

El frijol “Tiapo” (*Phaseolus vulgaris* L.)

en dos densidades y aplicación de boro, distrito
Oxapampa, Pasco-Perú:
características agronómicas y rendimiento

Janeth Pacconcca Pérez
Juan Rodríguez-Layza
Javier J. Gonzales-Arteaga

Ladislao C. Romero-Rivas
Olivioño Zegarra Arteaga
Noemí Florabel Pacconcca Pérez

CIDE
EDITORIAL



El frijol “Tiapo” *(Phaseolus vulgaris L.)*

**en dos densidades y aplicación de boro, distrito
Oxapampa, Pasco-Perú:
características agronómicas y rendimiento**

El frijol “Tiapo” (*Phaseolus vulgaris* L.)

en dos densidades y aplicación de boro, distrito
Oxapampa, Pasco-Perú:
características agronómicas y rendimiento

Autores:

Janeth Pacconcca Pérez
Juan Rodríguez-Layza
Javier J. Gonzales-Arteaga
Ladislao C. Romero-Rivas
Olivio Zegarra Arteaga
Noemí Florabel Pacconcca Pérez

El frijol “Tiapo” (*Phaseolus vulgaris* L.) en dos densidades y aplicación de boro, distrito Oxapampa, Pasco-Perú: características agronómicas y rendimiento

Reservados todos los derechos. Está prohibido, bajo las sanciones penales y el resarcimiento civil previstos en las leyes, reproducir, registrar o transmitir esta publicación íntegra o parcialmente por cualquier sistema de recuperación y por cualquier medio, sea mecánico, electrónico, magnético, electroóptico, por fotocopia o por cualquiera otro, sin la autorización previa por escrito al Centro de Investigación y Desarrollo Ecuador (CIDE).

Copyright © 2024

Centro de Investigación y Desarrollo Ecuador

Tel.: + (593) 04 2037524

<http://www.cidecuador.org>

ISBN: 978-9942-679-27-7

<https://doi.org/10.33996/cide.ecuador.EF2679277>

Dirección editorial: Lic. Pedro Misacc Naranjo, Msc.

Coordinación técnica: Lic. María J. Delgado

Diseño gráfico: Lic. Danissa Colmenares

Diagramación: Lic. Alba Gil

Fecha de publicación: diciembre, 2024



La presente obra fue evaluada por pares académicos
experimentados en el área.

Catalogación en la Fuente

El frijol “Tiapo” (*Phaseolus vulgaris* L.) en dos densidades y aplicación de boro, distrito Oxapampa, Pasco-Perú: características agronómicas y rendimiento / Janeth Pacconcca Pérez, Juan Rodríguez-Layza, Javier J. Gonzales-Arteaga, Ladislao C. Romero-Rivas, Oliviño Zegarra Arteaga, Noemí Florabel Pacconcca Pérez. - Ecuador: Editorial CIDE, 2024.

124 p.: incluye tablas, figuras; 21 x 29,7 cm.

ISBN: 978-9942-679-27-7

1. Leguminosas 2. Agronomía

Las fotografías incluidas en este libro son de la autoría de la Ingeniera Janeth Pacconcca Pérez producto de la tesis titulada “Características agronómicas y rendimiento de frijol “Tiapo” *Phaseolus vulgaris* L. en dos densidades y aplicación de boro, distrito Oxapampa, Pasco” (2024), Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Escuela de Formación Profesional Agronomía, Oxapampa-Perú.

Dedicatoria

A DIOS, con su amor y sabiduría, nos ilumina el camino a seguir para superar todas las pruebas y obstáculos que se presentan.

Los autores

Agradecimiento

A Dios, ser omnipotente a quien le debemos nuestro día a día, y la oportunidad de ser mejores en cada nuevo amanecer.

A nuestra familia, estudiantes, docentes, agricultores y/o comunidades agrícolas, que son fuente de inspiración para la generación de conocimientos a través de la investigación que permite transformar la realidad existente.

A todas las personas que de una y otra forma han contribuido para la ejecución del presente libro.

A ti lector que ha decidido abordar este viaje y sea motivo de inspiración para el amor y la pasión por el agro.

Con gratitud,

Los autores

Semblanza de autores



Janeth Pacconcca Pérez

<https://orcid.org/0009-0002-5526-1198>

thenaypp@gmail.com

Ingeniera Agrónoma, Bachiller en Ciencias de Agronomía, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Pasco- Perú. Diplomados en “Estudio de Impacto Ambiental y Fiscalización Ambiental”, “Gerencia de Proyectos, Seguridad, Salud Ocupacional, Medio Ambiente y Calidad SSOMAC y Gestión Pública” obtenidos en prestigiosas instituciones, como el Instituto Internacional de Innovación Empresarial y el Colegio de Licenciados en Administración. Además, se ha formado en áreas específicas de la agronomía y la gestión ambiental, Facilitador en Escuela de Campo para Agricultores en Cultivos de Café, Cacao y Granadilla. Experiencia en supervisión de campo y monitoreo de parques y jardines, área técnica municipal (ATM), promotora de mejoramiento y ampliación de los servicios municipales, medio ambientales de áreas urbanas y rurales del distrito de Ayacucho y asistente técnico administrativo. Asimismo, en “Aclimatación y manejo de vitroplantas de orquídeas, café, granadilla y fresa, en proyecto de investigación, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, filial Oxapampa, Pasco-Perú.



Juan Rodríguez-Layza

<http://orcid.org/0000-0003-2663-2674>

jrodriguezla@undac.edu.pe

Biólogo de la Universidad Nacional de Trujillo; Ms. Sc. en Suelos Universidad Nacional Agraria La Molina; Doctorado en Ciencias Ambientales y Desarrollo Sostenible en la Universidad Nacional del Centro del Perú. En la actualidad, Docente principal en la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en Biología general, Ecología, Fisiología vegetal, Microbiología y Bioquímica. Asesor de tesis de pre grado; Jurado Calificador de tesis de pre grado y de ingreso a la docencia universitaria; autor y coautor de artículos en las revistas científicas: Praxis (Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco – Perú), Biología (Universidad Nacional San Marcos, Lima-Perú), Ciencia Latina (México), Manglar (Universidad Nacional de Tumbes, Tumbes-Perú), Agroindustrial Science (Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo-Perú) y en la Revista de Investigaciones Altoandinas (Universidad Nacional del Altiplano, Puno-Perú). Coautor de Libro “Protocolo de propagación in vitro de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.)”, ISBN: 978-9942-636-54-6.



Javier J. Gonzales-Arteaga

<http://orcid.org/0000-0001-6196-707X>

jgonzalesa@undac.edu.pe

Biólogo y bachiller en ciencias biológicas, en la Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo-Perú; Ms Sc en Mejoramiento Genético de Plantas en la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima-Perú y doctorado en Educación, en la Universidad Cesar Vallejo, Trujillo-Perú. Docente universitario con más de 25 años de servicio, asesor de tesis de pre grado; Jurado Calificador de tesis de pre grado y de ingreso a la docencia universitaria. Entrenamiento a nivel de post grado en “Aspectos teóricos prácticos del mejoramiento de plantas por vías biotecnológicas”, en Universidad de Ciego de Ávila, Cuba. Ponente en 11 Congreso Latinoamericano de genética y 3° de Mutagénesis, Carcinogénesis y Teratogénesis ambiental. Puerto Vallarta, Jalisco, México. Además, ponente y asistente en congresos nacionales e internacionales de genética, mejoramiento genético de plantas y biotecnología. Autor y coautor de artículos en revistas científicas: Praxis (Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco – Perú), Biología (Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima-Perú, International Journal of pharmacy and pharmaceutical Sciences (India), Ciencia Latina (México), Manglar (Universidad Nacional de Tumbes, Tumbes-Perú), Agroindustrial Science (Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo-Perú) y en la Revista de Investigaciones Altoandinas (Universidad Nacional del Altiplano, Puno-Perú). Revisor de manuscrito en la revista Ciencia y Agricultura (Colombia). Coautor de Libro “Protocolo de propagación in vitro de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.)”, ISBN: 978-9942-636-54-6.



Ladislao C. Romero-Rivas

<http://orcid.org/0000-0002-6598-3277>

lromero@undac.edu.pe

Ingeniero Agrónomo, Ms Sc en Fitopatología y estudios de doctorado en Agricultura Sustentable en la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima-Perú. Docente universitario. Formación complementaria en invernaderos en Bogotá y Cartagena Colombia, La Antigua Guatemala y San José Costa Rica. Asistente y ponente en congresos nacionales e internacionales de fitopatología y micología. Autor y coautor de artículos en revistas científicas: Praxis (Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco – Perú), Ciencia Latina (México), Manglar (Universidad Nacional de Tumbes, Tumbes-Perú), Agroindustrial Science (Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo-Perú) y en la Revista de Investigaciones Altoandinas (Universidad Nacional del Altiplano, Puno-Perú), Journal PLoS ONE(United States), Revista Peruana de Entomología (Lima, Perú), Revista Mexicana de Fitopatología (Texcoco, México), Anales Científicos UNALM (Lima, Perú), Plant Disease Journal (United States). Coautor de Libro “Protocolo de propagación in vitro de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.)”, ISBN: 978-9942-636-54-6.



Oliviño Zegarra Arteaga

<https://orcid.org/0000-0001-6437-1909>
ozegarraa@undac.edu.pe

Bachiller en Ciencias Agrarias e Ingeniero Agrónomo por la Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Huánuco-Perú; Ms Sc en Entomología por la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima-Perú; actualmente estudiante del doctorado en Ciencias de la Educación, en la Universidad Nacional Hermilio Valdizán. Bachiller en Educación y Licenciado en Educación Secundaria, especialidad Matemática y Física, por la Universidad Católica de Trujillo, Trujillo-Perú; Docente universitario: Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto-Perú (año 2016); Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Pasco-Perú-2024. con más de 8 años de experiencia en el sector privado en el campo de la sanidad vegetal de cultivos tropicales. Además, ponente y asistente en congresos nacionales de Sanidad Vegetal y Entomología Agrícola. Autor de artículos en la revista Científica Dékamu Agropec. (Universidad Nacional Intercultural Fabiola Salazar Leguía, Bagua – Perú).



Noemí Florabel Pacconcca Pérez

<https://orcid.org/0009-0007-7136-4695>

floryvet3@gmail.com

Médico Veterinario, Bachiller en Medicina Veterinaria, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho – Perú; M Sc en Ingeniería con mención en Gerencia de Proyectos y Medio Ambiente por la misma universidad. Experiencia en cirugías de tejidos blandos y especialista en oftalmología en diferentes clínicas veterinarias, además, en el asesoramiento y supervisión del manejo de cuyes en Orquídea INKA E.I.R.L., Ayacucho. Ha sido responsable del Proyecto en el Gobierno Regional de Ayacucho DRAA, con enfoque en la mejora genética de la producción bovina de leche. En salud pública, responsable del Área de Metaxénicas y Zoonosis en la provincia de La Mar, Ayacucho. Con más de 10 años de experiencia en el sector público y privado, en la gestión de proyectos agropecuarios, salud animal y desarrollo productivo. Ponente y asistente en congresos nacionales relacionados con la sanidad animal y producción agropecuaria. Diplomados en Gerencia de Proyectos de Inversión Pública, Administración, Gestión Pública y Derecho Ambiental. Inglés, nivel básico - intermedio (Universidad San Cristóbal de Huamanga). Actualmente, se desempeña en SENASA, en el área de sanidad animal de la Dirección Ejecutiva VRAE. Evaluadora del Expediente Técnico del Proyecto Metaxénicas en la Municipalidad Distrital de Villa Virgen, Cuzco – La Convención, Especialista del Proyecto "Mejoramiento de los servicios de transferencia de tecnología para el desarrollo de las capacidades productivas en la crianza de animales menores" en el distrito de Villa Virgen, Cuzco.

Contenido

Dedicatoria.....	5
Agradecimiento.....	6
Reseña biográfica de los autores.....	7
Prólogo	22
Introducción.....	25

Capítulo 1

Caracterización agronómica de frijol “Tiapo” (*P. vulgaris* L.) bajo dos densidades de siembra y tres niveles de boro

Resumen.....	29
Introducción.....	30
Materiales y métodos.....	33
Resultados y discusión.....	45
Conclusiones.....	64

Capítulo 2

Respuesta fisiológica de frijol “Tiapo” (*P. vulgaris* L.) bajo dos densidades de siembra y tres niveles de boro

Resumen.....	66
Introducción.....	67
Materiales y métodos.....	69
Resultados y discusión.....	71
Conclusiones.....	76

Capítulo 3
Respiración basal del suelo con cultivo de frijol
“Tiapo” (*P. vulgaris* L.) bajo dos densidades de siembra y tres
niveles de boro

Resumen.....	78
Introducción.....	79
Materiales y métodos.....	81
Resultados y discusión.....	83
Conclusiones.....	85

Capítulo 4
El rendimiento y sus componentes de frijol
“Tiapo” (*P. vulgaris* L.) bajo dos densidades de siembra
y tres niveles de boro

Resumen.....	87
Introducción.....	88
Materiales y métodos.....	92
Resultados y discusión.....	95
Conclusiones.....	110
Recomendaciones	110
Referencias	111

Índice de tablas

Tabla 1	Análisis físico químico del suelo en el campo experimental Miraflores III	35
Tabla 2	Tratamientos producto de la combinación de niveles del factor A (densidad de siembra) y B (boro)	37
Tabla 3	Características de la unidad experimental	38
Tabla 4	Variables evaluadas para la caracterización agronómica del frijol Tiapo	42
Tabla 5	ANOVA para días a la floración (dds) en frijol Tiapo bajo dos densidades de siembra y tres niveles de boro	46
Tabla 6	ANOVA para días a madurez fisiológica (dds) en frijol Tiapo con dos densidades de siembra y tres niveles de boro	48
Tabla 7	Prueba de comparación múltiple de Tukey para madurez fisiológica (dds) en frijol Tiapo en respuesta a niveles de los factores A (densidad de siembra) y B (boro)	49
Tabla 8	ANOVA para días a la cosecha (dds) de frijol Tiapo en dos densidades de siembra y tres niveles de boro	51
Tabla 9	ANOVA para longitud (cm) de planta de frijol Tiapo en dos densidades de siembra y tres niveles de boro	53
Tabla 10	ANOVA para diámetro (mm) de tallo de frijol Tiapo en dos densidades de siembra y tres niveles de boro	55
Tabla 11	Prueba de comparación múltiple de Tukey para diámetro (mm) de tallo de frijol Tiapo en respuesta a niveles de los factores A (densidad de siembra) y B (boro)	56
Tabla 12	Prueba de comparación múltiple de Tukey para diámetro de tallo (mm) de frijol Tiapo bajo seis tratamientos (combinación de dos densidades de siembra y tres niveles de boro)	56
Tabla 13	ANOVA para número de ramas/planta de frijol Tiapo en dos densidades de siembra y tres niveles de boro	57

Tabla 14	ANOVA para biomasa fresca de follaje (g) de frijol Tiapo en dos densidades de siembra y niveles de boro	59
Tabla 15	ANOVA para materia seca de follaje (g/planta) del frijol Tiapo evaluada con seis tratamientos (combinación de dos densidades de siembra y tres niveles de boro)	59
Tabla 16	ANOVA para longitud de raíz (cm) de frijol Tiapo en dos densidades de siembra y tres niveles de boro	62
Tabla 17	ANOVA para área foliar del frijol Tiapo (dm ²) en dos densidades de siembra y niveles de boro	71
Tabla 18	Prueba de comparación múltiple de Tukey para área foliar de frijol Tiapo en respuesta a niveles de los factores A (densidad de siembra) y B (boro)	72
Tabla 19	ANOVA para índice de área foliar(m ² /m ²) de frijol Tiapo en dos densidades de siembra y niveles de boro	75
Tabla 20	Prueba de comparación múltiple de Tukey para índice de área foliar (m ² /m ²) de frijol Tiapo en respuesta a niveles de los factores A (densidad de siembra) y B (boro)	76
Tabla 21	Prueba de comparación múltiple de Tukey para índice de área foliar de frijol (m ² /m ²) Tiapo bajo seis tratamientos con dos densidades de siembra y tres niveles de boro	76
Tabla 22	ANOVA para respiración basal del suelo (mg CO ₂ /kg/día) con cultivo de frijol Tiapo en dos densidades de siembra y niveles de boro	84
Tabla 23	ANOVA para la variable número de vainas llenas/planta de frijol Tiapo en dos densidades de siembra y tres niveles de boro	96
Tabla 24	Prueba de comparación múltiple de Tukey para número de vainas llenas/planta de frijol Tiapo bajo los niveles de los factores A (densidad de siembra) y B (boro)	97
Tabla 25	ANOVA para la variable vainas vanas/planta de frijol Tiapo en dos densidades de siembra y tres niveles de boro	98
Tabla 26	ANOVA para la variable longitud de vainas (cm) de frijol Tiapo en dos densidades de siembra y tres niveles de boro	100
Tabla 27	Prueba de comparación múltiple de Tukey para longitud de vainas (cm) de frijol Tiapobajo los niveles de los factores A (densidad de siembra) y B (boro)	101
Tabla 28	Prueba de Comparación múltiple de Tukey para longitud de vainas (cm) de frijol Tiapo bajo seis tratamientos	102

Tabla 29	ANOVA para la variable número de granos/vaina de frijol Tiapo en dos densidades de siembra y tres niveles de boro	102
Tabla 30	ANOVA para la variable peso de cien granos (g) de frijol Tiapo en dos densidades de siembra y tres niveles de boro	104
Tabla 31	Prueba de comparación múltiple de Tukey para peso de cien granos (g) bajo los niveles de los factores A (densidad de siembra) y B (boro)	105
Tabla 32	Prueba de comparación múltiple de Tukey para peso de cien granos (g) de frijol Tiapo bajo seis tratamientos	106
Tabla 33	ANOVA para la variable rendimiento en grano de frijol Tiapo (kg/ha) en dos densidades de siembra y niveles de boro	107
Tabla 34	Prueba de comparación múltiple de Tukey para rendimiento en grano de frijol Tiapo bajo los niveles de los factores A (densidad de siembra) y B (boro)	108
Tabla 35	Prueba de Comparación múltiple de Tukey para rendimiento de grano de frijol Tiapo bajo seis tratamientos con dos densidades de siembra y tres niveles de boro	108

Índice de figuras

Figura 1	Ubicación del área experimental, Miraflores III	34
Figura 2	Área experimental previo a labores de siembra	35
Figura 3	Croquis del área experimental, bloques y aleatorización de los tratamientos .	37
Figura 4	Área experimental preparada para la instalación del experimento	38
Figura 5	Marcado de los bloques	39
Figura 6	Primer deshierbo del cultivo frijol Tiapo	40
Figura 7	Aplicaciones de fungicidas	40
Figura 8	Preparación de solución de urea al 1,4 %	41
Figura 9	Aplicación del boro (ácido bórico)	41
Figura 10	Planta de frijol Tiapo en plena floración	41
Figura 11	Planta de frijol Tiapo en madurez fisiológica	41
Figura 12	Planta de frijol Tiapo a la cosecha	42
Figura 13	Identificación de las plantas de frijol Tiapo para el muestreo en floración y a cosecha en la unidad experimental	43
Figura 14	Medición de longitud de planta de frijol Tiapo.....	44
Figura 15	Conteo de número de ramas/planta de frijol Tiapo.....	44
Figura 16	Peso fresco de follaje de frijol Tiapo.....	44
Figura 17	Follaje cortado de una planta de frijol Tiapo para sub muestreo	44
Figura 18	Muestreo de follaje de frijol Tiapo para determinación de biomasa seca	44
Figura 19	Medición de la longitud de raíz de frijol Tiapo.....	44
Figura 20	Tendencia del efecto principal de los factores A y B a días a la floración (dds) de frijol Tiapo	47

Figura 21	Medias para la variable días a floración de frijol Tiapo. A) Para cada nivel de los factores (densidad y boro) y B) en los tratamientos	47
Figura 22	Tendencia del efecto principal de los factores A y B para días a madurez del frijol Tiapo	49
Figura 23	Medias para madurez fisiológica (dds) de frijol Tiapo evaluada en seis tratamientos (combinación de dos densidades de siembra y tres niveles de boro)	50
Figura 24	Tendencia del efecto principal de los factores A y B para días a la cosecha (dds) de frijol Tiapo	51
Figura 25	Medias para la variable días a la cosecha de frijol Tiapo. A) En cada nivel de los factores (densidad y boro) y B) en los tratamientos	52
Figura 26	Tendencia del efecto principal de los factores A y B en la longitud (cm) de planta de frijol Tiapo	53
Figura 27	Medias para la variable longitud (cm) de planta de frijol Tiapo. A) En cada nivel de los factores (densidad y boro) y B) en los tratamientos	54
Figura 28	Tendencia del efecto principal de los factores A y B en el diámetro (mm) de tallo de frijol Tiapo	55
Figura 29	Tendencia del efecto principal de los factores A y B en el número de ramas/planta de frijol Tiapo	58
Figura 30	Medias para la variable número de ramas/plantas de frijol Tiapo. A) En cada nivel de los factores (densidad y boro) y B) en los tratamientos	58
Figura 31	Tendencia del efecto principal de los factores A y B en la biomasa fresca (A) y materia seca (B) de frijol Tiapo (g/planta)	60
Figura 32	Medias para las variables biomasa fresca (A) y materia seca de follaje (B) de frijol Tiapo (g/planta) en cada nivel del factor (densidad de siembra y boro) .	61
Figura 33	Medias para las variables biomasa fresca (A) y materia seca de follaje (B) de frijol Tiapo (g/planta) evaluadas con seis tratamientos (combinación de dos densidades de siembra y tres niveles de boro)	61
Figura 34	Tendencia del efecto principal de los factores A y B en la longitud (cm) de raíz del frijol Tiapo	63
Figura 35	Medias para la variable longitud (cm) de raíz del frijol Tiapo. A) En cada nivel de los factores (densidad y boro) y B) en los tratamientos...	63
Figura 36	Foliolos extraídos para la obtención del área foliar de frijol Tiapo	69
Figura 37	Obtención de 50 cuadrados (2 x 2 cm)	71

Figura 38	Tendencia del efecto principal de los factores A y B de área foliar (dm ²) de frijol Tiapo	72
Figura 39	Medias para la variable área foliar (dm ²) de frijol Tiapo bajo seis tratamientos	74
Figura 40	Tendencia del efecto principal de los factores A y B en el área foliar(m ² /m ²) de frijol Tiapo	75
Figura 41	Homogeneizado de 40 g de tierra	82
Figura 42	Frascos en incubación para respiración	82
Figura 43	Titulación del hidróxido residual	82
Figura 44	Tendencia del efecto principal de los factores A y B en la respiración basal del suelo (mg CO ₂ /kg/día) con frijol Tiapo	84
Figura 45	Medias para la variable respiración basal del suelo cultivado de frijol Tiapo. A) En cada nivel de los factores (densidad y boro) y B) en los tratamientos	85
Figura 46	Demarcación de las unidades experimentales	92
Figura 47	Muestreo de 10 plantas por unidad experimental	93
Figura 48	Vainas llenas por planta de frijol Tiapo.....	93
Figura 49	Vainas vanas por planta de frijol Tiapo.....	93
Figura 50	Longitud de vaina de frijol Tiapo.....	94
Figura 51	Número de granos por vaina de frijol Tiapo.....	94
Figura 52	Conteo de 100 granos de frijol Tiapo.....	94
Figura 53	Vainas de cuatro surcos de una unidad	95
Figura 54	Tendencia del efecto principal de los factores A y B en el número de vainas llenas/planta de frijol Tiapo	96
Figura 55	Prueba de media para vainas llenas/planta de frijol Tiapo bajo seis tratamientos (combinación de dos densidades de siembra y tres niveles de boro	97
Figura 56	Tendencia del efecto principal de los factores A y B en la variable número de vainas de frijol Tiapo.....	99
Figura 57	Medias para la variable número de vainas vanas/ planta de frijol Tiapo. A) En cada nivel de los factores (densidad y boro) y B) en los tratamientos	99

Figura 58	Tendencia del efecto principal de los factores A y B para la variable longitud de vaina de frijol Tiapo	101
Figura 59	Tendencia del efecto principal de los factores A y B en el número de granos/vaina de frijol Tiapo	103
Figura 60	Medias para la variable número de granos/vaina de frijol Tiapo. A) En cada nivel de los factores (densidad y boro) y B) en los tratamientos	103
Figura 61	Tendencia del efecto principal de los factores A y B en el peso de cien granos (g) de frijol Tiapo	105
Figura 62	Tendencia del efecto principal de los factores A y B en el rendimiento de grano (kg/ha) de frijol Tiapo	108

Prólogo

Al principio de los años 1990, en la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión (UNDAC) a través del Instituto Central de Investigación (ICI), se creó la revista Teoría y Praxis, la que al final de aquella década tomó el nombre de revista Praxis. Este medio difundía artículos científicos en las áreas de educación, salud, economía-contabilidad-administración y agropecuarias. Por aquel entonces, observaba a Oxapampa como un espacio geográfico con potencial de diversidad biológica, de ecosistemas, cultural, lingüística, genética, entre otras. Ahora, está en la demarcación de la “Reserva de Biosfera Oxapampa-Asháninka-Yánesha”.

Que bonito laboratorio natural para desenmarañar los conocimientos sobre las bondades de los ecosistemas de la región Pasco; es por ello, que un grupo de docentes han emprendido la búsqueda de conocimientos científicos, tomando como base los ancestrales. Producto de ello, se pone a disposición del lector, como científicos, profesionales, estudiantes y público en general el libro El frijol “Tiapo” (*Phaseolus vulgaris* L.) en dos densidades y aplicación de boro, distrito Oxapampa, Pasco-Perú: características agronómicas y rendimiento”; cuyos autores son Janeth, Juan, Javier, Ladislao, Oliviño y Noemí.

Los biólogos Juan Rodríguez Layza y Javier J. Gonzales Arteaga de las canteras de la UNT, Trujillo-Perú y el Ing. Ladislao C. Romero Rivas de la UNALM, Lima-Perú, desde que los conocí, los vi como futuros gestores del conocimiento por la seriedad, responsabilidad, perseverancia y sin ninguna prisa se dedican a los trabajos de investigación que vienen desarrollando. Al equipo investigador se suman los profesionales Janeth Pacconcca Pérez, UNDAC-Oxapampa, Oliviño Zegarra Arteaga, UNHEVAL- Huánuco y

Noemí Florabel Pacconcca Pérez, UNSCH-Ayacucho, quienes con su ímpetu muy bien complementan el grupo.

La médula central de la obra lo constituyen cuatro nutrientes capítulos que constituyen los resultados de la aplicación del método científico, los que se resumen a continuación:

Capítulo 1. Caracterización agronómica de frijol “Tiapo” (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo dos densidades de siembra y tres niveles de boro. Encontrándose que las variables, longitud de planta, número de ramas/planta, biomasa fresca/planta, materia seca por planta y longitud de raíces, no fueron afectadas por las densidades de siembra, ni por los niveles de boro, a excepción del diámetro de tallo, siendo mayor para la menor densidad de siembra, más no para los niveles de boro, y en la combinación (tratamiento) fue superior con la menor densidad de siembra con el nivel de boro 100 g/ha; cuya respuesta resultó condicionado al genotipo de frijol, adaptado a la zona de selva-Pozuzo.

Capítulo 2. Respuesta fisiológica de frijol “Tiapo” (*P. vulgaris* L.) bajo dos densidades de siembra y tres niveles de boro. Concluyéndose que el frijol logró un área foliar de 132,24 dm² y un índice de área foliar de 3,65; es decir, su capacidad para captar mayor radiación solar, lo que se infiere en mayor actividad fotosintética, a irradiado en la producción de granos, indicativo de su potencial para rendimiento.

Capítulo 3. Respiración basal del suelo con cultivo de frijol “Tiapo” (*P. vulgaris* L.) bajo dos densidades de siembra y tres niveles de boro. Cuyo hallazgo fue que la RBS en los tratamientos osciló entre 34,22 y 46,18 mg CO₂ /kg/día, cuya actividad biológica no fue afectada por las densidades de siembra (31 250 y 21 484 plantas/ha), ni por los niveles de boro (0,50 y 100 g/ha).

Capítulo 4. El rendimiento y sus componentes de frijol “Tiapo” (*P. vulgaris* L.) bajo dos densidades de siembra y tres niveles de boro. Arribándose a que el mayor número de vaina/planta resultó de 62,69. Con la menor densidad y el nivel más alto de boro (100 g/ha), se incrementó la longitud de vaina (13,81 cm) y peso de cien granos (57,93 g); mientras que, el número de granos por vaina (5,56 granos/vaina) no fue afectado por las densidades de siembra ni por lo niveles de boro. El rendimiento de grano seco fue favorecido por la mayor densidad siembra (31 250 plantas/ha) y más no por los niveles de boro, resultando 2 541,75 kg/ha en el tratamiento en la mayor densidad con 50 g de B/ha.

Bueno, son contribuciones más comprendidas por especialistas en la línea de investigación “Aplicación de la biotecnología y la sanidad en los recursos agropecuarios” y en la sub línea “Nutrición y salud en la investigación agropecuaria”, pero, que al mismo tiempo podrían aplicarse en la producción de este genotipo de legumbre de importante contenido de proteínas, grasas, vitaminas y minerales. Sin dejar de lado, la fibra muy importante para el control de azúcar en sangre.

Mis mejores augurios a los mencionados investigadores quienes vienen haciendo un trabajo silencioso y sostenible en el tiempo.

Hitlser J. Castillo Paredes

Docente RENACYT-UNDAC-OXAPAMPA.

Introducción

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es una leguminosa de grano comestible perteneciente a la familia fabaceae (leguminosae), de gran importancia a escala mundial, así como un elemento tradicionalmente primordial en América Latina y, en general, en muchos países en vías de desarrollo. Esto, principalmente por su alto contenido de proteínas, que varía de 16,54 a 28%, grasas entre 0,33 a 1,33%, vitaminas del complejo B (ácido fólico, tiamina y niacina) y es fuente de minerales, tales como, hierro, fósforo, potasio, calcio, magnesio, selenio, yodo y zinc (Celmeli et al., 2018; Valladolid, 2016), contribuyendo como complemento nutricional en la dieta alimenticia; además, tienen la capacidad de mantener la fertilidad de los suelos, con la fijación de nitrógeno en simbiosis con bacterias que minimiza el uso de fertilizante nitrogenado sintético (Karavidas et al., 2022), lo que reduce los costos de producción.

En este sentido, el frijol es cultivado con el objeto de disponer de sus granos para consumo humano, verde o seco; en zonas rurales de México se consume en mezcla con maíz (*Zea mays* L.), es decir, se complementan para mejorar la nutrición humana (Sangerman-Jarquín et al., 2010). Además, para la multiplicación de semillas para el desarrollo y expansión del cultivo. En Zimbabue, África, es de mucha importancia para el agricultor del campo, como seguridad alimentaria, les produce ingreso económico por la venta del grano (Mutari et al., 2021); por otro lado, en la agricultura rural de países en desarrollo, se siembra sin fertilización mineral que produce menor número de vainas/planta, pero guarda relación con la protección del medio, alimento sano y al alcance (Dos Santos et al., 2022).

En el Perú, el cultivo de frijol está arraigado en el poblador rural, para su consumo familiar y venta local, el consumo per cápita, es alrededor de 5 kilos en áreas rurales y 6 en la selva (INEI, 2012); por otra parte, en las grandes ciudades, es fuente de proteína (Aguilar-López y Gonzáles-Andrade, 2024).

Todos los cultivos, requieren de un conjunto de nutrientes para poder formar sus estructuras en los diferentes estados fenológicos, unos en cantidades mayores, los macronutrientes y otros en pequeñas, los micronutrientes, pero son fundamentales para el normal desarrollo y fructificación, en estos últimos está el boro; que participa en la movilización y metabolismo de los carbohidratos, germinación del polen y formación del tubo polínico después de la polinización (Fernández et al., 2015); además, es vital para la fecundación de la oosfera dentro del saco embrionario y formar la semilla (Shireen et al., 2018), lo que implica un mayor cuajado de frutos, sumamente importante, porque el valor económico del frijol son los granos.

El boro se absorbe como ácido bórico (H_3BO_3), su contenido en las plantas está estrechamente relacionado con su carencia o toxicidad, se considera como adecuado entre 15 y 100 ppm, en los casos que contiene menos de 15 ppm, la planta sufre carencias y si excede de 200 ppm cabe suponer que hay toxicidad de este (Salamerón y García, 1994).

La densidad de siembra, es un factor a considerar por los agricultores, ya que implica calcular la cantidad de semilla que se va a comprar, por lo que, es necesario, determinar la densidad óptima, que permita el máximo desarrollo del cultivo, y se refleje en altos rendimientos; de allí la importancia de evaluar varias densidades de siembra, de acuerdo al cultivar, que permita generar la recomendación al caso, para que pueda expresar su máximo potencial genético.

En la zona de Oxapampa (selva alta), se desarrollan muchos cultivos, como la granadilla (*Passiflora ligularis* Juss.), rocoto (*Capsicum pubescens* Ruiz y Pavón), zapallo (*Cucurbita maxima* Duch.), y frijoles que se cultivan en pequeñas extensiones. En este sentido, este libro con el título: “El frijol “Tiapo” (*Phaseolus vulgaris* L.) en dos densidades y aplicación de boro, distrito Oxapampa, Pasco-Perú: características agronómicas y rendimiento”, es el resultado del trabajo realizado a través de la tesis: Características agronómicas y rendimiento de frijol “Tiapo” *P. vulgaris* L. en dos densidades y aplicación de boro, realizado en la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, en Oxapampa, Pasco (Perú); resultando una investigación aplicada, que confronta la teoría con la realidad (Hernández et al., 2014), de nivel experimental, debido a que se manipula las variables independientes para observar los efectos que se producen en las variables dependientes

(Guffante et al., 2016), empleando el método científico, analítico, deductivo y la observación.

Lo antes expuesto, permite que el lector conocerá la información generada del frijol Tiapo, de importancia para los agricultores de selva alta tropical húmeda, para un aprovechamiento sostenible de sus tierras, que permita mejorar sus ingresos; en armonía con la naturaleza, ya que se evitaría la contaminación de los cuerpos de agua, con los nitratos producidos en el suelo por la nitrificación que, por su carga eléctrica no son retenidos por los coloides del suelo y se mueve libremente con el agua de infiltración (Cabral, 2019). Por esto, es necesario tener cultivos que sean compatibles con el medio para mantener la fertilidad del suelo.

El libro presenta a través de cuatro capítulos, la caracterización agronómica del cultivar generada por su respuesta a dos densidades de siembra y tres niveles de boro - aplicados como ácido bórico (capítulo 1). Luego, se desarrolla la respuesta fisiológica del frijol a los factores antes mencionado, medidos por su área foliar e índice de área foliar (capítulo 2). Continuando, con la determinación de la respiración basal del suelo con cultivo de frijol (capítulo 3), y finalmente, el rendimiento y sus componentes de frijol “Tiapo” (capítulo 4). Esto, conlleva a la socialización del conocimiento científico generado por una investigación, que contribuyó en la formación de talento humano para la generación de relevo; de interés y utilidad para estudiantes, agricultores, docentes, comunidades agrícolas e interesados en la temática, que impulse su promoción para el incremento del área de cultivo con frijol, componente clave estratégico en la seguridad y soberanía alimentaria del país.

CAPÍTULO 1

Caracterización agronómica de frijol "Tiapo" (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo dos densidades de siembra y tres niveles de boro



1

Caracterización agronómica de frijol “Tiapo” (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo dos densidades de siembra y tres niveles de boro

Resumen

El objetivo plasmado en el capítulo es caracterizar agronómicamente el frijol Tiapo (*P. vulgaris* L.), bajo dos densidades de siembra y tres niveles de boro en Oxapampa-Pasco. Se empleó el diseño de bloques completamente al azar con arreglo factorial de tratamientos con dos niveles para densidad de siembra (31 250 y 21 484 plantas/ha) y tres niveles de boro (0, 50 y 100 g de H₃BO₃/ha), para un total de seis tratamientos, con tres repeticiones, cuya unidad experimental, conformadas por seis hileras en surcos de 6,40 m de largo, con una separación de 0,80 m. La distancia entre plantas, ajustadas de acuerdo a la densidad de siembra requerida: 0,40 y 0,60 m, respectivamente. La siembra se realizó de forma manual, el cultivo fue bajo el sistema de riego a secano. La fertilización se efectuó con base en el resultado del análisis de suelo, el boro de acuerdo a la dosis antes indicada, empleando el ácido bórico, vía foliar de forma manual, a los 45, 56 y 65 dds (días después de la siembra). Las variables, longitud de planta, número de ramas/planta, biomasa fresca/planta, materia seca por planta y longitud de raíces, no fueron afectadas por las densidades de siembra, ni por los niveles de boro, a excepción del diámetro de tallo, siendo mayor para la menor densidad de siembra, más no para los niveles de boro, y en la combinación (tratamiento) fue superior con la menor densidad de siembra con el nivel de boro 100 g/ha; cuya respuesta resultó condicionado al genotipo de frijol, adaptado a la zona de selva-Pozuzo.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris* L., densidad, fertilización.

Introducción

El suelo, es un factor muy importante en la producción de los cultivos, por los nutrientes que aporta mediante la interacción con los microorganismos y el cultivo, la planta elabora compuestos orgánicos a través de la fotosíntesis, que se trasladan hasta las raíces, que permite mantener las poblaciones microbianas en la rizosfera, y así facilitar la disponibilidad de los mismos para el cultivo, donde el boro, es esencial en el transporte y síntesis en la sacarosa, metabolismo de ácidos nucleicos, fotosíntesis y metabolismo proteico (Alarcón, 2001). En suelos pobres y erosionados se requiere nitrógeno, fósforo y potasio; además, de aplicaciones foliares como calcio, magnesio, azufre y boro (Escoto, 2011). Por otra parte, el boro se ha relacionado con los principales procesos de la fisiología vegetal, división y crecimiento celular, germinación y regulación hormonal, entre otros (Bonilla, 2013).

El boro en los suelos se presenta en cantidades extremadamente bajas entre 20 y 200 ppm, el material primario que lo contiene en mayor cantidad es la turmalina, bastante insoluble y resistente a la humedad, no disponible; sin embargo, el boro para la planta es suministrado por la materia orgánica del suelo (Tisdale y Nelson, 1977); por lo que es un factor dinámico para las plantas, su disponibilidad está condicionada por variables de suelo, tales como humedad, pH, contenido de materia orgánica, textura, relación con otros nutrientes y por variables que dependen de las plantas; los rangos de concentración de suficiencia y toxicidad son muy estrechos, y variables entre especies (Bono y Romano, 2012).

Por otra parte, participa en el transporte de azúcares que formaría un complejo con los mismos que facilita su movimiento dentro de la planta, también interviene en la degradación de la glucosa y en la síntesis de ácido ribonucleico (ARN) y de ácido giberélico, ya que estos ácidos presentan contenidos bajos en plantas deficientes en boro (Noriega, 2011); cuya función principal, es la síntesis de la pared celular, mantenimiento de la estructura e integridad, depende de las especies de plantas y el suministro de este nutriente (Brdar-Jokanović, 2020); además, involucrado en el aumento del número de células y la

diferenciación de éstas (Reddy y Singh, 2023), las paredes celulares se pueden tornar más gruesas como respuesta al boro (Wang et al., 2024).

El boro disponible en el suelo corresponde al ácido bórico H_3BO_3 en la solución del suelo y aniones borato BO_3^{3-} , ambas formas pueden ser absorbidos por las raíces de las plantas y están en equilibrio con el boro no intercambiable adsorbido en la fase sólida (coloides como arcillas, materia orgánica, óxidos de hierro y aluminio) del suelo, así en pH ácido estará más disponible, mientras que en suelos de pH alcalino está menos disponible para ser absorbido por las plantas (Vistoso y Martínez-Lagos, 2020). Además, la disponibilidad de boro, baja con un incremento de pH debido a su insolubilidad, pero también puede estar en descenso su disponibilidad en suelos ácidos y arcillosos, tiene disponibilidad máxima entre pH, 5 a 7; además, el boro disponible se asocia con la materia orgánica (Mckean, 1993).

Asimismo, es absorbido por las raíces de las plantas en forma no ionizada (López y López, 1990), también, por las hojas, aplicado en aerosoles biológicamente controlados, se añade en fertilizantes líquidos y residuos orgánicos al suelo (Tisdale y Nelson, 1977). La fertilización foliar es una aplicación a través de pulverización de nutrientes a las hojas en las plantas con su rápida absorción y trasladados a otras partes de la planta; de gran importancia en la agricultura.

En este sentido, la fertilización en leguminosas puede influir en el crecimiento vegetativo de las plantas, el cultivo de frijol (*P. vulgaris* L.), absorbe nitrógeno fósforo, potasio y calcio en cantidades altas, y menor azufre y magnesio; el nitrógeno aplicado (kg/ha) en dos partes, 30 a la siembra y 30 al inicio de la floración, y el fósforo entre 60 a 70 kg/ha, para favorecer un buen desarrollo radicular, entre otros (Tayupanda y Tumbaco, 2022). En investigación en dos variedades frijol, Cargabello y Mantequilla, la fertilización foliar con fosfito de potasio, favoreció mayor altura de planta (Acencio, 2018).

Por otro lado, para tres variedades de frijol Caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp.), INIAP 463, CAU-9 y INIA 431, con fertilización edáfica (kg/ha) de 120:20:0-NPK, se obtuvo mayor longitud de planta de 54,44 cm con relación al testigo, 45,67 cm (Pincay, 2016). En frijol Mungo (*Vigna radiata* L.), con la aplicación de 100 mg/L de boro (ácido

bórico, disuelto en agua destilada), cuando las plantas estuvieron de tres a cuatro hojas y a la floración, se encontró que la longitud de planta fue de 118,33 cm contra 110,33 cm en el testigo y de 11,27 ramas/planta frente a 9,47 en el tratamiento control, sin diferencias estadísticas (Ayyed y Mahmood, 2023).

Cabe considerar, por otra parte, la densidad de siembra como un factor importante en la producción de cultivos para que se exprese el máximo potencial de rendimiento. En este orden de ideas, Ríos y Quirós (como se citó en Calero et al., 2018) recomendaron una población entre 40 000 y 50 000 plantas/ha. Sin embargo, Calero et al. (2018) encontraron los mejores resultados con 200 000 plantas/ha de frijol (cultivar Buenaventura) reflejado en las variables morfofisiológicas y de rendimiento de grano, superando la producción promedio nacional en 1 890 kg/ha. En igual forma, Lardizábal et al. (como se citó en Espinoza y Castillo, 2024) encomendaron entre 40 a 45 cm, la distancia entre hileras (surcos) en la siembra de semillas de frijol, para una población de 195 000 plantas/ha, y así garantizar a la cosecha de 175 500 plantas/ha, que permita un óptimo rendimiento. Esto, nos indica que la respuesta a la densidad puede depender del material genético utilizado, requiriéndose la caracterización agronómica del mismo evaluada para tal fin, que permita su determinación.

Ahora bien, la precocidad y biomasa seca del frijol (*P. vulgaris* L.) está en relación al genotipo del cultivar, responden de manera particular a cada hábitat, condiciones del medio y el manejo. En este sentido, Goyes (2013) encontró que, con hábito de crecimiento tipo II, los días a la floración, el más precoz fue en cultivar Dubal con 50,25 días, y el cultivar tardío a la floración fue Injerto con 76,07 días; mientras que, Criollo y López (2015), determinaron valores máximos de biomasa seca de frijol en cultivares, Radical arbustivo a los 76 dds con 4,4 g/día, y a los 83 dds por el cultivar ICA Cerinza con 5,4 g/día, acumulando este último al final del ciclo, el valor máximo; destacándose que a medida que transcurre el tiempo, la proporción de material vegetal es mayor.

Por otra parte, para la variable días a floración en tres cultivares de frijol con un distanciamiento entre plantas 0,30 m y entre surco 0,80 m, resultó más precoz el cultivar Mantequilla (45,83 dds), seguido de Calima (55,33 dds) y Canario (84 dds) (Curay, 2019). Al igual, en seis genotipos de frijol, Canario Línea 4, Divex 8120, PF-210-113, PF-210-69, Centinela y una Var. comercial INIA 2000, evaluados por Aybar y Luis (2021), encontraron,

que cuatro (PF-210-69, PF-210-113, Divex 8120 y Centinela) completaron su ciclo vegetativo entre 124,67 y 126,67 días (más precoces), mientras, que el más tardío con 143 días a cosecha (Línea 4), y la variedad comercial (INIA 2000) con 137,67 días; sin embargo, el genotipo que obtuvo el mayor rendimiento en grano verde (12,21 t/ha) y seco (1,78 t/ha) fue el del ciclo más tardío.

Igualmente, en cincuenta accesiones de frijol del germoplasma de INIA (Perú), en días a la madurez fisiológica, encontraron, 5 accesiones oscilaron entre 80 a 88 días; 20 accesiones están de 89 a 97 días; 12 accesiones de 98 a 106 días y 13 accesiones en el rango de 107 a 112 días (Medina, 2022).

Por lo expresado en párrafos anteriores, el objetivo de este capítulo es caracterizar agronómicamente el frijol Tiapo (*P. vulgaris* L.), bajo dos densidades de siembra y tres niveles de boro en Oxapampa-Pasco, medido a través de las variables: días a floración, días a la madurez, días a la cosecha, longitud (altura) de la planta, número de ramas/planta, longitud de la raíz, diámetro del tallo, biomasa fresca/planta y materia seca/planta.

Materiales y métodos

Material vegetal

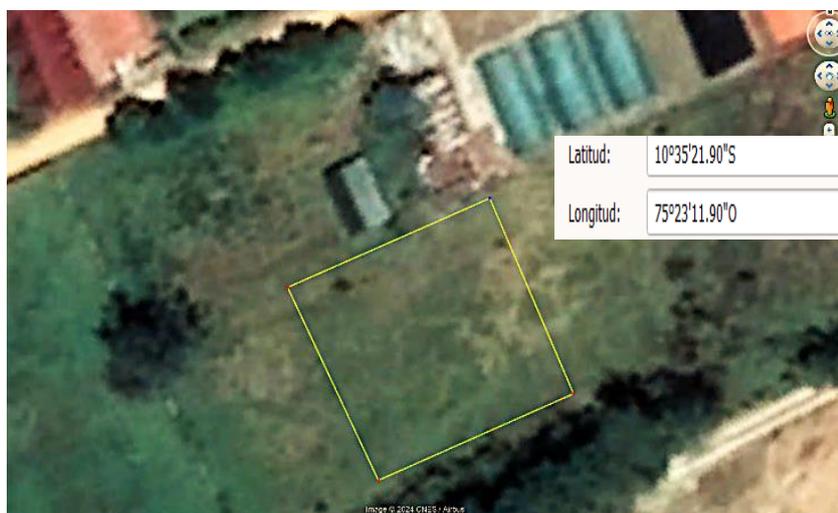
Se evaluó el frijol Tiapo, de hábito de crecimiento tipo II (arbustivo indeterminado) proviene de la población Pozuzo, originario de la zona de selva, es decir, adaptado a las condiciones del distrito Oxapampa-Pasco (Rodríguez-Layza et al., 2012).

Ubicación

El trabajo se desarrolló en el campo experimental Miraflores III, latitud 10°35'21,90" Sur y longitud 75°23'11,90" Oeste, Oxapampa (Figura 1) de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión (UNDAC).

Figura 1

Ubicación del área experimental, Miraflores III



Características del suelo

El terreno estuvo cubierto de malezas, con predominio de “amoroso” *Desmodium* sp. y “tumba chola” *Cynodon pletostachyus* K. Schum (Figura 2). Previo al acondicionamiento del terreno, se procedió con el análisis de suelo, para determinar las características físicas y químicas (Tabla 1), bajo la metodología en línea quebrada que cubre toda la superficie y se evitó el efecto de borde, en un número de 15 sub muestras a profundidad de 20 cm, se mezcló y se obtuvo aproximadamente una muestra de un kilogramo, en bolsa etiquetada, y procesada en el Laboratorio de Análisis de Suelo, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Para el cultivo de frijol, se requiere contar con un resultado de análisis de fertilidad para establecer un programa de manejo; asimismo, puede establecerse en suelos profundos y fértiles, de textura franco limosa, como también en texturas franco arcillosas; se desarrolla bien en suelos con pH entre 5,5 y 6,5, de topografía ondulada y plana, con buen drenaje (Arias et al., 2007), por lo que no se esperarían limitaciones para la producción, al establecerse un plan de manejo (Maicelo, 2021).

Figura 2

Área experimental previo a labores de siembra



Tabla 1

Análisis físico químico del suelo en el campo experimental Miraflores III

Características	Unidad de medida	Valores	Método	Interpretación
Arena	%	39,00	Hidrómetro	
Limo	%	40,00	Hidrómetro	
Arcilla	%	21,00	Hidrómetro	
Clase textural			Triangulo textural	Franco
pH		5,58	Potenciómetro de la suspensión de suelo	Moderadamente acido
C. E.	dS/m	0,37	Lectura del extracto de saturación en la celda eléctrica	No salino
CaCO ₃	%	0	Gas- Volumétrico utilizando un calcímetro	Sin carbonatos
M.O.	%	2,76	Walkey & Black	Medio
P	ppm	21,5	Olsen modificado	Alto
K	ppm	226,00	Acetato de amonio	Alto
CIC	meq/100g	13,28	Acetato de amonio	Bajo
Ca ⁺²	meq/100g	4,04	Fotometría y/o absorción atómica	Bajo

Características	Unidad de medida	Valores	Método	Interpretación
Mg ⁺²	meq/100g	1,00	Fotometría y/o absorción atómica	Medio
K ⁺	meq/100g	0,72	Fotometría y/o absorción atómica	Alto
Na ⁺	meq/100g	0,58	Fotometría y/o absorción atómica	bajo
Al ⁺³ + H ⁺	meq/100g	0,05	Fotometría y/o absorción atómica	Muy bajo
B	ppm	0,42	Extracción con agua, cuantificación curcumina	Bajo

Nota. Resultados del Laboratorio de análisis de suelo, plantas, aguas y fertilizantes - Universidad Nacional Agraria La Molina. Interpretación (Toledo, 2016).

Diseño experimental

Se empleó el diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con arreglo factorial de tratamientos con dos niveles para densidad de siembra (factor A: 31 250 y 21 484 plantas/ha) y tres niveles de boro (factor B: 0,50 y 100 g/ha), para un total de seis tratamientos producto de las combinaciones de los factores (Castro et al., 2022), con tres repeticiones, distribuidos al azar dentro de cada bloque (Figura 3, Tabla 2).

Unidad experimental

Las unidades experimentales estuvieron conformadas por seis (6) hileras en surcos de 6,40 m de largo, con una separación de 0,80 m. La separación entre plantas, ajustadas de acuerdo a la densidad de siembra requerida: 0,40 (a1) y 0,60 m (a2), respectivamente, para un área de parcela de 30,72 m² (Tabla 3).

Figura 3

Croquis del área experimental, bloques y aleatorización de los tratamientos

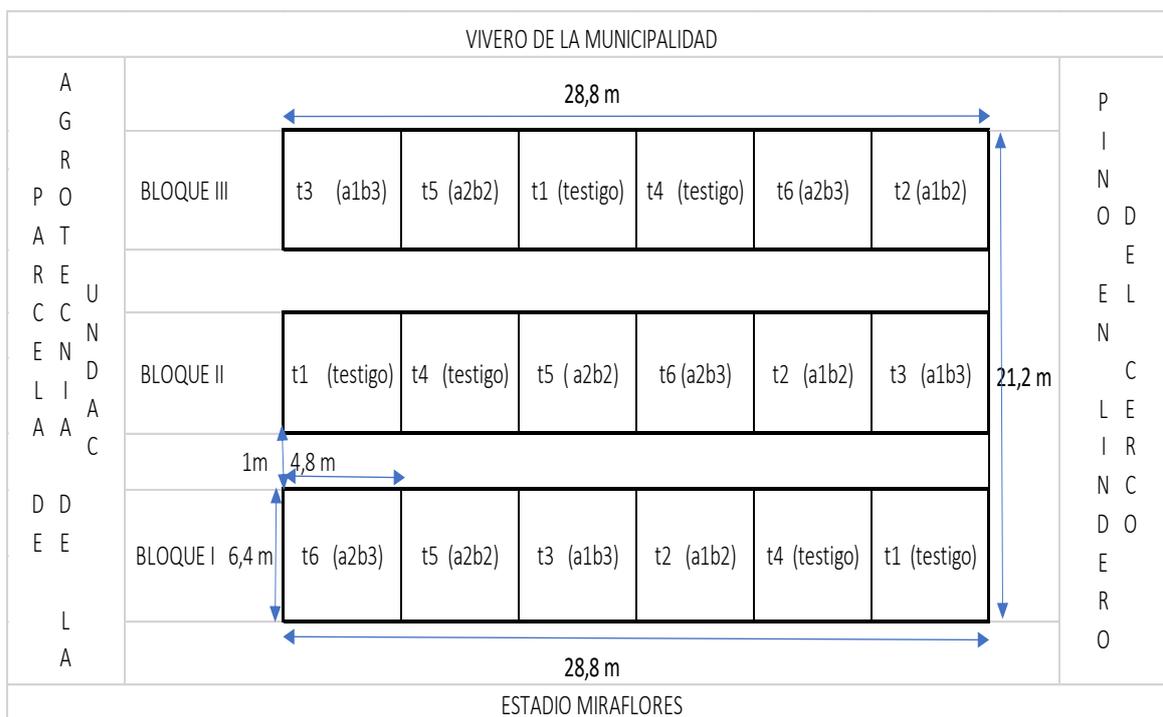


Tabla 2

Tratamientos producto de la combinación de niveles del factor A (densidad de siembra) y B (boro)

Tratamientos	Combinación	Densidad (plantas/ha)	Dosis de boro (g/ha)
t1	a1b1	31 250	00 (testigo)
t2	a1b2	31 250	50
t3	a1b3	31 250	100
t4	a2b1	21 484	00 (testigo)
t5	a2b2	21 484	50
t6	a2b3	21 484	100

Tabla 3

Características de la unidad experimental

Característica	Cantidad	Unidad
Surcos/unidad experimental	6,00	N°
Planta/surco (a1)	16,00	N°
Planta/surco (a2)	11,00	N°
Plantas/golpe	2,00	N°
Distancia entre golpe en a1	0,40	m
Distancia entre golpe en a2	0,60	m
Distancia entre surco	0,80	m
Longitud de surco	6,40	m
Área total/unidad experimental	30,72	m ²

Manejo agronómico

Preparación del suelo

La limpieza y acondicionamiento del terreno se realizó mediante macheteo manual, roturado, pasado de rastra y surcado con tractor (Figura 4).

Figura 4

Área experimental preparada para la instalación del experimento



Los bloques, se establecieron utilizando una cuerda de yute, estacas y marcados con cal, de acuerdo a las dimensiones establecidas previamente (Figura 5); los tratamientos fueron asignados en cada unidad experimental dentro de cada bloque.

Siembra

La siembra se realizó de forma manual, se colocaron 3 semillas por punto a 5,00 cm de profundidad; luego de la emergencia (tres semanas) se entresacaron para dejar 2 plantas/punto, y garantizar una densidad de 11 y 16 plantas/surco, para una población final de 31 250 (a1) y 21 484 (a2) plantas/ha, respectivamente; establecido en la temporada de baja precipitación (julio a diciembre).

Figura 5

Marcado de los bloques



Riego e información climática

El cultivo fue bajo el sistema secano. Durante el desarrollo fenológico del cultivo, la temperatura estuvo en el rango de 26,23 a 13,15°C; humedad relativa entre 91 a 84% y 682,60 mm de precipitación, durante el desarrollo fenológico del cultivo (Dirección de Información Agraria Oxapampa).

Deshierbos (Control de malezas)

Después de la siembra, en el desarrollo fenológico del cultivo se realizaron tres deshierbos, a los 22 (Figura 6), 36 y 70 dds.

Control de insectos plagas y enfermedades

Previa evaluación, se H_3BO_3 hicieron tres aplicaciones de insecticidas, a los 14, 37 y 53 (dds), para el control de comedores de hojas (*Diabrotica* sp.), y la aplicación de Benomil a razón de 10 g/mochila de 20 L (Figura 7), a los 22, 36 y 70 dds, contra hongos de raíz, de follaje (*Uromyces phaseoli*) y de fruto (*Colletotrichum lindemuthianum*).

Figura 6

Primer deshierbo del cultivo frijol Tiapo



Figura 7

Aplicaciones de fungicidas



Fertilización

La fertilización se realizó con base en el resultado del análisis de suelo, antes descrito en la Tabla 1, bajo la dosis (kg/ha) de 0 N, 50 P_2O_5 , 60 K_2O y 12 MgO, respectivamente; cuyas fuentes fueron superfosfato triple de calcio (46% P_2O_5), cloruro de potasio (60% K_2O), sulphomag (22% K_2O , 18% MgO y 22% S), disuelto en agua y aplicado al suelo en cada planta, 50% a los 50 dds y el resto a los 61 dds. A los 67 dds, se aplicó una fertilización foliar con una solución de urea al 1,4% (Figura 8), a una dosis de 9 kg/ha.

Se aplicó el boro (B), con una dosis de 0, 50 y 100 g de H_3BO_3 /ha, respectivamente; empleando como fuente el ácido bórico, según como correspondió a cada tratamiento, para esto se preparó en una solución con agua destilada y se aplicó vía foliar de forma manual con un atomizador a cada planta (Figura 9); llevado a cabo, a los 45, 56 y 65 dds.

Figura 8

Preparación de solución de urea al 1,4%



Figura 9

Aplicación del boro (ácido bórico)



Características agronómicas evaluadas

Se evaluaron características agronómicas, correspondientes a nueve variables descritas en la Tabla 4. En cada unidad experimental, se determinó el número días a la floración (Figura 10), madurez fisiológica (Figura 11) y días a la cosecha (Figura 12), cuyo procedimiento está detallado en la tabla antes indicada.

Figura 10

Planta de frijol Tiapo en plena floración

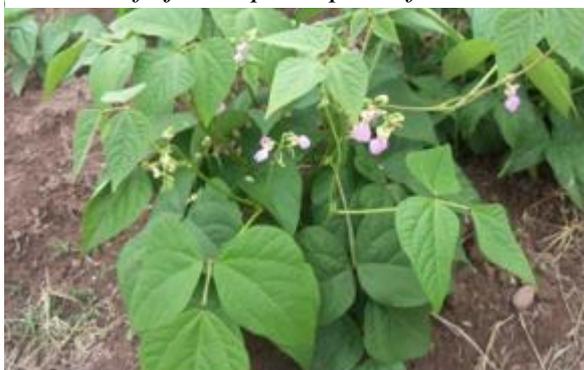


Figura 11

Planta de frijol Tiapo en madurez fisiológica

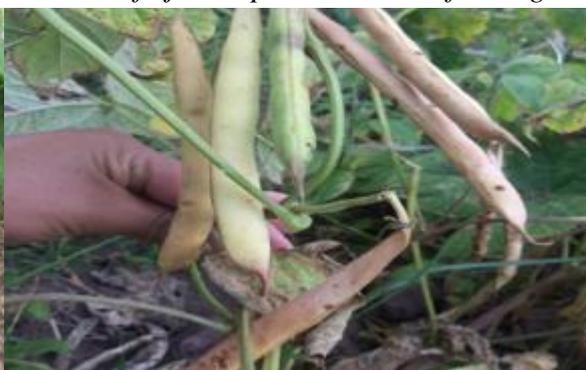


Tabla 4*Variables evaluadas para la caracterización agronómica del frijol Tiapo*

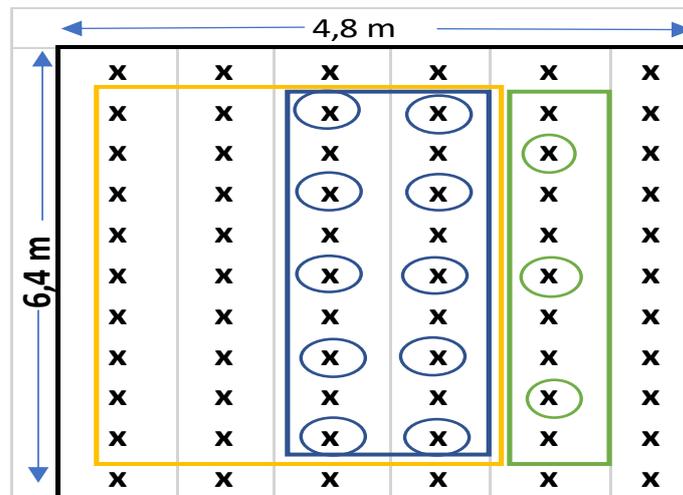
Nº	Variable	Descripción
1	Días a la floración (dds)	Cuando más del 50% de plantas presentaron las primeras flores abiertas, evaluado en cada unidad experimental.
2	Días a la madurez (dds)	Cuando el 90% de las vainas cambiaron del color verde a amarillo, evaluado en cada unidad experimental.
3	Días a la cosecha (dds)	Cuando presentaron características de madurez a la cosecha, 90% de vainas de una planta estén secas, evaluado en cada unidad experimental.
4	Longitud de planta (cm)	La distancia (mm) entre el cuello de la planta al ápice del tallo principal, utilizando una cinta métrica sobre la mesa con la planta extendida, realizado a los 73 dds.
5	Número de ramas/planta	Es la cantidad de ramas que tiene cada planta. Se contabilizaron el número de ramas que se originaron del tallo principal, efectuado a los 73 dds.
6	Biomasa fresca (g/planta)	La cantidad de masa de material vegetal. Se registró el peso fresco total de follaje (tallo más hojas), en una balanza de precisión OHAUS, se consideró los promedios de tres muestras, ejecutado a los 73 dds.
7	Materia seca de follaje (g/planta)	La biomasa fresca de follaje cosechada a los 73 dds, fue cortada en pequeños segmentos, de donde se obtuvo una muestra de cada una, en un sobre de papel, para determinar materia seca mediante el método de la estufa a 60 °C hasta obtener un peso constante. Con el valor obtenido se llevó al total de biomasa fresca de cada planta evaluada.
8	Longitud de raíz (cm)	Desde el cuello de la planta hasta la parte terminal de la raíz principal, empleando una cinta métrica graduada en mm sobre la mesa con la raíz extendida, llevado a cabo a los 73 dds.
9	Diámetro de tallo (mm)	Registrado antes del primer nudo de bifurcación del tallo principal (desde la superficie del suelo), medido con un vernier, a los 125 dds.

Figura 12*Planta de frijol Tiapo a la cosecha*

Para la evaluación del resto de las variables, se muestreó en tres puntos (seis plantas completas con follaje y raíz); además, el suelo de cada punto del quinto surco de cada unidad experimental (abordado en el capítulo 3), cuyos datos fueron tomados a la floración (73 dds) y a la cosecha (125 dds) de acuerdo a la distribución de plantas en cada unidad experimental (Figura 13), codificándose las muestras, y luego llevadas al laboratorio de suelos de la UNDAC (Oxapampa) para las mediciones y/o determinaciones: longitud (altura) de la planta (Figura 14), número de ramas por planta (Figura 15), biomasa fresca de follaje (Figuras 16 y 17), materia seca de follaje (Figura 18), longitud de raíces (Figura 19), y diámetro de tallo. Las variables fisiológicas se contemplan en el capítulo 2, la de respiración basal del suelo en el capítulo 3, y finalmente, las de rendimiento y sus componentes se estudian en el capítulo 4.

Figura 13

Identificación de las plantas de frijol Tiapo para el muestreo en floración y a cosecha en la unidad experimental



LEYENDA	
	Plantas evaluadas a la floración
	Plantas evaluadas a la cosecha
	Plantas para evaluación de rendimiento en grano
x	Plantas de frijol

Figura 14

Medición de longitud de planta de frijol Tiapo



Figura 15

Conteo de número de ramas/planta de frijol Tiapo



Figura 16

Peso fresco de follaje de frijol Tiapo



Figura 17

Follaje cortado de una planta de frijol Tiapo para sub muestreo



Figura 18

Muestreo de follaje de frijol Tiapo para determinación de biomasa seca



Figura 19

Medición de la longitud de raíz de frijol Tiapo



Análisis estadísticos

Los datos de las variables evaluadas, fueron registradas y transferidas a la hoja de cálculo Excel y procesados con el programa estadístico Minitab, versión 18. Se determinaron los estadísticos media, desviación estándar (S) y coeficiente de variación (CV). Se verificó la normalidad e igualdad de varianzas, seguido se realizó el análisis de varianza (ANOVA), de acuerdo al diseño empleado, se consideró el modelo aditivo lineal, especificado a continuación:

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

Donde:

Y_{ijk}	=	Es la respuesta de variable medida.
μ	=	La media poblacional
α_i	=	Efecto del nivel de la densidad (a1, a2).
β_j	=	Efecto del nivel de Boro (b1, b2 y b3).
$\alpha\beta$	=	Efecto de la interacción
δ_k	=	Efecto del bloque (1, 2 y 3).
ϵ_{ijk}	=	Error en la i-ésima unidad experimental.

Si el ANOVA detecta diferencias estadísticas (significativas o altamente significativas) en las fuentes de variación, se procede con la prueba de medias, mediante la prueba de comparación múltiple de Tukey ($p \leq 0,05$), para determinar la significancia entre los tratamientos y, así establecer la superioridad.

Resultados y discusión

Días a la floración

El análisis de varianza (ANOVA) para días a la floración (Tabla 5), no detectó diferencias estadísticas en cada fuente de variación: bloques, tratamientos, factor A, B y en la interacción (A x B); sin embargo, en la Figura 20, se muestra su tendencia, que a menor

densidad es más tardío, y en los niveles de boro, favoreció en cierta manera la precocidad a la dosis de 50 g de B/ha; aunque no fue significativo; por lo que no ameritó realizar la prueba de comparación múltiple de Tukey, de allí, que los valores promedios para cada nivel de los factores (densidad de siembra y boro) y en los tratamientos, se ilustran en la Figura 21 (A y B) respectivamente, donde el rango osciló entre 50,67 dds (t2) y 54,00 dds (t6), lo que coincide con lo obtenido por Goyes (2013), en el cultivar Dubal, con 50,25 dds; además, con tendencia similar, con lo evaluado por Curay (2019) en el cultivar Calima con un promedio de 55,33 dds.

Tabla 5

ANOVA para días a la floración (dds) en frijol Tiapo bajo dos densidades de siembra y tres niveles de boro

FV	GL	SC	CM	Valor F	Valor p
Bloques	2	8,778	4,389	0,700 ns	0,519
Tratamientos	5	23,778	4,756	0,760 ns	0,598
Factor A	1	18,000	18,000	2,880 ns	0,121
Factor B	2	2,778	1,389	0,220 ns	0,805
A x B	2	3,000	1,500	0,240 ns	0,791
Error	10	10	62,556	6,256	
Total	17	17	95,111		
Media	S	CV (%)			
52,22	2,360	4,530			

Nota. FV: fuente de variación; GL: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: cuadrados medios; ns: sin diferencias significativas; S: desviación estándar; CV: coeficiente de variación.

Figura 20

Tendencia del efecto principal de los factores A y B a días a la floración (dds) de frijol Tiapo

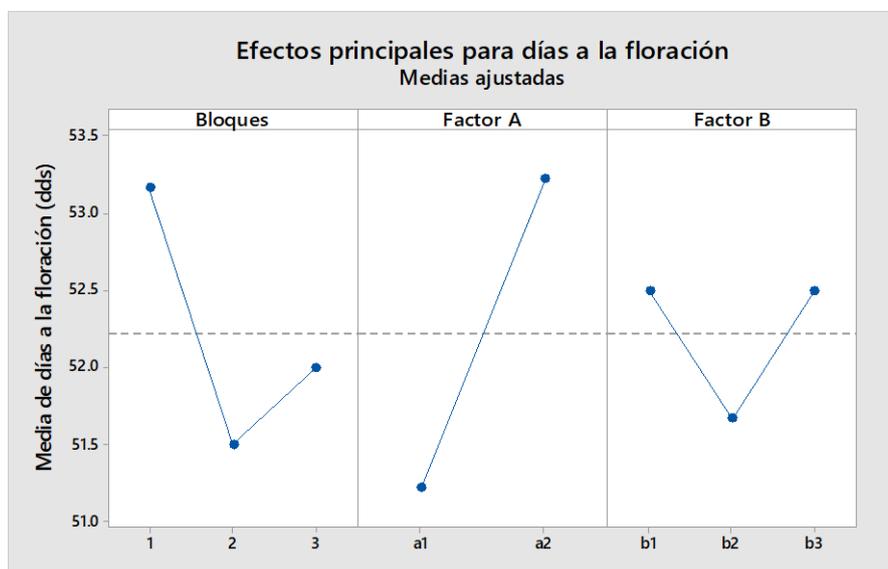
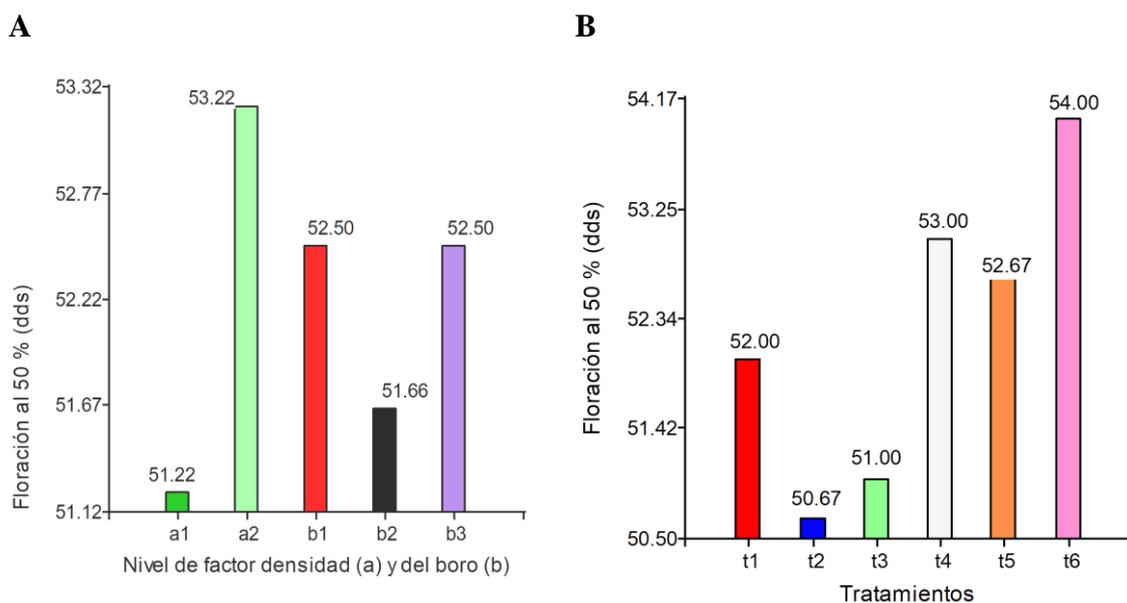


Figura 21

Medias para la variable días a floración de frijol Tiapo. A) Para cada nivel de los factores (densidad y boro) y B) en los tratamientos



Nota. Cada gráfico elaborado con InfoStat (Di Rienzo et al., 2020).

Estos resultados, nos indican que posiblemente los días a la floración está condicionado al genotipo del cultivar de frijol; lo que puede variar de acuerdo a la especie de leguminosa. En este orden de ideas, Mohshina et al. (2021), en frijol mungo (*V. radiata* L.), cuando adicionaron 2 kg de boro/ha en el plan de fertilización recomendado, acortó los días a la floración de 37,17 a 29,83 dds. Por otra parte, en *Vicia faba*, una variación en el distanciamiento entre plantas (10, 20 y 30 cm) produjo una mayor precocidad a los 10 cm; mientras que, en niveles de boro como ácido bórico de 0, 2,5 y 5 mg/L, se redujo los días a la floración en un primer experimento, más no en un segundo (Abd-Elaziz et al., 2019).

Días a la madurez fisiológica

El ANOVA, para días a madurez fisiológica (Tabla 6), ha determinado que no fue significativo para bloques, tratamientos, factor B y la interacción; pero sí para el factor A; cuya tendencia se muestra en la Figura 22, evidenciado con la prueba múltiple de Tukey para dicho factor (Tabla 7), a mayor densidad es más tardío, con dos días de diferencia; que estadísticamente no se evidenciaron en la combinación de los factores (tratamientos), cuyos valores promedios se muestran en la Figura 23; lo que coinciden con 12 accesiones del germoplasma de frijol del INIA (Estación Experimental de Chincha, Perú) que están en el rango de 98 a 106 días (Medina, 2022). En el caso, de las variedades de *P. vulgaris* L.: Peruano Mostaza, Canario Chiapas, Peruano 16 y Bayomex, cuyos días a la madurez fisiológica osciló de 82 a 94 dds. (Lépiz-Ildefonso et al., 2018).

Tabla 6

ANOVA para días a madurez fisiológica (dds) en frijol Tiapo con dos densidades de siembra y tres niveles de boro

FV	GL	SC Ajust.	CM	Valor F	Valor p
Bloques	2	1,778	0,889	0,370 ns	0,702
Tratamientos	5	36,944	73,889	3,050 ns	0,063
Factor A	1	20,056	200,556	8,280 *	0,016
Factor B	2	4,778	23,889	0,990 ns	0,407
A x B	2	12,111	60,556	2,500 ns	0,132
Error	10	24,222	24,222		
Total	17	62,944			
Media	S	CV (%)			
100,94	1,920	1,910			

Nota. FV: fuente de variación; GL: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: cuadrados medios; *: diferencias significativas; ns: sin diferencias significativas; S: desviación estándar; CV: coeficiente de variación.

Figura 22

Tendencia del efecto principal de los factores A y B para días a madurez del frijol Tiapo

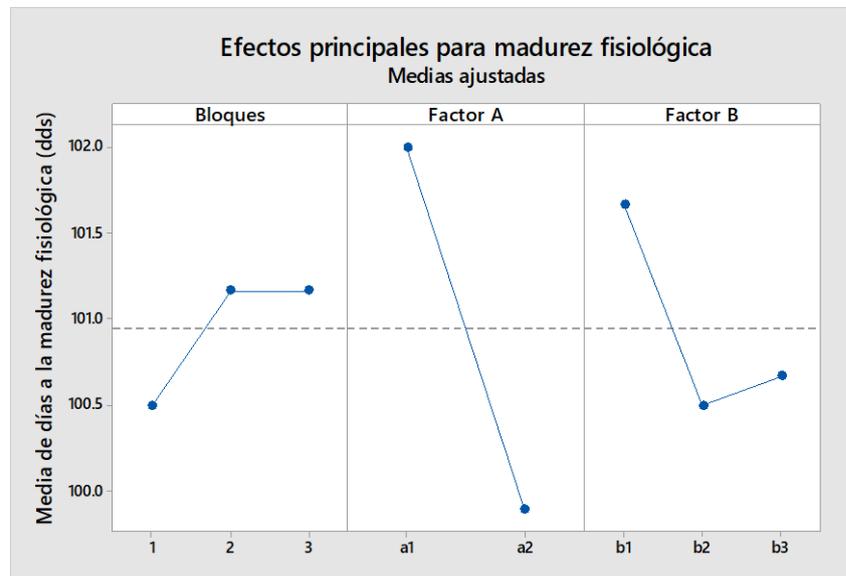


Tabla 7

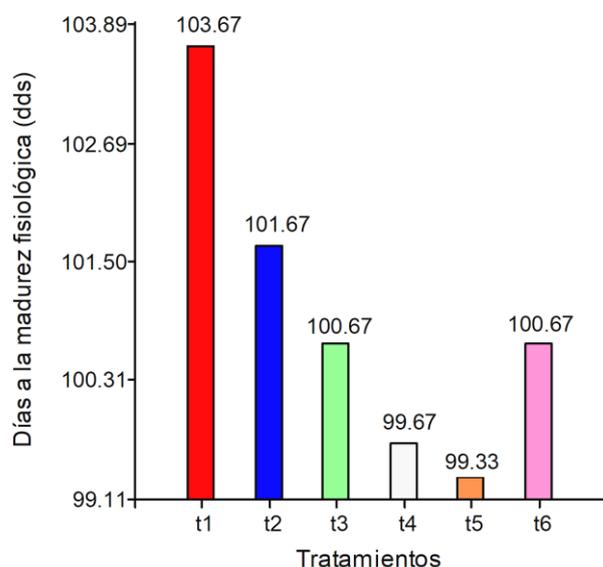
Prueba de comparación múltiple de Tukey para madurez fisiológica (dds) en frijol Tiapo en respuesta a niveles de los factores A (densidad de siembra) y B (boro)

Factor A	Madurez fisiológica (dds)	Agrupación	Factor B	Madurez fisiológica (dds)	Agrupación
a1	102,00	a	b1	101,67	a
a2	99,89	b	b2	100,50	a
			b3	100,67	a

Nota. Las medias con letras distintas en las columnas son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Figura 23

Medias para madurez fisiológica (dds) de frijol Tiapo evaluada en seis tratamientos (combinación de dos densidades de siembra y tres niveles de boro)



Nota. Gráfico elaborado con InfoStat (Di Rienzo et al., 2020).

Días a la cosecha

El ANOVA, para días a la cosecha (Tabla 8), determinó que no hubo significancia para bloques, tratamientos, factor A y B, al igual para la interacción; mientras que la tendencia se muestra en la Figura 24, la mayor densidad fue más precoz, y en los niveles de boro, la dosis de 100 g de B /ha retardó la cosecha; aunque estadísticamente son iguales, cuyo valores promedios se ilustran en la Figura 25; sin embargo, el tratamiento seis fue el de mayor días con respecto al tratamiento 2, cuyo rango de 119,67 (t2) a 126,33 (t6) dds, respectivamente. El ciclo del cultivo resultó similar al de los genotipos de frijol: PF-210-69, PF-210-113, Divex 8120 y Centinela; que requirieron entre 124,67 y 126,67 días para la cosecha (Aybar y Luis, 2021).

Por lo antes expuesto, las variables días a floración y días a la madurez (previamente analizadas), son un indicativo para medir la precocidad, lo que queda evidenciado, con la variable días a cosecha, donde queda determinado la duración del cultivo de frijol Tiapo, clasificado como un cultivar de ciclo corto (precoz).

Tabla 8

ANOVA para días a la cosecha (dds) de frijol Tiapo en dos densidades de siembra y tres niveles de boro

FV	GL	SC	CM	Valor F	Valor p
Bloques	2	29,780	14,890	0,330 ns	0,724
Tratamientos	5	75,780	15,160	0,340 ns	0,878
Factor A	1	26,890	26,889	0,600 ns	0,456
Factor B	2	38,780	19,389	0,430 ns	0,659
A x B	2	10,110	5,056	0,110 ns	0,894
Error	10	446,220	44,620		
Total	17	551,780			
Media	S	CV (%)			
122,1	5,700	4,670			

Nota. FV: fuente de variación; GL: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: cuadrados medios; ns: sin diferencias significativas; S: desviación estándar; CV: coeficiente de variación.

Figura 24

Tendencia del efecto principal de los factores A y B para días a la cosecha (dds) de frijol Tiapo

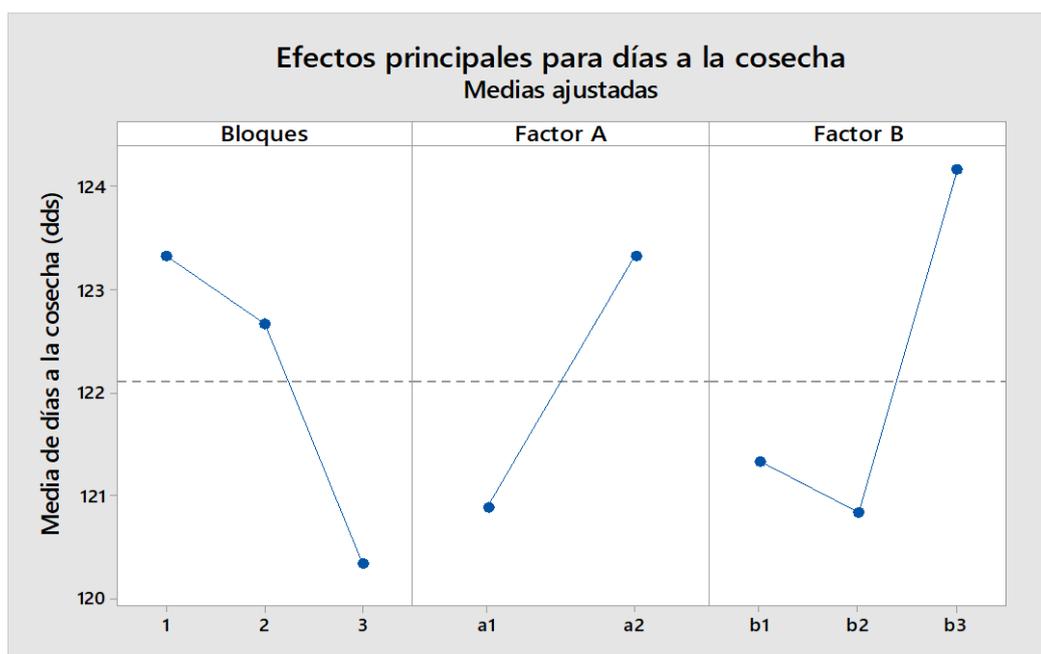
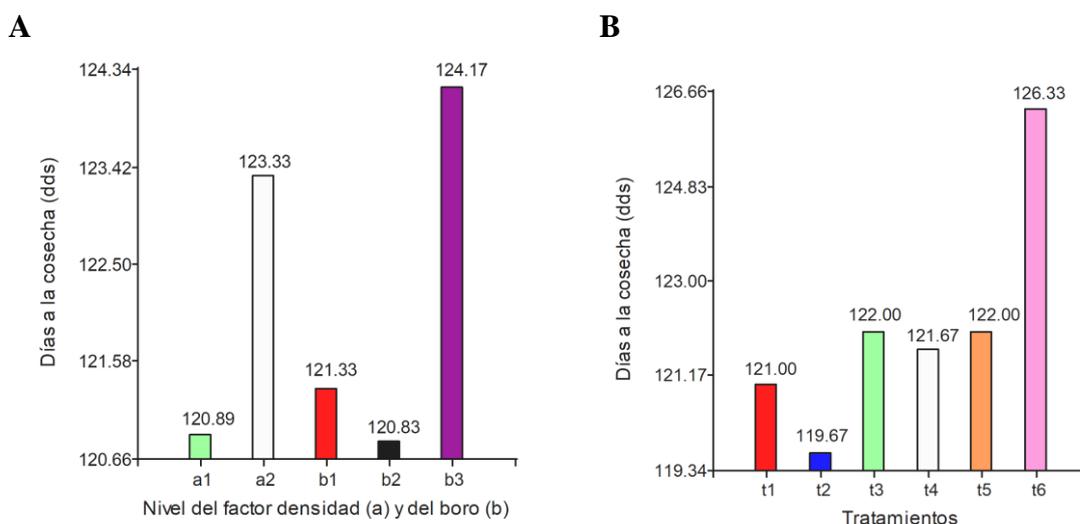


Figura 25

Medias para la variable días a la cosecha de frijol Tiapo. A) En cada nivel de los factores (densidad y boro) y B) en los tratamientos



Nota. Cada gráfico elaborado con InfoStat (Di Rienzo et al., 2020).

Longitud (altura) de planta

El ANOVA, para longitud de la planta (Tabla 9), evidenció que no hubo significancia para los tratamientos, factor A, factor B y la interacción, pero si para bloques; mientras que, la tendencia, las dos densidades y los niveles de boro no han mostrado mayor variación (Figura 26); cuyo promedio de cada nivel de los factores, y de tratamientos, se presentan en la Figura 27 (A y B), respectivamente, cuyos valores oscilaron entre 83,25 cm (t5) y 103,88 cm (t4), estadísticamente resultaron iguales.

Esta respuesta del frijol Tiapo coincidió con Uddin et al. (2020) en tres variedades de frijol (*P. vulgaris* L) con cuatro dosis de boro (0,0; 0,5; 1,0 y 1,5 kg B/ha), no mostraron influencia significativa en la altura de la planta. Sin embargo, difiere de lo señalado por Ejigu y Tulu (2021) en frijol común (*P. vulgaris* L.), cuya altura de la planta se vio influenciada significativamente por el efecto principal de las tasas de NPS y el espaciamiento entre hileras. Al igual, Doddamani et al. (2020) indicaron que dicha variable resultó significativamente influenciada por los tratamientos de pulverización foliar de Zn y

B; así como, para otras variables de crecimiento vegetativo. En este sentido, la respuesta a la densidad puede estar condicionado al genotipo del frijol.

Tabla 9

ANOVA para longitud (cm) de planta de frijol Tiapo en dos densidades de siembra y tres niveles de boro

FV	GL	SC	CM	Valor F	Valor p
Bloques	2	2539,30	1269,7	4,29 *	0,0451
Tratamientos	5	752,90	150,6	0,51 ns	0,7637
Factor A	1	2,28	2,28	0,01 ns	0,9317
Factor B	2	150,82	75,41	0,25 ns	0,7798
A x B	2	599,82	299,91	1,01 ns	0,3972
Error	10	2957,30	295,7		
Total	17	6249,60			
Media	S	CV (%)			
92,03	19,17	20,83			

Nota. FV: fuente de variación; GL: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: cuadrados medios; *: diferencias significativas; ns: sin diferencias significativas; S: desviación estándar; CV: coeficiente de variación.

Figura 26

Tendencia del efecto principal de los factores A y B en la longitud (cm) de planta de frijol Tiapo

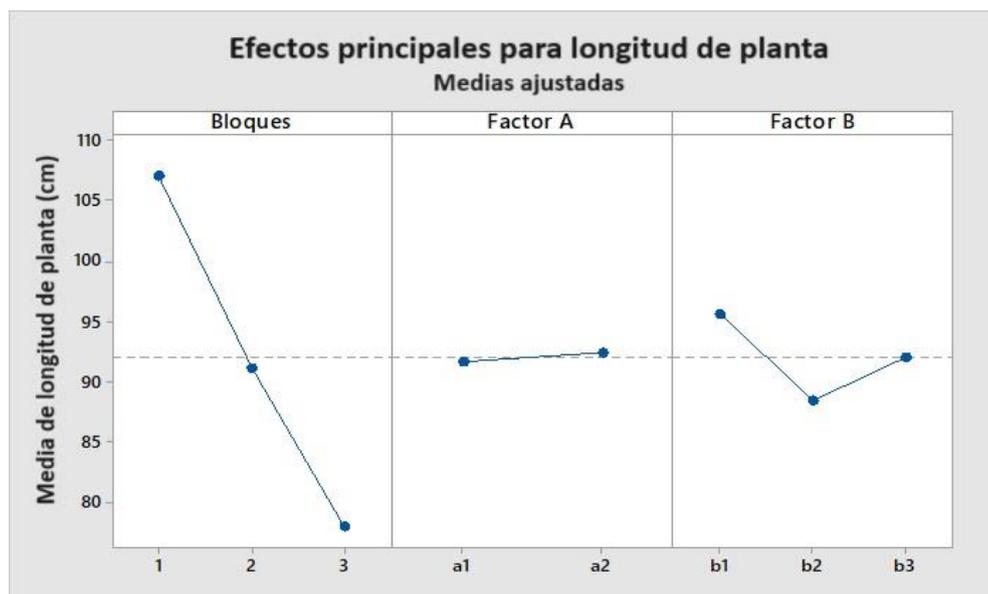
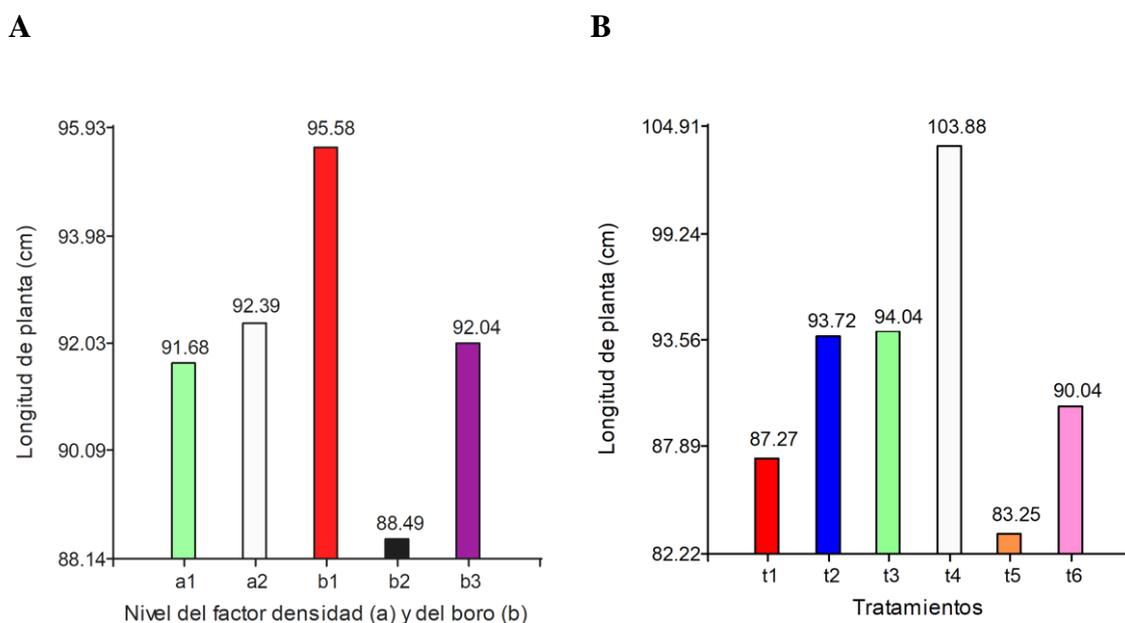


Figura 27

Medias para la variable longitud (cm) de planta de frijol Tiapo. A) En cada nivel de los factores (densidad y boro) y B) en los tratamientos



Nota. Cada gráfico elaborado con InfoStat (Di Rienzo et al., 2020).

Diámetro de tallo

El ANOVA para el diámetro de tallo (Tabla 10), ha determinado no significancia para bloques, factor B y la interacción, pero sí en tratamientos y factor A; mientras que, la tendencia (Figura 28), con la menor densidad fue mayor, y en los tres niveles de boro sus valores variaron de forma notoria; el de 50 g de B/ha tuvo menor diámetro de tallo respecto a los dos niveles; con la prueba de medias para los factores, determinó que la menor densidad de siembra tuvo mayor diámetro de tallo, y en los niveles de boro no hubo diferencias significativas (Tabla 11); en los tratamientos (Tabla 12), muestra que, t6, fue superior respecto a los demás, con 9,09 mm, y el menor con 6,84 mm en t2. Esto, concuerda con genotipos de frijol común (GLP 190S, NITU, ECAPAL M021 y NUA-99), en donde el diámetro tallo, estuvo entre 5,00 y 8,53 mm; afectado significativamente por la densidad de siembra (Kouam y Tsague-Zanfack, 2020).

Tabla 10

ANOVA para diámetro (mm) de tallo de frijol Tiapo en dos densidades de siembra y tres niveles de boro

FV	GL	SC	CM	Valor F	Valor p
Bloques	2	1,159	0,580	2,73 ns	0,1133
Tratamientos	5	10,649	2,130	10,03 **	0,0012
Factor A	1	7,494	7,494	35,28 **	0,0001
Factor B	2	1,711	0,856	4,03 ns	0,0521
A x B	2	1,443	0,722	3,40 ns	0,0748
Error	10	2,124	0,212		
Total	17	13,932			
Media	S	CV (%)			
7,792	0,905	11,66			

Nota. FV: fuente de variación; GL: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: cuadrados medios; **: diferencias altamente significativas; ns: sin diferencias significativas; S: desviación estándar; CV: coeficiente de variación.

Figura 28

Tendencia del efecto principal de los factores A y B en el diámetro (mm) de tallo de frijol Tiapo

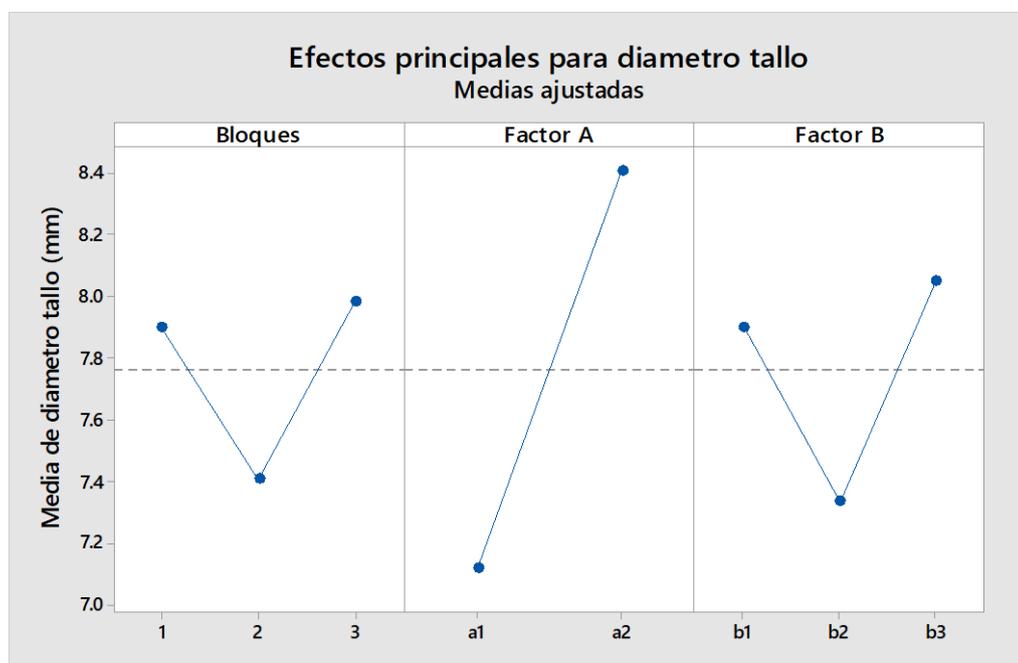


Tabla 11

Prueba de comparación múltiple de Tukey para diámetro (mm) de tallo de frijol Tiapo en respuesta a niveles de los factores A (densidad de siembra) y B (boro)

Factor A	Diámetro tallo (mm)	Agrupación	Factor B	Diámetro tallo (mm)	Agrupación
a1	7,12	b	b1	7,90	a
a2	8,41	a	b2	7,34	a
			b3	8,05	a

Nota. Las medias con letras distintas en las columnas son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Tabla 12

Prueba de comparación múltiple de Tukey para diámetro (mm) de tallo de frijol Tiapo bajo seis tratamientos (combinación de dos densidades de siembra y tres niveles de boro)

Tratamientos	Plantas/ha x g/ha ácido bórico	Combinación	Diámetro de tallo (mm)	Agrupación
t1	31250 x 00	a1 b1	7,50	b c
t2	31250 x 50	a1 b2	6,84	c
t3	31250 x 100	a1 b3	7,01	b c
t4	21484 x 00	a2 b1	8,30	a b
t5	21484 x 50	a2 b2	7,83	a b c
t6	21484 x 100	a2 b3	9,09	a

Nota. Las medias con letras distintas en las columnas son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Número de ramas/planta

El ANOVA para número de ramas/planta (Tabla 13) determinó que no existe significancia para tratamientos, factor A, factor B y la interacción, pero si para bloques. En la tendencia, tanto la densidad de siembra como los niveles de boro, no mostró una variación significativa (Figura 29); los promedios para cada factor y de los tratamientos en la Figura 30, donde se muestra que t4 tuvo el mayor valor con 10,08 y el menor t1 con 8,96 ramas por planta respectivamente. Esto, presenta una tendencia similar con lo observado por Ayyed y

Mahmood (2023), en la especie *V. radiata* L con 11,27 ramas/planta (100 mg/L de boro) en comparación con el testigo (9,47 ramas/planta).

Sin embargo, difieren de lo encontrado por Hamouda et al. (2018), en *P. vulgaris* L., con aplicación de boro de 250 mg/L y 500 mg/L en prefloración, estuvieron entre 4,4 y 5,2 ramas/planta, respectivamente, y de 4,8 a 5,8 ramas/planta (después de la floración), sin diferencias estadísticas. Por otro lado, en la misma especie de leguminosa, con dosis de boro de 0, 0,5 y 1,5 kg/ha, en dos años consecutivos produjo 5,33; 5,54 y 5,88 ramas/planta en el primer año y en el segundo año fue 5,56; 5,77 y 6,11 ramas/planta, respectivamente (Yadav et al., 2023). Estos resultados, del mayor número de ramas/plantas en frijol Tiapo, podría deberse a la constitución genética del mismo, adaptado a la zona de selva alta (Rodríguez-Layza, 2012).

Tabla 13

ANOVA para número de ramas/planta de frijol Tiapo en dos densidades de siembra y tres niveles de boro

FV	GL	SC	CM	Valor F	Valor p
Bloques	2	14,879	7,4393	7,88 **	0,0088
Tratamientos	5	2,841	0,5683	0,60 ns	0,7005
Factor A	1	0,1681	0,1681	0,18 ns	0,6820
Factor B	2	0,2321	0,1161	0,12 ns	0,8857
A x B	2	2,4412	1,2206	1,29 ns	0,3167
Error	10	9,4423	0,9442		
Total	17	27,1622			
Media	S	CV (%)			
9,328	1,298	13,91			

Nota. FV: fuente de variación; GL: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: cuadrados medios; **: diferencias altamente significativas; ns: sin diferencias significativas; S: desviación estándar; CV: coeficiente de variación.

Figura 29

Tendencia del efecto principal de los factores A y B en el número de ramas/planta de frijol Tiapo

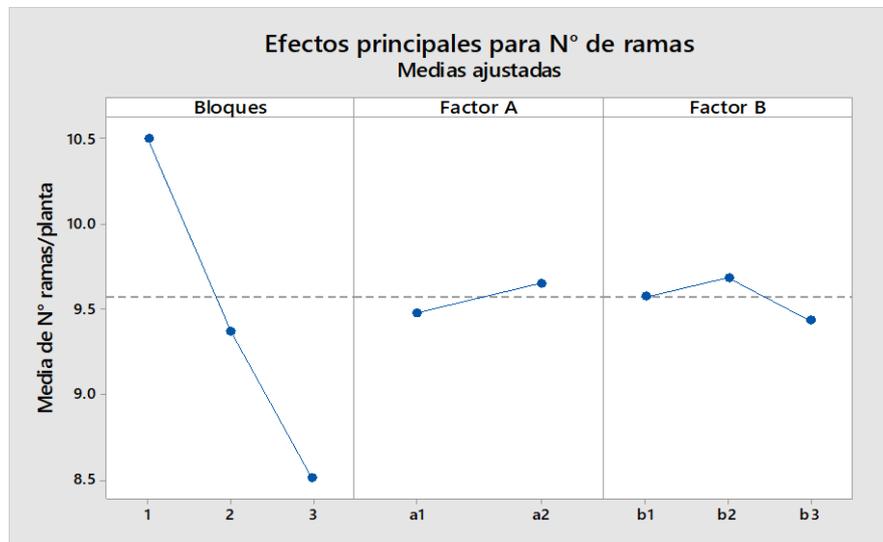
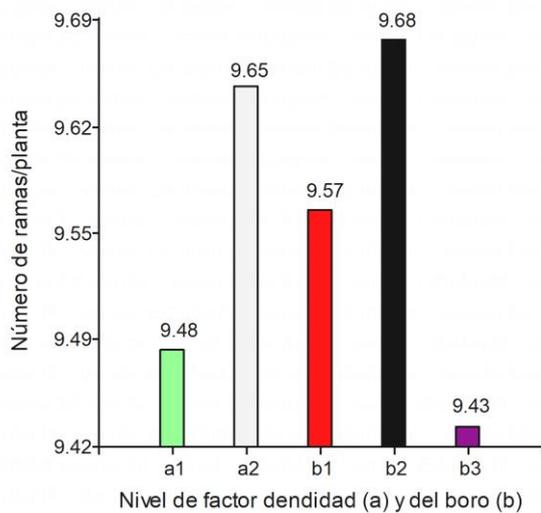


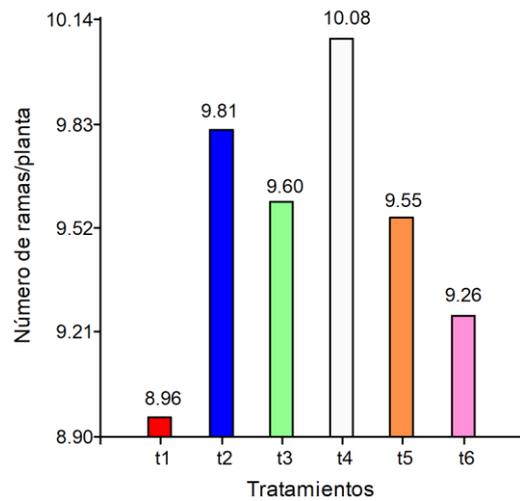
Figura 30

Medias para la variable número de ramas/plantas de frijol Tiapo. A) En cada nivel de los factores (densidad y boro) y B) en los tratamientos

A



B



Nota. Cada gráfico elaborado con InfoStat (Di Rienzo et al., 2020).

Biomasa fresca de follaje y materia seca de follaje

El ANOVA para biomasa fresca de follaje (Tabla 14), estableció que no hubo significancia para tratamientos, factor A, factor B y la interacción, pero sí para bloques. Similar resultado obtenido para materia seca de follaje (Tabla 15).

Tabla 14

ANOVA para biomasa fresca de follaje (g) de frijol Tiapo en dos densidades de siembra y niveles de boro

FV	GL	SC	CM	Valor F	Valor p
Bloques	2	152296	76148	4,15 *	0,0490
Tratamientos	5	58709	11742	0,64 ns	0,6750
Factor A	1	29097	29097	1,59 ns	0,2360
Factor B	2	22964	11482	0,63 ns	0,5540
A x B	2	6649	3324	0,18 ns	0,8370
Error	10	183427	18343		
Total	17	394433			
Media	S	CV (%)			
800,00	152,30	19,04			

Nota. FV: fuente de variación; GL: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: cuadrados medios; *: diferencias significativas; ns: sin diferencias significativas; S: desviación estándar; CV: coeficiente de variación.

Tabla 15

ANOVA para materia seca de follaje (g/planta) del frijol Tiapo evaluada con seis tratamientos (combinación de dos densidades de siembra y tres niveles de boro)

FV	GL	SC	CM	Valor F	Valor p
Bloques	2	16,3836	8,1918	7,12 *	0,0120
Tratamientos	5	5,738	1,148	1,00 ns	0,4660
Factor A	1	1,5251	1,5251	1,33 ns	0,2760
Factor B	2	3,9976	1,9988	1,74 ns	0,2250
A x B	2	0,2157	0,1078	0,09 ns	0,9110
Error	10	11,5073	1,1507		
Total	17	33,6293			
Media	S	CV (%)			
136,54	32,44	23,76			

Nota. FV: fuente de variación; GL: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: cuadrados medios; *: diferencias significativas; ns: sin diferencias significativas; S: desviación estándar; CV: coeficiente de variación.

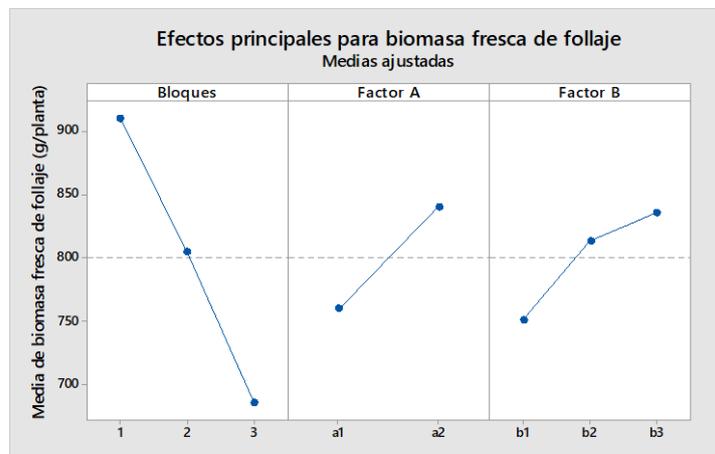
En cuanto a la tendencia de los efectos principales (Figura 31), la densidad menor tuvo mayor biomasa fresca y, por ende, de materia seca; los niveles de boro, favorecieron en cierta manera su contenido. En las dos densidades de siembra de frijol Tiapo (Figura 32 A), la biomasa fresca resultó de 759,78 y 840,19 g/planta, respectivamente; mientras, la materia seca: 128 y 141,51 g/planta (Figura 32 B), correspondientemente; asimismo, en los tres niveles de boro, con una cierta tendencia al incremento, pero no hubo diferencias significativas.

Para los tratamientos, el t6 con mayor valor de biomasa fresca (902,50 g/planta), y menor en t1 con 728,87 g/planta (Figura 33 A), cuyas medias son estadísticamente iguales; con la misma tendencia para la materia seca (Figura 33 B), oscilando entre los valores de 157,79 g/planta (t6) y 117,11 g/planta (t1).

Figura 31

Tendencia del efecto principal de los factores A y B en la biomasa fresca (A) y materia seca (B) de frijol Tiapo (g/planta)

A



B

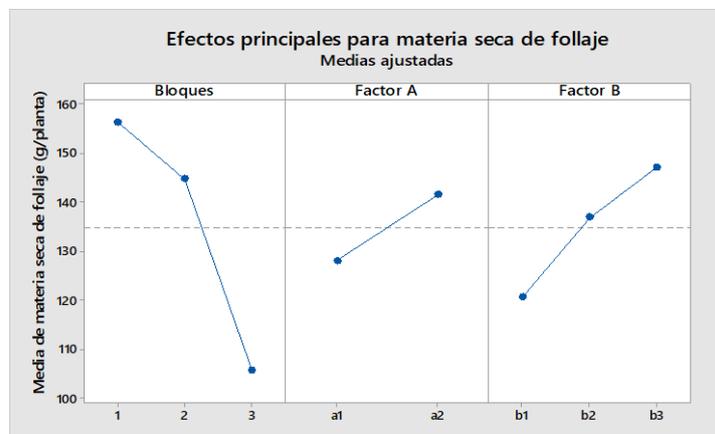
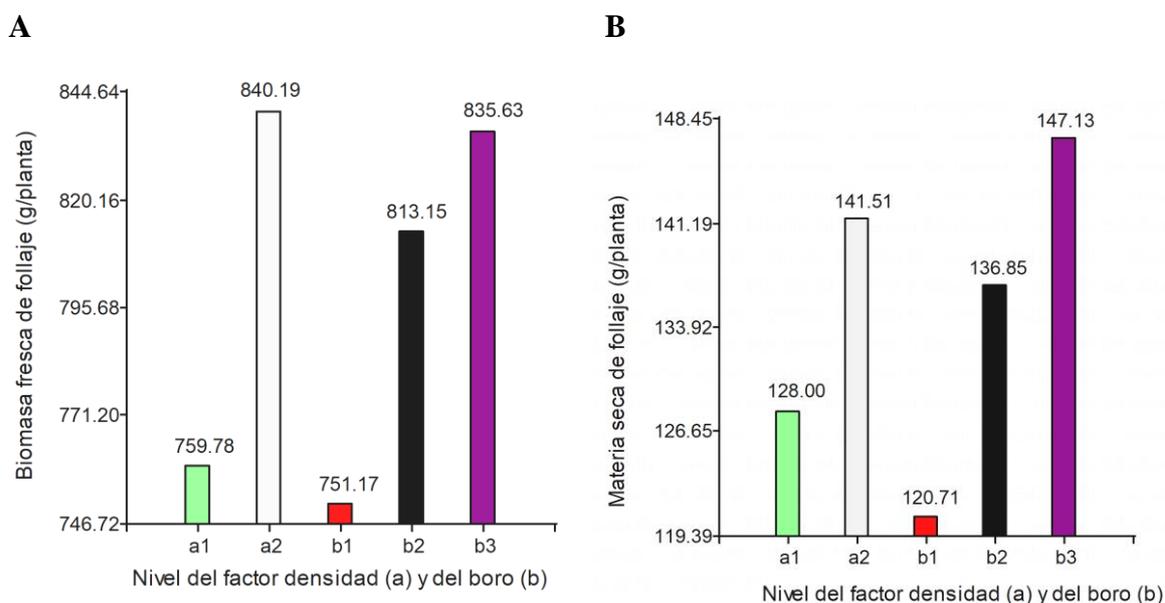


Figura 32

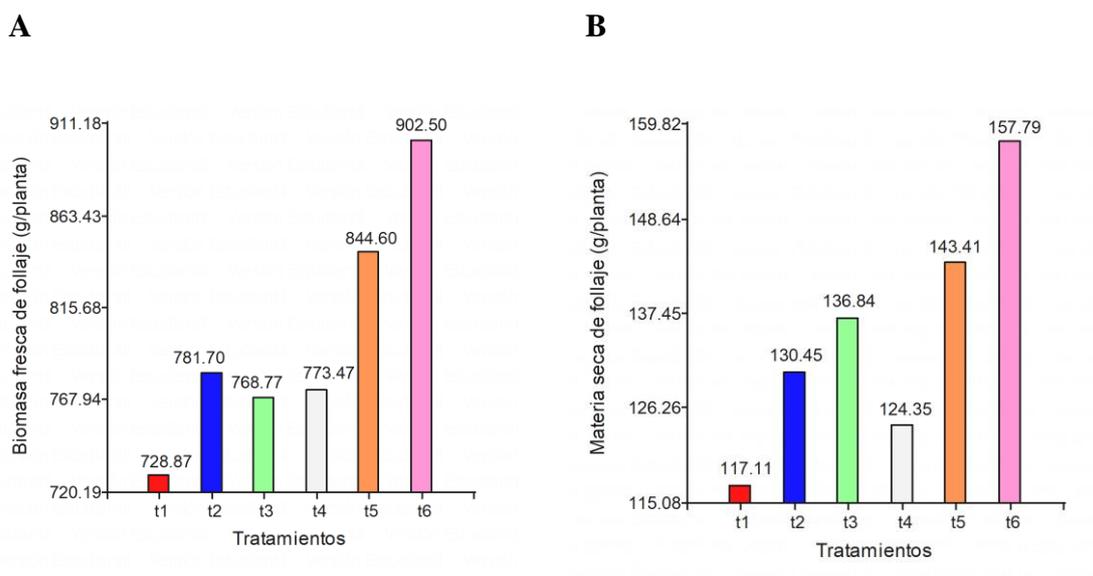
Medias para las variables biomasa fresca (A) y materia seca de follaje (B) de frijol Tiapo (g/planta) en cada nivel del factor (densidad de siembra y boro)



Nota. Cada gráfico elaborado con InfoStat (Di Rienzo et al., 2020).

Figura 33

Medias para las variables biomasa fresca (A) y materia seca de follaje (B) de frijol Tiapo (g/planta) evaluadas con seis tratamientos (combinación de dos densidades de siembra y tres niveles de boro)



Nota. Cada gráfico elaborado con InfoStat (Di Rienzo et al., 2020).

Estos resultados coinciden con Hamouda et al.(2018), ellos encontraron cierto incremento de biomasa fresca y materia seca, respectivamente, en *P. vulgaris* L, en función de los niveles de boro (0,0; 250,0 y 500,0) aplicados a la floración, de 88,19 a 123,62 g/planta (biomasa fresca) y de 22,44 a 31,46 g/planta (biomasa seca), sin diferencias estadísticas; por otro lado, Reddy et al. (2023), encontraron tendencia similar para materia seca (24,65 a 29,31 g/planta) al combinar el zinc (0,0; 15,0; 30,0 y 45,0 kg/ha), boro (0,0; 5,0; 6,0 y 7,0%) y la fecha de su aplicación (15, 25 y 55 dds). Es importante mencionar, que la variable peso seco, ha sido empleada como criterio de clasificación de los cultivares como eficientes y tolerantes al boro (Gökmen et al., 2023).

Longitud de raíces

El ANOVA para longitud de raíz (Tabla 16), determinó que no hubo significancias para bloques, tratamientos, factor A, factor B y la interacción; por otro lado, la tendencia (Figura 34), la mayor densidad mostró una mayor longitud y en los niveles de boro, favoreció la dosis de 50 g de B/ ha, cuyos valores promedios para las niveles de densidades de siembra y los de boro se muestran en la Figura 35A, y los tratamientos en la Figura 35B, todos con igual media estadística, oscilando entre 38,74 cm (t3) y 35,46 cm (t6). Esto coincide, con resultados obtenidos por Yamil et al. (1997), en frijol Var. Dicol Calima, en un suelo con bajo contenido de boro (0,04 mg/kg), no encontraron diferencias estadísticas en la longitud de las raíces, entre el tratamiento absoluto, sin boro, y los que tuvieron boro como ácido bórico y borato (aplicados al suelo).

Tabla 16

ANOVA para longitud de raíz (cm) de frijol Tiapo en dos densidades de siembra y tres niveles de boro

FV	GL	SC	CM	Valor F	Valor p
Bloques	2	24,06	12,030	1,07 ns	0,3810
Tratamientos	5	26,75	5,351	0,47 ns	0,7880
Factor A	1	3,472	3,472	0,31 ns	0,5910
Factor B	2	10,254	5,127	0,45 ns	0,6470
A x B	2	13,029	6,514	0,58 ns	0,5790
Error	10	112,86	11,286		
Total	17	163,68			
Media	S	CV (%)			
37,31	3,103	8,32			

Nota. FV: fuente de variación; GL: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: cuadrados medios; ns: sin diferencias significativas; S: desviación estándar; CV: coeficiente de variación.

Figura 34

Tendencia del efecto principal de los factores A y B en la longitud (cm) de raíz del frijol Tiapo

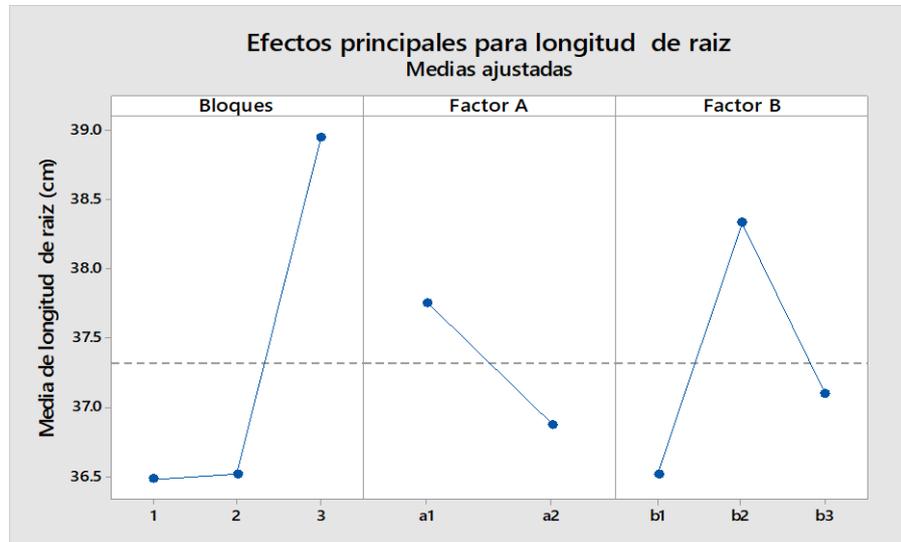
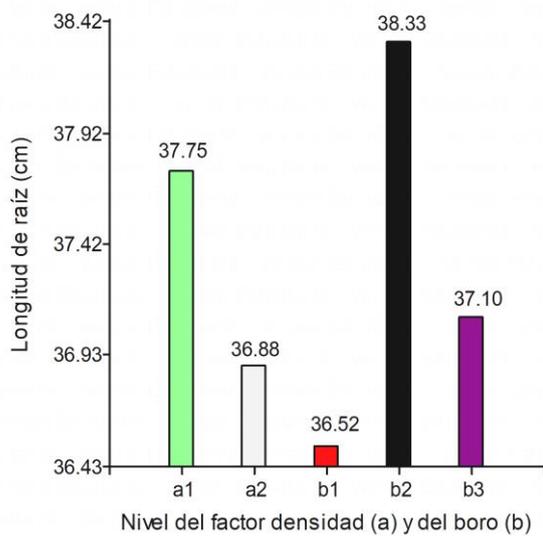


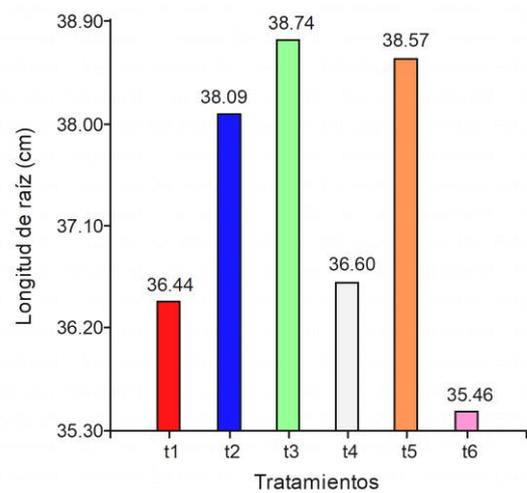
Figura 35

Medias para la variable longitud (cm) de raíz del frijol Tiapo. A) En cada nivel de los factores (densidad y boro) y B) en los tratamientos

A



B



Nota. Cada gráfico elaborado con InfoStat (Di Rienzo et al., 2020).

Conclusiones

El frijol Tiapo resultó caracterizado por su precocidad, medido por las variables días a floración, días a madurez y días a la cosecha; el cual no fue afectado por las densidades de siembra (21 484 y 31 250 plantas/ha), ni por los niveles de boro (0,50 y 100 g de B/ha) a excepción, de días a la madurez fisiológica favorecida con la menor densidad de siembra.

Las variables, longitud de planta, número de ramas/planta, biomasa fresca/planta, materia seca por planta y longitud de raíces, no fueron afectadas por las densidades de siembra, ni por los niveles de boro considerados en la investigación, a excepción del diámetro de tallo, siendo mayor para la menor densidad de siembra, más no para los niveles de boro, y en la combinación (tratamiento) fue superior con la menor densidad de siembra con el nivel de boro 100 g de B/ha.

La caracterización agronómica del frijol Tiapo a través de las variables: días a floración, días a la madurez, días a la cosecha, longitud (altura) de la planta, número de ramas/planta, longitud de la raíz, diámetro del tallo, biomasa fresca/planta y materia seca/planta; cuya respuesta a los factores densidad de siembra y niveles de boro, resultó condicionado a su constitución genética, adaptado a la zona de selva-Pozuzo.

CAPÍTULO 2

Respuesta fisiológica de frijol
"Tiapo" (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo
dos densidades de siembra y tres
niveles de boro



2

Respuesta fisiológica de frijol “Tiapo” (*P. vulgaris* L.) bajo dos densidades de siembra y tres niveles de boro

Resumen

El objetivo fue determinar la respuesta fisiológica de frijol “Tiapo” (*P. vulgaris* L.) bajo dos densidades de siembra y tres niveles de boro en Oxapampa-Pasco, medido por las variables área foliar e índice de área foliar. El área foliar representa la superficie de una hoja para interceptar la energía lumínica en la fotosíntesis. Se extrajeron todos los folíolos de seis plantas completas a los 73 días después de la siembra, registrándose su peso fresco total, seguido el peso de 50 cuadrados cada uno de 2,00 cm por lado, igual a 2,00 dm², lo que se interpoló al peso fresco total de folíolos en cada sub muestra, la que fue igual al área foliar. El índice de área foliar, se obtuvo con una ecuación (área foliar x densidad poblacional/área sembrada). El área foliar, no fue afectado por las densidades de siembra, pero si por el nivel más alto de boro, mientras el índice de área foliar fue favorecido a una mayor densidad de siembra (31 250 plantas/ha), e igualmente con el nivel más alto de boro (100 g/ha). El frijol logró un área foliar de 132,24 dm² y un índice de área foliar de 3,65; es decir, su capacidad para captar mayor radiación solar, lo que se infiere en mayor actividad fotosintética, irradiado en la producción de granos, indicativo de su potencial para rendimiento.

Palabras clave: frijol, área foliar, índice de área foliar.

Introducción

Se entiende por área foliar, la superficie de una hoja para interceptar la energía lumínica en la fotosíntesis, es decir, la fuente primaria de energía utilizada por las plantas en la elaboración de tejidos y compuestos alimenticios (Unigarro et al., 2021; Warnock et al., 2006). En este sentido, la densidad de siembra juega un papel importante por el número de plantas que intercepten más luz por superficie de suelo, que permita aumentar la capacidad fotosintética y por ende favorece la producción del cultivo.

El índice de área foliar se puede considerar como un descriptor del crecimiento y la productividad del cultivo, porque se relaciona con la cantidad de materia seca que acumulan las plantas, siendo la expresión del área foliar por unidad de superficie del suelo ocupada por una planta (Unigarro et al., 2021; Yan et al., 2019).

En investigación llevada a cabo por Yamil et al. (1997), determinaron el aumento del área foliar en frijol *P. vulgaris* Var. Diacol Calima, en dos de los seis tratamientos evaluados con fertilización al suelo: NPK+ Fe y borate 48 (14,8% de boro), al igual NPK+ Fe + Mezcla de Boronatrocalcita con ácido bórico (16,35% de boro), donde asumen el rol del boro, en el desarrollo de estructuras vegetativas y por ende del área foliar y establecieron que el ácido bórico favorece su absorción por su alta solubilidad en el suelo.

Por otra parte, Warnock et al. (2006) especificaron el área e índice de área foliar en cinco genotipos promisorios y una variedad comercial (Magdaleno) de frijol (*P. vulgaris* L.), en dos localidades (L1, L2), cuyos promedios de área foliar en estadio R6 (57 dds) en L1 (1545,10 cm²), con diferencias significativas entre los cultivares, con promedio superior en L2 (2273,30 cm²), sin diferencias estadísticas en los materiales genéticos. El índice de área foliar osciló entre 3,68 (L1) y 5,41 (L2), con diferencias significativas entre los cultivares en un solo ambiente (L1), destacándose en dichos resultados el posible efecto de la interacción del genotipo con el ambiente.

El incremento del distanciamiento entre plantas (20, 30 y 40 cm) en la siembra del cultivar Caupicor 50 de frijol Caupí (*V. unguiculata* L. Walp.), produjo aumento

significativo del área foliar (70,72; 85,06 y 109,78 dm²), mientras, para el índice de área foliar resultó significativo en el menor distanciamiento de 20 cm (5,15) y sin diferencias estadísticas entre los dos restantes (4,11 y 4,00, respectivamente), ambos evaluados a los 35 dds en plena floración del cultivo (Cardona-Ayala et al., 2021).

Asimismo, en la variedad SER-119 de frijol común (*P. vulgaris* L.), en floración (48 dds) se registró un área foliar de 27,51; 24,56 y 23,50 dm² a un espaciamiento entre plantas de 15, 10 y 5 cm, respectivamente; con separación entre surcos de 40 cm, y dosis de 150 kg NPK (28,5 - 57,0 - 10,5), con diferencias significativas y el comportamiento superior a la menor densidad de plantas (15 x 40); lo que se tradujo en mayor crecimiento vegetativo (Ejigu y Tulu, 2021). En este orden de ideas, en dos genotipos de frijol común bajo las densidades de 133 333, 44 444 y 66 666 plantas/ha., donde se encontró diferencias significativas para el índice de área foliar de 1,91; 2,28 y 2,71, respectivamente; al igual entre los genotipos, DAB564 (2,48) y DAB520 (2,12), donde las plantas tenían más área foliar, lo que contribuyó a una mayor intercepción de luz para el proceso de la fotosíntesis, reflejado en el valor del índice obtenido (Mashiq et al., 2021).

Por otra parte, en frijol Canario Centenario (*P. vulgaris* L.) se ha determinado que el tipo de fertilizante empleado puede afectar el área foliar, en tres tratamientos con fertilización sintética, el área foliar osciló entre 36,73 y 45,23 dm²; en tres tratamientos con rizobiales, varió entre 25,37 y 35,20 dm²; mientras el testigo resultó con 8,21 dm² (Ocaña, 2016). Esto, nos indica, que la fertilización sintética generó los efectos más inmediatos en el incremento del área foliar.

En evaluación del comportamiento ecofisiológico de tres cultivares de frijol ejotero (*P. vulgaris* L.), bajo un clima de transición templado, cuyo análisis de varianza para área foliar detectó diferencias altamente significativas, y la prueba de comparación múltiple estableció dos grupos, el superior con igual media estadística, Strike (23,02 dm²) y Saporo (25,85 dm²), mientras Valentino (9,38 dm²) resultó con menor respuesta (Bravo-Delgado et al., 2021). En efecto, los valores de área foliar de los cultivares Strike y Saporo, se encuentran dentro del rango, de los encontrados por Ejigu y Tulu (2021) en la variedad SER-119, antes citada.

Por consiguiente, en este segundo capítulo, se tiene como objetivo determinar la respuesta fisiológica de frijol “Tiapo” (*P. vulgaris* L.) bajo dos densidades de siembra y tres niveles de boro en Oxapampa-Pasco.

Materiales y métodos

La metodología del ensayo establecido en condiciones de campo está detallada en el capítulo 1. A continuación, se describen las variables fisiológicas evaluadas, área foliar (dm^2) e índice de área foliar (m^2/m^2).

Área foliar

Es la superficie foliar que captura la energía lumínica en la fotosíntesis; es la suma de todas las superficies foliares de una planta (Unigarro et al., 2021), en función del total de folíolos (Figura 36), expresados en unidad de superficie de 50 cuadrados.

Figura 36

Folíolos extraídos para la obtención del área foliar de frijol Tiapo



Índice de área foliar (IAF)

Es la expresión del área foliar por unidad de superficie del suelo ocupada por una planta (m^2/m^2), expresada con la siguiente fórmula:

$$\text{IAF} = \frac{(\text{área foliar} \times \text{densidad poblacional})}{(\text{área sembrada})}$$

Procedimiento para la determinación de las variables fisiológicas

Área foliar

Se extrajeron todos los foliolos de las plantas del muestreo realizado en tres puntos (seis plantas completas) en la floración a los 73 dds (Figura 13, capítulo 1), codificadas y llevadas al laboratorio de suelos de la UNDAC (Oxapampa); registrándose su peso fresco total; seguido se registró el peso de 50 cuadrados cada uno de 2,00 cm por lado, igual a 2,00 dm² (Figura 37), esta superficie se interpoló al peso fresco total de foliolos en cada sub muestra, la que fue igual al área foliar (AF); finalmente para el cálculo de área foliar por unidad experimental, se consideró el promedio.

Índice área foliar

El índice de área foliar, se obtuvo con una ecuación (área foliar x densidad poblacional/área sembrada) expresados en m^2/m^2 .

Figura 37

Obtención de 50 cuadrados (2 x 2 cm)



Resultados y discusión

Área foliar

El ANOVA para área foliar de frijol Tiapo (Tabla 17), ha determinado que, no hubo significancia para tratamientos, factor A y la interacción, pero si para bloques y para factor B; mientras que, la tendencia, en las dos densidades no han variado, y en los niveles de boro favoreció al área foliar en el nivel de 100 g de B/ha (Figura 38), resultando significativo (Tabla 18), donde se evidenció que no hubo efecto por las densidades de siembra, mientras que en los niveles de boro fue mayor en el antes indicado con 124,59 dm²/planta (b3).

Tabla 17

ANOVA para área foliar del frijol Tiapo (dm²) en dos densidades de siembra y niveles de boro

FV	GL	SC	CM	Valor F	Valor p
Bloques	1	979,30	979,25	10,94 *	0,0210
Tratamientos	5	1483,70	296,73	3,31 ns	0,1070
Factor A	1	104,00	103,98	1,16 ns	0,3300
Factor B	2	1242,80	621,38	6,94 *	0,0360
A x B	2	136,90	68,45	0,76 ns	0,5130

FV	GL	SC	CM	Valor F	Valor p
Error	5	447,60	89,51		
Total	11	2910,50			
Media	S	CV (%)			
110,2	16,27	14,75			

Nota. FV: fuente de variación; GL: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: cuadrados medios; *: diferencias significativas; ns: sin diferencias significativas; S: desviación estándar; CV: coeficiente de variación.

Figura 38

Tendencia del efecto principal de los factores A y B de área foliar (dm²) de frijol Tiapo

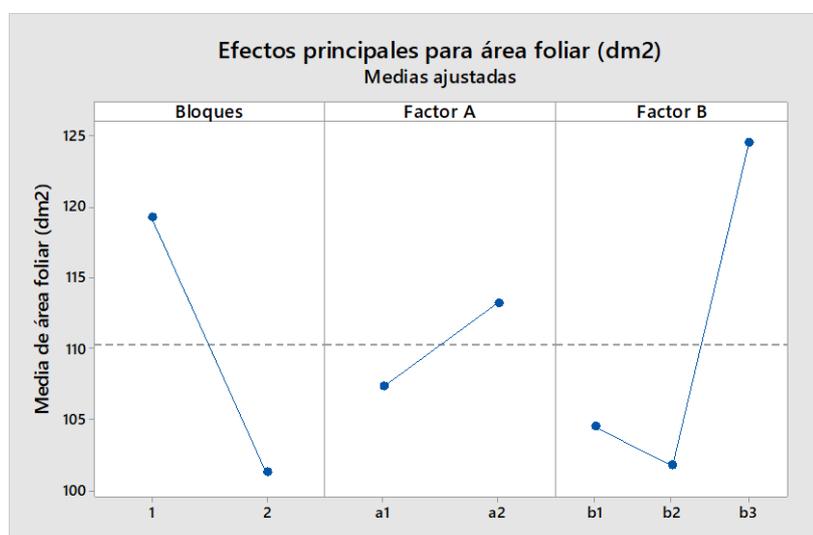


Tabla 18

Prueba de comparación múltiple de Tukey para área foliar de frijol Tiapo en respuesta a niveles de los factores A (densidad de siembra) y B (boro)

Factor A	Área foliar (dm ² /planta)	Agrupación	Factor B	Área foliar (dm ² /planta)	Agrupación
a1	107,34	a	b1	104,49	a b
a2	113,22	a	b2	101,76	b
			b3	124,59	a

Nota. Las medias con letras distintas en las columnas son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Por otra parte, como se mencionó previamente, el ANOVA no detectó diferencias significativas en los tratamientos, es decir, todos son estadísticamente iguales, lo que no ameritó realizar la prueba de comparación de Tukey, cuyas medias se ilustran en la Figura 39, donde el rango estuvo entre 101,66 dm² (t5) y 132,24 dm² (t6); lo que está en

concordancia con los resultados obtenidos de biomasa fresca y materia seca (Figura 33, capítulo 1), notorio en el t6, cuya masa vegetal después de perder el agua contenida en los tejidos vegetales, es un indicador del uso de los recursos por parte de la planta (producidos por la fotosíntesis) de frijol (Unigarro et al., 2021), lo que a nivel del frijol se reflejaría en la producción de granos.

Estos valores de área foliar en frijol Tiapo, son relativamente inferiores a los señalados en los materiales genéticos de *P. vulgaris* L, evaluados a los 57 dds por Warnock et al. (2006), cuyos promedios oscilaron entre 154,510 y 227,330 dm², no obstante, superan notablemente, con los señalados para la variedad SER-119 con un área foliar de 27,51 dm², cuando fue establecido a un espaciamiento entre plantas de 15 cm con separación entre surcos de 40 cm; sin embargo, siendo su respuesta significativa a la menor densidad de plantas (Ejigu y Tulu, 2021).

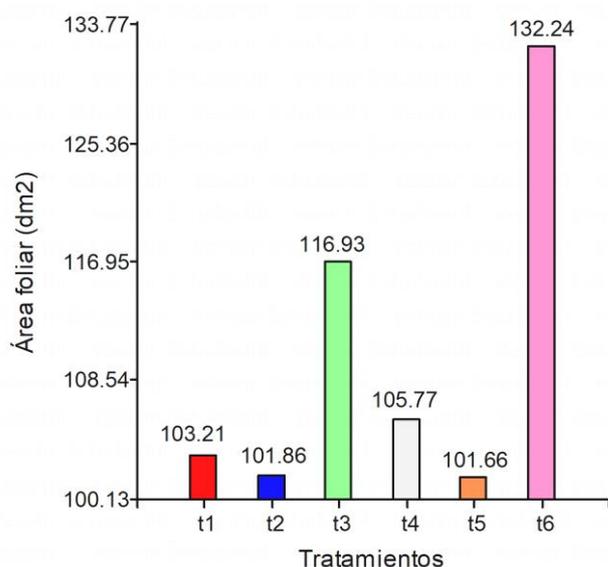
Por otro lado, en poblaciones de frijol, *P. vulgaris* L., tipo III, asociado con maíz, *Zea mays* L., el área foliar (dm²/planta) estuvo entre 70,37 en la población Barbacoa y 103,50 en Parrapós, sin diferencias significativas (Ballesteros y Martínez, 2015), siendo este último, algo similar al tratamiento 1 en frijol Tiapo, tal como se puede observar en la Figura 39, antes mencionada.

En otras especies de leguminosa, como *V. unguiculata* L. Walp. un incremento del distanciamiento entre plantas, de 20, 30 y 40 cm, produjo incremento significativo del área foliar (Cardona-Ayala et al., 2021).

En este sentido, los resultados en frijol Tiapo, es un indicativo de que las plantas tienen más superficie foliar, lo que contribuye a una mayor intercepción de luz para el proceso fotosintético, por lo que tiene potencial para rendimiento en grano, que no se ve afectado por las densidades de siembra evaluadas, pero influenciado a la mayor dosis de boro.

Figura 39

Medias para la variable área foliar (dm^2) de frijol Tiapo bajo seis tratamientos



Nota. Gráfico elaborado con InfoStat (Di Rienzo et al., 2020).

Índice de área foliar

El ANOVA para el índice de área foliar (Tabla 19), determinó que no hubo significancia para la interacción, en cambio, fue significativa en bloques y factor B, y altamente significativa para factor A y tratamientos; mientras que, observándose en la tendencia gráfica (Figura 40), donde en la densidad mayor fue superior, y en los niveles de boro, fue mayor su respuesta en la dosis de 100 g de B/ha; evidenciándose en la agrupación de medias con diferencias estadísticas (Tabla 20). Se destacó la respuesta del tratamiento 3 ($3,65 m^2/m^2$), con la mayor densidad y nivel de boro, respectivamente (Tabla 21), fue igual a t1 y t2, pero superior a t4, t5 y t6.

Los valores de índices de área foliar de frijol Tiapo, tienen similitud con los señalados por Mashiq et al. (2021) para dos genotipos de frijol común, así como, los indicados por Warnock et al. (2006) en cinco genotipos promisorios y una variedad comercial (Magdaleno) de frijol (*P. vulgaris* L.).

En efecto, el frijol Tiapo logró un máximo en área foliar de 132,24 dm² y en índice de área foliar de 3,65; lo que significa, que esto mide su capacidad para captar mayor radiación solar, lo que se infiere en mayor actividad fotosintética, irradiado en la producción de granos, indicativo de su potencial para rendimiento.

Tabla 19

ANOVA para índice de área foliar(m²/m²) de frijol Tiapo en dos densidades de siembra y niveles de boro

FV	GL	SC	CM	Valor F	Valor p
Bloques	1	0,510	0,5100	13,76 *	0,0139
Tratamientos	5	3,722	0,74448	20,08 **	0,0030
Factor A	1	2,973	2,97273	80,19 **	0,0003
Factor B	2	0,735	0,3674	9,910 *	0,0182
A x B	2	0,015	0,00743	0,200 ns	0,8247
Error	5	0,185	0,03707		
Total	11	4,418			
Media	S	CV (%)			
2,857	0,634	22,18			

Nota. FV: fuente de variación; GL: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: cuadrados medios; **: diferencias altamente significativas; *: diferencias significativas; ns: sin diferencias significativas; S: desviación estándar; CV: coeficiente de variación.

Figura 40

Tendencia del efecto principal de los factores A y B en el área foliar(m²/m²) de frijol Tiapo

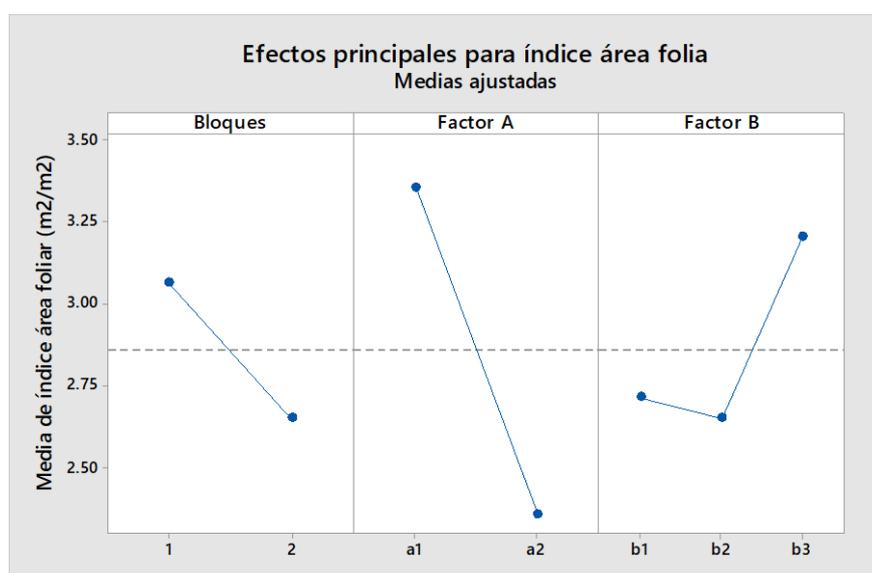


Tabla 20

Prueba de comparación múltiple de Tukey para índice de área foliar (m^2/m^2) de frijol Tiapo en respuesta a niveles de los factores A (densidad de siembra) y B (boro)

Factor A	Índice área foliar (m^2/m^2)	Agrupación	Factor B	Índice área foliar (m^2/m^2)	Agrupación
a1	3,35	a	b1	2,71	b
a2	2,36	b	b2	2,65	b
			b3	3,20	a

Nota. Las medias con letras distintas en las columnas son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Tabla 21

Prueba de comparación múltiple de Tukey para índice de área foliar de frijol (m^2/m^2) Tiapo bajo seis tratamientos con dos densidades de siembra y tres niveles de boro

Tratamiento	Plantas/ha x g/ha ácido bórico	Combinación	Índice área foliar (m^2/m^2)	Agrupación
t1	31250 x 00	a1 b1	3,22	a b
t2	31250 x 50	a1 b2	3,18	a b
t3	31250 x 100	a1 b3	3,65	a
t4	21484 x 00	a2 b1	2,20	c
t5	21484 x 50	a2 b2	2,12	c
t6	21484 x 100	a2 b3	2,76	b c

Nota. Las medias con letras distintas en las columnas son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Conclusiones

La respuesta fisiológica de frijol Tiapo bajo dos densidades de siembra (21 484 y 31 250 plantas/ha) y tres niveles de boro (0,50 y 100 g de B/ha) fue caracterizada por las variables área foliar e índice de área foliar.

El área foliar, no fue afectado por las densidades de siembra, pero si por el nivel más alto de boro, mientras el índice de área foliar fue favorecido a una mayor densidad de siembra, e igualmente con el nivel más alto de boro.

El área foliar y el índice de área foliar de frijol Tiapo están en correspondencia a lo descrito para otros cultivares de *P. vulgaris* L., indicativo de potencial para rendimiento en grano.

CAPÍTULO 3

Respiración basal del suelo con cultivo de frijol “Tiapo” (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo dos densidades de siembra y tres niveles de boro



3

Respiración basal del suelo con cultivo de frijol “Tiapo” (*P. vulgaris* L.) bajo dos densidades de siembra y tres niveles de boro

Resumen

La respiración basal del suelo (RBS) es un indicativo de su salud, que genera un estimado de la productividad del sistema, al cuantificar la actividad microbiana, la tasa de descomposición de la materia orgánica y de la calidad del carbono, por vía de la respiración de las raíces. El objetivo, fue determinar la respiración basal del suelo con cultivo de frijol “Tiapo” (*P. vulgaris* L.), bajo dos densidades de siembra y tres niveles de boro en Oxapampa-Pasco. La variable evaluada fue RBS, en muestras tomadas en floración a los 73 días después de la siembra, empleando el método de fumigación e incubación estática. La RBS en los tratamientos osciló entre 34,22 y 46,18 mg CO₂/kg/día, cuya actividad biológica no fue afectada por las densidades de siembra (31 250 y 21 484 plantas/ha), ni por los niveles de boro (0,50 y 100 g /ha).

Palabras clave: frijol, respiración basal, suelo.

Introducción

La respiración basal es considerada para cuantificar la actividad microbiana, la tasa de descomposición de la materia orgánica y de la calidad del carbono en el suelo, afectada por las condiciones ambientales; por ende, la medición del CO₂ respirado refleja la dinámica de la biota del suelo, y los procesos metabólicos edáficos, los que varían dependiendo de factores biofísicos y del manejo del suelo, por lo tanto, intervienen los organismos aeróbicos y anaeróbicos, donde el oxígeno O₂ sirve como aceptor final de electrones, y la población bacteriana libera CO₂ (Chavarría, 2018; Valdez-Núñez et al., 2019).

Por consiguiente, Verde (2023), considera la misma, como un proceso biogeoquímico, que implica la liberación de CO₂ al medio ambiente, así como la mineralización microbiana de la materia orgánica del suelo; por lo que, es una medida sensible de la actividad biológica del suelo, y puede utilizarse para evaluar la calidad del suelo y la capacidad de producción de los cultivos; variables ambientales como la temperatura, las precipitaciones y el contenido de carbono orgánico del suelo influyen en la respiración basal del suelo, lo que indica que contiene los nutrientes necesarios para mantener una comunidad microbiana.

Cabe resaltar, con la respiración edáfica se tiene un estimado de la productividad del sistema, por cuanto mide la mineralización de monóxido de carbono por vía de la respiración de las raíces, de los microorganismos y de la mesofauna del suelo, esta actividad biológica se encuentra muy relacionada con los aportes de materia orgánica y la presencia de oxígeno (Lozano, 2024).

En la producción de hortalizas, monocultivo tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y alternado de tomate, pimentón (*Capsicum annuum* L.) y cebolla (*Allium cepa* L.), se obtuvieron con mayor tasa de respiración basal del suelo entre 81 y 87 µg C-CO₂/g/ día para el sistema de monocultivo, y entre 31 y 34 µg C-CO₂/g/día para el sistema alternado (Pastor et al., 2015).

La respiración basal del suelo bajo cultivo de café (*Coffea arabica* L.), resultó mayor con 76,2 mg C-CO₂/kg/día, en sistema de producción bajo manejo orgánico en comparación con los de producción tradicional y convencional, con 55,1 y 51,2 mg C-CO₂/kg/día, respectivamente (Paolini, 2017).

Ahora bien, la respiración basal del suelo con cultivo de café Catuaí en estación seca, alcanzó 37,0 mg C-CO₂/ kg/día, comparado con 31,8 mg C-CO₂ /kg/día en la variedad Caturra; y en época de lluvia, con mayor valor en Catuaí (25,4 mg C-CO₂/kg/día) con respecto a Caturra (18,8 mg C-CO₂ kg/día) (Pardo-Plaza et al., 2019), donde está influenciado por el genotipo de los cultivares en interacción con el ambiente.

En este sentido, Yáñez et al. (2017), en un suelo vertisol bajo cuatro sistemas de uso (matorral, pastizal, plantación y agrícola), encontraron una mayor emisión de CO₂ en el matorral (6,17 μmol CO₂/m²/s), seguido por el pastizal (4,61 μmol CO₂/m²/s) y por último, la plantación (3,86 μmol CO₂/m²/s) y el área agrícola (3,21 μmol CO₂/m²/s); el matorral y el pastizal contenían la mayor materia orgánica (6,1 y 4,6%), respectivamente; similar en pH (7,60 y 7,61), al igual, en los contenidos de arena, limo, arcilla, y en la capacidad de intercambio catiónico.

Mátyás et al., (2020) determinaron la respiración de un suelo, medido mediante incubación estática en hidróxido de sodio, en suelo control a los diez días fue 143 mg CO₂/100g, no encontraron diferencias con el suelo tratado con biofertilizante a base de *Bacillus megaterium* + *Bacillus circulans* + *Pseudomonas putida*, que fue de 141,1 mgCO₂/100 g de suelo; de igual manera, en suelos erosionados y tratados con biosólidos (0,25 y 40 t/ha), a los 30 días del tratamiento, han mostrado diferencias significativas entre los tratamientos, con 5 562,2, 8 830,3 y 11 579,9 μg CO₂/g suelo, respectivamente, donde a mayor dosis resultó mayor la respiración basal (De la Portilla et al., 2021).

En dos suelos cultivados con *P. vulgaris* L., uno marrón y otro rojo, resultaron con respiración basal de 889 y 723 mgCO₂/kg de suelo, respectivamente; asimismo, determinaron que estaba directamente afectada por el contenido de agua y los nutrientes disponibles para los microorganismos (Maričić et al., 2022).

Por lo antes expuesto, el objetivo fue determinar la respiración basal del suelo con cultivo de frijol “Tiapo” (*P. vulgaris* L.) bajo dos densidades de siembra y tres niveles de boro en Oxapampa-Pasco.

Materiales y métodos

La metodología del ensayo establecido en condiciones de campo está descrita en el capítulo 1. A continuación, se describe la variable respiración basal del suelo (mg CO₂/kg/día).

Respiración basal del suelo

Medida de la emisión de anhídrido carbónico en una incubación estática de una masa de tierra después de extraídas las raíces de una planta y secados bajo techo, capturado con hidróxido de sodio normal, durante 10 días. Es una medida de la salud del suelo que da el nivel de actividad microbiana, contenido de materia orgánica y su mineralización (Valdez-Prado et al., 2021). Se determina mediante una medida del desprendimiento de CO₂ por los microorganismos del suelo.

Determinación de la respiración basal

Se empleó el método de fumigación e incubación estática. En cada sub muestra obtenida a la floración (73 dds), la tierra extraída junto con las raíces de las plantas fue separada en bandejas, secadas al aire bajo techo y guardadas por seis meses en condiciones ambientales de laboratorio a 20 a 21°C. Seguido fueron tamizadas a 4 mm de abertura de malla, de éstas, se pesó 40 g de tierra en la balanza de precisión ADAM Nimbus (1 600 g con 0,01g de legibilidad), y colocadas en frascos de 500 mL de boca ancha con tapa rosca, y llevado a capacidad de campo con agua destilada, se utilizó una espátula para uniformizar la humedad (Figura 41).

Para la captura de CO₂ desprendido por la respiración basal, se colocó al interior un vaso de plástico con 10 mL de NaOH 0,5 N (Figura 42), seguido se procedió al cierre

hermético, con cinta maskingtape, y fueron ubicados en oscuridad durante 12 días, después fueron extraídos los vasos plástico que contenían el NaOH residual y transferidos a matraces Erlenmeyer de 200 mL, luego se adicionó 10 mL de BaCl₂ (cloruro de bario) 0,5 N + 3 gotas de fenolftaleína al 1% y fue titulado con HCl (ácido clorhídrico) 0,2 N, estándar (Figura 43), y se determinó los miliequivalentes de NaOH residual y por diferencia con un blanco (frasco sin muestra de suelo) fue determinado el CO₂ respirado en cada muestra y se expresó en mg CO₂/kg/día.

Figura 41

Homogeneizado de 40g de tierra



Figura 42

Frascos en incubación para respiración



Figura 43

Titulación del hidróxido residual



Resultados y discusión

El ANOVA para respiración basal del suelo con frijol Tiapo (Tabla 22), ha determinado que no hubo significancia para bloques, tratamientos, factor A, factor B y la interacción; mientras que, la tendencia en la gráfica del factor densidad de siembra, no hubo mayor variación, y en los niveles de boro, 100 g de B/ha, favoreció mayor respiración basal del suelo, frente a 50 g de B/ha (Figura 44); sin embargo, sin diferencias estadísticas de acuerdo a lo antes descrito del análisis de la varianza; por lo que, no ameritó realizar la comparación múltiple de Tukey, cuyos promedios de los niveles de cada factor se presentan en la Figura 45A; para las densidades de siembra, con valores de 42,68 y 40,93 mg CO₂/kg/día, respectivamente; asimismo, en los tres niveles de boro, que estuvieron entre 37,75 y 45,50 mg CO₂/kg/día.

Igualmente, para los tratamientos (Figura 45B), con el mayor promedio en el tratamiento 6 (46,18 mg CO₂/kg/día) y el menor en el t5 (34,22 mg CO₂/kg/día); que, al resultar estadísticamente iguales, indica que la actividad biológica del suelo no fue afectada por las densidades de siembra ni por los niveles de boro.

Por otra parte, la respiración del suelo está en función del carbono lábil y nutrientes disponibles para los microbios, los resultados encontrados en la presente investigación, se encuentran dentro del rango de lo mencionado en suelo bajo cultivo de café (Paolini, 2017; Pardo-Plaza et al., 2019); sin embargo, son menores en los cultivados con *P. vulgaris* L. (Maričić et al., 2022), posiblemente, a que las muestras fueron analizadas a los seis meses, luego de ser guardadas en condiciones de laboratorio a 21°C; lo que explicaría la baja respiración del suelo debido a que los microorganismos habrían utilizado el carbono disponible.

Tabla 22

ANOVA para respiración basal del suelo (mg CO₂/kg/día) con cultivo de frijol Tiapo en dos densidades de siembra y niveles de boro

FV	GL	SC	CM	Valor F	Valor p
Bloques	2	153,13	76,56	0,76 ns	0,4924
Tratamientos	5	352,6	70,52	0,77 ns	0,5905
Factor A	1	13,78	13,78	0,14 ns	0,7180
Factor B	2	181,07	90,54	0,90 ns	0,4371
A x B	2	64,11	32,06	0,32 ns	0,7342
Error	10	1005,94	10,59		
Total	17	1418,03			
Media	S	CV (%)			
41,8	9,13	21,85			

Nota. FV: fuente de variación; GL: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: cuadrados medios; ns: sin diferencias significativas; S: desviación estándar; CV: coeficiente de variación.

Figura 44

Tendencia del efecto principal de los factores A y B en la respiración basal del suelo (mg CO₂/kg/día) con frijol Tiapo

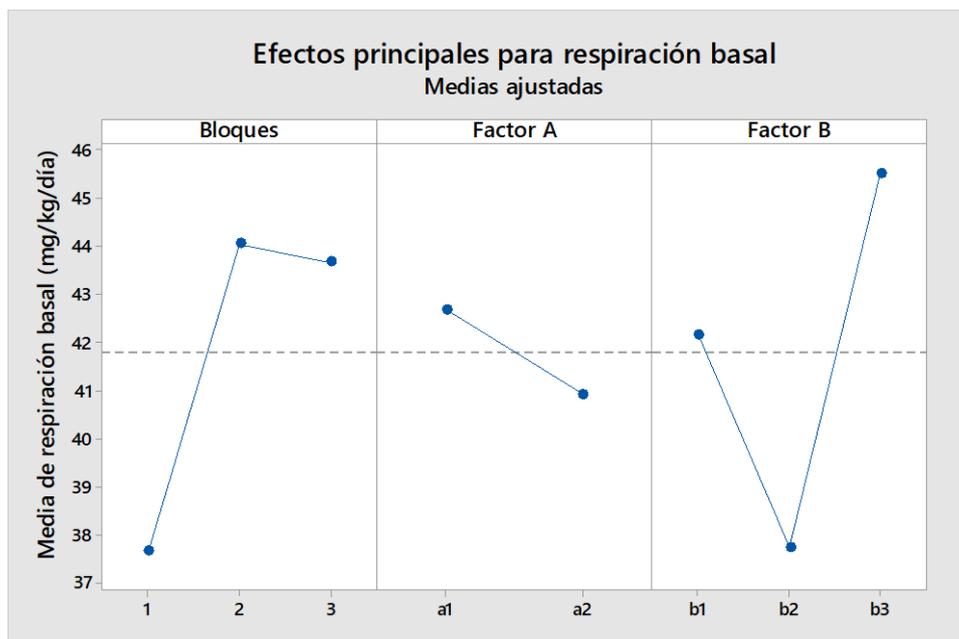
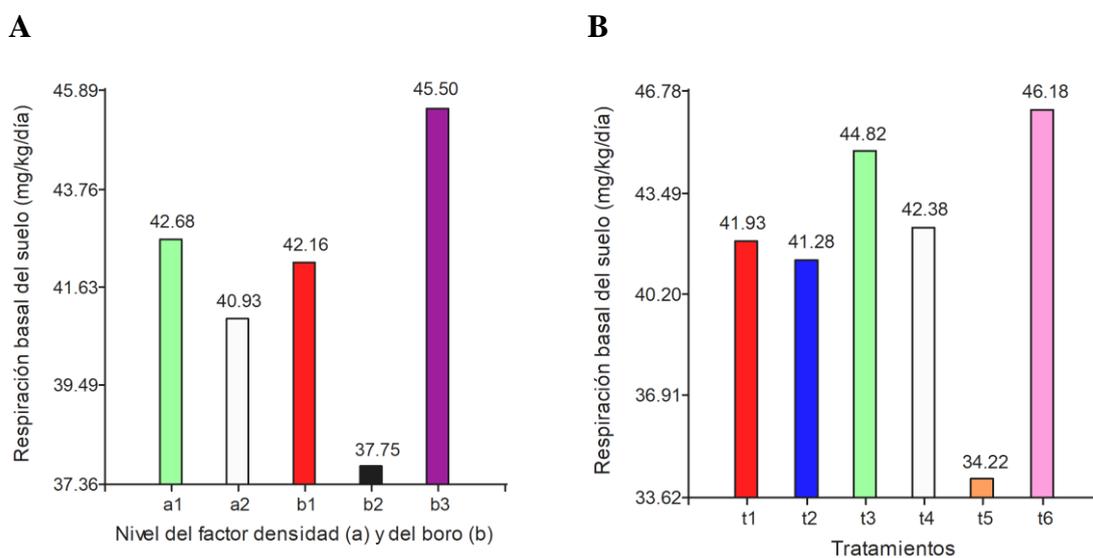


Figura 45

Medias para la variable respiración basal del suelo cultivado de frijol Tiapo. A) En cada nivel de los factores (densidad y boro) y B) en los tratamientos



Nota. Gráficos elaborados con InfoStat (Di Rienzo et al., 2020).

Conclusión

La respiración basal del suelo no fue afectada por las densidades de siembra (31 250 y 21 484 plantas/ha), ni por los niveles de boro (0,50 y 100 g de B/ha) bajo los cuales se cultivó el frijol Tiapo.

CAPÍTULO 4

El rendimiento y sus componentes de frijol "Tiapo" (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo dos densidades de siembra y tres niveles de boro



4

El rendimiento y sus componentes de frijol “Tiapo” (*P. vulgaris* L.) bajo dos densidades de siembra y tres niveles de boro

Resumen

El objetivo es determinar el rendimiento y sus componentes de frijol “Tiapo” (*P. vulgaris* L.) bajo dos densidades de siembra y tres niveles de boro en Oxapampa-Pasco. Se realizó muestreo de 10 plantas de los dos surcos centrales, cuando las vainas presentaron características de madurez de cosecha (95% de vainas secas), luego fueron llevadas al laboratorio, para el secado hasta alcanzar un 15% de humedad, y proceder con los componentes de rendimiento: número de vainas/planta (llenas y vanas), longitud de vainas (cm), número de granos por vaina, peso de 100 granos (g). Para la determinación del rendimiento, se cosechó el total de vainas de las plantas de los cuatro surcos de cada unidad experimental. Para el número de vainas llenas por planta, longitud de vaina y peso de cien granos, fue superior en la menor densidad de siembra (21 484 plantas/ha); mientras que, los niveles de boro no afectaron los mismos. El mayor número de vainas llenas/planta resultó de 62,69. Con la menor densidad y el nivel más alto de boro (100 g/ha), se incrementó la longitud de vaina (13,81 cm) y peso de cien granos (57,93 g); mientras que, el número de granos por vaina (5,56 granos/vaina) no fue afectado por las densidades de siembra ni por los niveles de boro. El rendimiento de grano seco fue favorecido por la mayor densidad siembra (31 250 plantas/ha) y más no por los niveles de boro, resultando 2 541,75 kg/ha en el tratamiento en la mayor densidad con 50 g de B/ha.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris* L., componentes de rendimiento, fertilización.

Introducción

El rendimiento es el resultado de una serie de rutas metabólicas y procesos fisiológicos que son de naturaleza compleja, que depende de varios factores directos e indirectos, dentro del primero, el número de vainas por planta, el número de semillas por vaina y el peso del grano, son los de mayor relevancia, que son parte de sus componentes (López y Ligarreto, 2006). En ese sentido, el rendimiento potencial de un cultivar es el resultado de su componente genotípico y su interacción con el medio ambiente, que le permite enfrentar los factores limitantes y aprovechar los favorables.

Los micronutrientes, aumenta el rendimiento y mejora la calidad de producción, los principios fisiológicos del transporte de los nutrientes absorbidos por las hojas. En frijol Caupí (*V. unguicula* L Walp), al aplicar tres fertilizantes foliares, el rendimiento de granos por vaina fue mayor (Príncipe, 2019). El rendimiento de grano en *P. vulgaris* L., está directamente relacionado con el área e índice de área foliar; el aumento de estas dos variables se han visto favorecidas por la fertilización combinada de 100 kg/ha NPSB + 2,5 o 5 t/ha de estiércol de aves (Tadesse et al., 2022).

La aplicación de boro en *P. vulgaris* L., en los cultivares Jules, G11867 y Shekoofa aumentó significativamente el rendimiento y sus componentes con respecto al control, con la aplicación de 2 kg/ha de ácido bórico mezclado en agua de riego + pulverización foliar con solución de ácido bórico al 0,025% (Hosseini y Amini, 2019).

El frijol canario bajo condiciones de Oxapampa, el promedio de rendimiento en grano, tiende a aumentar a mayores densidades de siembra, con una población de 142 860 plantas/ha y con una dosis de aplicación de fertilizante (40:40:80) de NPK, se registró mayor rendimiento en grano (3 756 kg/ha), en promedio fue de 2 371 kg/ha (Gutiérrez, 1999). Mientras que, la población Parrapós produjo mayor rendimiento (1 858,20 g/10 plantas), en comparación con Pozuzo (744,10 g/10 plantas) (Rodríguez-Layza et al., 2012); pero, esta última, de ciclo más corto adaptado a la zona.

Por otra parte, en la variedad Pinto Santillo, se incrementó el rendimiento en más de 0,25 t/ha, al pasar de 90 000 a 145 000 plantas/ha y 0,39 t/ha con 260 000 plantas/ha (Osuna-Ceja et al., 2012). En este sentido, el frijol SER-03 y SER-08 de crecimiento indeterminado tipo II, con una densidad poblacional (200 000 plantas/ha) se obtuvo mayor rendimiento 2 721,2 kg/ha, y con 72 000 plantas/ha se tuvo 1 138,2 kg/ha (Garcés-Fiallos y Vera, 2014). En la variedad ICTA Ligero, con distanciamiento de 0,30 m entre plantas y 0,40 m entre surcos, y una fertilización foliar de NPK (11:8:6) más elementos menores calcio, boro y zinc (1,43 L/ha), con fertilización al voleo obtuvo, 4,68 vainas/planta, con fertilización manual (chuzo) fue 4,84 y con fertilización hidrosoluble con 4,01 vainas/planta, sin diferencias estadísticas (García, 2017).

En frijol Canario 2000, CIFAC 90105 y Blanco Larán Mejorado, con diferentes dosis de fertilizantes de NPK 30:80:60, 60:80:60 y 100:80:60 kg/ha con una densidad de 16 666,66 plantas/ha, en longitud de planta, se determinó, 116,57 cm, en CIFAC 90105, con aplicación de 60 kg de N, y con 55,43 cm en Canario 2000, con fertilización nitrogenada de 60 kg/ha (Yánac, 2018). Por otro lado, el frijol común con abono verde sobre la superficie del suelo produjo 6 048 kg/ha, seguido de abono verde seco sobre la superficie con 5 381 kg/ha y el menor rendimiento fue con abono seco incorporado al suelo de 3 027 kg/ha (Jamioy, 2018).

Por otra parte, en frijol Castilla, otra especie de leguminosa (*V. unguiculata* L. Walp.), con una fertilización de urea (40, 80, 120 y 160 kg de N/ha), superfosfato triple (90 kg/ha) y sulfato de potasio (70 kg/ha), con distanciamiento entre surco (0,75 m) y planta (0,35 m), encontró mayor longitud de vaina 20,76 cm con dosis de 120 kg de N/ha y el menor valor fue 20,15 cm con dosis 80 kg/ha de nitrógeno (Moreno, 2020), pero sin diferencias estadísticas. Además, en frijol *Vigna mungo* L, Pathak et al. (2020) determinó, que la aplicación de boro es esencial para un mejor crecimiento, y rendimiento, fertilizando con NPK a 20:20:30 kg/ha + B 2,0 kg/ha, se logró la altura máxima de la planta (28,16 cm), número hojas (48,50), número de ramas (15,12), favoreciendo el rendimiento del cultivo.

En la variedad BAT 304 Negro, con 100 t/ha de estiércol de vacuno, el rendimiento fue 1 943 kg/ha, superior al testigo sin fertilización con 1 611 kg/ha (Rodríguez-Fernández y Sánchez-Mora, 2021). Por otro lado, cinco variedades (CUFIG 48, CUL 156, Tomeguín 93, Delicias 364 y Buenaventura), todas con hábito de crecimiento tipo II y distanciamiento de

0,6 x 0,07 m, el de mayor rendimiento fue Buenaventura (1,81 t/ha) y menor Tomeguín 93 con 1,10 t/ha (Izquierdo et al., 2018); al igual, en tres variedades de frijol (BAT- 304, CC25 – 9 y Delicias 364), con hábito de crecimiento tipo II y con distanciamiento entre surco (0,70 m) y entre planta (0,10 m) en las variedades BAT- 304 y CC25-9, y 0,70 m x 0,07 m en Delicias 364; el rendimiento de CC25-9 (1 331,33 kg/ha) y BAT-304 (1 235,34 kg/ha), superaron al cultivar Delicias 364 (1 117,00 kg/ha) (Góngora-Martínez et al., 2020), donde se evidencia el efecto de la densidad de siembra y del genotipo del cultivar.

En tres variedades criollas (Waspam, Rojo Seda y Rosado) y una mejorada (INTA) con dos tipos de crecimiento determinado e indeterminado, con aplicación foliar de lombrihumus en etapa de prefloración a razón de 3 L/bombada por cada unidad experimental compuesta de 174 plantas, con distanciamiento de 0,50 m entre surco y 0,33 m entre plantas, se registró mayor longitud de vaina en la Var. INTA con 12 cm, todo lo contrario, a la variedad Rojo Seda con menor valor de 8 cm (Mendiola y Arauz, 2020).

Asimismo, para longitud de vaina en la población ROL 227-3, con mayor valor (10,8 cm) y ROL 168, el menor (8,14 cm), estos resultados muestran la escasa variabilidad fenotípica y genética existente entre las poblaciones incluidas dentro de los grupos de frijoles (Lépiz et al., 2010); por otra parte, en cultivares de frijol arbustivo, la longitud de vaina, resultó elevados en las accesiones FMR1 y FMR7 con 12,3 cm y el menor promedio fue INIAP-422 afro andino y INIAP- 430 Portilla con 9 cm; para número de vainas por planta, los promedios más altos fueron en frijol negro Chillanes (15,8) y frijol marrón Chillanes (14,3), el menor fue de Chonta x TB2 y FMR7 con 7 vainas, respectivamente (Chicaiza, 2015).

En evaluación del frijol, bajo tres fertilizantes orgánicos (humus de lombriz, bocashi y compost), que tenían 0,03% de boro; para la variable número de granos/vaina, el mejor fue el humus (5 granos/vaina), seguido del compost (3 granos/vaina) y el testigo (2,25 granos/vaina), según Campos y Nicola (2022). En tres genotipos de frijol Ejotero (Straik, Palma y Zapata), la mayor longitud de vaina ostentó Straik con 12,03 cm, 11,64 cm para Palma y con el menor valor en Zapata 11,18 cm (Ayvar-Serna et al., 2020); señalando que la longitud de vaina, depende mucho del genotipo del cultivar.

En la variedad INIAP-463 de *P. vulgaris* L., con la aplicación de fertilizante (N80 + K20+B+Zn), resultó con mayor rendimiento (2 405 kg/ha) y mejores promedios en las variables altura de planta, diámetro del tallo, longitud de vaina, número de vainas/planta y número de granos por vainas (Ospina, 2017).

Mientras que, en poblaciones de *P. vulgaris*, se encontró los valores más altos en rendimiento en las poblaciones de Parrapós (983,20 g 10/planta), Chao (801,10 g 10/planta) y Lacramarca gris (1 258,40 g 10/ planta), de acuerdo a Saavedra (2015).

En el cultivo de frijol Caraota *P. vulgaris* L., con aplicación de tres bioestimulantes organic mix (1% de boro), newfol plus (4% de boro) y biol enriquecido con microelementos, con mayor número de vaina/planta fue 40,10 y el menor número de vaina/planta fue 37,78 (Escobar, 2015). En las variedades ICA Quimbaya, Línea 3 y Línea 7, la fertilización de 100 kg/ha NPK (18:46:0), aplicado al fondo del surco a la siembra y una complementaria en el aporque de 100 kg/ha de NPKMg (15:4:23:4), donde el mayor peso de cien semillas fue en la Línea 3 (61,14 g) (Sánchez, 2018).

En las variedades nativas de frijol *P. vulgaris* L. (Mantequilla, Nica, Revuelto, Sesenteno, Turrialba, y Vaina Blanca) bajos dos densidades de siembra (125 000 y 714 000 plantas/ha), con bajo uso de insumos; no tuvieron un efecto significativo sobre la producción de grano, cuyas diferencias fue al efecto del genotipo del cultivar, donde Sesenteno fue la de mayor rendimiento (329,38 kg/ha), mientras, el menor (137,19 kg/ha) en Turrialba y Vaina Blanca (Monge-Pérez et al., 2023).

En este capítulo, se plantea el objetivo de determinar el rendimiento y sus componentes cultivo de frijol “Tiapo” (*P. vulgaris* L.) bajo dos densidades de siembra y tres niveles de boro en Oxapampa-Pasco.

Materiales y métodos

El ensayo en campo fue establecido de acuerdo a lo descrito en el primer capítulo. En este, estudiaremos las variables evaluadas de rendimiento y sus componentes, especificado a continuación.

Componentes del rendimiento

La demarcación de cada unidad experimental se hizo previo a la cosecha (Figura 46) cuando las vainas presentaron características de madurez de cosecha (95% de vainas secas), se procedió al muestreo de 10 plantas de los dos surcos centrales, de acuerdo a lo ilustrado en la Figura 13 (Capítulo 1) y en la Figura 47; luego fueron llevadas al laboratorio de suelos de la UNDAC (Oxapampa), para el secado hasta alcanzar un 15% de humedad; para proceder con los componentes de rendimientos: número de vainas/planta (llenas y vanas), longitud de vainas (cm), número de granos por vaina, peso de 100 granos (g).

Figura 46

Demarcación de las unidades experimentales



Figura 47

Muestreo de 10 plantas por unidad experimental



Número de vainas/planta. Se contó el número total de vainas llenas, producidas por cada planta (Figura 48), al igual, el número total de vainas vanas por planta (Figura 49).

Figura 48

Vainas llenas por planta de frijol Tiapo



Figura 49

Vainas vanas por planta de frijol Tiapo



Longitud de vainas (cm). Se determinó la longitud de vainas, desde la base (parte final del pedúnculo), hasta el extremo final de la vaina (Figura 50).

Número de granos por vaina. Se contaron los granos de 10 vainas de 10 plantas por cada unidad experimental, considerando el promedio (Figura 51).

Figura 50

Longitud de vaina de frijol Tiapo



Figura 51

Número de granos por vaina de frijol Tiapo



Peso de 100 granos (g). Se determinó el peso de 100 granos secos, muestreados de 10 plantas de cada unidad experimental, secados al sol (a la cosecha), empleando una balanza de precisión OHAUS, considerando el promedio (Figura 52).

Figura 52

Conteo de 100 granos de frijol Tiapo



Rendimiento de grano seco

Para la determinación del rendimiento de grano, se procedió a cosechar el total de vainas de las plantas de los cuatro surcos de cada unidad experimental (Figura 53); llevadas al laboratorio, y secado hasta 15% de humedad; seguidamente se procedió a extraer las vainas, y los granos fueron pesados en una balanza de precisión OHAUS, y fue expresado en kilogramos/ha.

Figura 53

Vainas de cuatro surcos de una unidad



Resultados y discusión

Número de vainas llenas

El ANOVA para número de vainas llenas por planta (Tabla 23), ha determinado que no hubo significancia para tratamientos, factor B y la interacción, pero si fue significativa para bloques y altamente significativa para el factor A; cuyo efecto principal ejercido por la densidad de siembra se ilustra en la Figura 54, donde el frijol con la mayor densidad presentó menos vainas llenas, y los niveles de boro sin mayor variación, evidenciándose en el resultado de la prueba de media con la separación en grupos para el factor A, siendo significativo el mismo (Tabla 24), mientras que la respuesta es igual para cada nivel de boro;

lo que coincide con Oliveira et al. (2020) en *P. vulgaris* L., donde la aplicación de boro no influyó significativamente en la variable vainas por planta.

Por otra parte, los tratamientos con igual media estadística, cuyo rango estuvo entre 62,69 y 47,10 vainas/planta en t6 y t1, respectivamente (Figura 55).

Tabla 23

ANOVA para la variable número de vainas llenas/planta de frijol Tiapo en dos densidades de siembra y tres niveles de boro

FV	GL	SC	CM	Valor F	Valor p
Bloques	2	596,40	298,22	5,31 *	0,0270
Tratamientos	5	683,60	136,72	2,44 ns	0,1080
Factor A	1	624,58	624,58	11,13 **	0,0080
Factor B	2	23,48	11,74	0,21 ns	0,8150
A x B	2	35,54	17,77	0,32 ns	0,7360
Error	10	561,20	56,12		
Total	17	1841,20			
Media	S	CV			
54,20	10,41	19,20			

Nota. FV: fuente de variación; GL: grados de libertad **: diferencias altamente significativas; *: diferencias significativas; ns: sin diferencias significativas; S: desviación estándar; CV: coeficiente de variación.

Figura 54

Tendencia del efecto principal de los factores A y B en el número de vainas llenas/planta de frijol Tiapo

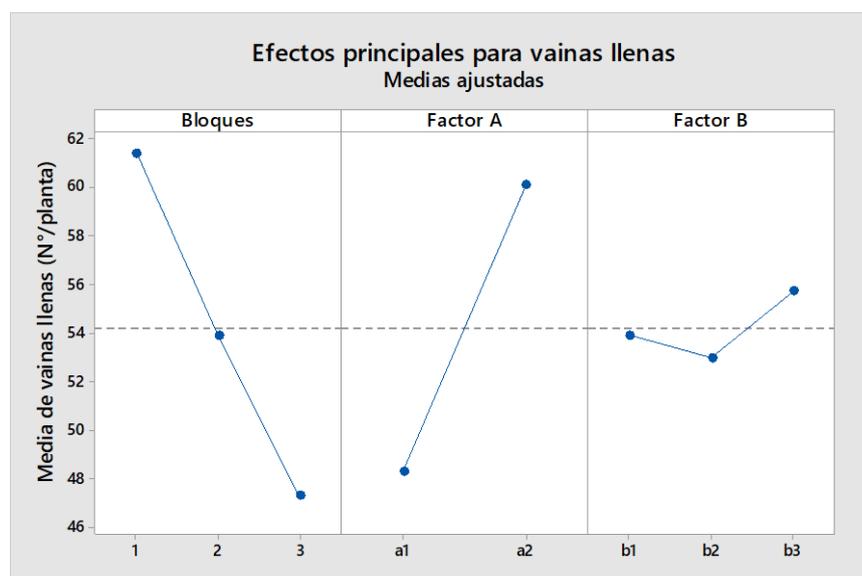


Tabla 24

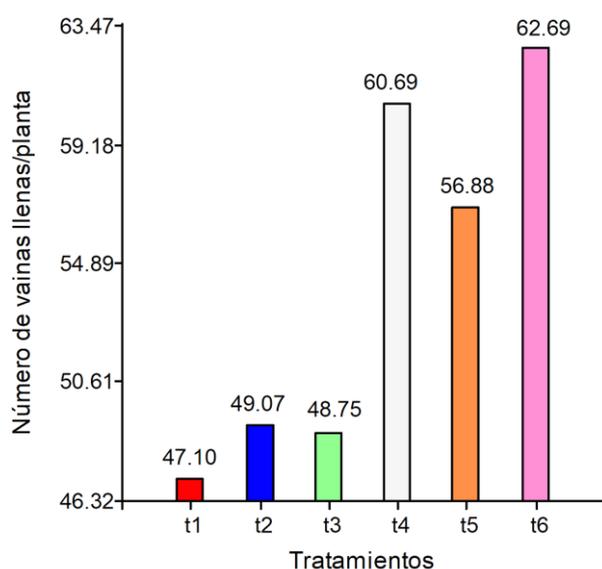
Prueba de comparación múltiple de Tukey para número de vainas llenas/planta de frijol Tiapo bajo los niveles de los factores A (densidad de siembra) y B (boro)

Factor A	Nº vainas llenas/planta	Agrupación	Factor B	Nº vainas llenas/planta	Agrupación
a1	48,30	b	b1	53,90	a
a2	60,09	a	b2	52,97	a
			b3	55,72	a

Nota. Las medias con letras distintas en las columnas son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Figura 55

Prueba de media para vainas llenas/planta de frijol Tiapo bajo seis tratamientos (combinación de dos densidades de siembra y tres niveles de boro)



Nota. Gráfico elaborado con InfoStat (Di Rienzo et al., 2020)

Estos resultados, son superiores a los obtenidos por Chicaiza (2015), donde el número de vainas/planta de frijol negro Chillanes con 15,8 seguido de frijol marrón Chillanes (14,3); asimismo resultó superior, en lo determinado por Rodríguez-Layza et al. (2012) para Pozuzo con un promedio de 29,38 vainas llenas/planta. Igualmente, ocurrió un incremento en el año 2013, con un promedio de 35,05 vainas llenas/planta (Rodríguez-Layza, 2019) lo que es un indicativo del potencial de rendimiento del frijol Tiapo.

Número de vainas vanas/planta

El ANOVA para número de vainas vanas (Tabla 25), determinó que no hubo significancia para bloques, tratamientos, factor A, factor B y la interacción; cuyas tendencias se presentan en la Figura 56, los promedios de los niveles de cada factor (Figura 57 A), con igual media estadística, al igual, para los tratamientos (57 B), con valores de 5,60 (t3) a 4,20 (t1) vaina vanas/planta.

Tabla 25

ANOVA para la variable vainas vanas/planta de frijol Tiapo en dos densidades de siembra y tres niveles de boro

Fuente	GL	SC Ajust.	CM Ajust.	Valor F	Valor p
Bloques	2	1,730	0,865	0,89 ns	0,4410
Tratamientos	5	4,625	0,925	0,95 ns	0,4890
Factor A	1	0,014	0,014	0,01 ns	0,9080
Factor B	2	1,535	0,767	0,79 ns	0,4800
A x B	2	3,077	1,538	1,58 ns	0,2530
Error	10	9,711	0,971		
Total	17	16,065			
Media	S	CV			
5,076	0,972	19,15			

Nota. FV: fuente de variación; GL: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: cuadrados medios; ns: sin diferencias significativas; S: desviación estándar; CV: coeficiente de variación.

Figura 56

Tendencia del efecto principal de los factores A y B en la variable número de vainas de frijol Tiapo

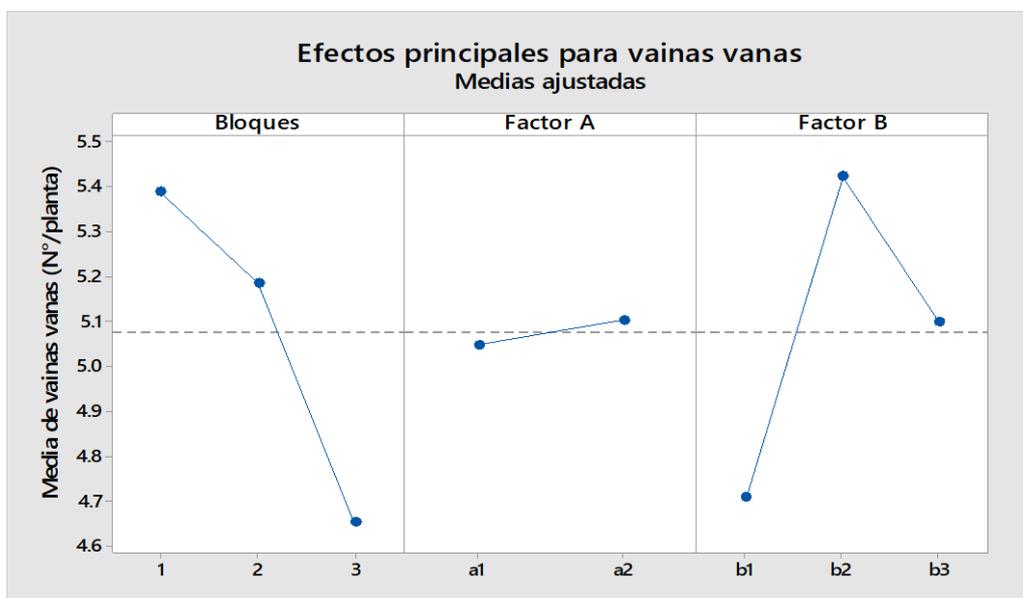
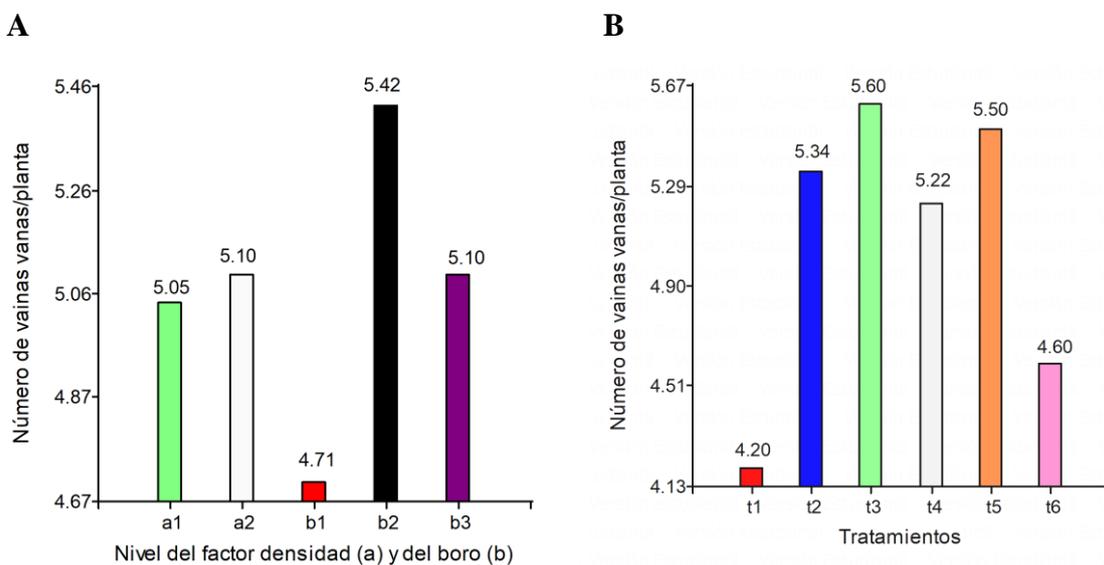


Figura 57

Medias para la variable número de vainas vanas/ planta de frijol Tiapo. A) En cada nivel de los factores (densidad y boro) y B) en los tratamientos



Nota. Gráfico elaborado con InfoStat (Di Rienzo et al., 2020).

El valor máximo de 5,60 vainas vanas/planta de frijol Tiapo (t3), es superior al encontrado en el genotipo Pozuzo por Rodríguez-Layza et al. (2012), ya que el promedio resultó de 0,25 vainas vanas/planta. Sin embargo, en un segundo ciclo de evaluación, con un promedio de 10,08 vainas vanas/planta (Rodríguez-Layza et al., 2019); enfatizando la influencia ambiental en la expresión del genotipo.

El boro es requerido en muy pequeñas cantidades, pero es crítico en la producción y crecimiento, por estar involucrado en división y diferenciación celular (Reddy y Singh, 2023); asimismo, el bajo contenido de boro en las células, las semillas tienden a quedar vanas y desaparecer (Sathishkumar et al., 2020).

Longitud de vainas (cm)

El ANOVA para longitud de vaina (Tabla 26), encontró que no hubo significancia en factor B y la interacción, significativa para bloques y tratamientos y altamente significativas para el factor A; en cuanto a la tendencia (Figura 58), la mayor densidad tuvo menor longitud de vainas, los niveles de boro, 100 g de B /ha tuvieron mayor longitud, comparado al testigo y 50 g de B/ha. Con la prueba múltiple de Tukey (Tabla 27), en la menor densidad, la longitud de vaina fue superior con diferencias significativas, y en niveles de boro todos fueron iguales estadísticamente.

Tabla 26

ANOVA para la variable longitud de vainas (cm) de frijol Tiapo en dos densidades de siembra y tres niveles de boro

FV	GL	SC Ajust.	CM Ajust.	Valor F	Valor p
Bloques	2	0,5441	0,27204	6,45 *	0,0160
Tratamientos	5	1,0288	0,20575	4,88 *	0,0160
Factor A	1	0,6641	0,66413	15,75 **	0,0030
Factor B	2	0,2595	0,12975	3,08 ns	0,0910
A x B	2	0,1051	0,05256	1,25 ns	0,3280
Error	10	0,4215	0,04215		
Total	17	1,9944			
Media	S	CV			
13,35	0,343	2,56			

Nota. FV: fuente de variación; GL: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: cuadrados medios **: diferencias altamente significativas; *. Diferencias significativas; ns: sin diferencias significativas; S: desviación estándar; CV: coeficiente de variación.

Figura 58

Tendencia del efecto principal de los factores A y B para la variable longitud de vaina de frijol Tiapo

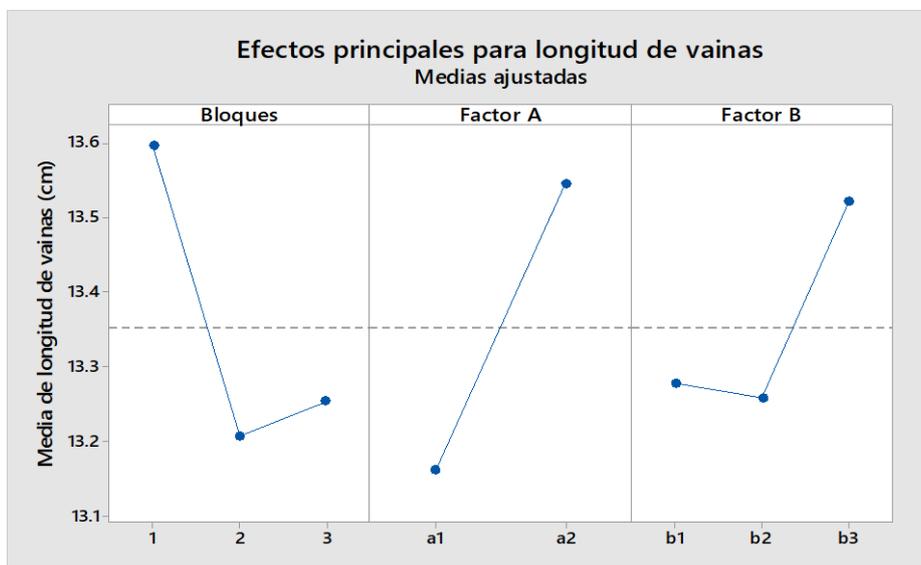


Tabla 27

Prueba de comparación múltiple de Tukey para longitud de vainas (cm) de frijol Tiapo bajo los niveles de los factores A (densidad de siembra) y B (boro)

Factor A	Longitud vaina(cm)	Agrupación	Factor B	Longitud vaina(cm)	Agrupación
a1	13,16	b	b1	13,28	a
a2	13,54	a	b2	13,26	a
			b3	13,52	a

Nota. Las medias con letras distintas en las columnas son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

En el caso de los tratamientos (Tabla 28), se muestra las diferencias significativas entre los tratamientos, donde la longitud de vaina en el tratamiento 6, con 13,81 cm, fue superior e igual t3, t4 y t5; superior con respecto a t1 y t2, con 13,18 y 13,06 cm, respectivamente. Esto, resultó algo similar a la de frijol marrón Chillanes con 14,3 cm (Chicaiza, 2015). Sin embargo, ocurrió un incremento en comparación con lo evaluado en genotipo Pozuzo por Rodríguez-Layza et al. (2012), cuyo promedio fue 10,98 cm; lo que a su vez siguió incrementando, en un segundo ciclo de evaluación, con una media de 12,40 cm (Rodríguez-Layza et al., 2019). Por tanto, nos indica una selección favorable para rendimiento.

Tabla 28

Prueba de Comparación múltiple de Tukey para longitud de vainas (cm) de frijol Tiapo bajo seis tratamientos

Tratamientos	Plantas/ha x g/ha ácido bórico	Combinación	Longitudes vainas (cm)	Agrupación
t1	31250 x 00	a1 b1	13,18	b
t2	31250 x 50	a1 b2	13,06	b
t3	31250 x 100	a1 b3	13,24	a b
t4	21484 x 00	a2 b1	13,38	a b
t5	21484 x 50	a2b2	13,46	a b
t6	21484 x 100	a2 b3	13,81	a

Nota. ($p \leq 0,05$). Las medias con letras distintas en las columnas son significativamente diferentes.

Número de granos por vaina

El ANOVA para número de granos/vaina (Tabla 29), determinó no significancia para bloques, tratamientos, factor A, factor B y la interacción; en cuanto a la tendencia, las densidades no han variado de manera notoria y en los niveles de boro, favoreció en la medida que se incrementó la dosis (Figura 59), que al no detectarse diferencias estadísticas, cuyos valores promedios para cada nivel de los factores se muestra en la Figura 60A y, la de los tratamientos en la Figura 60B, el rango estuvo entre 5,56 (t6) y (5,44) t1 granos/vaina.

Tabla 29

ANOVA para la variable número de granos/vaina de frijol Tiapo en dos densidades de siembra y tres niveles de boro

FV	GL	SC Ajust.	CM Ajust.	Valor F	Valor p
Bloques	2	0,01437	0,007183	0,26 ns	0,7760
Tratamientos	5	0,03159	0,006317	0,23 ns	0,9410
Factor A	1	0,000889	0,000889	0,03 ns	0,8610
Factor B	2	0,020672	0,010336	0,37 ns	0,6970
A x B	2	0,010026	0,005013	0,18 ns	0,8370
Error	10	0,27630	0,027630		
Total	17	0,32225			
Media	S	CV			
5,516	0,1377	2,50			

Nota. FV: fuente de variación; GL: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: cuadrados medios; ns: sin diferencias significativas; S: desviación estándar; CV: coeficiente de variación.

Figura 59

Tendencia del efecto principal de los factores A y B en el número de granos/vaina de frijol Tiapo

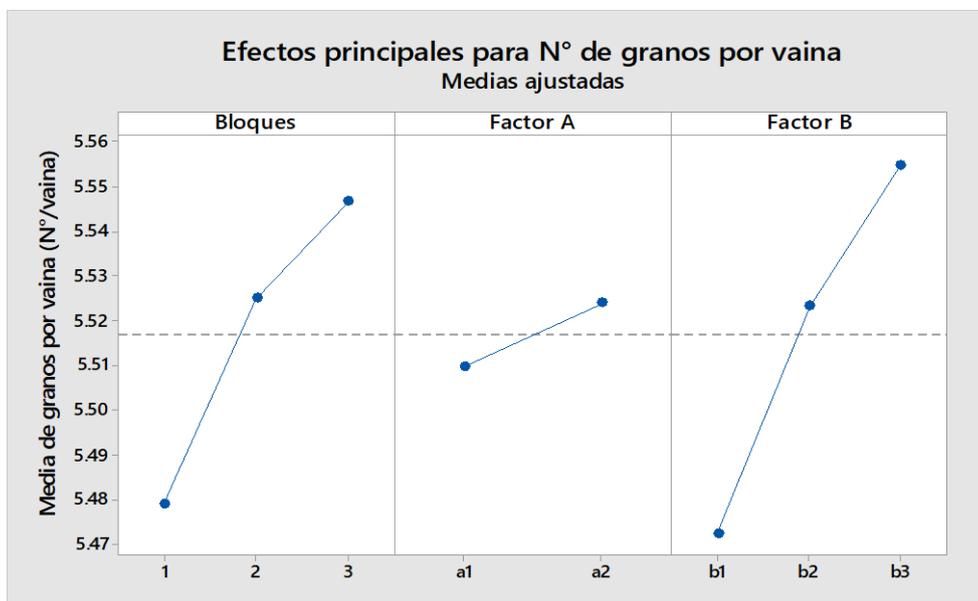
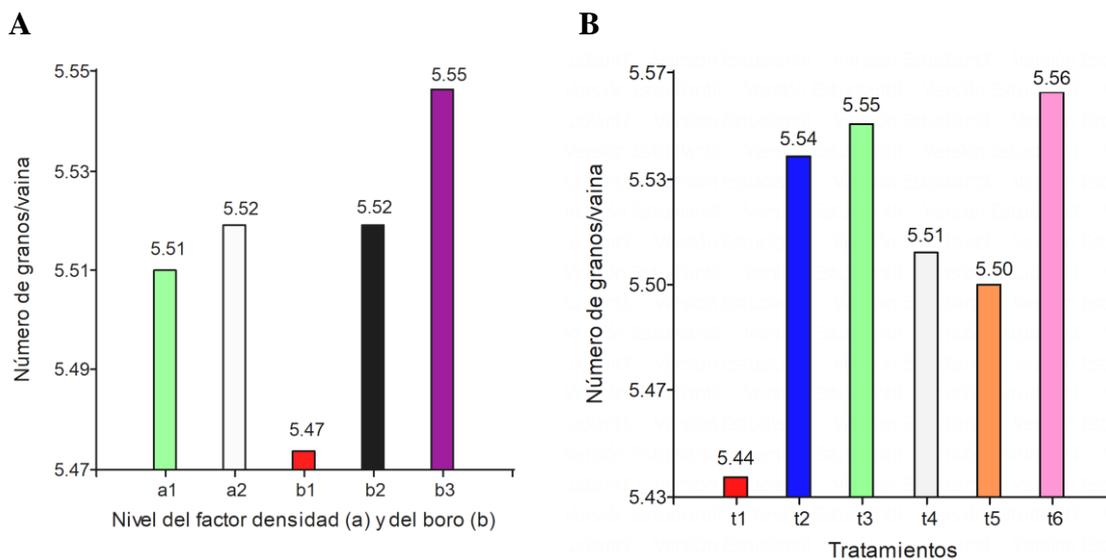


Figura 60

Medias para la variable número de granos/vaina de frijol Tiapo. A) En cada nivel de los factores (densidad y boro) y B) en los tratamientos



Nota. Gráficos elaborados con InfoStat (Di Rienzo et al., 2020).

El número de granos/vaina en frijol Tiapo supera al obtenido en *P. vulgaris* L (5,23 granos/vaina) por Morales (2017), cuando evaluó el efecto de diferente dosis de aplicación del fertilizante Bayfolan (0,036% de boro) con dosis 0, 1, 1,5 y 2 L/ha, registrando precisamente el mayor número de granos por vaina antes indicado bajo la dosis de 2 L/ha, superando estadísticamente al testigo (4,31).

Por otra parte, también resultó superior al de las variedades de *P. vulgaris* L, biofortificado Bio102, fertilización con nanofertilizante (100, 125 y 50%), y el testigo, Cargamanto (fertilización convencional), no encontrándose diferencias estadísticas para la variable número de semillas/vaina, oscilando entre 4,90 y 5,10 (Rosales, 2022).

Además, ocurrió un incremento en comparación con lo evaluado en el genotipo Pozuzo por Rodríguez-Layza et al. (2012), con 4,54 granos/vaina; lo que a su vez siguió favoreciendo, en un segundo ciclo de evaluación, con una media de 4,86 granos/vaina (Rodríguez-Layza et al., 2019); lo que evidencia, como criterio de selección para rendimiento.

Peso de cien granos

El ANOVA para peso de cien granos (Tabla 30), determinó no significancia en bloques, factor B y la interacción, significativa en tratamientos y altamente significativa para el factor A; mientras que, en la tendencia, la densidad menor fue mayor y en los niveles de boro de 50 y 100 g de B/ha, fueron mayores respecto al testigo (Figura 61); con la prueba múltiple de Tukey (Tabla 31), la densidad menor tuvo mayor peso de cien granos, y los niveles de boro todos fueron iguales estadísticamente; en los tratamientos (Tabla 32), t6 con 57,93 g fue superior a t1 con 51,68 g e igual a los demás tratamientos.

Tabla 30

ANOVA para la variable peso de cien granos (g) de frijol Tiapo en dos densidades de siembra y tres niveles de boro

FV	GL	SC Ajust.	CM Ajust.	Valor F	Valor p
Bloques	2	5,103	2,552	0,57 ns	0,5820
Tratamientos	5	85,672	17,134	3,84 *	0,0340
Factor A	1	69,227	69,227	15,50 **	0,0030

FV	GL	SC Ajust.	CM Ajust.	Valor F	Valor p
Factor B	2	15,211	7,605	1,70 ns	0,2310
A x B	2	1,234	0,617	0,14 ns	0,8730
Error	10	44,670	4,467		
Total	17	135,445			
Media	S	CV			
55,15	2,823	5,12			

Nota. FV: fuente de variación; GL: grados de libertad **: diferencias altamente significativas; *: diferencias significativas; ns: sin diferencias significativas; S: desviación estándar; CV: coeficiente de variación.

Figura 61

Tendencia del efecto principal de los factores A y B en el peso de cien granos (g) de frijol Tiapo

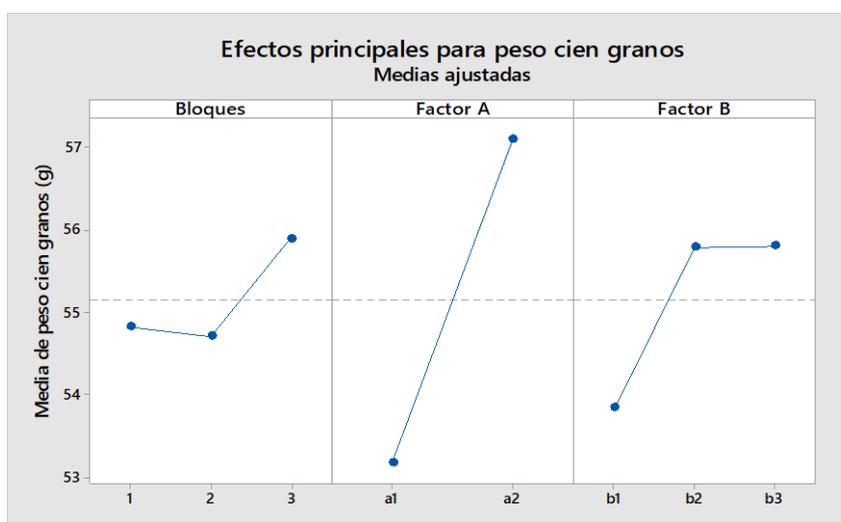


Tabla 31

Prueba de comparación múltiple de Tukey para peso de cien granos (g) bajo los niveles de los factores A (densidad de siembra) y B (boro)

Factor A	Peso de cien granos (g)	Agrupación	Factor B	Peso de cien granos (g)	Agrupación
a1	53,19	b	b1	53,85	a
a2	57,11	a	b2	55,79	a
			b3	51,81	a

Nota. Las medias con letras distintas en las columnas son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Tabla 32

Prueba de comparación múltiple de Tukey para peso de cien granos (g) de frijol Tiapo bajo seis tratamientos

Tratamientos	Plantas/ha x g/ha ácido bórico	Combinación	Peso de cien granos (g)	Agrupación
t1	31250 x 00	a1 b1	51,68	b
t2	31250 x 50	a1 b2	54,20	a b
t3	31250 x 100	a1 b3	53,68	a b
t4	21484 x 00	a2 b1	56,02	a b
t5	21484 x 50	a2 b2	57,38	a b
t6	21484 x 100	a2 b3	57,93	a

Nota. Las medias con letras distintas en las columnas son significativamente diferentes Tukey ($p \leq 0,05$).

El peso de 100 granos/vaina de frijol Tiapo, resultó superior al determinado por Gutiérrez (2020) en la variedad Cargabello (52,9 g) y San Juanito (23,77 g). Igualmente, supera al de las variedades criollas (Capitán, Rojo de Seda, Segoviano) y mejoradas (CENTA Cuscatleco, DOR 582, CENTA Costeño, Rojo Salvadoreño, CENTA 2000 y CENTA Pipil) establecidas a 83 333 plantas/ha, con 16:20:0 NPK, cuyo peso de 100 semillas fue entre 27,4 g y 18,9 g en Segoviano y CENTA Pipil, respectivamente (Amaya y Gómez, 2010).

Por otra parte, también resultó superior al obtenido en el frijol *P. vulgaris* L., bajo un suelo de clase Nitisoles, caracterizado por una alta actividad arcillosa y contenido de materia orgánica, en clima tropical húmedo, con 125 000 y 166 666 plantas/ha, cuyo peso de cien semillas osciló entre 38,94 y 39,36 g, respectivamente (Zamukulu et al., 2023). Asimismo, se evidenció un leve incremento en comparación con lo evaluado en el genotipo Pozuzo por Rodríguez-Layza et al. (2012), con 56,08 g/100 granos; lo que disminuyó un segundo ciclo de evaluación, con 86,15 g/200 granos (43,075 g/100 granos) (Rodríguez-Layza et al., 2019).

Rendimiento en grano seco

El ANOVA para rendimiento de grano de frijol Tiapo (Tabla 33), encontró que no hubo significancia para bloques, factor B y la interacción, y significativo para tratamientos

y el factor A (densidad de siembra); mientras que, la tendencia, la densidad mayor fue superior y en los niveles de boro de 50 g de B/ha tuvo mayor rendimiento comparado con el testigo y el nivel de 100 g de B (ácido bórico)/ha (Figura 62); con la prueba múltiple de Tukey (Tabla 34), determinó que la mayor densidad fue superior, y en los tres niveles boro fueron iguales estadísticamente; en los tratamientos (Tabla 35), t2 con 2 541,75 kg/ha fue superior a t6 con 1 723,35 kg/ha e igual al resto de tratamientos.

Estos rendimientos en frijol Tiapo, se encuentran dentro del rango de lo señalado para la variedad Canario, con 2 712,50 kg/ha, producto del abonamiento orgánico (28 t/ha, estiércol de ovino), mientras que el control con 1 777,78 kg/ha (Ferrer-Vilca y Valverde-Rodríguez, 2020). Al igual, dentro del rango del rendimiento de 33 genotipos de *P. vulgaris* L., de 4 462 kg/ha (SEC 20) a 1 147 kg/ha (Awash Melka), cuya variación depende de los genotipos (Yohannes et al., 2020).

Por otra parte, resultó inferior al determinado en el genotipo Pozuzo por Rodríguez-Layza et al., (2019), en el segundo ciclo de evaluación, con 5 936,90 kg/ha, lo que es indicativo del potencial de rendimiento del frijol Tiapo.

Tabla 33

ANOVA para la variable rendimiento en grano de frijol Tiapo (kg/ha) en dos densidades de siembra y niveles de boro

FV	GL	SC Ajust.	CM Ajust.	Valor F	Valor p
Bloques	2	525742	262871	4,00 ns	0,0530
Tratamientos	5	1229361	245872	3,74 *	0,0360
Factor A	1	626880	626880	9,55 *	0,0110
Factor B	2	363119	181560	2,76 ns	0,1110
A x B	2	239362	119681	1,82 ns	0,2110
Error	10	656684	65668		
Total	17	2411787			
Media	S	CV			
2142	376,7	17,58			

Nota. FV: fuente de variación; GL: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: cuadrados medios *: diferencias significativas; ns: sin diferencias significativas; S: desviación estándar; CV: coeficiente de variación.

Figura 62

Tendencia del efecto principal de los factores A y B en el rendimiento de grano (kg/ha) de frijol Tiapo

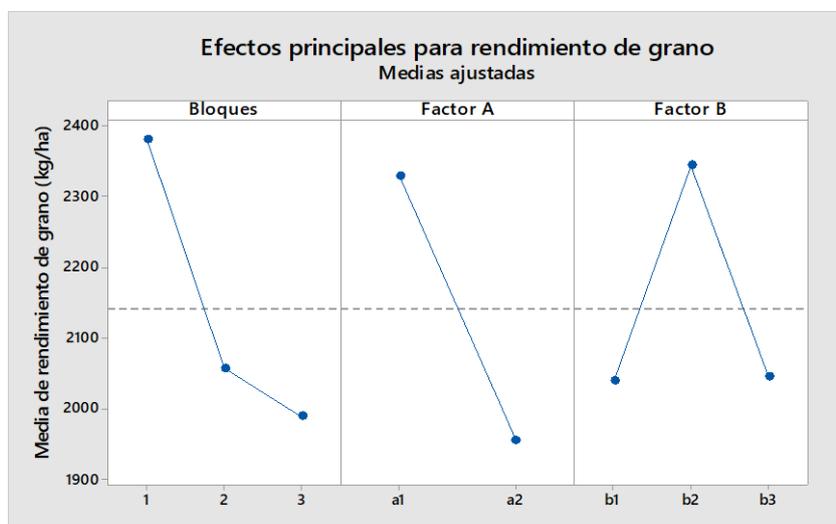


Tabla 34

Prueba de comparación múltiple de Tukey para rendimiento en grano de frijol Tiapo bajo los niveles de los factores A (densidad de siembra) y B (boro)

Factor A	Rendimiento (kg/ha)	Agrupación	Factor B	Rendimiento (kg/ha)	Agrupación
a1	2328,91	a	b1	2038,93	a
a2	1955,67	b	b2	2343,13	a
			b3	2044,82	a

Nota. Las medias con letras distintas en las columnas son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Tabla 35

Prueba de Comparación múltiple de Tukey para rendimiento de grano de frijol Tiapo bajo seis tratamientos con dos densidades de siembra y tres niveles de boro

Tratamiento	Plantas/ha x g/ha ácido bórico	Combinación	Promedio rendimiento (kg/ha)	Agrupación
t1	31250 x 00	a1 b1	2078,69	a b
t2	31250 x 50	a1 b2	2541,75	a
t3	31250 x 100	a1 b3	2366,29	a b
t4	21484 x 00	a2 b1	1999,16	a b
t5	21484 x 50	a2 b2	2144,51	a b
t6	21484 x 100	a2 b3	1723,35	b

Nota. Las medias con letras distintas en las columnas son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Por otro lado, en *P. vulgaris* L., cultivar BRS Estilo, se encontró un incremento en el rendimiento en grano hasta 4 444 kg/ha con 20:120: 60 kg/ha NPK + 1,35 kg de B (ácido bórico)/ha, en fertilización edáfica (Alves et al., 2018), asimismo, en un suelo Rhodic Hapludox, con 20:110:70 kg/ha de NPK+ Boro foliar, 4 kg de B (ácido bórico)/ha, se determinó como la mejor dosis, (3 811 kg de grano/ha) (Alves et al., 2017); pero, con 300 kg/ha de NPK (4:18:08) +/- adición de boro, no encontraron diferencias en rendimiento, vainas/planta y granos por vaina (Alves et al., 2021); este último coincide con los resultados en el presente trabajo, a pesar que, este micronutriente tiene efectos significativos a muy pequeños cambios en la dosis de aplicación.

Los resultados de las dos densidades (31 250 y 21 484 plantas/ha) de frijol Tiapo, donde el rendimiento fue superior en la mayor densidad (2 328,91 kg/ha), se enfatiza que a mayor densidad expresa mayor rendimiento; resultados que coinciden con *P. vulgaris* L., frijol arbustivo Percal, que en dos densidades de siembra (55 555 y 20 833 plantas/ha), en dos épocas obtuvieron un rendimiento en grano de 2 540 y 1 830 kg/ha en la primera y 2 600 y 1 180 kg/ha en la segunda, respectivamente (Vásquez et al., 2024); se debe considerar que el ambiente es un factor fundamental en la expresión del genotipo.

En los tratamientos, donde la combinación (31 250 plantas/ha x 50 g de B (ácido bórico)/ha), t2, fue de mayor rendimiento (2 541,75 kg/ha) en frijol Tiapo, con relación a fuentes de boro, en frijol común, se encontró que las dosis de 2,21 kg de ácido bórico/ha aplicado al suelo tienen efecto superior (2 224 kg de grano/ha) a la aplicación de 4 kg de ácido bórico/ha (1 984,49 kg de grano/ha), donde se redujo el rendimiento (Magalhães et al., 2021); también, en frijol, *P. vulgaris* L., con una densidad de siembra 266 666 plantas/ha y con aplicación de bórax al suelo de 0, 0,5, 1,0 y 1,5 kg/ha, resultó con mayor rendimiento (1 390 kg/ha) a la dosis de 1,5 kg/ha y el menor (1 310 kg/ha) en el testigo sin bórax (Jamil, et al., 2020a); igualmente, en *P. vulgaris*, a 0,0 0,5, 1,0, 1,5 kg de bórax/ha, aplicados al suelo responden de diferente manera en las variedades BARI Jharseem 1, BARI Jharseem 2, BARI Jharseem 3, con 4 610, 4 660 y 4 870 kg/ha, respectivamente, con diferencias significativas, con dosis 1,5 kg de bórax/ha (Jamil, et al., 2020b).

Conclusiones

La respuesta de los componentes de rendimiento: número de vainas llenas por planta, longitud de vaina y peso de cien granos de frijol Tiapo, fue superior en la menor densidad de siembra; mientras que, los niveles de boro no afectaron los mismos. En las combinaciones 21 484 plantas/ha con el nivel de 100 g de B (ácido bórico)/ha, se incrementó la longitud de vaina y peso de cien granos, frente a los demás tratamientos; mientras que, el número de granos por vaina no fue afectado por las densidades de siembra ni por los niveles de boro.

El rendimiento del frijol Tiapo fue favorecido por la mayor densidad de siembra y más no por los niveles de boro, mientras que, en las combinaciones (tratamientos) fue superior 31 250 plantas/ha con 50 g de B/ha.

Recomendaciones

- La densidad de siembra para el cultivo de frijol Tiapo, debe ser de 31 250/plantas/ha.
- Se debe aplicar boro para mayor rendimiento en grano a dosis de 50 g de B (ácido bórico)/ha disuelto en agua.
- Promover investigación con mayores densidades de siembra para incrementar el rendimiento.
- Realizar investigaciones con niveles de boro alrededor de 50 g de B (ácido bórico)/ha de ácido bórico, para aplicaciones foliares con la finalidad de incrementar el rendimiento.

Referencias

- Abd-Elaziz, A., Khalf-Allah, A., Feleafel, M. N., Suleiman, T., & Zahran, H. (2019). Effects of Spacing, Humic Acid and Boron on Growth, Seed Production and Quality of Broad Bean (*Vicia faba* var. major L). *Alex. J. Agric. Sci*, 64(3), 207–217. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.21608/alexja.2019.70134>
- Acencio, Á. (2018). *Evaluación de dos variedades de frejol (Phaseolus vulgaris L.) a cuatro dosis de aplicación foliar complementarias con fosfitos potásico* [Tesis de pre grado, Universidad de Guayaquil]. Archivo digital. <https://repositorio.ug.edu.ec/items/7f427464-3252-40b7-8aa1-b21412f64956>
- Aguilar-López, A. y Gonzáles-Andrade, S. (2024). Análisis de simetría en la transmisión de precios de mercado del frijol negro en México: casos Zacatecas y Ciudad de México. *Acta Universitaria*, 34(1), 1–15. <https://doi.org/10.15174/au.2024.4064>
- Alarcón, A. (2001). El boro como nutriente esencial. *Revista Tecnología de producción*, 1(1), 1–11. <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Borocomonutrienteesencial.pdf>
- Amaya, A. y Gómez, V. (2010). Evaluación de variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris*), en zonas bajas en los departamentos de La Unión, San Miguel y Usulután. *Revista Univo*, 1(1), 20-24.
- Alves, R., Gomes, R., Pinheiro, P., Damin, V., de Oliveira, K., Martins, E., Alves, R., & Carvalho, D. (2017). Economic viability of *Phaseolus vulgaris* (BRS Estilo) production in irrigated system in a function of application of leaf- boron. *Soil and Plant Science*, 67(8), 697–704. <https://doi.org/10.1080/09064710.2017.1329454>
- Alves, R., Alves, R., Pinheiro, P., Damin, V., Martins, E., De Oliveira, K., & Cardoso, M. (2018). Grain yield of *Phaseolus vulgaris* in a function of application of boron in soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 18(1), 144–156. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-95162018000100144
- Alves, W., Freitas, C., Loureiro, F., Batista, M., Furtado, N., & Da silva, W. (2021). Productividad do feijão-comun fertirrigado com zinco e boro em latossolo vermelho de cerrado. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 14(5), 4240–4247. <https://www.researchgate.net/publication/352020341>

- Arias, J., Rengifo, T. y Jaramillo, M. (2007). Buenas prácticas agrícolas (BPA) *en la producción de frijol voluble* (1^{ra}. ed.) Sello Editorial Corpoica. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/12691/43121_50542.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Aybar, L. y Luis, D. (2021). Evaluación agronómica de seis genotipos de frijol canario en condiciones del valle de Chíncha, Ica, Perú. *Peruvian Agricultural Research*, 3(1), 18–22. <https://doi.org/10.51431/par.v3i1.661>
- Ayvar-Serna, S., Apaez, M., Díaz-Najera, J., Mena, A. y Morales, A. (2020). Rendimiento de frijol Ejotero con manejo químico, biológico y orgánico. *Revista Mexicana Ciencias Agriícolas*, 1(1), 200–208. <https://www.researchgate.net/publication/344058405>
- Ayyed, N., & Mahmood, R. (2023). Effect of spraying boron and vitamin B6 nanominerals on mung bean growth (*Vigna radiate* L.). *Bionatura*, 8(2), 1–13. <https://revistabionatura.com/files/2023.08.02.96.pdf>
- Ballesteros, A. y Martínez, C. (2015). Comportamiento de cuatro poblaciones de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) asociado con *Zea mays* L. en el distrito de Oxapampa. [Tesis de pre grado. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio Institucional
- Bonilla, I. (2013). Introducción a la nutrición mineral en las plantas. Los elementos minerales. En J., Azcón-Bieto y M., Talón. (Eds.). *Fundamentos de la fisiología vegetal* (2.^a ed.). (pp. 103-121). Sello Editorial McGraw-Hill -Interamericana de España, S. L.
- Bono, A. y Romano, N. (2012). Métodos de diagnóstico de fertilización. En A., Quiroga y A. Bono. (Eds.). *Manual de fertilidad y evaluación de suelos*. (pp. 119-135). Ediciones INTA. https://www.researchgate.net/publication/380891268_Edicion_2012_Manual_de_fertilidad_y_evaluacion_de_suelos
- Bravo-Delgado, H., Ortega Martínez, M., Loeza-Corte, J. y Díaz-López, E. (2021). Comportamiento ecofisiológico de tres cultivares de ejote *Phaseolus vulgaris* L. (Fabaceae) bajo un clima de transición templado a seco. *Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 24, 1-7. <http://tip.zaragoza.unam.mx/index.php/tip/article/view/331>
- Brdar-Jokanović, M. (2020). Boron toxicity and deficiency in agricultural plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(4), 1–20. <https://doi.org/10.3390/ijms21041424>

- Cabrales, L. (2019). Contaminación de las aguas subterráneas por actividades agrícolas y su regulación en Colombia. *Revista Hechos y Opciones*, 2(1), 16–29. <https://revistas.uniagraria.edu.co/index.php/rho/article/view/216/202>
- Calero, A., Castillo, Y., Quintero, E., Pérez, Y. y Olivera, D. (2018). Efecto de cuatro densidades de siembra en el rendimiento agrícola del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista de La Facultad de Ciencias*, 7(1), 88–100. <https://www.researchgate.net/publication/322837445>
- Chicaiza, L. (2015). *Caracterización morfo – agronómica de 15 cultivares de fréjol arbustivo (Phaseolus vulgaris L.) en la granja Laguacoto II Cantón Guaranda, provincia Bolívar* [Tesis de pre grado, Universidad Estatal de Bolívar]. Archivo digital. <https://www.semanticscholar.org/author/Luis-Klever/121640667>
- Campos, L., y Nicola, M. (2022). *Efecto de tres fertilizantes orgánicos en el comportamiento agronómico del cultivo del fréjol (Phaseolus vulgaris L.) en el recinto Calope de Garrido Cantón Pangua provincia de Cotopaxi* [Tesis de pre grado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Archivo digital. <https://core.ac.uk/reader/542995956>
- Cardona-Ayala, C., Pastrana-Atencia, F., Araméndiz-Tatis, H., Espitia-Camacho, M. y Cardona-Villadiego, C. (2021). Efectos de espaciamientos sobre el crecimiento y rendimiento de frijol caupí cultivar Caupicor 50. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 24(2), 1–8. <https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.2139>
- Castro, C., Indacochea, B., Alcivar, J., Vera, M. y Vera, R. (2022). *Diseños experimentales teoría y práctica para experimentos agropecuarios*. Editorial Mawil Publicaciones de Ecuador. <https://mawil.us/wp-content/uploads/2022/09/disenos-experimentales-teoria-y-practicas-para-experimentos-agropecuarios.pdf>
- Celmeli, T., Sari, H., Canci, H., Sari, D., Adak, A., Eker, T., & Toker, C. (2018). The nutritional content of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Landraces in comparison to Modern Varieties. *Agronomía*, 8(166), 1–9. <https://doi.org/10.3390/agronomy8090166>
- Chavarría, N. (2018). *Las comunidades microbianas del suelo ante la diversificación de un agroecosistema de la pampa húmeda* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Córdoba]. Archivo digital. https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar/vufind/Record/RDUUNC_981da30884530aff0234e217b0351abb.
- Criollo, R. y López, J. (2015). *Comportamiento de cuatro cultivares de frijol arbustivo (Phaseolus vulgaris L.), en la granja la esperanza, municipio de Fusagasugá, provincia del Sumapaz* [Tesis de pre grado. Universidad de Cundinamarca].

- Curay, J. (2019). *Evaluación agronómica de tres variedades de frejol arbustivo (Phaseolus vulgaris L.) bajo las condiciones climáticas de la comunidad de Rumichaca del cantón Pelileo* [Tesis de pre grado, Universidad Técnica de Ambato]. Archivo digital. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/30037/1/Tesis-237%20%20Ingenier%20c3%ada%20Agron%20c3%b3mica%20-CD%20640.pdf>
- De la Portilla, N., Vaca, R., Del Águila, P., Salinas, L., Yáñez, G. y Lugo, J. (2021). Carbono de la biomasa microbiana, respiración basal y cinética del carbono de dos suelos erosionados enmendados con biosólidos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 37, 443–453. <https://doi.org/10.20937/RICA.53863>
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. (2020). InfoStat. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- Doddamani, M., Tambat, B., Muniswamy, K., Chauthra, G., Channakeshava, S., Basavaraja, B., & Nanja, Y. (2020). Effect of foliar application of zinc and boron on vegetative growth, fruiting efficiency and yield in field bean. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(5), 1547–1551. <https://www.phytojournal.com/archives/2020.v9.i5.12555/effect-of-foliar-application-of-zinc-and-boron-on-vegetative-growth-fruiting-efficiency-and-yield-in-field-bean#:~:text=The%20number%20of%20flowers%20formed,of%20pods%20and%20seed%20yield.>
- Dos Santos, W., Peres, R., Souza, D., Souza, T., Barros da Silva, M., Vaz, A., Teixeira, I., & Gitari, H. (2022). Effects of Rhizobium inoculum compared with mineral nitrogen fertilizer on nodulation and seed yield of common bean. A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(52), 1–19. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-022-00784-6>
- Ejigu, G. & Tulu, S. (2021). Effect of NPS Fertilizer Rate and Intra Row Spacing on Growth and Yield of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) at Metu, South western Ethiopia. *International Journal of Agriculture Innovations and Research*, 10(2), 2319–1473. https://ijair.org/administrator/components/com_jresearch/files/publications/IJAIR_3334_FINAL.pdf
- Escobar, S. (2015). Respuestas del cultivo de frijol caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) a la aplicación foliar complementaria de tres bioestimulantes Tumbaco, Pichincha. [Tesis pre grado. Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/4547>

- Escoto, N. (2011). *El cultivo del frijol*. (2^{da}. Ed.). Sello Editorial Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria. <https://dicta.gob.hn/files/2011,-Cultivo-de-frijol-G.pdf>
- Espinoza, J, y Castillo, F. (2024). Manual técnico para el manejo agronómico del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*). Universidad Nacional Agraria-Nicaragua. <https://cenida.una.edu.ni/relectronicos/renf01e77.pdf>
- Fernández, V., Sotiropoulos, T. y Brown, P., (2015). *Fertilización foliar, principios científicos y práctica de campo*. (R. Melgar, Trad.; 1^a ed.). Asociación Internacional de la Industria de Fertilizantes (IFA). https://www.guiaverde.com/files/company/03032016122136_libro_2015_foliar_fertilizers_spanish_def.pdf
- Ferrer-Vilca, T. H. y Valverde-Rodríguez, A. (2020). Rendimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad Canario con tres fuentes de abonos orgánicos en el distrito de Cholón, Huánuco-Perú. *Revista Investigación Agraria*, 2(3), 33–44. <https://doi.org/10.47840/ReInA20217>
- García, R. (2017). *Evaluación de cuatro métodos d aplicación de fertilizantes en el cultivo de frijol Phaseolus vulgaris L., en los Municipios de san Juan Ermita e Iipala del Departamento de Chiquimula, Guatemala 2016*. [Tesis de pre grado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Archivo digital. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/10404/1/19%20A%20TG-2964-2384-GarciaSosa.pdf>
- Garcés-Fiallos, F. R., y Vera-Alcívar, M. (2014). Enfermedades y componentes de rendimiento en líneas de frejol bajo tres densidades de siembra. *Agronomía mesoamericana*, 25(1), 169–180. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v25n1/a17v25n1.pdf>
- Gökmen, F., Korkmaz, A., & Gezgin, S. (2023). Evaluating of Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Cultivars for Boron Efficient and Tolerant. *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, 9(1), 218–227. <https://doi.org/10.28979/jarnas.1180443>
- Góngora-Martínez, O., Rodríguez-Fernández, P. y Castillo-Ferrer, J. (2020). Comportamiento agronómico de variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en las condiciones edafoclimáticas del municipio Songo-La Maya, Santiago de Cuba, Cuba. *Ciencia en su PC*, 1(1), 31–45. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181363107003>
- Goyes, P. (2013). Evaluación de la aclimatación de 10 cultivares de frejol arbustivo (*Phaseolus vulgaris* L.), a campo abierto en Pisin, Cantón Riobamba, provincia de Chimborazo [Tesis de pre grado. Escuela Superior Politécnico de Chimborazo]. Archivo digital. <http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/3301/1/13T0781%20.pdf>

- Guffante, T., Guffante, F. y Chávez, P. (2016). *Investigación Científica: El Proyecto de Investigación*.
https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w24891w/Investigacion_cientifica_el%20proyecto_de_investigacion.pdf
- Gutiérrez, O., (1999). *Evaluación del efecto de la densidad y fertilización en el rendimiento de frijol (Phaseolus vulgaris L.) variedad canario molinero en el distrito de Oxapampa*. [Tesis de pre grado. Universidad Daniel Alcides Carrión]. Repositorio Institucional
- Gutiérrez, E. (2020). El cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*) como alternativa de producción para la comunidad en el municipio de San Pablo de Borbur, Boyacá. *Ciencia Unisalle*. <https://ciencia.lasalle.edu.co/items/c728d5b6-095e-4405-848e-aa2a97f39085/full>
- Hamouda, H., Amany, T., & El-Bassyouni, M. (2018). Growth and Yield of Dry Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) as Affected by Zn and B Foliar Application. *Middle East Journal of Agriculture*, 7(2), 639–649.
<https://www.curreweb.com/mejar/mejar/2018/639-649.pdf>
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2014). Metodología de la investigación (6^{ta} ed.). Sello Editorial Mc Graw Hill/Interamericana, México.
<https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Methodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- Hosseini, S., & Amini, Z. (2019). Yield and yield components of white bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars affected by boric acid rates and methods of application. *Journal of Plant Nutrition*, 42(1), 1378–1385.
<https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1609505>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (2012, 1 de mayo). Perú: Consumo per cápita de los principales alimentos. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1028/Libro.pdf
- Izquierdo, M., Santana, Y., García, A., Carrodegua, S., Aguiar, I., Ruiz, M., Faure, B. y Monrabal, L. (2018). Respuesta agronómica de cinco cultivares de frijol común en un agroecosistema del municipio Consolación del Sur. *Centro Agrícola*, 45(3), 11–16.
https://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852018000300011
- Jamil, F., Hadiuzzaman, M., Rashid, H., & Karim, S. (2020a). Effect of Phosphorus and Boron on the Growth and Yield of French Bean. *Asian Journal of Agricultural and Horticultural Research*, 6(4), 18–25. <https://doi.org/10.9734/ajahr/2020/v6i430079>

- Jamil, F., Hena, H., Kumer, U., & Islam, R. (2020b). Effect of variety and boron fertilizer on the growth and yield performance of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 5(3), 241–246. <https://doi.org/10.26832/24566632.2020.050302>
- Jamioy, D. (2018). Efecto de la aplicación de abonos verdes en el crecimiento y el rendimiento del *Phaseolus vulgaris*. *Agronomía Costarricense*, 42(2), 127–140. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/ac/v42n2/0377-9424-ac-42-02-127.pdf>
- Karavidas, I., Ntatsi, G., Vougeleka, V., Karkanis, A., Ntanasi, T., Saitanis, C., Agathokleous, E., Ropokis, A., Sabatino, L., Tran, F., Iannetta, P. P. M., & Savvas, D. (2022). Agronomic Practices to Increase the Yield and Quality of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.): A Systematic Review. *Agronomía*, 12(271), 1–39. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020271>
- Kouam, E. & Tsague-Zanfack, A. (2020). *Effect of plant density on growth and yield attributes of common bean (Phaseolus vulgaris L.) genotypes*. *Notulae Scientia Biologicae*, 12(2), 399–408. https://www.researchgate.net/publication/342580475_Effect_of_plant_density_on_growth_and_yield_attributes_of_common_bean_Phaseolus_vulgaris_L_genotypes.
- Lépiz, R., López, J., Sánchez, J., Santacruz-Ruvalcaba, F., Nuño, R. y Rodríguez, E. (2010). Característica morfológicos de formas cultivadas, silvestres e intermedias de frijol común de hábito trepador. *Rev. Fitotec. Mex.*, 33(1), 21–28. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v33n1/v33n1a5.pdf>
- Lépiz-Ildefonso, R., Chavarrin-Espinoza, I., López-Alcocer, J. y Rodríguez-Guzmán, E. (2018). Acumulación de materia seca durante las etapas de desarrollo de variedades de frijol. *Rev. Fitotec. Mex.*, 41(3), 275–283. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-73802018000300275&script=sci_abstract
- López, R. y López, J. (1990). El diagnóstico de suelo y plantas: método de campo y laboratorio (4ª ed.). Sello Editorial Mundi – Prensa.
- López, J., Ligarreto G.. (2006). Evaluación por rendimiento de 12 genotipos promisorios de frijol voluble (*Phaseolus vulgaris* L.) tipo Bola roja y Reventón para las zonas frías de Colombia. *Agron. colomb.* 24(2):238-246. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652006000200005
- Lozano, Z. (2024). Manejo de suelos para una agricultura sostenible. *Revista de La Facultad de Agronomía*, 1(78), 1–128. http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_agro/article/view/28253.

- Maicelo, J. (2021). *Instituto Nacional de Innovación Agraria. Resolución Jefatural N° 0060-2021-INIA*. <https://www.gob.pe/institucion/inia/normas-legales/1931556-0060-2021-inia>
- Magalhães, A., De Andrade, A., De Carvalho, A., Alves, R., De Oliveira, K., Guimarães, G., & Mesquita, M. (2021). Yield and physiological quality of common bean grains as a function of boron application in the soil. *Australian Journal of Crop Science*, *15*(6), 909–917. <https://doi.org/10.21475/ajcs.21.15.06.p3136>
- Maričić, B., Brkljača, M., Ban, D., Palčić, I., Franin, K., Marčelić, Š., & Goreta Ban, S. (2022). Non-Aerated Common Nettle (*Urtica dioica* L.) Extract Enhances Green Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) Growth and Soil Enzyme Activity. *Life*, *12*(12), 1-19. <https://doi.org/10.3390/life12122145>
- Mátyás, B., Lowy, D., Singla, A., Melendez, J., & Sándor, Z. (2020). Comparison of effects exerted by bio-fertilizers, NPK fertilizers, and cultivation methods on soil respiration in chernozem soil. *La Granja*, *32*(2), 8–18. <https://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/lgr/v32n2/1390-3799-Lgr-32-02-00008.pdf>
- Mashiqa, P. K., Moatshe-Mashiqa, O. G., Nkomazana, C., Safi, K., & Molosiwa, O. (2021). Agro-physiological and yield attributes of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes as affected by planting density in Botswana. *Journal of Agricultural and Crop Research*, *9*(9), 230–235. <https://www.researchgate.net/publication/355562789>
- Mckean, S. (1993). Manual de análisis de suelos y tejido vegetales. In *Manual de análisis de suelos y tejido vegetales*, *1*(1), 1–97. http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/Digital/S593.M2_Manual_de_an%C3%A1lisis_de_suelos_y_tejido_vegetal_Una_gu%C3%ADa_de_m%C3%A9trica_y_pr%C3%A1ctica_de_metodologia.pdf
- Medina, N. (2022). *Caracterización morfológica de 50 accesiones del germoplasma de frijol "Phaseolus vulgaris" en el valle de Chíncha* [Tesis de pre grado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. Archivo digital. <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/20.500.14067/6907>
- Mendiola, D. y Arauz, E. (2020). *Respuestas de variedades criollas y mejorada de frijol (Phaseolus vulgaris) ante la aplicación de lombrihumus en la época de primera, en tres comunidades del municipio de Esquipulas, Matagalpa, año 2019* [Tesis de pre grado, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua]. Archivo digital. <https://repositorio.unan.edu.ni/15975/1/15975.pdf>
- Mohshina, M. L., Barman, A., Shome, S., Rahman, E., & Polly. (2021). Influence of coupled application of potassium and boron on growth and yield of late sown mungbean. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, *11*(1), 256–264. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2021.11.1.0343>

- Monge-Pérez, J., Oreamuno-Fonseca, P. y Loría-Coto, M. (2023). Efecto de densidad de siembra en la producción de frijoles nativos. *Revista de I+D Tecnológico*, 19 (2): 1-23. <https://doi.org/10.33412/idt.v19.2.3807>.
- Morales, B. (2017). *Evaluación de diferentes dosis del fertilizante foliar Bayfolan Forte en el cultivo Phaseolus vulgaris (L), (frijol) en la granja hortícola Brisas, municipio Holguín* [Tesis de pre grado, Universidad de Holguín]. Archivo digital.
- Moreno, A. (2020). *Efecto de diferentes dosis de nitrógeno en el rendimiento de frijol castilla (Vigna unguiculata L.), en el distrito de Supe Puerto, provincia de Barranca Lima Perú* [Tesis de pre grado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. Archivo digital. <https://biblioteca.unasam.edu.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=26118>
- Mutari, B., Sibiyá, J., Bogweh Nchanji, E., Simango, K., & Gasura, E. (2021). Farmers' perceptions of navy bean (*Phaseolus vulgaris* L.) production constraints, preferred traits and farming systems and their implications on bean breeding: a case study from South East Lowveld region of Zimbabwe. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 17(13), 1–19. <https://doi.org/10.1186/s13002-021-00442-3>
- Noriega, V. (2011). Manejo y fertilidad de suelos. *Ministerio de Agricultura*. Perú.
- Ocaña, J. (2016). *Aplicación de molibdeno y cobalto en frijol (Phaseolus vulgaris L.) con dos sistemas de fertilización bajo labranza* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Archivo digital. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/items/265bd583-fc2a-4c09-b51f-7da0fbe6e636>
- Oliveira, Í., De Santana, S., Pereira, C., & Campos, N. (2020). Produção de feijão-de-corda sob diferentes doses de nitrogênio aliado à aplicação de boro. *Agropecuária Científica no Semiárido*, 16(2), 75–80. <https://doi.org/10.30969/acsa.v16i2.1228>
- Osuna-Ceja, E., Reyes-Muro, L., Padilla-Ramírez, J., & Martínez-Gamiño, M. (2012). Rendimiento de frijol Pinto Saltillo en altas densidades de población bajo temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(7), 1389–1400. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v3n7/v3n7a8.pdf>
- Ospina, M. (2017). *Respuesta de la variedad de fréjol INIAP-463 (Phaseolus vulgaris L.) a cinco dosis de nitrógeno y potasio con aplicaciones adicionales de boro y zinc*. [Tesis de pre grado, Universidad de Guayaquil]. Archivo digital.
- Paolini, J. (2017). Actividad microbiológica y biomasa microbiana en suelos cafetaleros de los Andes venezolanos. *Revista Terra Latinoamericana*, 36(1), 13-22. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i1.257>.
- Pardo-Plaza, Y., Paolini, J. y Cantero-Guevara, M. (2019). Biomasa microbiana y respiración basal del suelo bajo sistemas agroforestales con cultivo de café. *Revista*

U.D.C.A. *Actualidades y Divulgación Científica*, 22(1), 1–8.
<https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/1144>

Pastor, J., Vera, M. y Martínez, A. (2015). Efecto de los plaguicidas sobre la calidad química y biológica del suelo en sistemas de producción de hortalizas del semiárido venezolano. *Revista Química Viva*, 14(1), 69–89.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86340672008>

Pathak, S., Singh, R., Pandey, B., & Chandel, S. (2020). Effect of Different Basal Doses of Boron on Growth and Yield of Urdbean (*Vigna mungo* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(5), 3428–3432.
<https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.905.407>

Pincay, V. (2016). *Estudio de fertilización edáfica y foliar en tres variedades de frejol caupí (Vigna unguiculata L.)* [Tesis de pre grado, Universidad de Guayaquil]. Archivo digital. <https://repositorio.ug.edu.ec/items/0a84cea7-f965-477b-bff6-602e9270a9a6>

Príncipe, G. (2019). *Efecto de la aplicación de tres fertilizantes foliares en tres estados fenológicos en el rendimiento del frijol caupí (Vigna unguiculata L Walp) en Cieneguillo Centro- Sullana-2018* [Tesis de pre grado, Universidad San Pedro]. Archivo digital.
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/USPE_f3022f537fef6edc7205f3df29922d6d/Description#tabnav

Reddy, H., & Singh, A. (2023). Role of boron and zinc in growth & production of pulse crops. *The Pharma Innovation Journal*, 12(7), 3491-3495.
<https://www.thepharmajournal.com/archives/2023/vol12issue7/PartAO/12-7-77-817.pdf>

Reddy, R. Y., Mehera, B., & Rani, M. N. (2023). Influence of Zinc and Boron Application on Growth and Yield of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(10), 859–864.
<https://doi.org/10.9734/ijec/2023/v13i102727>

Rodríguez-Fernández, P. y Sánchez-Mora, C. (2021). Producción ecológica de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en las condiciones edafoclimáticas del III frente. *Ciencia En Su PC*, 1(2), 60–70. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181369731005>

Rodríguez-Layza, J., Gonzales-Arteaga, J., Romero-Rivas, C., Ojeda-Mantari, M., Enciso-Waller, M., Schlaefli-Álvarez, B., Osorio-Ruiz, V., Ballesteros-Colina, A., Salvatierra-Estrella, E., Monago-Curi, M., Chura-Chuquiya, J. y García-Pando, G. (2012). Comportamiento de seis poblaciones de frijol *Phaseolus vulgaris* L. en condiciones del distrito de Oxapampa. *Revista Praxis*, 8(2), 31–40.

Rodríguez-Layza, J., Gonzales-Arteaga, J., Romero-Rivas, L., Ojeda-Mantari, M., Ballesteros-Colina, A., Osorio-Ruiz, V., Chura-Chuquiya, J., García-Pando, G. y

- Calzada- Robles, V. (2019). Comportamiento de las poblaciones de segundo ciclo de frijol *Phaseolus vulgaris* L. en condiciones de Miraflores, Oxapampa. *Revista Praxis*, 10(1), 52–67. <http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1453/1/Revista%20Praxis%20Vol.%2010%20Nro.%201.pdf>
- Rosales, H. (2022). *Evaluación agronómica de frijol biofortificado bio102 (Phaseolus vulgaris L.) con diferentes niveles de nanofertilizante en el valle de Sibundoy* [Tesis de pre grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Archivo digital. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/48476>
- Saavedra, K. (2015). *Caracterización biométrica y de rendimiento de seis poblaciones de (Phaseolus vulgares L.) en condiciones del distrito de Oxapampa*. [Tesis de pre grado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión Pasco]. Repositorio Institucional.
- Salamerón, M., y García, C. (1994). *fertilidad y fertilización de suelos* [Universidad Nacional Agraria]. <https://repositorio.una.edu.ni/2804/1/nf04s171.pdf>
- Sánchez, C. (2018). *Evaluación agronómica de línea avanzadas de frijol arbustivo con grano grande en condiciones de clima medio y frio moderado de Colombia* [Tesis de pre grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Archivo digital. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/21422?locale-attribute=es>
- Sangerman-Jarquín, D., Acosta-Gallegos, J., Shwenstesius, R., Damián, M., y Larqué, B. (2010). Consideraciones e importancia social en torno al cultivo del frijol en el centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(3). <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v1n3/v1n3a7.pdf>
- Sathishkumar, A., Sakthivel, N., Subramanian, E., & Rajesh, P. (2020). Productivity of Field Crops as Influenced by Foliar Spray of Nutrients: A Review. *Agricultural Reviews*, 41(2), 146–152. <https://doi.org/10.18805/ag.r-1991>
- Shireen, F., Nawaz, M. A., Chen, C., Zhang, Q., Zheng, Z., Sohail, H., Sun, J., Cao, H., Huang, Y., & Bie, Z. (2018). Boron: Functions and approaches to enhance its availability in plants for sustainable agriculture. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(7), 1–20. <https://doi.org/10.3390/ijms19071856>.
- Tadesse, A., Shanka, D., & Laekemariam, F. (2022). Short-Term Integrated Application of Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, and Boron Fertilizer and the Farmyard Manure Effect on the Yield and Yield Components of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) at Alle Special Woreda, Southern Ethiopia. *Applied and Environmental Soil Science*, 2022(1), 1–12. <https://doi.org/10.1155/2022/2919409>
- Tayupanda, G., y Tumbaco, F. (2022). *Respuestas del cultivo de fréjol (Phaseolus vulgaris L.) a la aplicación de bioestimulantes foliares y un activador fisiológico* [Tesis de pre grado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Archivo digital.

<https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/615b15f6-ceac-4082-a573-db21ba88e6b1/content>

- Tisdale, S y Nelson, W. 1977. Fertilidad de los suelos y fertilizantes: (2ª ed.). Sello Editorial Barcelona, ES. TONSA-San Sebastián.
- Toledo, M. (2016). *Manejo de suelos ácidos de las zonas altas de Honduras: Conceptos y métodos* (1ª ed.). Editorial DICTA. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/3108>
- Uddin, F., Mira, H., Sarker, U. & Akondo, Md. (2020). Effect of variety and boron fertilizer on the growth and yield performance of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 5(3), 241–246. <https://doi.org/10.26832/24566632.2020.050302>
- Unigarro, C., Rendón, J. y Acuña-Zornosa, J. (2021). Densidad de siembra y fotosíntesis, el motor de la productividad en nuestros cafetales. *Avances Técnicos Cenicafé*, 525, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0525>
- Valladolid, A. (2016). *Leguminosas de grano “Semillas nutritivas para un futuro sostenible”*. (1ª ed.) Ministerio de Agricultura y Riego-Perú. <https://repositorio.midagri.gob.pe/bitstream/20.500.13036/392/1/catalogo-leguminosas.pdf>
- Valdez-Prado, B., Prieto-Méndez, J., Marmolejo-Santillán, Y. y Prieto-García, F. (2021). Evolución de la respiración del suelo y su relación con aportes de hojarasca en un suelo boscoso de montaña. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías Del ICBI*, 8(16), 82–88. <https://doi.org/10.29057/icbi.v8i16.5781>
- Valdez-Nuñez, R., Rojas-García, J., & Ríos-Ruiz, W. (2019). Microbiological indicators of tropical soils quality in ecosystems of the north-east area of Peru. *Scientia Agropecuaria*, 10(2), 217–227. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.02.07>.
- Vásquez, S., Villavicencio, E., Guamán, A., Molina-Müller, M., & Mestanza, C. (2024). Efecto la densidad de plantas sobre los componentes del rendimiento de fréjol cultivado en condiciones de campo en un valle interandino de Ecuador. *La Granja: Revista de Ciencias de La Vida*, 39(1), 160–170. <https://doi.org/10.17163/lgr.n39.2024.10>
- Verde, C. (2023). *Inoculación de microorganismos benéficos asociados a leguminosas de cobertura en zonas degradadas por actividad agrícola en la sub-cuenca del Cumbaza en San Martín* [Tesis de maestría. Universidad Nacional Agraria de la Selva]. https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/2694/TS_CVG_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Vistoso, E. y Martínez-Lagos, J. (2021). Uso de boro en la fertilización de praderas y cultivo en la región de los Ríos. Instituto de Investigaciones Agropecuarias - informativo INIA REMEHUE 286.
- Wang, J., Wei, J., Guo, D., Xinmin, L., Wang, B., Wang, Y., & Li, J. (2024). Boron homeostasis affects Longan yield: a study of NIP and BOR boron transporter of two cultivars. *BMC Plant Biology*, 24(1), 1–16. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04689-8>
- Warnock, R., Valenzuela, J., Trujillo, A., Madriz, P. y Gutiérrez, M. (2006). Área foliar, componentes del área foliar y rendimiento de seis genotipos de caraota. *Agronomía Trop.*, 56(1), 21–42. <https://ve.scielo.org/pdf/at/v56n1/art02.pdf>.
- Yadav, L., Rajiv, Singh, R., Singh, B., Kumar, M., & Ravi, P. (2023). Effect of phosphorus, boron and their interaction on growth and yield parameters of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *The Pharma Innovation Journal*, 12(10), 288–291. <https://www.thepharmajournal.com/archives/2023/vol12issue10/PartD/12-10-36-614.pdf>.
- Yamil, L., Medina, G., Buitrago, L. & Salazar, F. (1997). Respuesta morfofisiológica del frijol (*Phaseolus vulgaris* Var. Diacol Calima) a la aplicación edáfica de varias fuentes de boro. *Acta Agron*, 47(3), 26–32. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9443676>
- Yan, G., Hu, R., Luo, J., Weiss, M., Jiang, H., Mu, X., Xie, D. & Zhang, W. (2019). Review of indirect optical measurements of leaf area index: Recent advances, challenges, and perspectives. *Agricultural and forest meteorology*, 265, 390–411. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192318303873>
- Yánac, L. (2018). *Análisis del crecimiento y rendimiento de tres variedades de frijol (Phaseolus vulgaris L.) con diferentes dosis nitrogenadas, en la Molina* [Tesis de pre grado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Archivo digital. <http://45.231.83.156/handle/20.500.12996/3304>
- Yáñez, M., Cantú, I., González, H., Marmolejo, J., Jurado, E. y Gómez, M. (2017). Respiración del suelo en cuatro sistemas de uso de la tierra. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(42), 123–149. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v8n42/2007-1132-remcf-8-42-00123.pdf>
- Yohannes, S., Loha, G., & Gessese, M. K. (2020). Performance Evaluation of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Genotypes for Yield and Related Traits at Areka, Southern Ethiopia. *Advances in Agriculture*, 2020(1), 1–8. <https://doi.org/10.1155/2020/1497530>

Zamukulu, P., Bagula, E., Mondo, J., Chuma, G., Safina, F., Cishesa, T., Kavange, A., Masumbuko, D., Kazadi, J., Mushagalusa, G. & Lubobo, A. (2023). Optimization of plant density and fertilizer application to improve biofortified common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) yield on Nitisols of South-Kivu, Eastern D.R. Congo. *Heliyon*, 9(6), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17293>

ISBN: 978-9942-679-27-7



9789942679277