
Canaán	<i>Glomus</i>	230.34	108	b
Canaán	Testigo	214.20	100	c
Iribamba	<i>Azospirillum + Glomus</i>	200.74	118	c d
Iribamba	<i>Glomus</i>	185.80	110	d e
Iribamba	<i>Azospirillum</i>	182.58	108	e
Iribamba	Testigo	169.46	100	f

Las plantas de maíz morado inoculadas con microorganismos alcanzaron alturas significativamente mayores que las testigos en ambas localidades. La combinación de *Azospirillum* y *Glomus* redundó en aumentos del 19 % en Canaán y del 18 % en Iribamba, en comparación con los respectivos testigos. Las inoculaciones individuales, ya sea con *Azospirillum* o con *Glomus*, mostraron incrementos menores frente a sus controles en ambas zonas (tabla 3.3) Gutiérrez (2019), registró una altura promedio de 201,1 cm, valor que excede el obtenido en Iribamba pero queda por debajo del de Canaán. Estos resultados subrayan el efecto sinérgico entre *Azospirillum* y *Glomus*, que al incrementar los reguladores vegetales también optimiza la asimilación de nutrientes del suelo y, por ende, favorece el crecimiento y el rendimiento del cultivo.

Tabla 3.4

Prueba de Tukey de la altura de planta de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba a 2336 msnm, Ayacucho

Variedad	Promedio (cm)	n		
INIA 601	223.75	8	a	
PMV 581	215.80	8	a	b
Sintético MM	213.48	8		b
Canteño	199.71	8		c
INIA 615	190.38	7		d

La variedad INIA 601 presenta mayor altura de planta, alcanzando 223.75 cm, Estación Experimental Agraria, (2003), reporta 216 cm en comparación con el presente trabajo, lo que indica que se obtuvieron mejores resultados, probablemente debido a la adaptación del maíz y condiciones similares a las de Cajamarca. La variedad INIA 615 Negro Canaán obtuvo el menor promedio de altura de planta con 190.38 cm; Pinedo (2015), reportó 195 cm en condiciones de Canaán, dato que es similar al obtenido en el presente trabajo.

Tabla 3.5

Prueba de Tukey de la altura de planta de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba a 2336 msnm, Ayacucho

Variedad	Lugar	Promedio (cm)	n		
INIA 601	Canaán	256.20	4	a	
Sintético MM	Canaán	239.00	4		b
PMV 581	Canaán	238.85	4		b
Canteño	Canaán	217.85	4		c
INIA 615	Canaán	211.13	4		c
PMV 581	Iribamba	192.75	4		d
INIA 601	Iribamba	191.30	4		d
Sintético MM	Iribamba	187.95	4		d
Canteño	Iribamba	181.58	4		d e
INIA 615	Iribamba	169.64	3		e

La variedad de maíz morado INIA 601 mostró la mayor altura de planta en las poblaciones de Canaán e Iribamba, alcanzando respectivamente 256,20 cm y 192,75 cm.

En Canaán, esa medida permitió distinguirla claramente del resto, aunque en ese mismo lugar Sintético MM y PMV 581 no presentaron diferencias significativas entre sí, lo mismo ocurrió con las variedades Canteño e INIA 615. Por su parte, en Iribamba la altura fue más uniforme, y la serie INIA 615 alcanzó dimensiones similares a las de Canteño, siendo, en cambio, menor que las observadas en PMV 581, INIA 601 y Sintético MM, Estación Experimental Agraria (2003), reportó una altura promedio de 216 cm. Por otro lado, Escalante (2014), advirtió que bajo las condiciones de Huanta ese mismo material sólo alcanzó 172 cm. Lo anterior indica que la altura de planta resulta del efecto combinado del genotipo, el ambiente y de su interacción.

3.1.3 *Altura de mazorca*

Tabla 3.6

Análisis de varianza de la altura a la mazorca de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba a 2336 msnm, Ayacucho

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Lugar	6164.59	1	6164.59	12.76	0.0118**
Microorganismos (Lugar)	2899.06	6	483.18	39.71	<0.0001**
Variedad	3095.97	4	773.99	63.61	<0.0001**
Variedad x Lugar	856.47	4	214.12	17.6	<0.0001**
Error	279.86	23	12.17		
Total	13295.95	38			

La altura media de las mazorcas mostró diferencias estadísticamente significativas cuando se analizaron las distintas variantes incorporadas en el modelo ($p < 0.05$). El promedio general observado para las cinco variedades de maíz morado fue de 129,013 cm, con un coeficiente de variación de 2,69 %, un valor que se considera aceptable dentro de la calidad del trabajo experimental realizado (Gordón-Mendoza & Camargo-Buitrago, 2015) (tabla 3.6).

Tabla 3.7

Prueba de Tukey de la altura a la mazorca de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho

Lugar	Promedio (cm)	n	
Canaán	141.89	20	a
Iribamba	116.13	19	b

Se ha determinado una diferencia estadísticamente significativa en las alturas a las mazorcas de cinco variedades de maíz morado entre diferentes localidades. En Canaán, la altura promedio es de 141.89 cm, mientras que en Iribamba se registra un promedio de 116.13 cm. Pinedo (2015), informó un promedio de altura hacia la mazorca de 132 cm, destacando que los factores climáticos fueron muy favorables para la producción, superando los resultados de Iribamba. Por su parte, Escalante (2014), reportó alturas de mazorca en un rango de 88 a 112 cm en condiciones de Huanta

Tabla 3.8

Prueba de Tukey de la altura a la mazorca de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba a 2336 msnm, Ayacucho

Lugar	Microorganismo	Promedio (cm)	%	
Canaán	<i>Azospirillum + Glomus</i>	156.50	119	a
Canaán	<i>Glomus</i>	140.92	107	b
Canaán	<i>Azospirillum</i>	139.00	105	b
Canaán	Testigo	131.14	100	c
Iribamba	<i>Azospirillum + Glomus</i>	127.96	120	c
Iribamba	<i>Glomus</i>	115.96	109	d
Iribamba	<i>Azospirillum</i>	114.60	108	d
Iribamba	Testigo	106.02	100	e

Las plantas inoculadas con microorganismos mostraron una mayor altura de mazorca en comparación con los testigos en ambas localidades. La coinoculación de *Azospirillum* y *Glomus* incrementó la altura de la mazorca en un 19% en Canaán y un 20% en Iribamba en relación a los testigos. Los aumentos más bajos se observaron con inoculaciones individuales de *Azospirillum* o *Glomus* en ambas localidades en comparación con sus respectivos testigos. Según Escalante (2014), se registró una altura

máxima de mazorca de 112 cm en Huanta con la aplicación de *Azospirillum*. Se puede concluir que la interacción simbiótica entre *Azospirillum* y *Glomus* potencia el crecimiento y rendimiento de planta al optimizar la disponibilidad de nutrientes del suelo.

Tabla 3.9

Prueba de Tukey para altura a la mazorca de cinco variedades de la altura de mazorca de maíz morado (Zea mays L.) en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho

Variedad	Promedio (cm)	n	
INIA 601	138.04	8	a
Sintético MM	136.34	8	a
PMV 581	133.78	8	a
Canteño	121.55	8	b
INIA 615	115.36	7	c

La variedad INIA 601 presenta mayor altura de mazorca, alcanzando 138.04 cm, Estación Experimental Agraria, (2003), reporta una altura de mazorca de 124 cm bajo condiciones de Cajamarca, dato inferior al de la presente investigación. Las condiciones climáticas son más favorables Ayacucho que en Cajamarca. Por otro lado, INIA 615 reportó una altura de mazorca de 115.36 cm; Pinedo (2015), registró un promedio de entre 116 cm a 129 cm de altura de mazorca, cifras similares a las de la presente investigación.

Tabla 3.10

Prueba de Tukey de la altura a la mazorca de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho

Variedad	Lugar	Promedio (cm)	n		
INIA 601	Canaán	158.20	4	a	
Sintético MM	Canaán	153.00	4	a	
PMV 581	Canaán	143.80	4	b	
Canteño	Canaán	129.95	4	c	
INIA 615	Canaán	124.50	4	c	d
PMV 581	Iribamba	123.75	4	c	d
Sintético MM	Iribamba	119.68	4		d e
INIA 601	Iribamba	117.88	4		d e
Canteño	Iribamba	113.15	4		e f
INIA 615	Iribamba	106.22	3		f

La variedad INIA 601 destaca por su mayor altura de mazorca promedio de 158.2 cm en la localidad de Canaán, mientras que en Iribamba destaca la variedad PMV 581 con una altura promedio de mazorca de 123.75 cm. en la localidad de Canaán el carácter altura de mazorca de la variedad INIA 601 y Sintético MM no se diferencian entre sí, pero si al resto de variedades, sin embargo, PMV 581 se diferencia a las variedades de Canteño e INIA 615, estas a su vez no se diferencian entre sí. En la localidad de Iribamba en el carácter de altura de mazorca la PMV 581 tiene una diferencia significativa al resto de las variedades, mientras que Sintético MM e INIA 601 no se diferencia entre sí, pero si hay diferencias a la variedad INIA 615 fue de menor altura mazorca, semejante a la variedad Canteño siendo diferentes al resto de variedades. Pinedo (2015), reportó una altura promedio de mazorca entre 116 cm a 129 cm en condiciones de Canaán, Ayacucho. Por otro lado, INIA - Canaán (2007), señala que la variedad INIA 615 se adapta mejor a partir de 2700 msnm. En resumen, se indica que la altura de la mazorca está influenciada por factores ambientales, el genotipo y la interacción entre el ambiente y el genotipo.

3.1.4 Diámetro de tallo

Tabla 3.11

Análisis de varianza del diámetro del tallo de planta de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en dos localidades Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Microorganismo	81.12	3	27.04	29.83	<0.0001**
Variedad	3.38	4	0.84	0.93	0.478
Error	10.88	12	0.91		
Total	95.38	19			

El diámetro del tallo de la planta de maíz morado se diferenció significativamente debido a las diferentes fuentes de variación consideradas en el modelo ($p < 0.05$). el promedio general del diámetro del tallo fue de 20.4 mm, el coeficiente de variación es de 4.67%, rango permitido para experimentos de campo (Gordón-Mendoza & Camargo-Buitrago, 2015).

Tabla 3.12

Prueba de Tukey para el diámetro de tallo de planta de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en dos localidades Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho

Microorganismo	Promedio (mm)	%		
<i>Azospirillum + Glomus</i>	23.42	131	a	
<i>Glomus</i>	20.41	114		b
<i>Azospirillum</i>	19.98	112		b
Testigo	17.77	100		c

La inoculación de los microorganismos fue superiores al testigo, la interacción de *Azospirillum + Glomus* favoreció en un incremento de 31% con relación al Testigo. Un menor incremento de diámetro se dio con las inoculaciones individuales de *Azospirillum* o *Glomus* respecto al Testigo. Lopez (2019), se reportó un diámetro de tallo de 14.5 mm en condiciones de Lima y con el uso de fósforo, cifra inferior a la del presente trabajo. El uso de *Azospirillum* estimula el crecimiento del diámetro del tallo a través de la producción de fitohormonas (auxinas) que favorecen el desarrollo de la raíz y el aumento de la parte aérea (Licea et al., 2020). Por otro lado, *Glomus* coloniza el sistema radicular, lo que provoca un crecimiento de la raíz y mejora la disponibilidad de nutrientes y agua (Symborg, 2018). Se concluye que ambos microorganismos mejoran en el crecimiento y desarrollo.

Tabla 3.13

Prueba de Tukey para diámetro de tallo de planta de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.), Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho

Variedad	Promedio (mm)	n	
INIA 601	20.96	4	a
PMV 581	20.66	4	a
Sintético MM	20.49	4	a
Canteño	20.07	4	a
INIA 615	19.82	4	a

En la prueba de Tukey se muestra que no hay diferencia significativa entre variedades.

3.1.5 Longitud de mazorca

Tabla 3.14

Análisis de varianza de la longitud de mazorca de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) inoculadas con Azospirillum y Glomus en dos localidades: Canaán a 2 735 msnm e Iribamba a 2 336 msnm, Ayacucho

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Lugar	0.00049	1	0.00049	0.000048	0.9947
Microorganismos (Lugar)	61.4	6	10.23	14	<0.0001**
Variedad	4.67	4	1.17	1.6	0.2074
Variedad x Lugar	8.74	4	2.19	2.99	0.039**
Error	17.54	24	0.73		
Total	92.36	39			

La longitud de las mazorcas de maíz morado mostró una variabilidad notable en función de las fuentes de variación incluidas en el análisis ($p < 0,05$). La longitud media calculada para las cinco variedades estudiadas fue de 15,66 cm. Este promedio tiene un coeficiente de variación de 5,46 %, cifra que se encuentra dentro del rango admisible (Gordón-Mendoza & Camargo-Buitrago, 2015).

Tabla 3.15

Prueba de Tukey de la longitud de mazorca de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho

Lugar	Promedio (cm)	n	
Canaán	15.66	20	a
Iribamba	15.65	20	a

No existe diferencia estadística entre las dos localidades.

Tabla 3.16

Prueba de Tukey de la longitud de mazorca de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho

Lugar	Microorganismo	Promedio (cm)	%	
Canaán	<i>Azospirillum + Glomus</i>	17.41	126	a
Iribamba	<i>Azospirillum + Glomus</i>	16.87	123	a
Iribamba	<i>Azospirillum</i>	16.17	117	a
Iribamba	<i>Glomus</i>	15.87	115	a
Canaán	<i>Glomus</i>	15.75	114	a
Canaán	<i>Azospirillum</i>	15.73	114	a
Canaán	Testigo	13.76	100	b
Iribamba	Testigo	13.71	100	b

La longitud de las mazorcas fue mayor en las plantas inoculadas con microorganismos en ambas localidades. La coinoculación de *Azospirillum* y *Glomus* resultó en un aumento del 26% en Canaán y del 23% en Iribamba, en comparación con los testigos. Sin embargo, la aplicación individual de *Azospirillum* o *Glomus* no mostró diferencias significativas respecto a su interacción conjunta, aunque sí las hubo en comparación con los testigos. Según Escalante (2014), se reportaron longitudes de mazorca entre 13.56 y 14.83 cm, cifras que son inferiores a las obtenidas en este estudio. El aumento de la longitud de la mazorca se debe a la acción de *Azospirillum* y *Glomus*, que favorecen un mayor incremento de la biomasa y mejoran la fijación del nitrógeno (Bellone & de Bellone Silvia, 2012). En conclusión, el uso de estos microorganismos tiene un impacto positivo en la longitud de la mazorca.

Tabla 3.17

Prueba de Tukey para la longitud de mazorca de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho

Variedad	Promedio (cm)	n	
Canteño	16.05	8	a
INIA 601	15.97	8	a
PMV 581	15.76	8	a
Sintético MM	15.27	8	a
INIA 615	15.24	8	a

En la tabla 3.17 se muestra que no hay diferencia significativa entre las variedades Canteño, INIA 601, PMV 581, Sintético MM e INIA 615.

Tabla 3.18

Prueba de Tukey para la longitud de mazorca de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho

Variedad	Lugar	Promedio (cm)	n		
INIA 601	Iribamba	16.68	4	a	
Canteño	Canaán	16.30	4	a	b
INIA 615	Canaán	15.95	4	a	b
PMV 581	Iribamba	15.83	4	a	b
Canteño	Iribamba	15.81	4	a	b
PMV 581	Canaán	15.69	4	a	b
Sintético MM	Iribamba	15.42	4	a	b
INIA 601	Canaán	15.26	4	a	b
Sintético MM	Canaán	15.12	4	a	b
INIA 615	Iribamba	14.54	4		b

Las variedades que sobresalen por su mayor longitud de mazorca son INIA 601 y Canteño, registrando longitudes de 16.68 cm y 16.3 cm en las localidades de Iribamba y Canaán, respectivamente. Por otro lado, INIA 615 presenta un promedio de longitud menor en comparación con las otras variedades en Iribamba. Según Escalante (2014), se reportó una longitud de mazorca de 14.83 cm, cifras que son similares a las obtenidas en este estudio. En Iribamba, INIA 615 mide 14.54 cm; además, Pinedo (2015), indicó que en Canaán se reportó una longitud de 14.90 cm. Esta diferencia podría atribuirse a la adaptación de la variedad al entorno de Iribamba.

3.1.6 Diámetro de mazorca

Tabla 3.19

Análisis de varianza del diámetro de mazorca de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en dos localidades Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Lugar	133.37	1	133.37	5.63	0.0553
Microorganismos (Lugar)	142.04	6	23.67	4.12	0.0056**
Variedad	62.59	4	15.65	2.72	0.0534
Variedad x Lugar	32.82	4	8.21	1.43	0.2555
Error	138.01	24	5.75		
Total	508.83	39			

El análisis de varianza reveló que el diámetro de la mazorca responde de manera significativa a las fuentes de variación incluidas en el modelo ($p < 0.05$). Para las cinco variedades de maíz morado evaluadas, el promedio general del diámetro fue de 46,89 mm y el coeficiente de variación alcanzó 5,11%, cifra que se sitúa dentro del rango aceptable (Gordón-Mendoza & Camargo-Buitrago, 2015).

Tabla 3.20

Prueba de Tukey para el diámetro de mazorca de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho

Lugar	Promedio (mm)	n	
Canaán	48.72	20	a
Iribamba	45.06	20	a

Para el diámetro de mazorca no se observa ninguna diferencia significativa entre sí de las dos localidades.

Tabla 3.21

Prueba de Tukey para el diámetro de mazorca de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho

Lugar	Microorganismo	Promedio (mm)	%			
Canaán	<i>Azospirillum + Glomus</i>	51.16	111	a		
Canaán	<i>Glomus</i>	49.09	106	a	b	
Canaán	<i>Azospirillum</i>	48.47	105	a	b	
Iribamba	<i>Azospirillum + Glomus</i>	48.04	113	a	b	
Canaán	Testigo	46.15	100	a	b	c
Iribamba	<i>Glomus</i>	45.14	106		b	c
Iribamba	<i>Azospirillum</i>	44.57	105		b	c
Iribamba	Testigo	42.50	100			c

El diámetro de la mazorca del maíz morado en las plantas inoculadas fue superior al de los testigos en ambas localidades. La coinoculación de *Azospirillum + Glomus* resultó en un aumento del 11% en Canaán y del 13% en Iribamba. En contraste, la aplicación individual de *Azospirillum* o *Glomus* no mostró diferencias significativas en comparación con los testigos. Según Escalante (2014), se reportó un diámetro de mazorca de 45.1 mm al usar *Azospirillum* en condiciones de Huanta. La interacción de ambos microorganismos demuestra un mejor rendimiento en el desarrollo y crecimiento de la planta (Bellone & de Bellone Silvia, 2012). En resumen, la combinación de *Azospirillum* y *Glomus* resultó beneficiosa en ambas localidades.

Tabla 3.22

Prueba de Tukey para el diámetro de mazorca de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho

Variedad	Promedio (mm)	n	
Canteño	48.64	8	a
INIA 601	47.84	8	a
INIA 615	46.83	8	a
PMV 581	46.01	8	a
Sintético MM	45.13	8	a

El diámetro de mazorca de las 5 variedades no se diferencias significativamente entre sí.

Tabla 3.23

Prueba de Tukey para el diámetro de mazorca de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho

Variedad	Lugar	Promedio (mm)	n			
Canteño	Canaán	50.68	4	a		
INIA 615	Canaán	49.36	4	a	b	
PMV 581	Canaán	48.25	4	a	b	c
INIA 601	Canaán	47.88	4	a	b	c
INIA 601	Iribamba	47.80	4	a	b	c
Sintético MM	Canaán	47.41	4	a	b	c
Canteño	Iribamba	46.60	4	a	b	c
INIA 615	Iribamba	44.29	4		b	c
PMV 581	Iribamba	43.77	4		b	c
Sintético MM	Iribamba	42.86	4			c

Las variedades más sobresalientes fueron Canteño e INIA 601, con promedios de 50.68 cm y 47.8 cm en las localidades de Canaán e Iribamba, respectivamente. Canteño e INIA 615 se destacaron en ambas localidades, mientras que la variedad Sintético MM mostró el menor diámetro en las dos localidades. Según Medina (2022), el diámetro reportado para Canteño fue de 50 mm, un dato similar al obtenido en este estudio. Además, Sintético MM se considera una variedad que puede adaptarse bien a las condiciones de la sierra (Piña, 2018). En resumen, el diámetro de la mazorca está influenciado por el genotipo, el medio ambiente y la interacción entre ambos.

3.2 Rendimiento

3.2.1 Rendimiento de mazorca

Tabla 3.24

Análisis de varianza del rendimiento de mazorca de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en dos localidades Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Lugar	36655668	1	36655668	3.67	0.1038
Microorganismos (Lugar)	59896076.2	6	9982679.37	7.65	<0.0001**
Variedad	42220645.1	4	10555161.3	8.09	0.0003**
Variedad x Lugar	13785369.3	4	3446342.33	2.64	0.0586
Error	31306295.6	24	1304428.98		
Total	183864054	39			

El rendimiento del maíz morado mostró diferencias significativas debido a las diversas fuentes de variación incluidas en el modelo ($p < 0.05$). El rendimiento promedio de las mazorcas de las cinco variedades fue de 8251.38 kg.ha⁻¹, con un coeficiente de variación del 13.84%, lo que se encuentra dentro del rango aceptable para experimentos de campo (Gordón-Mendoza & Camargo-Buitrago, 2015).

Tabla 3.25

Prueba de Tukey del rendimiento de mazorca de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) en dos localidades Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho

Lugar	Promedio (kg.ha⁻¹)	n	
Canaán	9208.66	20	a
Iribamba	7294.10	20	a

Se determina que no existe diferencias estadísticas del rendimiento de mazorca de las cinco variedades de maíz morado entre las localidades.

Tabla 3.26

Prueba de Tukey del rendimiento de mazorca de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho

Lugar	Microorganismo	Promedio (kg.ha ⁻¹)	%		
Canaán	<i>Azospirillum</i> + <i>Glomus</i>	10949.59	136	a	
Iribamba	<i>Azospirillum</i> + <i>Glomus</i>	9313.45	170	a	b
Canaán	<i>Glomus</i>	9010.99	112	a	b
Canaán	<i>Azospirillum</i>	8847.85	110	a	b
Canaán	Testigo	8026.22	100		b
Iribamba	<i>Glomus</i>	7284.56	133		b c
Iribamba	<i>Azospirillum</i>	7090.26	129		b c
Iribamba	Testigo	5488.12	100		c

El rendimiento de las mazorcas inoculadas con microorganismos fue superior en ambas localidades. La coinoculación de *Azospirillum* + *Glomus* mejoró el rendimiento de las mazorcas en un 36% en Canaán y un 70% en Iribamba en comparación con los testigos. Los menores incrementos se observaron en la inoculación individual de los microorganismos, aunque estos también superaron a los testigos. Escalante, (2014), reportó un rendimiento promedio de 7761.11 kg.ha⁻¹ utilizando *Azospirillum*, cifra que es inferior a la obtenida en este estudio. La inoculación de *Azospirillum* y *Glomus* genera una relación simbiótica que beneficia el crecimiento y desarrollo de la planta. Por su parte, la giberelina es la hormona clave en el proceso de llenado del grano, ya que estimula y promueve el desarrollo del tejido granario y facilita la movilización de nutrientes dentro de la semilla (Licea et al., 2020).

Tabla 3.27

Prueba de Tukey del rendimiento de mazorca de cinco variedades maíz morado (Zea mays L.) en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho

Variedad	Promedio (kg.ha ⁻¹)	n		
Canteño	9504.82	8	a	
INIA 615	8935.84	8	a	
INIA 601	8351.63	8	a	
PMV 581	7990.89	8	a	b
Sintético MM	6473.72	8		b

Las variedades Canteño, INIA 615 e INIA 601 destacan entre las demás, con promedios de 9504.82 kg.ha⁻¹, 8935.84 kg.ha⁻¹ y 8351.63 kg.ha⁻¹, respectivamente. Por otro lado, la variedad Sintético MM presenta un rendimiento inferior al de las otras variedades. Según Cabrera (2016), se reportó un rendimiento de 8529.1 kg.ha⁻¹ para la variedad Canteño en condiciones de Lima. Sin embargo, las condiciones climáticas de la sierra de Ayacucho son más favorables que las de Lima.

Tabla 3.28

Prueba de Tukey del rendimiento de mazorca de cinco variedades maíz morado (Zea mays L.) en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho

Variedad	Lugar	Promedio (kg.ha⁻¹)	n				
Canteño	Canaán	11312.71	4	a			
INIA 615	Canaán	10022.26	4	a	b		
PMV 581	Canaán	9249.70	4	a	b	c	
INIA 601	Canaán	8479.59	4		b	c	d
INIA 601	Iribamba	8223.67	4		b	c	d
INIA 615	Iribamba	7849.42	4		b	c	d
Canteño	Iribamba	7696.93	4		b	c	d
Sintético MM	Canaán	6979.05	4			c	d
PMV 581	Iribamba	6732.08	4			c	d
Sintético MM	Iribamba	5968.39	4				d

La variedad Canteño se distingue en la localidad de Canaán con un rendimiento promedio de 11312.71 kg.ha⁻¹, mientras que INIA 601 sobresale en Iribamba con 8223.67 kg.ha⁻¹. También, la variedad INIA 615 se destaca en ambas localidades. En contraste, la variedad Sintético MM presenta un rendimiento promedio de 5968.39 kg.ha⁻¹, inferior al de las demás variedades. Cabrera (2016), informó un rendimiento promedio de 8529.1 kg.ha⁻¹ para Canteño en el Valle de Rimac, Lima, lo que indica que las condiciones climáticas y edafológicas de Canaán son adecuadas para esta variedad. Por otro lado, Piña (2018), reportó un rendimiento de 2018.00 kg.ha⁻¹ para Sintético MM en Cajamarca, aunque las condiciones climáticas de Iribamba también son propicias para su adaptación.

3.2.2 Rendimiento de tusa

Tabla 3.29

Análisis de varianza del rendimiento en tusa de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Lugar	2674151.11	1	2674151.11	8.67	0.0258**
Microorganismos (Lugar)	1851364.62	6	308560.77	9.18	<0.0001**
Variedad	80216.47	4	20054.12	0.6	0.6684
Variedad x Lugar	276050.54	4	69012.63	2.05	0.1187
Error	806489.09	24	33603.71		
Total	5688271.82	39			

Las comparaciones realizadas indican que el rendimiento de la tusa del maíz morado varía de manera significativa cuando se contemplan las distintas fuentes de variación que se incluyeron en el modelo ($p < 0.05$). La media general para las cinco variedades analizadas se ubicó en 1253.043 kg.ha⁻¹, y el coeficiente de variación fue de 14,63 %, una puntuación que se considera aceptable en trabajos experimentales de campo (Gordón-Mendoza & Camargo-Buitrago, 2015).

Tabla 3.30

Prueba de Tukey del rendimiento en tusa de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho

Lugar	Promedio (kg.ha⁻¹)	n	
Canaán	1511.60	20	a
Iribamba	994.48	20	b

Se ha encontrado una diferencia estadísticamente significativa en el rendimiento de tusa de cinco variedades de maíz morado según las localidades. En Canaán, el rendimiento es de 1511.6 kg.ha⁻¹, mientras que en Iribamba el promedio es de 994.48 kg.ha⁻¹. Según Requis (2012), el rendimiento promedio de tusa se reporta entre 1200 kg.ha⁻¹ y 1600 kg.ha⁻¹, un valor que se utiliza como referencia en esta investigación. Esto lleva a la conclusión de que el ambiente tiene un impacto en el rendimiento de tusa.

Tabla 3.31

Prueba de Tukey del rendimiento en tusa de 5 variedades de maíz morado (*Zea mays* L.) con *Azospirillum* y *Glomus* en 2 localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho

Lugar	Microorganismo	Promedio (kg.ha ⁻¹)	%			
Canaán	<i>Azospirillum</i> + <i>Glomus</i>	1876.82	158	a		
Canaán	<i>Glomus</i>	1524.50	129	a	b	
Canaán	<i>Azospirillum</i>	1459.11	123		b	c
Iribamba	<i>Azospirillum</i> + <i>Glomus</i>	1187.13	168		b	c d
Canaán	Testigo	1185.99	100		b	c d
Iribamba	<i>Glomus</i>	1079.85	153			c d e
Iribamba	<i>Azospirillum</i>	1005.30	142			d e
Iribamba	Testigo	705.64	100			e

El rendimiento de la tusa del maíz morado de las plantas inoculadas con microorganismos fue superior al de las plantas testigo en ambas localidades. La coinoculación con *Azospirillum* y *Glomus* resultó en un aumento del 58% en Canaán y del 68% en Iribamba, en comparación con los testigos. La inoculación individual de *Azospirillum* y *Glomus* mostró un aumento menor en el rendimiento en comparación con su interacción conjunta. Según Requis (2012), el promedio máximo reportado fue de 1600 kg.ha⁻¹, cifra inferior a la obtenida en este estudio. La inoculación con *Azospirillum* estimula la síntesis de fitohormonas de crecimiento, en especial auxinas, y *Glomus*, actuando como bioestimulante, amplía la captación de CO₂ e incrementa la eficiencia en el uso de agua y nutrientes mediante la activación de rutas metabólicas, lo que a su vez eleva la fotosíntesis y produce mayor masa y sistema radicular (Symborg, 2018). En resumen, la aplicación de estos microorganismos resulta beneficiosa para el rendimiento de la tusa.

Tabla 3.32

Prueba de Tukey del rendimiento en tusa de 5 variedades del peso de mazorca de maíz morado (*Zea mays* L.) en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho

Variedad	Promedio (kg.ha ⁻¹)	n	
Canteño	1319.89	8	a
INIA 615	1282.17	8	a
INIA 601	1251.00	8	a
PMV 581	1218.21	8	a
Sintético MM	1193.95	8	a

En el rendimiento de tusa de las cinco variedades no muestras diferencias estadísticas entre sí.

Tabla 3.33

Prueba de Tukey del rendimiento en tusa de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho

Variedad	Lugar	Promedio (kg.ha⁻¹)	n				
Canteño	Canaán	1682.33	4	a			
PMV 581	Canaán	1562.67	4	a			
INIA 615	Canaán	1530.90	4	a			
INIA 601	Canaán	1424.50	4	a	b		
Sintético MM	Canaán	1357.61	4	a	b	c	
INIA 601	Iribamba	1077.49	4		b	c	d
INIA 615	Iribamba	1033.44	4		b	c	d
Sintético MM	Iribamba	1030.29	4		b	c	d
Canteño	Iribamba	957.46	4			c	d
PMV 581	Iribamba	873.74	4				d

La variedad Canteño e INIA 601 muestran rendimientos promedio de 1682.33 kg.ha⁻¹ y 1077.49 kg.ha⁻¹ en las localidades de Canaán e Iribamba, respectivamente. Por otro lado, el tratamiento con menor rendimiento es el de PMV 581 en Iribamba, con un promedio de 873.74 kg.ha⁻¹. Según lo reportado por Flores & Carbonelli (2022), el rendimiento promedio de tusa en Huaral, Lima, utilizando microorganismos eficientes, fue de 1260 kg.ha⁻¹. Se sugiere cultivar la variedad PMV 581 en condiciones óptimas, a altitudes de entre 1200 a 2400 msnm (Manrique, 2000). En resumen, el rendimiento de la tusa está influenciado por el genotipo, el ambiente y la interacción entre ambos factores.

3.2.3 *Peso de 1000 semillas*

Tabla 3.34

Análisis de varianza sobre el peso de mil semillas de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) tratadas con Azospirillum y Glomus, evaluadas en las localidades de Canaán a 2735 msnm e Iribamba a 2336 msnm, Ayacucho

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Lugar	281617.06	1	281617.06	39.34	0.0008**
Microorganismos (Lugar)	42947.19	6	7157.86	5.7	0.0008**
Variedad	24108.41	4	6027.1	4.8	0.0055**
Variedad x Lugar	13001.48	4	3250.37	2.59	0.0625
Error	30156.12	24	1256.5		
Total	391830.26	39			

El peso de las 1000 semillas de cinco variedades de maíz morado muestra diferencias significativas, influenciadas por diversas fuentes de variación en el modelo ($p < 0.05$). El promedio general del peso de 1000 semillas de estas variedades es de 518.89 g, con un coeficiente de variación del 7.02%, que se encuentra dentro del rango permitido para experimentos de campo (Gordón-Mendoza & Camargo-Buitrago, 2015).

Tabla 3.35

Se realizó la prueba de Tukey sobre el peso de 1000 semillas de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) en dos sitios, Cana a 2735 m e Iribamba a 2336 m, ambos en Ayacucho

Lugar	Promedio (g)	n	
Canaán	588.86	20	a
Iribamba	421.04	20	b

Entre las cinco variedades de maíz morado analizadas, el peso de mil semillas muestra una diferencia estadísticamente significativa según la localidad en que se recolectaron. En la comunidad de Canaán, los mil granos pesan en promedio 588.86 g, mientras que en Iribamba se registra un promedio considerablemente más bajo, de 421.04 g.

Tabla 3.36

Prueba de Tukey del peso de 1000 semillas de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho

Lugar	Microorganismo	Promedio (g)	%		
Canaán	<i>Azospirillum + Glomus</i>	617.38	109	a	
Canaán	<i>Glomus</i>	590.57	105	a	
Canaán	<i>Azospirillum</i>	582.54	103	a	
Canaán	Testigo	564.95	100	a	
Iribamba	<i>Azospirillum + Glomus</i>	479.64	133		b
Iribamba	<i>Glomus</i>	423.31	118		b c
Iribamba	<i>Azospirillum</i>	421.20	117		b c
Iribamba	Testigo	360.03	100		c

El peso de 1000 semillas de maíz morado de las plantas inoculadas con microorganismos fue superior al de los testigos en ambas localidades. La coinoculación de *Azospirillum* y *Glomus* resultó en un incremento del 9% en Canaán y del 33% en Iribamba en comparación con sus testigos. En Canaán, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre la combinación de *Azospirillum + Glomus* y la inoculación individual de los microorganismos, aunque ambos fueron superiores a los testigos. En cambio, en Iribamba se observó una diferencia estadística significativa entre esta interacción y los demás tratamientos. Escalante (2014), reporta un promedio de 501.00 g de 1000 semillas en condiciones de Huanta con la aplicación de *Azospirillum*, mientras que nuestros resultados son mejores. La interacción entre *Azospirillum* y *Glomus* incrementó tanto la biomasa como la actividad de fijación de nitrógeno, además de inducir hormonas vegetales como auxina y giberelina (Bellone & de Bellone Silvia, 2012).

Tabla 3.37

Prueba de Tukey del peso de 1000 semillas de maíz morado (Zea mays L.) en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho

Variedad	Promedio (g)	n		
Canteño	534.24	8	a	
INIA 615	523.68	8	a	b
INIA 601	515.22	8	a	b
PMV 581	476.52	8		b
Sintético MM	475.10	8		b

La variedad Canteño muestra un peso de 1000 semillas de 534.24 g. Según Cabrera (2016), reporta un promedio 436.8 g. lo que es significativamente menor en comparación con el promedio obtenido. Esto indica que las condiciones climáticas han sido favorables en este estudio. Por otro lado, la variedad Sintético MM presenta el peso más bajo de 1000 semillas, con un promedio de 475.1 g. Según Espinoza (2023), este promedio es de 437.14 g, lo que resulta inferior a lo observado en nuestra investigación y se utiliza como referencia en este análisis.

Tabla 3.38

La prueba de Tukey para los efectos de variedad y ubicación en maíz morado (Zea mays L.) cultivado a 2735 msnm en Canaán y a 2336 msnm en Iribamba, Ayacucho

Variedad	Lugar	Promedio (g)	n	
Canteño	Canaán	639.81	4	a
INIA 615	Canaán	596.90	4	a
PMV 581	Canaán	573.55	4	a
INIA 601	Canaán	570.06	4	a
Sintético MM	Canaán	563.97	4	a
INIA 601	Iribamba	460.38	4	b
INIA 615	Iribamba	450.45	4	b
Canteño	Iribamba	428.68	4	b
Sintético MM	Iribamba	386.24	4	b
PMV 581	Iribamba	379.48	4	b

La variedad Canteño sobresale en la localidad de Canaán, con un promedio de 639.81 g para el peso de 1000 semillas, mientras que la variedad INIA 601 se destaca en Iribamba, con un promedio de 460.38 g. En cuanto a las variedades de maíz morado, no se encuentran diferencias estadísticamente significativas entre ellas en sus respectivas localidades. Según Cabrera (2016), el promedio para la variedad Canteño en Lima es de 436.8 g, un valor inferior al encontrado en nuestra investigación, lo que sugiere que las condiciones en Canaán son más óptimas que en Lima. Por otro lado, la variedad PMV 581 muestra un promedio menor al resto de 379.84 g en Iribamba. Silvera (2024), reportó un promedio de 409.5 g para la misma variedad en Ica, lo que sugiere que PMV 581 podría no estar bien adaptada a las condiciones de los valles interandinos.

3.2.4 Rendimiento de grano

Tabla 3.39

Análisis de varianza sobre el rendimiento a grano de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) inoculadas con Azospirillum y Glomus, evaluadas en dos localidades de Ayacucho: Canaán, a 2 735 msnm, e Iribamba, a 2 336 msnm

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Lugar	19528539.3	1	19528539.3	2.77	0.1471
Microorganismos (Lugar)	42298832.3	6	7049805.37	5.74	0.0008**
Variedad	38818538.9	4	9704634.73	7.9	0.0003**
Variedad x Lugar	10438716.4	4	2609679.11	2.12	0.109
Error	29487008.4	24	1228625.35		
Total	140571635	39			

El análisis del rendimiento de grano de maíz morado indicó que las distintas fuentes de variación consideradas en el modelo ocasionaron diferencias significativas ($p < 0.05$). El rendimiento promedio obtenido para las cinco variedades analizadas fue de 6998,34 kg ha⁻¹ y el coeficiente de variación se ubicó en 15,84%, valor que se considera aceptable en estudios de campo (Gordón-Mendoza & Camargo-Buitrago, 2015).

Tabla 3.40

Los resultados de la prueba de Tukey aplicada al rendimiento en grano de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) cultivadas en dos contextos altitudinales de Ayacucho, Canaán a 2 735 m s.n.m. e Iribamba a 2 336 m s.n.m

Lugar	Promedio (kg.ha⁻¹)	n	
Canaán	7697.06	20	a
Iribamba	6299.62	20	a

Se concluye que entre las diferentes localidades comparadas no se presenta una diferencia estadísticamente significativa.

Tabla 3.41

Evaluación comparativa mediante la prueba de Tukey sobre el rendimiento de grano en cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.), cultivadas con inoculación de Azospirillum y Glomus, en dos localidades de Ayacucho, Canaán a 2735 msnm e Iribamba a 2336 msnm

Lugar	Microorganismo	Promedio (kg.ha ⁻¹)	%		
Canaán	<i>Azospirillum + Glomus</i>	9072.77	133	a	
Iribamba	<i>Azospirillum + Glomus</i>	8126.32	170	a	b
Canaán	<i>Glomus</i>	7486.50	109	a	b
Canaán	<i>Azospirillum</i>	7388.74	108	a	b
Canaán	Testigo	6840.23	100	a	b c
Iribamba	<i>Azospirillum</i>	6204.70	130		b c
Iribamba	<i>Glomus</i>	6084.96	127		b c
Iribamba	Testigo	4782.48	100		c

Los rendimientos de grano del maíz morado en plantas inoculadas con comunidades microbianas superaron los de los testigos en ambos sitios. La coinoculación de *Azospirillum + Glomus* ofreció un incremento del 33% en Canaán y del 70% en Iribamba, respecto a sus respectivos grupos control. Asimismo, las cultivares que recibieron los inoculantes por separado presentaron rendimientos ligeramente, aunque significativamente, superiores a los testigos. Según Flores & Carbonelli (2022), se reportó un promedio de rendimiento de grano de 6530 kg.ha⁻¹ en Apurímac bajo condiciones similares, valor inferior al que se documentó en la presente investigación. Esta sinergia entre *Azospirillum* y *Glomus* favorece el crecimiento radicular, estimula la captación de nutrientes, potencia la fijación biológica de nitrógeno y aumenta la producción de auxinas, facilitando así el desarrollo del cultivo (Bellone & de Bellone Silvia, 2012). En conjunto, el uso dirigido de estas comunidades microbianas se traduce en mejoras claras en el rendimiento del maíz morado en el área estudiada.

Tabla 3.42

Prueba de Tukey del rendimiento en grano de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho

Variedad	Promedio (kg.ha⁻¹)	n		
Canteño	8184.93	8	a	
INIA 615	7653.67	8	a	
INIA 601	7100.64	8	a	
PMV 581	6772.68	8	a	B
Sintético MM	5279.77	8		B

La variedad Canteño se destaca por su alto rendimiento en grano, alcanzando los 8184.93 kg.ha⁻¹. Según los datos de Ramirez (2020), el rendimiento promedio de esta variedad en condiciones de secano en el departamento de Lambayeque fue de 5497.00 kg.ha⁻¹, cifra que resulta inferior a la registrada en el presente estudio. Por otro lado, la variedad Sintético MM presentó un rendimiento promedio más bajo, de 5279.77 kg.ha⁻¹. Ramirez (2020), también reportó que el rendimiento promedio de la variedad Sintético MM en secano en Lambayeque fue de 3705.33 kg.ha⁻¹, un valor que es menor al encontrado en esta investigación.

Tabla 3.43

Prueba de Tukey del rendimiento de grano de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho

Variedad	Lugar	Promedio (kg.ha⁻¹)	n				
Canteño	Canaán	9630.38	4	a			
INIA 615	Canaán	8491.36	4	a	b		
PMV 581	Canaán	7687.03	4	a	b	c	
INIA 601	Iribamba	7146.18	4	a	b	c	d
INIA 601	Canaán	7055.10	4	a	b	c	d
INIA 615	Iribamba	6815.99	4		b	c	d
Canteño	Iribamba	6739.47	4		b	c	d
PMV 581	Iribamba	5858.33	4		b	c	d
Sintético MM	Canaán	5621.44	4			c	d
Sintético MM	Iribamba	4938.11	4				d

La variedad Canteño se distingue por alcanzar el mejor rendimiento de grano, con un promedio de 9630.38 kg.ha⁻¹ en condiciones de Canaán. En Iribamba, la variedad que resalta es la INIA 601, con un rendimiento promedio de 7146.18 kg.ha⁻¹. Valera (2019), informó que, en condiciones edafológicas y climáticas de los valles de Cajamarca, la variedad Canteño tuvo un rendimiento promedio de 2300 kg.ha⁻¹. Además, Ramírez (2020), reportó un promedio de 5497.00 kg.ha⁻¹ en Lambayeque bajo condiciones de secano, cifras que son inferiores a las obtenidas en el presente estudio. En Ayacucho, las condiciones climáticas se caracterizan por una precipitación anual promedio de 550 mm, en comparación con los 33 mm anuales de Lambayeque (SENAMHI, s. f.). Por otro lado, la variedad Sintético MM presentó un rendimiento inferior en ambas localidades. Según Valera (2019), se reportó un promedio de 4600 kg.ha⁻¹, dato que es similar al hallado en esta investigación.

3.2.5 Índice de cosecha

Tabla 3.44

Análisis de varianza del índice de cosecha de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Microorganismo	57.02	3	19.01	2.57	0.1033
Variedad	128.99	4	32.25	4.35	0.0210**
Error	88.90	12	7.41		
Total	274.92	19			

El índice de cosecha del maíz morado mostró diferencias significativas como resultado de las diversas fuentes de variación incluidas en el modelo ($p < 0.05$). El promedio general del índice de cosecha para las cinco variedades de maíz morado fue del 33.94%, con un coeficiente de variación de 8.01%, este último valor se encuentra dentro del rango aceptable para investigaciones experimentales en el campo (Gordón-Mendoza & Camargo-Buitrago, 2015).

Tabla 3.45

Prueba de Tukey del Índice de cosecha de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho

Microorganismo	Promedio (%)	%	
<i>Azospirillum + Glomus</i>	36.66	115	a
<i>Glomus</i>	33.96	107	a
<i>Azospirillum</i>	33.94	107	a
Testigo	31.66	100	a

En el índice de cosecha nos indica que no existe diferencia estadística entre los tratamientos.

Tabla 3.46

Prueba de Tukey del Índice de cosecha de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho

Variedad	Promedio (%)	n		
INIA 615	37.42	4	a	
Canteño	35.43	4	a	b
Inia 601	34.55	4	a	b
PMV 581	32.65	4	a	b
Sintético MM	29.95	4		b

La variedad más sobresaliente es el INIA 615, con un índice de cosecha promedio de 37.42%. Cabrera (2016), informó un promedio de 41.94% de índice de cosecha (IC) en condiciones de riego presurizado, cifra que es similar a la del presente estudio. En contraste, la variedad Sintético MM presenta un índice de cosecha del 29.95%. Según Cabrera (2016), su promedio en condiciones de riego presurizado fue de 33.46%, un valor que se asemeja al obtenido en este trabajo.

3.2.6 Biomasa

Tabla 3.47

Análisis de varianza de biomasa de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Microorganismo	9223.15	3	3074.38	3.51	0.0493**
Variedad	22171.2	4	5542.8	6.33	0.0056**
Error	10512.67	12	876.06		
Total	41907.03	19			

La biomasa del maíz morado mostró diferencias significativas entre las distintas fuentes de variación incluidas en el modelo ($p < 0.05$). El valor promedio de biomasa para las cinco variedades de maíz morado fue de 346.45 g/planta, con un coeficiente de variación del 8.54%, cifra que se encuentra dentro del rango aceptado para estudios de campo (Gordón-Mendoza & Camargo-Buitrago, 2015).

Tabla 3.48

Prueba de Tukey de biomasa de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho

Microorganismo	Promedio (g/planta)	%	
<i>Azospirillum + Glomus</i>	369.20	116	a
<i>Glomus</i>	365.00	115	a
<i>Azospirillum</i>	333.87	105	a
Testigo	317.73	100	a

En la biomasa no existe ninguna diferencia estadística entre los tratamientos.

Tabla 3.49

Prueba de Tukey de biomasa de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho

Variedad	Promedio (g/planta)	n		
Canteño	409.00	4	a	
PMV 581	345.50	4	a	b
Sintético MM	339.50	4		b
INIA 615	325.75	4		b
INIA 601	312.50	4		b

La variedad Canteño resalta por su alta producción de biomasa, logrando un rendimiento de 409.00 g/planta. Según Rojas (2018), se documentó un promedio de 451.43 g/planta para esta misma variedad, lo que es comparable con los resultados del estudio realizado. En contraste, la variedad INIA 601 presentó un promedio más bajo de 312.5 g/planta. Ramirez (2020), informó un promedio de 394.6 g/planta para INIA 601 en las condiciones de Lambayeque.

3.3 Desarrollo de raíz

3.3.1 Peso de raíz

Tabla 3.50

Análisis de varianza del peso de raíz de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en la localidad de Canaán a 2735 Ayacucho

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Microrganismo	26202.63	3	8734.21	70.35	<0.0001**
Variedad	1898.28	4	474.57	3.82	0.0315*
Error	1489.92	12	124.16		
Total	29590.83	19			

El análisis estadístico reveló diferencias significativas en el peso de las raíces entre las cinco variedades de maíz morado, de acuerdo con las distintas fuentes de variación consideradas en el modelo ($p < 0,05$). El peso promedio observado fue de 125,522 g por planta, y el coeficiente de variación calculado fue de 8,88%; este último se sitúa dentro del rango aceptable para experimentos en condiciones de campo (Gordón-Mendoza & Camargo-Buitrago, 2015).

Tabla 3.51

Prueba de Tukey del peso de raíz de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.), Azospirillum y Glomus en la localidad de Canaán a 2735 msnm, Ayacucho

Microrganismo	Promedio (g/planta)	%	
<i>Azospirillum</i> + <i>Glomus</i>	180.29	230	a
<i>Glomus</i>	121.93	155	b
<i>Azospirillum</i>	121.37	155	b
Testigo	78.50	100	c

Las plantas inoculadas con microorganismos superaron al grupo testigo, y la coinoculación de *Azospirillum* + *Glomus* resultó en un aumento del 130% en el peso de las raíces en comparación con el testigo. Se observaron incrementos menores en el peso de raíz al aplicar los microorganismos de forma individual en comparación con el grupo control. Según (Pérez, 2017), su investigación indica que la combinación de *Azospirillum* + *Glomus* produjo un mayor peso seco de raíces (54.05%) en comparación con el tratamiento testigo. Asimismo, Rodríguez et al. (2020), informaron un aumento del 35.33% con la aplicación de *Azospirillum*. Estos hallazgos evidencian que tanto la bacteria *Azospirillum* como el hongo *Glomus* tienen un efecto positivo en el sistema radicular, mejorando el peso seco de las raíces a través de la acción de fitohormonas y la disponibilidad de nutrientes.

Tabla 3.52

Prueba de Tukey del peso de raíz de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.), en la localidad de Canaán a 2735 msnm, Ayacucho

Variedad	Promedio (g/planta)	n		
INIA 601	140.99	4	a	
INIA 615	129.32	4	a	b
PMV 581	123.65	4	a	b
Sintético MM	122.58	4	a	b
Canteño	111.07	4		b

La variedad INIA 601 se caracteriza por un peso radical promedio de 140,99 g por planta, el mayor registrado en el ensayo. Estos resultados son más altos que los 122,7 g reportados por. Félix et al. (2023), quienes sugieren que el comportamiento de INIA 601

pudo beneficiarse de condiciones ambientales favorables y de una buena adaptación de la cultivar al medio.

3.3.2 Longitud de raíz

Tabla 3.53

Análisis de varianza de la longitud de raíz de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en la localidad de Canaán a 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Microrganismo	77.03	3	25.68	31.1	<0.0001**
Variedad	5.62	4	1.4	1.7	0.2142
Error	9.91	12	0.83		
Total	92.55	19			

La longitud de las raíces del maíz morado mostró diferencias significativas debido a las diversas fuentes de variación incluidas en el modelo ($p < 0.05$). El promedio general de longitud de las raíces de las cinco variedades de maíz morado fue de 29.158 cm, con un coeficiente de variación del 3.12%, un valor que se encuentra dentro del rango aceptable para experimentos de campo (Gordón-Mendoza & Camargo-Buitrago, 2015).

Tabla 3.54

Prueba de Tukey de la longitud de la raíz de la planta de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en la localidad de Canaán a 2735 msnm, Ayacucho

Microrganismo	Promedio (cm)	%	
<i>Azospirillum + Glomus</i>	31.81	121	a
<i>Glomus</i>	29.32	112	b
<i>Azospirillum</i>	29.24	111	b
Testigo	26.27	100	c

Las plantas de maíz morado inoculadas con microorganismos mostraron un mejor rendimiento en comparación con el grupo testigo. La coinoculación de *Azospirillum + Glomus* favoreció un aumento de la longitud de raíz del 21%. Se observaron incrementos menores al aplicar los microorganismos de manera individual en comparación con el testigo. Delgado et al. (2008), reportaron una longitud de raíz promedio de 30.09 cm con la aplicación de bacterias PGPR, un valor inferior al obtenido en este estudio, que se

superó con la combinación de ambos microorganismos. Esta combinación estimula la síntesis de fitohormonas a través de exudados radiculares, lo que contribuye al aumento de la longitud de las raíces del maíz.

Tabla 3.55

Prueba de Tukey de la longitud de raíz de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) en la localidad de Canaán a 2735 msnm, Ayacucho

Variedad	Promedio (cm)	n	
INIA 601	29.70	4	a
Sintético MM	29.60	4	a
INIA 615	29.18	4	a
Canteño	29.11	4	a
PMV 581	28.20	4	a

No existe diferencia estadística entre las variedades.

3.3.3 Volumen de raíz

Tabla 3.56

Análisis de varianza del volumen de raíz de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en la localidad de Canaán a 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Microrganismo	484.53	3	161.51	475.5	<0.0001**
Variedad	3.14	4	0.78	2.31	0.1173
Error	4.08	12	0.34		
Total	491.75	19			

El volumen de las raíces del maíz morado presentó diferencias significativas debido a las diversas fuentes de variación consideradas en el modelo ($p < 0.05$). El promedio general del volumen de las raíces de las cinco variedades de maíz morado fue de 21.05 cm³ por planta, el coeficiente de variación fue del 2.77%, un valor que se sitúa dentro del rango aceptable para estudios de campo (Gordón-Mendoza & Camargo-Buitrago, 2015).

Tabla 3.57

Prueba de Tukey del volumen de raíz de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en la localidad de Canaán a 2735 msnm, Ayacucho

Microrganismo	Promedio (cm³/planta)	%	
<i>Azospirillum</i> + <i>Glomus</i>	28.04	199	a
<i>Azospirillum</i>	21.12	150	b
<i>Glomus</i>	20.92	148	b
Testigo	14.12	100	c

Las plantas inoculadas con microorganismos mostraron un rendimiento superior en comparación con el grupo testigo. La coinoculación de *Azospirillum* + *Glomus* resultó en un incremento del 99% en el volumen de raíz respecto al grupo control. Se observaron incrementos menores al aplicar los microorganismos de manera individual frente al testigo. Rangel et al. (2011), evaluaron el sistema radicular del maíz utilizando cepas de *Azospirillum*, reportando un promedio de 14 cm³/planta. Comparado con nuestros resultados, esto muestra una clara superioridad, lo que sugiere que la interacción entre *Azospirillum* y *Glomus* genera mejores resultados, ocasionado probablemente al incremento del sistema radicular mediante la producción de fitohormonas que regulan el crecimiento y desarrollo, maximizando la actividad de fijación de nitrógeno (Bellone & de Bellone Silvia 2012).

Tabla 3.58

Prueba de Tukey del volumen de raíz de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) en la localidad de Canaán a 2735 msnm, Ayacucho

Variedad	Promedio (cm³/planta)	n	
Sintético MM	21.65	4	a
INIA 601	21.20	4	a
Canteño	21.15	4	a
PMV 581	20.75	4	a
INIA 615	20.50	4	a

No existe diferencias estadísticas entre las cinco variedades.

3.3.4 Diámetro de raíz

Tabla 3.59

Análisis de varianza del diámetro de raíz de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en la localidad de Canaán a 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Microrganismo	0.51	3	0.17	277.99	<0.0001**
Variedad	0.005	4	0.0012	2.05	0.1509
Error	0.01	12	0.00061		
Total	0.52	19			

El diámetro de las raíces del maíz morado mostró diferencias significativas debido a las distintas fuentes de variación consideradas en el modelo ($p < 0.05$). El promedio general del diámetro de las raíces de las cinco variedades de maíz morado fue de 2.71 mm, y el coeficiente de variación fue del 0.91%, un valor que se encuentra dentro del rango aceptable para estudios de campo (Gordón-Mendoza & Camargo-Buitrago, 2015).

Tabla 3.60

Prueba de Tukey del diámetro de raíz de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en la localidad de Canaán a 2735 msnm, Ayacucho

Microrganismo	Promedio (mm)	%	
<i>Azospirillum + Glomus</i>	2.92	118	a
<i>Azospirillum</i>	2.74	111	b
<i>Glomus</i>	2.70	109	b
Testigo	2.47	100	c

Las plantas inoculadas con microorganismos presentaron un rendimiento superior en comparación con el grupo testigo. La coinoculación de *Azospirillum + Glomus* resultó en el incremento del 18% de acuerdo al diámetro de las raíces en relación con el testigo. La aplicación individual de los microorganismos mostró un incremento menor frente al testigo. Moraima García et al. (2001), reportaron un promedio de diámetro de raíz de 2.70 mm en condiciones de Misisipi, un valor inferior al encontrado en este estudio. Esto sugiere que la presencia de *Azospirillum* y *Glomus* incentiva a la producción de auxinas, que intervienen en la división celular, favoreciendo así un mejor desarrollo del sistema radicular (Rangel et al., 2011).

Tabla 3.61

Prueba de Tukey del diámetro de raíz de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) en la localidad de Canaán a 2735 msnm, Ayacucho

Variedad	Promedio (mm)	n	
INIA 615	2.73	4	a
INIA 601	2.72	4	a
Canteño	2.71	4	a
PMV 581	2.70	4	a
Sintético MM	2.68	4	a

No existe diferencia estadística entre las cinco variedades.

3.3.5 *Ramificaciones de raíz*

Tabla 3.62

Análisis de varianza de ramificaciones de la raíz de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en la localidad de Canaán a 2735 msnm, Ayacucho

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Micorganismo	384.95	3	128.32	66.37	<0.0001**
Variedad	7.65	4	1.91	0.99	0.4501
Error	23.2	12	1.93		
Total	415.8	19			

Las ramificaciones de las raíces del maíz morado mostraron diferencias significativas debido a las distintas fuentes de variación consideradas en el modelo ($p < 0.05$). El promedio general de las ramificaciones de raíz de las cinco variedades de maíz morado fue de 20.51 unidades, con un coeficiente de variación de 6.78%, un valor que se sitúa dentro del rango aceptable para estudios de campo (Gordón-Mendoza & Camargo-Buitrago, 2015).

Tabla 3.63

Prueba de Tukey de la ramificación de la raíz de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en la localidad de Canaán a 2735 msnm, Ayacucho

Microrganismo	Promedio (unidades)	%	
<i>Azospirillum y Glomus</i>	27.28	182	a
<i>Azospirillum</i>	19.92	133	b
<i>Glomus</i>	19.84	132	b
Testigo	15.00	100	c

Las plantas inoculadas con microorganismos mostraron un rendimiento superior en comparación con el grupo testigo. La coinoculación de *Azospirillum* + *Glomus* resultó en un aumento del 82% en la ramificación de las raíces respecto al testigo. Por otro lado, la aplicación individual de los microorganismos generó un menor incremento a diferencia con el testigo. Además, Moraima García et al. (2001), reportaron un promedio de 14 unidades de raíces en condiciones de Misisipi, un valor inferior al obtenido en este estudio. La inoculación de *Azospirillum* + *Glomus* en este tratamiento mostró mejores resultados, ya que ambos interactúan para mejorar el desarrollo del sistema radicular, y el *Glomus* colabora en la fijación del nitrógeno (Rangel et al., 2011).

Tabla 3.64

Prueba de Tukey de la ramificación de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) en la localidad de Canaán a 2735 msnm, Ayacucho

Variedad	Promedio (unidades)	n	
Canteño	21.25	4	a
Sintético MM	21.20	4	a
PMV 581	20.40	4	a
INIA 601	19.90	4	a
INIA 615	19.80	4	a

No existe diferencia estadística entre las cinco variedades.

CONCLUSIONES

1. La interacción de *Azospirillum* y *Glomus* influyó en el crecimiento tanto en Canaán e Iribamba, siendo superiores a los otros tratamientos. Sin embargo, Canaán fue más resaltante en altura de planta y mazorca, con un promedio de 254.78 cm y 156.5 cm. Las variedades con mejores resultados en cuanto a la altura de planta y mazorca son INIA 601, PMV 581 y Sintético MM.
2. La coinoculación de *Azospirillum* y *Glomus* tiene un mejor resultado en rendimiento en ambas localidades (Canaán e Iribamba), en comparación con los otros tratamientos. Sin embargo, la localidad de Canaán presenta mejores resultados de rendimiento que la localidad de Iribamba, siendo los más destacados en los parámetros de mazorca, tusa y grano, con 10949.59 kg.ha⁻¹, 1876.82 kg.ha⁻¹, 9072.77 kg.ha⁻¹, respectivamente. Las variedades a destacar son: Canteño, INIA 615 (Negro Canaán) e INIA 601, que son sobresalientes en los parámetros de rendimiento de mazorca, tusa y grano.
3. Los microorganismos *Azospirillum* y *Glomus* influyeron en el crecimiento y desarrollo de las raíces. La coinoculación de *Azospirillum* y *Glomus* obtuvo mejores resultados, superando al testigo en 101.79 g, 5.54 cm, 13.92 cm³/planta, 0.45 mm y 12.28 unidades en los parámetros de peso, longitud, volumen, diámetro y ramificaciones de raíz, respectivamente. Las variedades más destacadas fueron INIA 615 e INIA 601.

RECOMENDACIONES

- Promover el uso de microorganismos benéficos en el cultivo de maíz morado, así como para la producción de cultivos orgánicos y sostenibles con el medio ambiente.
- Seguir la presente investigación en diferentes cultivos para una producción rentable y amigable con el suelo y el medio ambiente.
- Realizar investigaciones en otras condiciones climáticas para evaluar la adaptación de los microorganismos.
- Evaluar la calidad nutricional del maíz morado con la influencia de los microorganismos estudiados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto, W., Medina, A., & Injante, P. (2014). *Maíz morado INIA 601: Variedad de maíz morado para la sierra norte del Perú*. Instituto Nacional de Innovación Agraria. Plegablen. 3 - 2014, Cajamarca, Perú. <https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/65>
- Bellone, C. H., & de Bellone Silvia, C. (2012). Interaction of *Azospirillum brasilense* and *Glomus intraradix* in Sugar Cane Roots. *Indian Journal of Microbiology*, 52(1), 70-75. <https://doi.org/10.1007/s12088-011-0208-0>
- Cabrera, C. (2016). *Tres láminas de riego en el rendimiento de cuatro variedades de maíz morado (zea mays l.) bajo riego por goteo*. Experimental, Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/1960/F06-C32-T.pdf?sequence=9&isAllowed=y>
- Camarena-Gutiérrez, G. (2012). Interacción planta-hongos micorrízicos arbusculares. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 8(3), 409-421. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2011.11.093>
- Delgado, R., Castro, L., Cabrera de Bisbal, E., San Vicente, F., Mújica, M. de J., Canache, S., Navarro, L., & Noguera, I. (2008). Evaluación de algunas características del sistema radical del maíz (híbrido inia 68) cultivado bajo labranza mínima y convencional en un suelo de maracay, Venezuela. *Agronomía Tropical*, 58(4), 427-438.
- Domingues, C., Cecato, U., Trento, T. T., Mamédio, D., & Galberio, S. (2020). *Azospirillum spp. En gramíneas y forrajeras*. 11(1), 223-240. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i1.4951>
- Escalante, H. (2014). *Métodos de inoculación de dos cepas de Azospirillum sp en plantas de maíz morado (Zea mays L.) en Huanta a 2650 msnm* [Experimental, Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga]. <https://repositorio.unsch.edu.pe/items/1d41a8f6-4863-4ff5-a06a-f5f767dff850>
- Espinoza, W. (2023). *Cuarto ciclo de selección masal estratificada de un compuesto en maíz morado (Zea mays L.). Canaán a 2735 msnm, Ayacucho* [Experimental, Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga]. <https://repositorio.unsch.edu.pe/server/api/core/bitstreams/b47b5d4d-7c91-4421-a55d-ec312ebb074/content>

- Estacion Experimental Agraria. (2003). *Maíz INIA 601* [Ficha técnica]. Estacion Experimental Agraria Baños del Inca - Cajamarca.
- FAO. (s. f.). *El origen y la cultura del maíz*. <https://www.fao.org/4/Y3841s/y3841s04.htm>
- FAO. (2016). *Origen, evolución y difusión del maíz*. <https://www.gob.mx/aserca/articulos/conoces-el-origen-del-maiz?idiom=es>.
- Félix, J., Ruiz, N., Rincón, F., Sánchez, F. J., Borrego, F., & Benavides, A. (2023). Selección de poblaciones de maíz con base en la producción temprana de biomasa bajo condiciones de estrés salino. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(3), 449-458. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i3.3091>
- Flores, N., & Carbonelli, Z. (2022). Microorganismos eficientes en la producción del maíz morado (*Zea mays* L). *Micaela Revista de Investigación - UNAMBA*, 3(1), 39-44. <https://doi.org/10.57166/micaela.v3.n1.2022.76>
- Gómez, L. (2014). *Efecto de concentraciones, de esporas de Glomus sp. En Zea mays L." maíz"; en condiciones de invernadero. Ayacucho – 2014*. Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga. <https://repositorio.unsch.edu.pe/items/6c11eb59-ddde-49f9-8f09-943324c3604e>
- Gordón-Mendoza, R., & Camargo-Buitrago, I. (2015). Selección de estadísticos para la estimación de la precisión experimental en ensayos de maíz. *Agronomía Mesoamericana*, 26(1), 56-63.
- Gutiérrez, B. (2019). *Biofertilización con hongos micorrízicos arbusculares y Azospirillum sp. En el rendimiento de maíz amiláceo (Zea mays L.) en Quinoa a 3180 msnm—Ayacucho*. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- INIA Canaán. (2007, noviembre). *Maíz INIA 615 - Negro Canaán: Nueva variedad de maíz morado para la sierra peruana*. Instituto Nacional de Innovación Agraria. Plegable;n. 17 - 2007. <https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/648>
- Licea, J., Quiroz, J., & Hernández, J. (2020). Impacto de *Azospirillum* Brasilense, una rizobacteria que estimula la producción del ácido indol-3-acético como el mecanismo de mejora del crecimiento de las plantas en los cultivos agrícolas. *Revista Boliviana de Química*, 37(1), 34-39.
- Lopez, S. (2019). *Densidad de siembra y momentos de aplicación de fósforo en el rendimiento de maíz morado (Zea mays l.) bajo goteo*. Universidad Nacional Agraria La Molina].

- <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3963/lopez-romero-sandy-cristina.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Manrique, A. (2000). *Maíz morado Peruano (zea mays L. amilaceae st.)* (primera). Proyecto de Producción de Medios de Comunicación y Transferencia.
- Mayorga, A., & Pérez, A. (2018). *Maíz morado (Zea mays)*. <https://alimentos-autoctonos.fabro.com.mx/maiz-morado.html>
- Medina, A. (2022). *Guía de Manejo del Cultivo de Maíz Morado (Zea mays L.)*.
- Medina, A., Narro, L., & Cabrera, A. (2020). Cultivo de maíz morado (*Zea mays L.*) en zona altoandina de Perú: Adaptación e identificación de cultivares de alto rendimiento y contenido de antocianina. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 291-299. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.01>
- Medina, A., Yoshino, M., Morita, T., & Maruyama, H. (2016). *Guía de producción comercial de maíz morado*. En Incremento de los Ingresos Económicos de los Pequeños Productores en la Región Cajamarca—IEPARC (pp. 1-66).
- MIDAGRI. (2022). *Análisis de mercado del Maíz morado 2015—2021* (p. 48). Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2690525/Analisis%20de%20Mercado%20-%20Maiz%20Morado%202015-2021.pdf.pdf>
- Moraima García, Watson, C., & Salcedo, F. (2001). Evaluación de métodos para determinar resistencia al acame de raíces en maíz dulce. *Bioagro* 2001, 13(1), 22-31.
- Pérez, M. (2017). *Evaluación del efecto de dos microorganismos en la colonización y promoción del crecimiento y desarrollo de plántulas de maíz (zea mays L.)* [Experimental, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/8482/K64572%20PEREZ%20GARCIA%2c%20MARIANA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pérez-Luna, Y., & Álvarez, J. (2021). Efecto de la aplicación de biofertilizantes sobre el rendimiento de maíz en parcelas con y sin cobertura vegetal. *Idesia (Arica)*, 39(4), 29-38. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292021000400029>
- Pinedo, R. (2015). *Niveles de Fertilización en dos variedades de maíz morado (Zea mayz L.) en la localidad Canaan Ayacucho*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Piña, P. (2018). *Comparativo de rendimiento y contenido de antocianinas en 6 variedades de maíz morado (zea mays l.) en el distrito de Ichocán, provincia de San Marcos*,

- región Cajamarca. Universidad Nacional de Cajamarca. <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/2874/COMPARATIVO%20DE%20RENDIMIENTO%20Y%20CONTENIDO%20DE%20ANTOCIANINAS%20EN%206%20VARIETADES%20DE%20MA%20c3%8dZ%20MORADO%20%28Zea%20mays%20L.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rabanal-Atalaya, M., & Medina -Hoyos, A. (2022). Cultivares de maíz morado de alto rendimiento y contenido de antocianinas en la región Cajamarca, Perú. *Rev. Mex. Cienc. Agríc* 15/05/2022, 13(3), 381-392. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i3.2850>
- Ramirez, D. (2020). *Evaluación del rendimiento y los niveles de pigmentos antociánicos de 07 genotipos de maíz morado (Zea mays L.) bajo condiciones de secano y riego, centro poblado de Yatún, Cutervo, Cajamarca* [Experimental, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/10947>
- Rangel, J., Rodríguez-Mendoza, M. de las N., Ferrera, R., Castellanos, J., Ramírez, R., & Alvarado, E. (2011). Afinidad y efecto de *Azospirillum* sp. En maíz. *Agronomía Mesoamericana*, 22(2), 269-279.
- Requis, F. (2012). *Manejo agronómico del maíz morado en los valles interandinos del Perú*. Estación Experimental Agraria Canaán - Ayacucho.
- Rodríguez, M. G., Gallegos, M. Á., Rodríguez, L., Fortis, M., Luna, J. G., & González, U. (2020). Cepas nativas de *Bacillus* spp. Como una alternativa sostenible en el rendimiento de forraje de maíz. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 38(2), 313-321. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.690>
- Rojas, Y. (2018). *Influencia del índice de cosecha en las variedades de maíz morado (zea mays amilacea cv morado) PMV 582 y Canteño en el distrito de Motupe* [Experimental, Universidad Pedro Ruiz Gallo]. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/4658>
- Roveda, G., & Polo, C. (2007). Mecanismos de adaptación del maíz asociado a *Glomus* spp. En suelos con bajo fósforo disponible. *Agronomía Colombiana*, 25(2), 349-356.
- Sánchez, I. (2014). Maíz I (*Zea mays*). 2014. <https://hdl.handle.net/20.500.14352/33739>
- Sangoquiza, C., Viera, Y., & Yáñez, C. (2018). Respuesta biológica de aislados de *Azospirillum* spp. Frente a diferentes tipos de estrés. *Ctro. Agr.* 45(1), 40-46.

- SENAMHI. (s. f.). *Datos meteorológicos por departamentos*. portal de transparencia nacional. <https://www.senamhi.gob.pe/site/descarga-datos/>
- Silvera, R. (2024). *Comparativo de rendimiento y principales caracteres morfoproductivos de cinco cultivares de maíz morado (Zea mays L) en la zona baja del Valle de Ica*. [Experimental]. Universidad Nacional San Luis GonzagaL “SAN LUIS GONZAGA.
- Symborg. (2018, mayo 23). *Actividad del hongo micorrízico arbuscular, Glomus iranicum var tenuihypharum var nova y sus efectos en el desarrollo de cítricos en el sureste de España*. Symborg. <https://symborg.com/es/actualidad/actividad-del-hongo-micorrizico-arbuscular-gломus-iranicum-var-tenuihypharum-var-nova-y-sus-efectos-en-el-desarrollo-de-citricos-en-el-sureste-de-espana/>
- Valera, P. (2019). *Efecto de la altitud en el rendimiento y en el contenido de antocianinas de maíz morado (Zea mays L.) en el distrito de Ichocán* [Experimental, Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://190.116.36.86/bitstream/handle/20.500.14074/3698/TESIS%20-%20PIERRE%20OMAR.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Velázquez, R. (2023). *¿Que son las micorrizas?* <https://es.linkedin.com/pulse/que-son-las-micorrizas-rub%C3%A9n-vel%C3%A1zquez-mogoll%C3%B3n->

ANEXOS

Anexo 1 Resultados del análisis de suelo del Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliarés - LABSAF Canaán, Centro Experimental Canaán



REFERENCIAS					
NOMBRE AGRICULTOR	PROSEM - EEA Canaán	VARIEDAD	INIA 615 - Negro Canaán	MUESTRA N°	1584
DIRECCION	Av. Abancay N° 299 - Ayacucho	SIST. PRODUCCION	Convencional		
NOMBRE PARCELA	-	RDTO ESTIMADO (t/ha)	4.0		
CULTIVO	Maíz Amiláceo	PERMANENCIA CULTIVO (meses)	6		

ANÁLISIS DE SUELOS - EFICIENCIA DE FERTILIZANTES - EXTRACCION NUTRIENTES CULTIVO DE MAÍZ AMILÁCEO GRANO

ANÁLISIS DE SUELOS		
CARACTERIZACIÓN	UNIDAD	VALOR
Profundidad	m	0.25
Densidad aparente	ton/m ³	1.45
Peso del suelo	ton	3626
Porcentaje N en MO	%	5.00
Porcentaje mineraliz. N	%	1.20
pH	(1:2.5)	7.80
CE	mS/cm	13.10
MO	%	2.30
Fósforo	ppm	15.79
Potasio	ppm	380.26
Ca ⁺⁺	meq/100 g suelo	37.93
Mg ⁺⁺	meq/100 g suelo	6.10
K ⁺	meq/100 g suelo	1.99
Na ⁺	meq/100 g suelo	0.46
Al ³⁺ + H ⁺	meq/100 g suelo	0.00
Azúfre	ppm	0.00

EXTRACCION DE NUTRIENTES CULTIVO:			41	MAÍZ MORA ▼
Nutriente	Requerimiento (kg/ton)	Requerimiento Rato Est. (3.5 t)	FC para pasar a forma de fertilizante	Necesidad en forma de fertilizante
N	13.10	52.4	1.00	52
P ₂ O ₅	2.64	10.6	2.29	24
K ₂ O	11.47	45.9	1.21	55
CaO	4.50	18.0	1.40	25
MgO	6.00	24.0	1.66	40
S	3.00	12.0	1.00	12

EFICIENCIA FERTILIZANTES	
Nutriente	Eficiencia (%)
N	50
P	20
K	70
Ca	70
Mg	70
S	50

Anexo 2

Resultados del análisis de suelo del Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliarés -LABSAF Canaán, Fundo Iribamba



REFERENCIAS					
NOMBRE AGRICULTOR	PROSEM - EEA Canaán	VARIEDAD	INIA 615 - Negro Canaán	MUESTRA N°	1585
DIRECCION	Av. Abancay N° 299 - Ayacucho	SIST. PRODUCCION	Convencional		
NOMBRE PARCELA	-	RDTO ESTIMADO (t/ha)	4.0		
CULTIVO	Maíz Amiláceo	PERMANENCIA CULTIVO (meses)	5		

ANÁLISIS DE SUELOS - EFICIENCIA DE FERTILIZANTES - EXTRACCION NUTRIENTES CULTIVO DE MAÍZ AMILÁCEO GRANO

ANÁLISIS DE SUELOS		
CARACTERIZACIÓN	UNIDAD	VALOR
Profundidad	m	0.25
Densidad aparente	ton/m ³	1.51
Peso del suelo	ton	3776
Porcentaje N en MO	%	5.00
Porcentaje mineraliz. N	%	1.50
pH	(1:2.5)	7.60
CE	mS/cm	83.10
MO	%	1.80
Fósforo	ppm	12.99
Potasio	ppm	380.12
Ca ⁺⁺	meq/100 g suelo	35.54
Mg ⁺⁺	meq/100 g suelo	3.79
K ⁺	meq/100 g suelo	1.82
Na ⁺	meq/100 g suelo	2.62
Al ³⁺ + H ⁺	meq/100 g suelo	0.00
Azúfre	ppm	0.00

EXTRACCION DE NUTRIENTES CULTIVO:			42	MAÍZ AMILA ▼
Nutriente	Requerimiento (kg/ton)	Requerimiento Rato Est. (4 L)	FC para pasar a forma de fertilizante	Necesidad en forma de fertilizante
N	15.00	60.0	1.00	60
P ₂ O ₅	3.00	12.0	2.29	27
K ₂ O	4.00	16.0	1.21	19
CaO	0.20	0.8	1.40	1
MgO	2.00	8.0	1.66	13
S	1.00	4.0	1.00	4

EFICIENCIA FERTILIZANTES	
Nutriente	Eficiencia (%)
N	50
P	20
K	70
Ca	70
Mg	70
S	50

Anexo 3

Costos y presupuestos del proyecto de investigación

Actividades	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
				7,351.00
BIENES				2,721.00
Semillas				
Semilla de Maíz Morado	kg	40	4	160
Fertilizantes				
Roca fosfórica	Saco x 50 kg	1	50	50
Mallki	Saco x 25 kg	6	30	180
Agroquímicos				
Beta - Baytroide	L	1	220	220
Regulador de agua (PH)	L	1	26	26
Adherente	L	1	135	135
Abonos foliares y reguladores de crecimiento				
<i>Glomus iranicum</i>	bolsa x 1 kg	1	300	300
bayfolan aktivator XL	L	2	50	100
Materiales				
Material de escritorio: plumón indeleble, papel bond, engrapador, grapas, clips	Kit	2	120	240
Pita de yute para coser sacos	Kilo	5	12	60
Sacos de polipropileno para 80 kg	Unidad	100	2.5	250
Combustibles				
Combustibles varios	galón	50	20	1,000.00
SERVICIOS				4,630.00
Servicio de implementación de señalética				120
Identificación (letrero de campo)	Unidad	1	120	120
Servicio y/o acondicionamiento del campo de maíz morado				3,290.00
A.- Preparación de terreno				
Limpieza del terreno	Jornal	1	70	70
B.- Siembra.				140
Siembra Semilla de Maíz morado	Jornal	1	70	70
Resiembra	Jornal	1	70	70
C.- Fertilización.				70
Aplicación de fertilizantes	Jornal	1	70	70
D.- Labores culturales.				1,050
1er Deshierbo de maleza	Jornal	3	70	210
2da Deshierbo de maleza	Jornal	2	70	140
1er Aporque del cultivo maíz	Jornal	5	70	350
2do Aporque del cultivo maíz	Jornal	5	70	350
E.- Riegos.				280
Tomeo	Jornal	1	70	70
Riegos	Jornal	3	70	210
F.- Control fitosanitario.				210
Aplicación de pesticidas	Jornal	3	70	210
G.- Cosecha.				700
Cosecha	Jornal	8	70	560
Selección	Jornal	2	70	140
H.- Post Cosecha.				770
Selección de mazorcas	Jornal	1	70	70
Desgrane manual semilla de maíz	Jornal	5	70	350
Ensayado de mazorcas	Jornal	1	70	70
Pesado del maíz desgranado	Jornal	1	70	70
Procesamiento de maíz consumo	Jornal	1	70	70
Desinfección de semillas	Jornal	1	70	70
Cosido y traslado almacén	Jornal	1	70	70
Servicio de maquinaria Agrícola				700
Arado	h/maq	2	80	160
Cruza	h/maq	2	80	160
Rastra y surcado	h/maq	2	80	160
Labores culturales y cosecha	h/maq	2	110	220
Servicio de Impresiones	Servicio	1	400	400

Conducción del experimento

Anexo 4

Preparación del campo experimental para la siembra



Anexo 5

*Inoculación del *Azospirillum brasilense* en semilla de maíz morado (*Zea mays* L.)*



Anexo 6

Abonamiento de fondo con Mallki



Anexo 7

Siembra del maíz morado en la parcela demostrativa



Anexo 8

Deshierbo del cultivo de maíz morado



Anexo 9

Control fitosanitario del cultivo de maíz



Nota: a) Preparación de los insumos para el control fitosanitario de plagas y enfermedades. b) Uso de la mochila para la aplicación del insumo en el control biológico.

Anexo 10

Aporque del cultivo del maíz morado con el uso del tractor facilitado por la Estación Experimental de Canaán - INIA



Anexo 11

*Dosificación y aplicación del *Glomus iranicum* var. *tenuihypharum* en el maíz morado*



Anexo 12

Evaluación de la altura de mazorca y planta del maíz



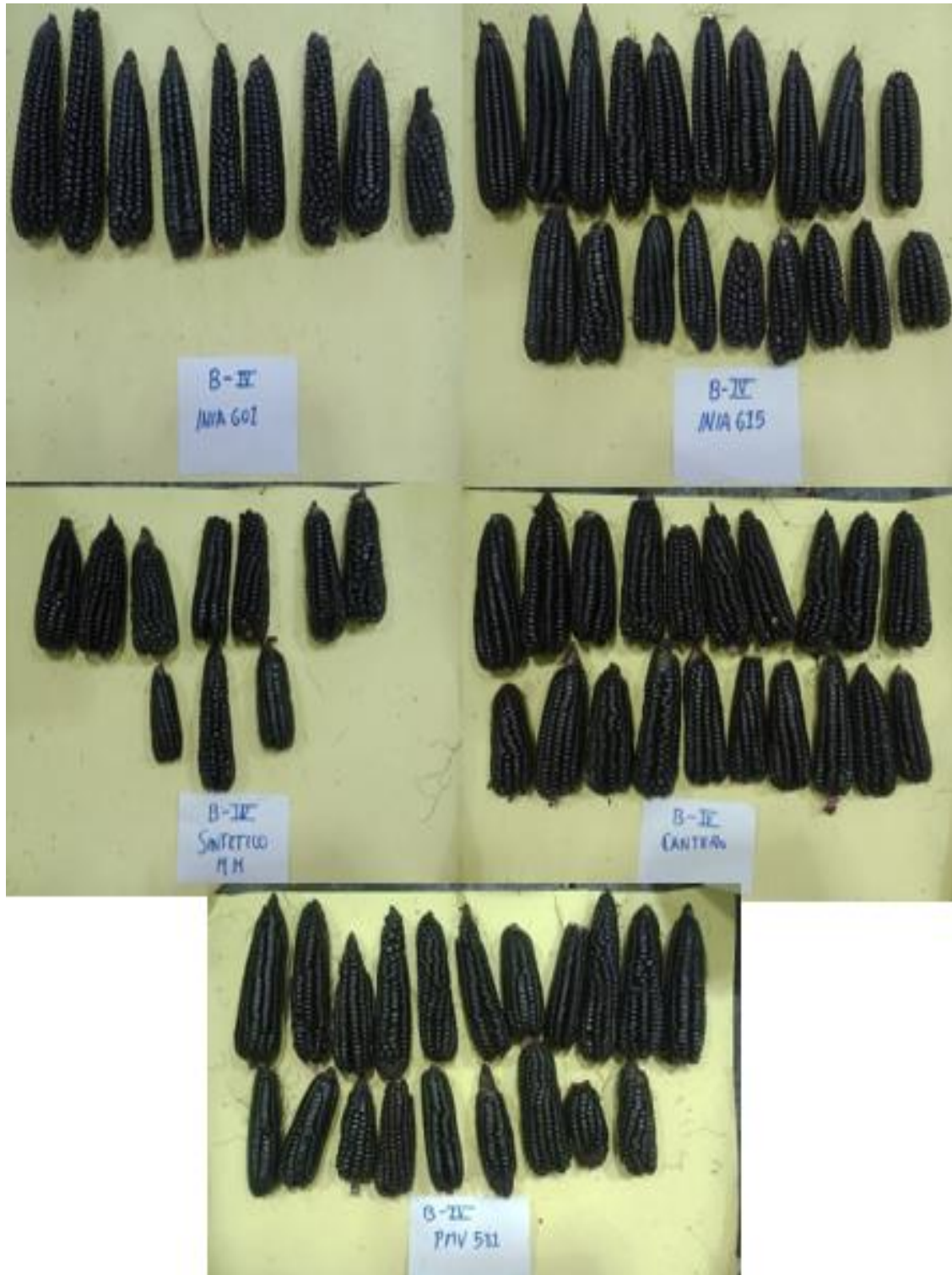
Anexo 13

Pesaje de mazorcas del maíz



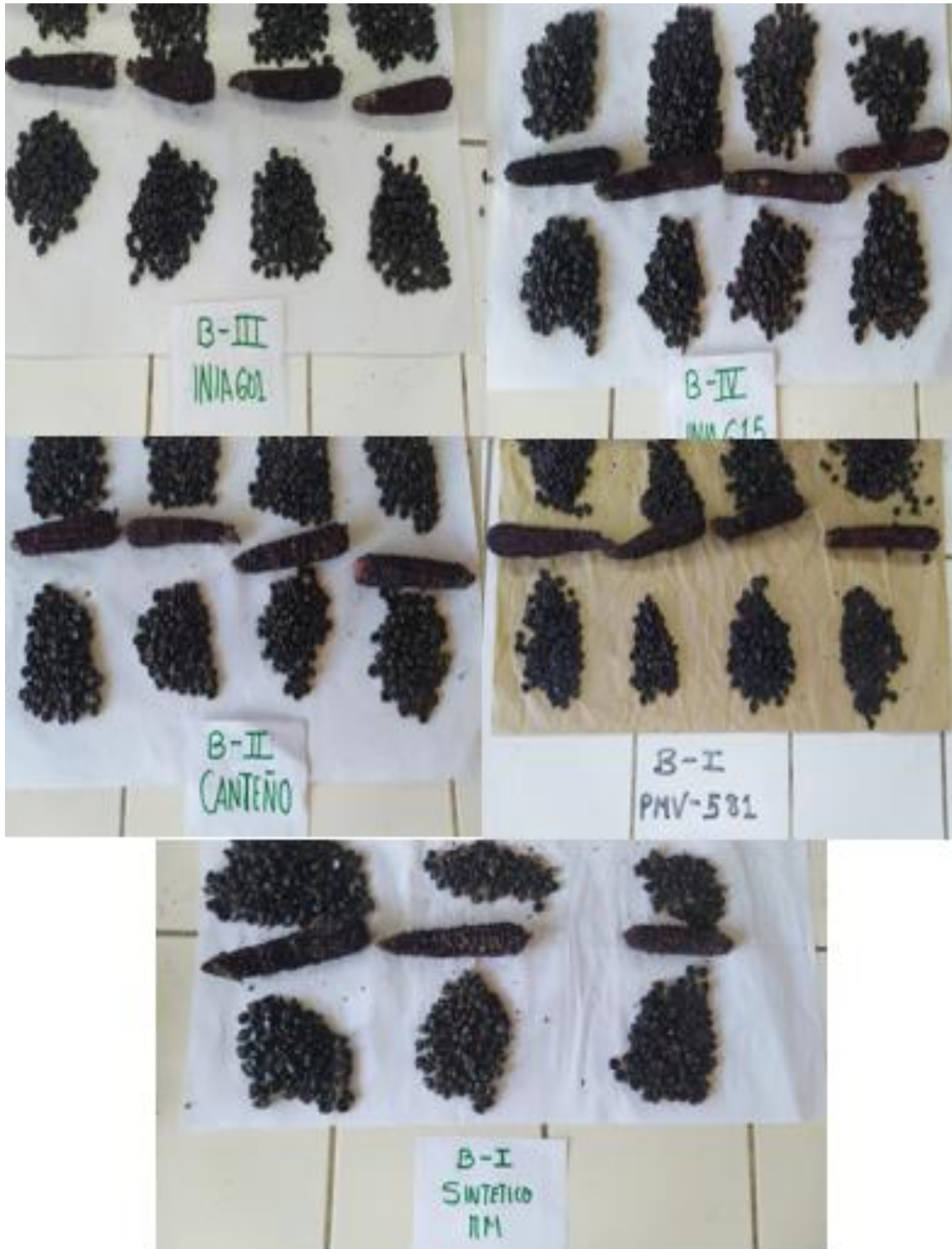
Anexo 14

Mazorcas de maíz morado de las variedades INIA 601, INIA 615, Sintético MM, Canteño y PMV 581



Anexo 15

Evaluación de parámetros de crecimiento, rendimiento de la mazorca del maíz morado de las variedades INIA 601, INIA 615, Canteño, PMV 581 y Sintético MM.



Anexo 16

Evaluación del diámetro de la mazorca



Anexo 17

Evaluación del parámetro de longitud de la mazorca.



Anexo 18

Evaluaciones de los parametros de la raíz del maíz morado





ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
Bach. BHILL THOÑO RONDINEL HUANACO
R.D. N° 101-2025-UNSCH-FCA-D

En la ciudad de Ayacucho a los veintiún días del mes de mayo del año dos mil veinticinco, siendo las dieciocho horas, se reunieron en el auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias, bajo la presidencia del Dr. Felipe Escobar Ramírez Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias; los miembros del jurado conformado por el Dr. Lurquín Marino Zambrano Ochoa, Dr. José Antonio Quispe Tenorio como asesor, Ph.D. Nery Luz Santillana Villanueva y el M.Sc. Guillermo Carrasco Aquino; actuando como secretario de actas el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, para recibir la sustentación de la Tesis titulado: **Respuesta agronómica de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) a la inoculación con Azospirillum y Glomus, Canaán 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho**, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo, presentado por el Bachiller **BHILL THOÑO RONDINEL HUANACO**.

El señor Decano previa verificación de los documentos exigidos solicitó se proceda con la sustentación y posterior defensa de la tesis en un periodo de cuarenta y cinco minutos de acuerdo al reglamento de grados y títulos vigente. Terminado la exposición, los miembros del Jurado, formularon sus preguntas, aclaraciones y/o observaciones correspondientes. Luego se invito a los miembros del jurado pasar a otra aula para la deliberacion y calificación del trabajo de tesis, teniendo el siguiente resultado:

Jurado evaluador	Exposición	Respuestas a las preguntas	Generación de conocimiento	Promedio
Dr. Lurquín Marino Zambrano Ochoa	15	14	16	15
Dr. José Antonio Quispe Tenorio	16	16	16	16
Ph.D. Nery Luz Santillana Villanueva	15	14	15	15
M.Sc. Guillermo Carrasco Aquino	14	14	14	14
PROMEDIO GENERAL				15

Acto seguido se invita al sustentante y publico en general para dar a conocer el resultado final. Firman el acta.



Dr. Lurquín Marino Zambrano Ochoa
 Presidente



Dr. José Antonio Quispe Tenorio
 Asesor



Ph.D. Nery Luz Santillana Villanueva
 Jurado



M.Sc. Guillermo Carrasco Aquino
 Jurado



Mtro. Rodolfo Alca Mendoza
 Secretario Docente



UNSCH

FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS

CONSTANCIA DE CONTROL DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El que suscribe coordinador responsable de la valoración y verificación de originalidad de los trabajos de investigación y de tesis de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, designado mediante la RCF N° 005-2024-UNSCH-FCA-CF; hace constar que el trabajo de tesis titulado;

Respuesta agronómica de cinco variedades de maíz morado (*Zea mays* L.) a la inoculación con *Azospirillum* y *Glomus*, Canaán 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho

Autor : Bhill Thoño RONDINEL HUANACO

Asesor : José Antonio QUISPE TENORIO

Ha sido sometido al control de originalidad mediante el software TURNITIN UNSCH, acorde al Reglamento de originalidad de trabajos de investigación, aprobado mediante RCU N° 039-2021-UNSCH-CU, y RCU N° 1530-2023-UNSCH-CU, emitiendo un resultado de **catorce (14 %)** de índice de similitud, realizado con **depósito de trabajos estándar**.

En consecuencia, se otorga la presente Constancia de Originalidad para los fines pertinentes.

Nota: Se adjunta el resultado con Identificador de la entrega: 2715978837

Ayacucho, 16 de julio de 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ciencias Agrarias

Dr. Yuri Gálvez Gastelú
Coordinador de Control de Originalidad

Respuesta agronómica de cinco
variedades de maíz morado
(*Zea mays* L.) a la inoculación
con *Azospirillum* y *Glomus*,
Canaán 2735 msnm e Iribamba
2336 msnm, Ayacucho

por Bhill Thoño RONDINEL HUANACO

Fecha de entrega: 16-jul-2025 01:47p. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2715978837

Nombre del archivo: TESIS_DE_BHILL_THOÑO_RONDINEL_HUANACO_EPA..docx (9.33M)

Total de palabras: 23481

Total de caracteres: 121648

Respuesta agronómica de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) a la inoculación con Azospirillum y Glomus, Canaán 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

8%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	6%
2	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	3%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
4	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	Zambrano Poma, Carlos Alberto. "Efecto de cuatro biofertilizantes en el suelo y rendimiento de dos variedades de maíz morado en condiciones de Ambo – Huánuco", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru) Publicación	<1%
6	1library.co Fuente de Internet	<1%

7	repositorio.inia.gob.pe	Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.ujcm.edu.pe	Fuente de Internet	<1%
9	repositorio.undac.edu.pe	Fuente de Internet	<1%
10	www.scielo.org.bo	Fuente de Internet	<1%
11	www.itsx.edu.mx	Fuente de Internet	<1%
12	repositorio.unica.edu.pe	Fuente de Internet	<1%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 30 words

Excluir bibliografía

Activo

Respuesta agronómica de cinco variedades de maíz morado (*Zea mays* L.) a la inoculación con *Azospirillum* y *Glomus*, Canaán 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho

Bhill Thoño Rondinel Huanaco¹, José Antonio Quispe Tenorio²
bhill.rondinel.01@unsch.edu.pe jose.quispe@unsch.edu.pe
Eugenia Rocío Quispe Medina³ Cayo García-Blásquez Morote⁴
eugenia.quispe@unsch.edu.pe cayogbm@gmail.com
Área de investigación: Medio Ambiente
Línea de investigación: Sistemas de Producción Agrícola

RESUMEN

Se analizó el rendimiento agronómico de cinco cultivares de maíz morado luego de inocular cada lote con dos microorganismos rizosféricos en las comunidades ayacuchanas de Canaán, situada a 2735 msnm., e Iribamba, a 2336 msnm. La investigación buscó determinar el impacto de *Azospirillum brasilense* y *Glomus iranicum* var. tenuihypharum sobre el crecimiento vegetativo y la cosecha final de las variedades INIA 601, INIA 615 Negro Canaán, Canteño, PMV 581 y “Sintético MM”. Para asegurar homogeneidad y reducir errores experimentales, se dispuso un diseño de bloques completos al azar, de modo que en cada bloque se asignó uno de los tratamientos microbianos, limitando así las variaciones ambientales entre ciclos: *Azospirillum*, *Glomus*, *Azospirillum* + *Glomus* y Testigo. Las semillas fueron inoculadas con *Azospirillum* 200 g/ha (turba) y 150 ml/ha (líquido) a 1.0×10^8 UFC/ml, la inoculación con *Glomus* a una dosis 3 kg ha⁻¹ con 120 propágulos/g. Se evaluaron 17 caracteres cuantitativos, entre ellos el rendimiento de mazorca, tusa y grano. La coinoculación *Azospirillum* + *Glomus* supera al testigo tanto en Canaán e Iribamba con 2923.37 kg ha⁻¹, 690.83 kg ha⁻¹, 2232.54 kg ha⁻¹; 3825.33 kg ha⁻¹, 481.49 kg ha⁻¹, 3343.84 kg ha⁻¹, respectivamente; por otro lado, en lo que a la altura de la planta y de la mazorca se refiere, la inoculación de ambos microorganismos en Canaán e Iribamba superó al testigo en 40.58 cm, 25.36 cm y 31.28 cm, 21.94 cm, respectivamente; en la raíz el peso, longitud, volumen, diámetro, ramificaciones de raíz superando al testigo en 101.79 g, 5.54 cm, 13.92 cm³/planta, 0.45 mm y 12.28 unidades, respectivamente; Del mismo modo, las variedades Canteño, INIA 615 Negro Canaán e INIA 601 reaccionaron positivamente a los tratamientos; la inoculación con organismos promotores del crecimiento, tal como *Azospirillum* y *Glomus*, surge como una estrategia viable para elevar el rendimiento del maíz morado sin recurrir en exceso a la fertilización química.

Palabras clave: *Azospirillum*, *Glomus*, maíz morado.

I. INTRODUCCIÓN

El maíz morado (*Zea mays* L.) es una variedad andina de maíz donde su historia se anida entre las montañas de Perú y Bolivia. Aparte de su intenso color violeta, este maíz tiene propiedades nutricionales y un significado cultural muy particular (Mayorga & Pérez, 2018). Su tonalidad se debe a las antocianinas, pigmentos flavonoides con fama de antioxidantes que combaten el estrés oxidativo; se les atribuyen beneficios como prevenir el cáncer, cuidar el corazón, reducir la inflamación y fortalecer las defensas del cuerpo (Medina et al., 2020).

Durante los últimos cinco años, la producción de maíz morado y la extensión de terreno ocupada por este cultivo han experimentado un crecimiento sostenido, con un promedio anual de 2,7 en la producción y 2,4 en el área sembrada. El rendimiento promedio a nivel nacional se sitúa ahora en 5,6 t ha⁻¹. Esta variedad de maíz se siembra en trece regiones del país, pero Lima, Ayacucho, Cajamarca, Ancash, Arequipa y Huánuco aportan el 80 % de la producción. Ayacucho, la segunda región en importancia, concentra el 35 % de la cosecha, y sus principales zonas productivas son las provincias de Huanta, Huamanga y Lucanas (MIDAGRI, 2022).

El maíz morado se adapta razonablemente bien a los valles interandinos; no obstante, los rendimientos siguen siendo bajos, principalmente porque los agricultores no aplican un manejo adecuado y utilizan semillas que no cuentan con certificación.

El uso excesivo de fertilizantes genera la dependencia en las futuras siembras por ello como alternativa sostenible y ecológica el empleo de microorganismos beneficiosos, como *Azospirillum* y *Glomus*, para incrementar la productividad.

El objetivo de la investigación fue evaluar la respuesta agronómica de cinco variedades de maíz morado a la aplicación de *Azospirillum* y *Glomus* en los componentes de crecimiento, rendimiento y desarrollo de raíz en condiciones de Canaán (2735 msnm) e Iribamba (2336 msnm), Ayacucho.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Lugar del experimento

Esta investigación se instaló en dos localidades: Canaán e Iribamba

En Canaán se instaló a una altitud de 2735 msnm, con coordenadas geográficas 13° 9' 49.557" S y 74° 12' 6.405" O, Estación Experimental Agraria Canaán del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) distrito de Andrés Avelino Cáceres Dorregaray, Provincia de Huamanga y departamento de Ayacucho. El lugar tiene un clima húmedo, con rango de temperaturas que varían entre 9 °C y 26 °C, con precipitación media anual de 695 mm.

En Iribamba se instaló a una altitud de 2336 msnm, con coordenadas geográficas 12°54'42.54"S y 74°18'23.37"O, en el fundo Iribamba (UNSCH) distrito de Luricocha, Provincia de Huanta y

departamento de Ayacucho. El lugar tiene un clima húmedo, con rango de temperaturas que varían entre 4 °C y 15 °C, con precipitación media anual de 550 mm.

2.1. Características físico-químicas de suelo

Se tomó muestras de suelo y se llevó a analizar al laboratorio de aguas y suelos (LABSAF) de la Estación Experimental Canaán- INIA, el cual arrojó los siguientes resultados:

El suelo de Canaán tuvo un pH ligeramente alcalino (7.8), conductividad eléctrica normal (0.13 dS.m⁻¹), materia orgánica medio (2.3%), fósforo medio (15.79 ppm), potasio muy alto (380.26 ppm), de clase textural franco.

El suelo de Iribamba tuvo un pH medianamente alcalino (7.6), conductividad eléctrica normal (0.8 dS.m⁻¹), materia orgánica bajo (1.8%), fósforo bajo (12.99 ppm), potasio muy alto (380.99 ppm), de clase textural franco limoso, el sodio (2.62 meq/100 g) se considera alto y podría causar toxicidad.

2.2. Tratamientos y material genético

2.3.1. Tratamientos

Tabla 2.1

Tratamientos de cinco variedades de maíz morado con Azospirillum brasilense y Glomus iranicum

Microorganismo	Bloque	Tratamiento	Variedad	
Testigo (Sin microorganismo)		t1	INIA 615	v1
Testigo (Sin microorganismo)		t2	INIA 601	v2
Testigo (Sin microorganismo)	b1	t3	Canteño	v3
Testigo (Sin microorganismo)		t4	PMV 581	v4
Testigo (Sin microorganismo)		t5	Sintético MM	v5
<i>Azospirillum</i>		t1	INIA 615	v1
<i>Azospirillum</i>		t2	INIA 601	v2
<i>Azospirillum</i>	b2	t3	Canteño	v3
<i>Azospirillum</i>		t4	PMV 581	v4
<i>Azospirillum</i>		t5	Sintético MM	v5
<i>Glomus</i>		t1	INIA 615	v1
<i>Glomus</i>		t2	INIA 601	v2
<i>Glomus</i>	b3	t3	Canteño	v3
<i>Glomus</i>		t4	PMV 581	v4
<i>Glomus</i>		t5	Sintético MM	v5
<i>Azospirillum</i> + <i>Glomus</i>		t1	INIA 615	v1
<i>Azospirillum</i> + <i>Glomus</i>		t2	INIA 601	v2
<i>Azospirillum</i> + <i>Glomus</i>	b4	t3	Canteño	v3
<i>Azospirillum</i> + <i>Glomus</i>		t4	PMV 581	v4
<i>Azospirillum</i> + <i>Glomus</i>		t5	Sintético MM	v5

El material genético consta de 5 variedades y 4 tratamientos en dos lugares: Estación Experimental Canaán (INIA) y Fundo de Iribamba.

Las combinaciones de microorganismos son:

Te: Testigo (sin microorganismos)

Az: El tratamiento con *Azospirillum brasilense*, tanto en su forma sólida "turba" (0.200 kg ha⁻¹) como en su forma líquida (0.150 L ha⁻¹), se aplicó a las semillas media hora antes de sembrar a una concentración de 1.0 x 10⁸ UFC /g/ml. Se aplicó una dosis adicional de refuerzo en su forma líquida (0.150 L ha⁻¹), antes del inicio de la floración.

Gl: Aplicación de *Glomus iranicum* (3 kg ha⁻¹), se realizó tras el aporque.

Az + Gl: *Azospirillum brasilense* junto con *Glomus iranicum* se aplicó en una concentración de 0.200 kg ha⁻¹ y 0.150 L ha⁻¹ + 3 kg ha⁻¹, respectivamente.

2.3. Diseño experimental

El estudio se realizó siguiendo un diseño de bloques completos al azar en el que se cultivaron cinco variedades de maíz morado, tratadas como tratamientos independientes y dispuestas en cuatro bloques homogéneos, cada uno asociado a un grupo distinto de microorganismos, lo que produjo veinte unidades experimentales en cada sitio. A continuación, se presenta la formulación del modelo aditivo lineal correspondiente al diseño:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij}: Observación cualquiera del i-ésimo tratamiento y j-ésimo bloque (Microorganismo)

μ: Promedio de las unidades experimentales

τ_i: Efecto del i-ésimo tratamiento

β_j: Efecto del j-ésimo bloque (Microorganismo)

ε_{ij}: Error experimental

i : varía de 1, 2, 3, ..., t

j : varía de 1, 2, 3, ..., b

t : es el número de tratamientos

r : es el número de bloques o repeticiones

2.4. Criterios de evaluación

Crecimiento

- Altura de planta (cm)
- Longitud de mazorca (cm)
- Diámetro de mazorca (mm)

Rendimiento

- Rendimiento de mazorca (kg ha⁻¹)
- Rendimiento de tusa (kg ha⁻¹)
- Rendimiento en grano (kg ha⁻¹)

Desarrollo de raíz

- Peso de raíz (g)
- Longitud de raíz (cm)

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Crecimiento

3.1.1. Altura de planta

Tabla 3.1

Prueba de Tukey de la altura de planta de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba a 2336 msnm, Ayacucho

Lugar	Microorganismos	Promedio (cm)	%		
Canaán	<i>Azospirillum + Glomus</i>	254.78	119	a	
Canaán	<i>Azospirillum</i>	231.10	108		b
Canaán	<i>Glomus</i>	230.34	108		b
Canaán	Testigo	214.20	100		c
Iribamba	<i>Azospirillum + Glomus</i>	200.74	118	c	d
Iribamba	<i>Glomus</i>	185.80	110		d e
Iribamba	<i>Azospirillum</i>	182.58	108		e
Iribamba	Testigo	169.46	100		f

La co-inoculación con *Azospirillum* y *Glomus* promovió un crecimiento significativamente superior en plantas de maíz morado respecto a los testigos, con incrementos del 19 % en Canaán y 18 % en Iribamba, superando a las inoculaciones individuales. Estos resultados evidencian un efecto sinérgico entre ambos microorganismos, que mejora la asimilación de nutrientes y estimula los reguladores del crecimiento vegetal. En comparación, Gutiérrez (2019) reportó una altura promedio de 201,1 cm, superior al valor alcanzado en Iribamba, pero inferior al registrado en Canaán.

3.1.2. Longitud de mazorca

Tabla 3.2

Prueba de Tukey de la longitud de mazorca de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho

Lugar	Microorganismos	Promedio (cm)	%		
Canaán	<i>Azospirillum + Glomus</i>	17.41	126	a	
Iribamba	<i>Azospirillum + Glomus</i>	16.87	123	a	
Iribamba	<i>Azospirillum</i>	16.17	117	a	
Iribamba	<i>Glomus</i>	15.87	115	a	
Canaán	<i>Glomus</i>	15.75	114	a	
Canaán	<i>Azospirillum</i>	15.73	114	a	
Canaán	Testigo	13.76	100		b
Iribamba	Testigo	13.71	100		b

La coinoculación con *Azospirillum* y *Glomus* incrementó significativamente la longitud de mazorca en ambas localidades, con aumentos del 26 % en Canaán y 23 % en Iribamba, superando tanto a los testigos como a las aplicaciones individuales, las cuales no mostraron diferencias significativas entre sí. Estos resultados superan los reportados por Escalante (2014), quien registró longitudes entre 13.56 y 14.83 cm. El efecto positivo observado se atribuye a la acción conjunta de ambos microorganismos, que promueven un mayor desarrollo de biomasa y mejoran la fijación de nitrógeno (Bellone & de Bellone Silvia, 2012).

3.1.3. Diámetro de mazorca

Tabla 3.6

Prueba de Tukey para el diámetro de mazorca de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho

Lugar	Microorganismos	Promedio (mm)	%			
Canaán	<i>Azospirillum</i> + <i>Glomus</i>	51.16	111	a		
Canaán	<i>Glomus</i>	49.09	106	a	b	
Canaán	<i>Azospirillum</i>	48.47	105	a	b	
Iribamba	<i>Azospirillum</i> + <i>Glomus</i>	48.04	113	a	b	
Canaán	Testigo	46.15	100	a	b	c
Iribamba	<i>Glomus</i>	45.14	106		b	c
Iribamba	<i>Azospirillum</i>	44.57	105		b	c
Iribamba	Testigo	42.50	100			c

El diámetro de la mazorca del maíz morado en las plantas inoculadas fue superior al de los testigos en ambas localidades. La coinoculación de *Azospirillum* + *Glomus* resultó en un aumento del 11% en Canaán y del 13% en Iribamba. En contraste, la aplicación individual de *Azospirillum* o *Glomus* no mostró diferencias significativas en comparación con los testigos. Según Escalante (2014), se reportó un diámetro de mazorca de 45.1 mm al usar *Azospirillum* en condiciones de Huanta. La interacción de ambos microorganismos demuestra un mejor rendimiento en el desarrollo y crecimiento de la planta (Bellone & de Bellone Silvia, 2012).

3.2. Rendimiento

3.2.1. Rendimiento de mazorca

Tabla 3.7

Prueba de Tukey del rendimiento de mazorca de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho.

Lugar	Microorganismos	Promedio (kg ha ⁻¹)	%		
Canaán	<i>Azospirillum + Glomus</i>	10949.59	136	a	
Iribamba	<i>Azospirillum + Glomus</i>	9313.45	170	a	b
Canaán	<i>Glomus</i>	9010.99	112	a	b
Canaán	<i>Azospirillum</i>	8847.85	110	a	b
Canaán	Testigo	8026.22	100		b
Iribamba	<i>Glomus</i>	7284.56	133		b c
Iribamba	<i>Azospirillum</i>	7090.26	129		b c
Iribamba	Testigo	5488.12	100		c

La coinoculación con *Azospirillum* y *Glomus* incrementó significativamente el rendimiento de mazorca, con mejoras del 36 % en Canaán y 70 % en Iribamba respecto a los testigos. Aunque las inoculaciones individuales también superaron al control, sus efectos fueron menores. En comparación, Escalante (2014) reportó un rendimiento promedio de 7761.11 kg ha⁻¹ utilizando únicamente *Azospirillum*, valor inferior al obtenido en el presente estudio. La interacción simbiótica entre *Azospirillum* y *Glomus* favorece el desarrollo vegetal, mientras que la giberelina desempeña un rol clave en el llenado del grano al estimular la formación del tejido y facilitar la movilización de nutrientes (Licea et al., 2020).

3.2.2. Rendimiento de tusa

Tabla 3.8

Prueba de Tukey del rendimiento en tusa de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en dos localidades, Canaán a 2735 msnm e Iribamba 2336 msnm, Ayacucho.

Lugar	Microorganismos	Promedio (kg ha ⁻¹)	%			
Canaán	<i>Azospirillum + Glomus</i>	1876.82	158	a		
Canaán	<i>Glomus</i>	1524.50	129	a	b	
Canaán	<i>Azospirillum</i>	1459.11	123		b c	
Iribamba	<i>Azospirillum + Glomus</i>	1187.13	168		b c d	
Canaán	Testigo	1185.99	100		b c d	
Iribamba	<i>Glomus</i>	1079.85	153		c d e	
Iribamba	<i>Azospirillum</i>	1005.30	142		d e	
Iribamba	Testigo	705.64	100			e

El rendimiento de tusa en maíz morado fue significativamente mayor en plantas inoculadas con *Azospirillum* y *Glomus*, con incrementos del 58 % en Canaán y 68 % en Iribamba en comparación con los testigos. Las inoculaciones individuales mostraron mejoras menores frente a la coinoculación. Requis (2012) reportó un rendimiento máximo de 1600 kg ha⁻¹, inferior al alcanzado en este estudio. El efecto positivo se explica por la acción de *Azospirillum*, que estimula la producción de auxinas, y de *Glomus*, que actúa como bioestimulante al mejorar la absorción de CO₂, el uso eficiente del agua y nutrientes, y al activar procesos metabólicos que favorecen la fotosíntesis y el desarrollo de biomasa (Symborg, 2018).

3.2.3. Rendimiento de grano

Tabla 3.9

Prueba de Tukey del rendimiento de grano en cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.), cultivadas con inoculación de Azospirillum y Glomus, en dos localidades de Ayacucho, Canaán a 2735 msnm e Iribamba a 2336 msnm

Lugar	Microorganismos	Promedio (kg ha ⁻¹)	%			
Canaán	<i>Azospirillum</i> + <i>Glomus</i>	9072.77	133	a		
Iribamba	<i>Azospirillum</i> + <i>Glomus</i>	8126.32	170	a	b	
Canaán	<i>Glomus</i>	7486.50	109	a	b	
Canaán	<i>Azospirillum</i>	7388.74	108	a	b	
Canaán	Testigo	6840.23	100	a	b	c
Iribamba	<i>Azospirillum</i>	6204.70	130		b	c
Iribamba	<i>Glomus</i>	6084.96	127		b	c
Iribamba	Testigo	4782.48	100			c

Los rendimientos de grano en maíz morado fueron superiores en las plantas inoculadas con comunidades microbianas, especialmente con la coinoculación de *Azospirillum* y *Glomus*, que generó incrementos del 33 % en Canaán y 70 % en Iribamba respecto a los testigos. Las aplicaciones individuales también mostraron rendimientos significativamente mayores, aunque en menor proporción. En estudios previos, Flores y Carbonelli (2022) reportaron un promedio de 6530 kg ha⁻¹ en Apurímac bajo condiciones similares, valor inferior al registrado en el presente trabajo. La sinergia entre *Azospirillum* y *Glomus* mejora el desarrollo radicular, favorece la captación de nutrientes, potencia la fijación biológica de nitrógeno y estimula la producción de auxinas, contribuyendo al crecimiento y rendimiento del cultivo (Bellone & de Bellone Silvia, 2012).

3.3 Desarrollo de raíz

3.3.1 Peso de raíz

Tabla 3.10

Prueba de Tukey del peso de raíz de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.), Azospirillum y Glomus en la localidad de Canaán a 2735 msnm, Ayacucho

Microrganismos	Promedio (g/planta)	%	
<i>Azospirillum + Glomus</i>	180.29	230	a
<i>Glomus</i>	121.93	155	b
<i>Azospirillum</i>	121.37	155	b
Testigo	78.50	100	c

La inoculación con *Azospirillum* y *Glomus* incrementó significativamente el peso de las raíces, con un aumento del 130 % respecto al testigo, siendo la coinoculación más efectiva que las aplicaciones individuales. Pérez (2017) reportó un incremento del 54.05 % en peso seco de raíces con la combinación de ambos microorganismos, mientras que Rodríguez et al. (2020) observaron un aumento del 35.33 % al aplicar *Azospirillum*. Estos resultados confirman el efecto positivo de ambos microorganismos sobre el sistema radicular, al favorecer la producción de fitohormonas y mejorar la disponibilidad de nutrientes.

3.3.2 Longitud de raíz

Tabla 3.11

Prueba de Tukey de la longitud de la raíz de la planta de cinco variedades de maíz morado (Zea mays L.) con Azospirillum y Glomus en la localidad de Canaán a 2735 msnm, Ayacucho

Microrganismos	Promedio (cm)	%	
<i>Azospirillum + Glomus</i>	31.81	121	a
<i>Glomus</i>	29.32	112	b
<i>Azospirillum</i>	29.24	111	b
Testigo	26.27	100	c

Las plantas de maíz morado inoculadas con microorganismos mostraron un mejor rendimiento en comparación con el grupo testigo. La coinoculación de *Azospirillum + Glomus* favoreció un aumento de la longitud de raíz del 21%. Se observaron incrementos menores al aplicar los microorganismos de manera individual en comparación con el testigo. Delgado et al. (2008), reportaron una longitud de raíz promedio de 30.09 cm con la aplicación de bacterias PGPR, un valor inferior al obtenido en este estudio, que se superó con la combinación de ambos microorganismos.

CONCLUSIONES

1. La interacción de *Azospirillum* y *Glomus* influyó en el crecimiento tanto en Canaán e Iribamba, siendo superiores a los otros tratamientos. Sin embargo, Canaán fue más resaltante en altura de planta y mazorca, con un promedio de 254.78 cm y 156.5 cm. Las variedades con mejores resultados en cuanto a la altura de planta y mazorca son INIA 601, PMV 581 y Sintético MM.
2. La coinoculación de *Azospirillum* y *Glomus* tiene un mejor resultado en rendimiento en ambas localidades (Canaán e Iribamba), en comparación con los otros tratamientos. Sin embargo, la localidad de Canaán presenta mejores resultados de rendimiento que la localidad de Iribamba, siendo los más destacados en los parámetros de mazorca, tusa y grano, con 10949.59 kg.ha⁻¹, 1876.82 kg.ha⁻¹, 9072.77 kg.ha⁻¹, respectivamente. Las variedades a destacar son: Canteño, INIA 615 (Negro Canaán) e INIA 601, que son sobresalientes en los parámetros de rendimiento de mazorca, tusa y grano.
3. Los microorganismos *Azospirillum* y *Glomus* influyeron en el crecimiento y desarrollo de las raíces. La coinoculación de *Azospirillum* y *Glomus* obtuvo mejores resultados, superando al testigo en 101.79 g y 5.54 cm, en los parámetros de peso y longitud, respectivamente. Las variedades más destacadas fueron INIA 615 e INIA 601.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bellone, C. H., & de Bellone Silvia, C. (2012). Interaction of *Azospirillum brasilense* and *Glomus intraradix* in Sugar Cane Roots. *Indian Journal of Microbiology*, 52(1), 70-75. <https://doi.org/10.1007/s12088-011-0208-0>
- Delgado, R., Castro, L., Cabrera de Bisbal, E., San Vicente, F., Mújica, M. de J., Canache, S., Navarro, L., & Noguera, I. (2008). Evaluación de algunas características del sistema radical del maíz (híbrido inia 68) cultivado bajo labranza mínima y convencional en un suelo de maracay, Venezuela. *Agronomía Tropical*, 58(4), 427-438.
- Escalante, H. (2014). *Métodos de inoculación de dos cepas de Azospirillum sp en plantas de maíz morado (Zea mays L.) en Huanta a 2650 msnm* [Experimental, Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga]. <https://repositorio.unsch.edu.pe/items/1d41a8f6-4863-4ff5-a06a-f5f767dff850>
- Flores, N., & Carbonelli, Z. (2022). Microorganismos eficientes en la producción del maíz morado (*Zea mays L.*). *Micaela Revista de Investigación - UNAMBA*, 3(1), 39-44. <https://doi.org/10.57166/micaela.v3.n1.2022.76>

- Gutiérrez, B. (2019). *Biofertilización con hongos micorrizicos arbusculares y Azospirillum sp. En el rendimiento de maíz amiláceo (Zea mays L.) en Quinua a 3180 msnm—Ayacucho*. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- Licea, J., Quiroz, J., & Hernández, J. (2020). Impacto de *Azospirillum brasilense*, una rizobacteria que estimula la producción del ácido indol-3-acético como el mecanismo de mejora del crecimiento de las plantas en los cultivos agrícolas. *Revista Boliviana de Química*, 37(1), 34-39.
- Mayorga, A., & Pérez, A. (2018). *Maíz morado (Zea mays)*. <https://alimentos-autoctonos.fabro.com.mx/maiz-morado.html>
- Medina, A., Narro, L., & Cabrera, A. (2020). Cultivo de maíz morado (*Zea mays L.*) en zona altoandina de Perú: Adaptación e identificación de cultivares de alto rendimiento y contenido de antocianina. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 291-299. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.01>
- Medina, A., Yoshino, M., Morita, T., & Maruyama, H. (2016). *Guía de producción comercial de maíz morado*. En Incremento de los Ingresos Económicos de los Pequeños Productores en la Región Cajamarca—IEPARC (pp. 1-66).
- MIDAGRI. (2022). *Análisis de mercado del Maíz morado 2015—2021* (p. 48). Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2690525/Analisis%20de%20Mercado%20-%20Maiz%20Morado%202015-2021.pdf.pdf>
- Pérez, M. (2017). *Evaluación del efecto de dos microorganismos en la colonización y promoción del crecimiento y desarrollo de plántulas de maíz (zea mays L.)* [Experimental, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/8482/K64572%20PEREZ%20GARCIA%2c%20MARIANA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Requis, F. (2012). *Manejo agronómico del maíz morado en los valles interandinos del Perú*. Estación Experimental Agraria Canaán - Ayacucho.
- Rodríguez, M. G., Gallegos, M. Á., Rodríguez, L., Fortis, M., Luna, J. G., & González, U. (2020). Cepas nativas de *Bacillus* spp. Como una alternativa sostenible en el rendimiento de forraje de maíz. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 38(2), 313-321. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.690>
- Symborg. (2018, mayo 23). *Actividad del hongo micorrizico arbuscular, Glomus iranicum var tenuihypharum var nova y sus efectos en el desarrollo de cítricos en el sureste de España*. Symborg. <https://symborg.com/es/actualidad/actividad-del-hongo-micorrizico-arbuscular->

glomus-iranicum-var-tenuihypharum-var-nova-y-sus-efectos-en-el-desarrollo-de-citricos-en-el-sureste-de-espana/