



ESCUELA DE DOCTORADO
INTERNACIONAL DE LA USC

Juan Leonardo
Tejada Hinojoza

Tesis doctoral

CARACTERIZACIÓN
AGROMORFOLÓGICA Y
FITOPATOLÓGICA DE
VARIEDADES SELECCIONADAS DE
JUDÍA COMÚN (*Phaseolus vulgaris*
L.) Y SU RELACIÓN SIMBIÓTICA
CON LA MICROBIOTA DEL SUELO
EN MONOCULTIVO Y CULTIVO
ASOCIADO CON MAÍZ

TESIS DE DOCTORADO

**CARACTERIZACIÓN
AGROMORFOLÓGICA Y
FITOPATOLÓGICA DE VARIEDADES
SELECCIONADAS DE JUDÍA COMÚN (*Phaseolus
vulgaris* L.) Y SU RELACIÓN SIMBIÓTICA CON
LA MICROBIOTA DEL SUELO EN
MONOCULTIVO Y CULTIVO ASOCIADO
CON MAÍZ**

Autor

Juan Leonardo Tejada Hinojoza

Directores: Antonio Miguel De Ron Pedreira, Ana Paula Rodiño Míguez, María del Carmen Salinero Corral

Tutora: María Jesús Sainz Osés

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN INVESTIGACIÓN AGRARIA Y FORESTAL
LUGO**



ÍNDICE

CONTENIDO	PÁGINA
AGRADECIMIENTOS	1
RESUMEN	2
RESUMO	5
SUMMARY	8
ÍNDICE GENERAL	11
1. INTRODUCCIÓN	14
1.1.Importancia del cultivo	15
<i>Figura 1.1. Evolución de la superficie de cultivo de judía grano en España</i>	16
<i>Figura 1.2. Evolución de la producción de judía grano en España</i>	16
1.2.Filogenia, domesticación y origen de la especie	17
1.2.1. Filogenia	17
1.2.2. Domesticación	17
1.2.3. Origen	17
1.3.Evolución de la especie fuera de las áreas de origen y domesticación	19
1.4.La judía en España	20
1.5.Estado fitosanitario del cultivo de la judía	23
<i>Tabla 1.1. Agentes fitopatógenos y plagas diagnosticados en Galicia en judía, en el período 2000-2010, en la Estación Fitopatológica Areiro</i>	23
1.6.La judía en la Misión Biológica de Galicia	25
2. OBJETIVOS	26
2.1.Objetivo general y objetivos operativos	27
3. MATERIALES Y METODOLOGÍA	28
3.1.Estudio agromorfológico y cualitativo de variedades mejoradas de judía, en monocultivo y cultivo asociado con maíz, y del sistema simbiótico rizobia-judía con diferentes tratamientos (inoculación, abonado, pH)	29
3.1.1. Localización de la finca experimental de la MBG-CSIC	29
<i>Tabla 3.1. Análisis del suelo de la parcela Huerta II</i>	29
3.1.2. Material biológico	29
3.1.2.1.Judía	29
<i>Figura 3.1. Variedades utilizadas en el ensayo de la MBG-CSIC</i>	30
3.1.2.2.Rizobia	30
3.1.2.3.Maíz	31
<i>Figura 3.2. Mazorcas de la variedad de maíz Tui usada en el experimento</i>	31
3.1.3. Equipamiento de laboratorio	31
3.1.4. Equipamiento de campo	32
<i>Figura 3.3. Medidor de humedad Dickey John, Multi grain</i>	32
<i>Figura 3.4. Desgranadora eléctrica Hege 16. Figura superior: tolva de vertido de vainas y cóncavo de desgranado. Figura inferior: vista general del equipo</i>	33
3.1.5. Diseño experimental	33
3.1.6. Labores culturales	34
<i>Figura 3.5. Esquema del diseño experimental de los tratamientos. 1 (Galaica), 2 (Andecha), 3 (Montcau) y 4 (Matterhorn)</i>	35
<i>Figura 3.6. Preparación del terreno</i>	36
3.1.7. Caracteres estudiados	36

<i>Figura 3.7. Proceso de cocción en el cocidímetro utilizado en la MBG-CSIC. 1) Vaso de precipitados con agua destilada y placa calefactora. 2) Estructura metálica del equipo, y placa con 20 cavidades. 3) Colocación de 20 granos de judía remojados en las cavidades de la placa. 4) Colocación de las 20 agujas sobre cada uno de los granos. 5) Introducción del cocidímetro en el vaso de precipitados con agua, para la cocción</i>	38
3.1.8. Preparación del inóculo e inoculación	39
3.1.9. Análisis de Nitrógeno y Fósforo	39
3.1.9.1. Digestión de las muestras vegetales	39
<i>Figura 3.8. Digestión de las muestras vegetales</i>	40
3.1.9.2. Determinación de Nitrógeno en hojas por colorimetría	40
<i>Figura 3.9. Determinación de Nitrógeno por colorimetría</i>	41
<i>Figura 3.10. Determinación de Fósforo por colorimetría</i>	42
3.1.9.3. Determinación de Fósforo en hojas por colorimetría	42
3.1.10. Análisis estadístico de los datos	43
3.2. Análisis del sistema interactivo judía-microbiota en las variedades Galaica y Matterhorn con tratamientos químicos y biológicos (fertilizante nitrogenado, <i>Burkholderia alba</i> y <i>Trichoderma harzianum</i>)	44
3.2.1. Localización de la finca experimental de la MBG-CSIC	44
3.2.2. Material biológico	44
3.2.2.1. Judía	44
3.2.2.2. Bacteria simbiótica	44
<i>Figura 3.11. Colonias de Burkholderia alba</i>	44
3.2.2.3. Hongo promotor del crecimiento	44
3.2.3. Equipamiento de laboratorio	45
<i>Figura 3.12. Manejo de Trichoderma harzianum</i>	45
3.2.4. Equipamiento de campo	45
3.2.5. Diseño experimental	46
<i>Figura 3.13. Diseño experimental de los ensayos de campo (R: la rizobacteria utilizada ha sido Burkholderia alba).</i>	46
3.2.6. Labores culturales	47
3.2.7. Caracteres estudiados	47
3.2.8. Preparación del inóculo e inoculación	48
<i>Figura 3.14. Medición de la concentración de bacterias</i>	48
3.2.9. Análisis estadístico de los datos	48
3.3. Diagnóstico y valoración de las principales plagas y enfermedades presentes en diferentes variedades, en campos de producción de judía de la MBG-CSIC en Pontevedra y de la variedad Galaica en Lugo y estudio de las características agromorfológicas y de calidad de grano de la variedad Galaica, en campos de producción en Lugo	50
3.3.1. Parcelas de estudio en el área de producción de la IGP Faba de Lourenzá	50
<i>Figura 3.15. Parcelas de estudio en el área de producción de la IGP Faba de Lourenzá</i>	51
3.3.2. Características de los suelos de Ribadeo y Lourenzá	51
<i>Tabla 3.2. Características de los suelos de las parcelas de estudio en el área de producción de la IGP Faba de Lourenzá</i>	52
3.3.3. Material biológico	52
3.3.4. Labores culturales	53
<i>Figura 3.16. Seguimiento fenológico visual de las plantas durante el ciclo de cultivo</i>	55

3.3.5. Caracteres estudiados	55
3.3.6. Análisis fitopatológicos	55
<i>Tabla 3.3. Modelo de ficha de los análisis que se solicitan habitualmente a la EFA</i>	56
4. RESULTADOS	57
4.1. Estudio agromorfológico y cualitativo de variedades mejoradas de judía, en monocultivo y cultivo asociado con maíz, y del sistema simbiótico rizobia-judía con diferentes tratamientos (inoculación, abonado, pH)	58
4.1.1. Antecedentes	58
4.1.1.1. Estudio agromorfológico y cualitativo de variedades de judía	58
4.1.1.2. Monocultivo de judía y cultivo asociado judía-maíz	59
4.1.1.3. Sistema simbiótico rizobia-judía	62
<i>Figura 4.1. Carta fechada en 1943, de José M. Rosell, Director del Instituto Español de Bacteriología Raíz (Barcelona, España), dirigida al Director de la MBG-CSIC, Cruz Gallástegui.</i>	65
4.1.2. Resultados	66
4.1.2.1. Resultados de los ensayos de 2019 y 2020	66
<i>Tabla 4.1. Resultados de los ensayos de campo de las variedades de judía estudiadas en las campañas de 2019 y 2020 (sistemas de cultivo)</i>	67
<i>Tabla 4.1. Resultados de los ensayos de campo de las variedades de judía estudiadas en las campañas de 2019 y 2020 (enmiendas del suelo)</i>	67
<i>Tabla 4.1. Resultados de los ensayos de campo de las variedades de judía estudiadas en las campañas de 2019 y 2020 (fertilización)</i>	68
4.1.2.2. Análisis de varianza	71
<i>Tabla 4.2. Análisis de varianza combinado de las variables cuantitativas estudiadas en las campañas de 2019 y 2020</i>	71
4.1.2.3. Medias totales y contrastes de medias	76
<i>Tabla 4.3. Medias totales de las variables estudiadas en las cuatro variedades</i>	77
<i>Tabla 4.4. Contrastes de medias entre las variedades</i>	80
<i>Tabla 4.5. Valores medios de las pruebas de cocidímetro en 2019</i>	85
<i>Tabla 4.6. Valores medios de las pruebas de cocidímetro en 2020</i>	86
<i>Tabla 4.7. Muestras procesadas de cada variedad en 2019 y 2020</i>	88
<i>Figura 4.2. Tiempo total de cocción, según variedad y año</i>	89
4.2. Análisis del sistema interactivo judía-microbiota en las variedades Galaica y Matterhorn con tratamientos químicos y biológicos (fertilizante nitrogenado, <i>Burkholderia alba</i> y <i>Trichoderma harzianum</i>)	90
4.2.1. Antecedentes	90
4.2.1.1. Variedades de judía	90
4.2.1.2. Factores ambientales que afectan a la Fijación Simbiótica de Nitrógeno (FSN)	90
4.2.1.3. La bacteria simbiótica <i>Burkholderia alba</i>	92
4.2.1.4. Importancia de <i>Trichoderma</i> en la agronomía y en la protección de los cultivos	92
4.2.2. Resultados	94
4.2.2.1. Resultados de los ensayos de 2021 y 2022	94
<i>Tabla 4.8. Resultados de los ensayos de campo de las variedades de judía estudiadas en las campañas de 2021 y 2022</i>	94
4.2.2.2. Análisis de varianza	97
<i>Tabla 4.9. Análisis de varianza combinado de las variables cuantitativas estudiadas en las campañas de 2021 y 2022</i>	97
4.2.2.3. Medias totales y contrastes de medias	102

	<i>Tabla 4.10. Medias de variedades</i>	102
	<i>Tabla 4.11. Contrastes de medias entre variedades</i>	104
4.3.	Diagnóstico y valoración de las principales plagas y enfermedades presentes en diferentes variedades, en campos de producción de judía de la MBG-CSIC en Pontevedra y de la variedad Galaica en Lugo y estudio de las características agromorfológicas y de calidad de grano de la variedad Galaica, en campos de producción en Lugo	106
4.3.1.	Antecedentes	106
4.3.1.1.	Cooperación con los productores de judía de A Mariña	106
	<i>Figura 4.3. Logotipo de la IGP Faba de Lourenzá</i>	109
4.3.1.2.	La IGP Faba de Lourenzá	109
4.3.1.3.	La variedad Galaica en campos de producción de la zona de la IGP Faba de Lourenzá	111
4.3.2.	Resultados	112
4.3.2.1.	Análisis fitopatológico de los suelos de las parcelas de cultivo	112
	<i>Figura 4.4. Crecimiento de las unidades formadoras de colonias (u.f.c.) de Fusarium spp. aisladas del suelo en cultivos de la variedad Galaica (2019)</i>	112
4.3.2.2.	Diagnóstico y valoración de las principales plagas y enfermedades presentes en diferentes variedades, en campos de producción de judía de la MBG-CSIC	112
	<i>Tabla 4.12. Resultados de los análisis fitopatológicos de suelos de las parcelas de Ribadeo, Lourenzá y MBG-CSIC Pontevedra (realizados por métodos morfológicos y moleculares en la EFA)</i>	113
	<i>Tabla 4.13. Resultados de los análisis fitopatológicos de plantas de diferentes variedades de judía en la MBG-CSIC</i>	114
4.3.2.3.	Características agromorfológicas de la variedad Galaica en las localidades de Ribadeo y Lourenzá	115
	<i>Tabla 4.14. Características agromorfológicas de la variedad Galaica en las localidades de Ribadeo y Lourenzá (2019)</i>	115
5.	DISCUSION	117
5.3.	Ciclo biológico de las variedades de judía estudiadas	118
5.4.	Comportamiento agronómico de las variedades estudiadas en los sistemas de cultivo	120
5.5.	Calidad de grano de las variedades	122
5.6.	Incidencia de plagas y enfermedades en el cultivo	125
	<i>Tabla 5.1. Comparación de agentes fitopatógenos detectados en Galicia y en la MBG-CSIC en dos periodos diferentes</i>	127
5.7.	Evaluación de los efectos en el cultivo de la inoculación con <i>Trichoderma</i>	129
5.8.	Evaluación del sistema simbiótico judía-microbiota: <i>Rhizobium</i> y <i>Burkholderia</i>	131
6.	CONCLUSIONES	134
7.	BIBLIOGRAFIA	137

AGRADECIMIENTOS

Debo agradecer al Consejo Superior de Investigaciones Científicas haber aceptado mi estancia en la Misión Biológica de Galicia (MBG, Pontevedra, España) en el período 2018-2019-2020-2021, para la realización del trabajo experimental de mi Tesis Doctoral. Agradecimiento que se extiende a la Dirección y el personal de la MBG.

Agradezco a la Estación Fitopatológica Areeiro (EFA, Diputación de Pontevedra, Unidad Asociada al CSIC, Sistemas Agroforestales, a través de la MBG) por los análisis realizados en el material biológico estudiado y por la estancia de formación realizada en sus laboratorios. Este agradecimiento incluye a la Jefatura de Servicio/Dirección de la EFA y al personal de la misma.

Debo mencionar a Rafael Peláez Valle, biólogo consultor técnico, por su apoyo logístico y técnico en las fincas de Lourenzá y Ribadeo (Lugo) y por el envío de muestras de judía, así como a José Cuadrado Oural, por su apoyo en las tareas desarrolladas en Lourenzá.

En la MBG debo destacar mi agradecimiento al personal del Grupo de Biología de Agrosistemas, Dori, Íria, Celia y Montse, por su apoyo en todo momento en las tareas que hemos realizado.

Mi agradecimiento se extiende también a María Jesús Sainz Osés, tutora de la Tesis Doctoral en la Universidad de Santiago de Compostela, y a Rosa Mosquera Losada, responsable del Programa de Doctorado en Investigación Agraria y Forestal, por los consejos y apoyo brindado.

El mayor agradecimiento a quienes enriquecieron el presente trabajo de investigación, los Co-directores de esta Tesis Doctoral, Antonio M. De Ron Pedreira, A. Paula Rodiño Míguez y M. Carmen Salinero Corral, por su dedicación a mi trabajo, por orientar mis trabajos experimentales y por su valiosa aportación en la redacción de los contenidos de mi Tesis Doctoral.

Y finalmente un agradecimiento enorme a mi familia, a mi esposa Catty, mis hijos Stephanie, Daniellie y Leonardo quienes siempre han estado a mi lado, en la distancia y también en la proximidad, los amo con todo mi corazón.

RESUMEN

La judía común (*Phaseolus vulgaris* L.) es una especie diploide anual, predominantemente autógama, y constituye un alimento extremadamente importante ya que su grano seco representa la principal fuente de proteína vegetal en la dieta humana en muchos lugares del mundo.

El objetivo general de esta Tesis Doctoral ha sido el estudio de variedades mejoradas de judía común, en distintos sistemas de cultivo y con diferentes tratamientos y metodologías agronómicas de cultivo. La finalidad es generar nuevo conocimiento acerca del comportamiento de variedades de judía en dichos sistemas y metodologías para que este conocimiento permita aportar innovaciones en el cultivo de judía, especialmente de variedades de valor añadido de mercado, incluyendo los aspectos fitosanitarios. Asimismo, se plantean metodologías novedosas que permitan avances medioambientales que puedan contribuir a la mitigación del cambio climático. Este objetivo general se desarrolla en los objetivos operativos que siguen a continuación:

1. Determinar las características agromorfológicas y de calidad de grano de variedades mejoradas de judía cultivadas en la finca experimental de la MBG-CSIC (Pontevedra), en monocultivo y cultivo asociado con maíz.
2. Analizar el sistema simbiótico rizobia–judía en variedades mejoradas de judía, con diferentes tratamientos del suelo (inoculación con microbiota, abonado, diferente pH), en monocultivo y cultivo asociado con maíz, en la finca experimental de la MBG-CSIC.
3. Analizar el sistema interactivo judía-microbiota en las variedades Galaica (España) y Matterhorn (internacional) en combinación con tratamientos químicos y biológicos: fertilizante nitrogenado, *Burkholderia alba* y *Trichoderma harzianum*, en la finca experimental de la MBG-CSIC.
4. Diagnosticar y valorar las principales plagas y enfermedades presentes en diferentes variedades, en campos de producción de judía de la MBG-CSIC en Pontevedra y de la variedad Galaica en Lugo.
5. Estudiar las características agromorfológicas y de calidad de grano de la variedad Galaica, en campos de producción en Lugo.

Las variedades de judía se han estudiado experimentalmente en los ensayos llevados a cabo en 2019 y 2020 (Andecha, Galaica, Matterhorn y Montcau) y en 2021 y 2022 (Galaica y Matterhorn), en la finca experimental y en los laboratorios de la MBG-CSIC (Pontevedra, España), así como en los laboratorios de la EFA (Pontevedra, España). Se estudiaron 21 caracteres cuantitativos de planta, raíz, vaina y grano, así como la incidencia de plagas y enfermedades. En los ensayos de 2019 y 2020 se introdujeron tres factores de variación: sistema de cultivo (monocultivo de judía/cultivo asociado judía-maíz), enmienda del suelo (encalado/no encalado) y fertilización (0/N/inoculación con *Rhizobium etli*). En los ensayos de 2021 y 2022 los factores de variación han sido los tratamientos aplicados: 0/N/inoculación con *Trichoderma harzianum*/inoculación con *Burkholderia alba*. Además, se han estudiado las características de calidad de grano y la incidencia de plagas y enfermedades de la variedad Galaica, cultivada en campos de producción en Ribadeo y Lourenzá (Lugo, España), en 2019, por su relevancia en la producción de judía de la Indicación Geográfica Protegida (IGP) Faba de Lourenzá.

Las conclusiones de la Tesis Doctoral son las siguientes:

1. Las campañas de cultivo (que se diferencian meteorológicamente entre ellas), han tenido influencia en el ciclo biológico de las variedades de judía estudiadas, así como su genotipo, en particular el hábito de crecimiento. Sin embargo, el sistema de cultivo no ha tenido un efecto importante en el crecimiento de las plantas. Tampoco se han detectado efectos destacados relacionados con los factores de enmienda, fertilización (ausente, N y microbiota) y tratamiento con *Trichoderma harzianum*.
2. En los ensayos de judía realizados en la MBG-CSIC en los ciclos de cultivo 2019, 2020, 2021 y 2022 se introdujeron diferentes factores de variación para valorar sus efectos en el comportamiento agronómico de las cuatro variedades mejoradas estudiadas: sistema de cultivo, enmienda del suelo, fertilización e inoculación con microbiota. Aunque se detectaron respuestas a dichos factores en aspectos productivos y de nodulación, no hay una respuesta efectiva relevante en las variedades de judía estudiadas.
3. El comportamiento de las cuatro variedades de judía mejoradas genéticamente ante diversos factores ambientales ha manifestado escasos efectos de dichos factores, lo cual muestra una tendencia de estabilidad de las variedades en diferentes entornos del agrosistema y plasticidad genética suficiente para la adaptación a los mismos, a pesar de tratarse de variedades seleccionadas de una especie autógena, lo cual supone considerarlas líneas puras.
4. La calidad del grano de las cuatro variedades de judía estudiadas se ha realizado en varios años en la finca experimental de la MBG-CSIC y en 2019 en campos de producción de la zona de la IGP Faba de Lourenzá, sobre la base de caracteres cuantitativos del grano de importancia para la calidad comercial. La masa del grano, la absorción de agua en remojo y la proporción de tegumento han presentado variaciones en los distintos ensayos, siendo destacable el comportamiento de la variedad Galaica en la zona de Lugo, como resultado de su adaptación a las características ambientales de dicha zona de producción.
5. Un aspecto importante de la calidad del grano de una leguminosa es el tiempo de cocción. En esta investigación se han encontrado valores adecuados de los tiempos de cocción, en las cuatro variedades mejoradas en estudio, semejantes a los valores óptimos reportados con anterioridad en otras variedades, lo cual confirma el valor cualitativo de estas variedades.
6. La incidencia de hongos y oomicetos patógenos (*Fusarium oxysporum*, *F. solani*, *F. proliferatum*, *Rhizoctonia solani*, sp., *Alternaria* sp., y *Phytophthora* sp.) y artrópodos parásitos (*Agrotis ipsilon*, *Delia platura* y *Tetranychus* sp.) en suelos y/o plantas en la finca experimental de la MBG-CSIC, y especialmente, en los campos de producción de la Mariña de Lugo, indica una situación fitosanitaria que afecta a la zona productiva de la IGP Faba de Lourenzá, por lo cual son recomendables medidas culturales agronómicas, y fitosanitarias, para superar esta situación.
7. En comparación con muestreos anteriores realizados en el cultivo de judía en Galicia, se detecta que la diversidad de organismos fitopatogénicos ha disminuido, quizá por una mejora en las prácticas agronómicas, por la posible reducción de la sensibilidad de algunas variedades de judía a organismos patógenos o por la influencia de climatología anual.
8. En las judías inoculadas con *T. harzianum*, se detecta una floración más corta y un aumento en el contenido de Nitrógeno y Fósforo de la hoja, que podría relacionarse con una tasa fotosintética más alta. El número de vainas por planta, que es un indicador importante del rendimiento, fue alto en el caso de la inoculación conjunta con *T. harzianum* y *B. alba* y también ha habido mayor número de nódulos en la inoculación conjunta. Asimismo, la

inoculación con *T. harzianum* ha mejorado caracteres de la calidad de grano en las variedades Galaica y Matterhorn.

9. La inoculación con *R. etli* ha afectado al ciclo biológico, con una reducción en la duración de la floración, no detectándose efectos en los caracteres de productividad ni en la calidad del grano. Tampoco se ha visto afectada la nodulación ni el contenido en Nitrógeno y Fósforo de la hoja. La fertilización nitrogenada ha tenido efecto en la reducción en el número de nódulos en las raíces.
10. La identificación y el comienzo de las investigaciones sobre *Burkholderia alba* supone una de las aportaciones más relevantes de la presente Tesis Doctoral. La inoculación con esta bacteria ha tenido efectos positivos en varios de los caracteres evaluados en ensayos de campo, y, además, ha abierto un campo de investigación notable respecto a la capacidad de fijación simbiótica de nitrógeno de esta bacteria y también sobre su función biológica de promoción del crecimiento vegetal en plantas de judía.

RESUMO

O feixón (*Phaseolus vulgaris* L.) é unha especie diploide anual, predominantemente autógena, e constitúe un alimento sumamente importante xa que o seu gran seco representa a principal fonte de proteína vexetal na dieta humana en moitas partes do mundo.

O obxectivo xeral desta Tese de Doutoramento foi o estudo de variedades melloradas de feixón, en diferentes sistemas de cultivo e con diferentes tratamentos e metodoloxías agronómicas de cultivo. A finalidade é xerar novos coñecementos sobre o comportamento das variedades de feixón nestes sistemas e metodoloxías para que este coñecemento permita achegar innovacións no cultivo do feixón, sobre todo variedades con valor engadido de mercado, incluíndo aspectos fitosanitarios. Así mesmo, propóñense novas metodoloxías que permitan avances ambientais que poidan contribuír á mitigación do cambio climático. Este obxectivo xeral desenvólvese nos obxectivos operativos que seguen a continuación:

1. Determinar as características agromorfolóxicas e de calidade do gran das variedades de feixón melloradas cultivadas na MBG-CSIC (Pontevedra), en monocultivo e cultivo asociado ao millo.
2. Analizar o sistema simbiótico rizobio-faba en variedades melloradas de feixón, con diferentes tratamentos de solo (inoculación con microbiota, fertilización, pH diferente), en monocultivo e cultivo asociado ao millo, na MBG-CSIC.
3. Analizar o sistema interactivo feixón-microbiota nas variedades Galaica (España) e Matterhorn (internacional) en combinación con tratamentos químicos e biolóxicos: fertilizante nitróxeno, *Burkholderia alba* e *Trichoderma harzianum*, na MBG-CSIC.
4. Diagnosticar e valorar as principais pragas e enfermidades presentes en diferentes variedades, en campos de produción de feixón da MBG-CSIC en Pontevedra e da variedade Galaica en Lugo.
5. Estudar as características agromorfolóxicas e de calidade do gran da variedade Galaica, en campos de produción de Lugo.

As variedades de xudía foron estudadas experimentalmente nos ensaios realizados nos anos 2019 e 2020 (Andecha, Galaica, Matterhorn e Montcau) e nos anos 2021 e 2022 (Galaica e Matterhorn), na finca experimental e nos laboratorios do MBG-CSIC (Pontevedra, España), así como nos laboratorios EFA (Pontevedra, España). Estudáronse caracteres cuantitativos de plantas, raíces, vainas e grans, así como a incidencia de pragas e enfermidades. Nos ensaios de 2019 e 2020 introducíronse tres factores de variación: sistema de cultivo (monocultivo de feixón/cultivo intercalado de feixón-millo), emenda do solo (encalado/non encalado) e fertilización (0/N/inoculación con *Rhizobium etli*). Nos ensaios de 2021 e 2022 os factores de variación foron os tratamentos aplicados: 0/N/inoculación con *Trichoderma harzianum*/inoculación con *Burkholderia alba*. Ademais, estudáronse as características de calidade do gran e a incidencia de pragas e enfermidades da variedade Galaica, cultivadas en campos de produción de Ribadeo e Lourenzá (Lugo, España) en 2019, pola súa relevancia na produción de feixón Indicación Xeográfica Protexida (IXP) Faba de Lourenzá.

As conclusións da Tese Doutoral son as seguintes:

1. As campañas de cultivo (que difiren meteoroloxicamente entre elas) influíron no ciclo biolóxico das variedades de feixón estudadas, así como o seu xenotipo, en particular o hábito de crecemento. Non obstante, o sistema de cultivo non tivo un efecto significativo no crecemento das plantas. Tampouco se detectaron efectos notables relacionados con factores de emenda, fertilización (ausente, N e microbiota) e tratamento con *Trichoderma harzianum*.
2. Nos ensaios de feixón realizados na MBG-CSIC nos ciclos de cultivo 2019, 2020, 2021 e 2022 introducíronse diferentes factores de variación para avaliar os seus efectos no comportamento agronómico das catro variedades melloradas estudadas: sistema de cultivo, emenda do solo, fertilización e inoculación con microbiota. Aínda que se detectaron respostas a estes factores en aspectos produtivos e de nodulación, non existe unha resposta efectiva relevante nas variedades de feixón estudadas.
3. O comportamento das catro variedades de feixón melloradas xenéticamente ante diversos factores ambientais mostrou poucos efectos dos devanditos factores, o que amosa unha tendencia de estabilidade das variedades en diferentes ambientes do agrosistema e a suficiente plasticidade xenética para a adaptación a elas. a pesar de ser variedades seleccionadas dunha especie autógena, o que supón consideralas liñas puras.
4. A calidade do gran das catro variedades de feixón estudadas realizouse en varios anos na explotación experimental da MBG-CSIC e en 2019 en campos de produción da zona da IXP Faba de Lourenzá, en función das características das calidades do gran de importancia por calidade comercial. A masa do gran, a absorción de auga de remollo e a proporción de tegumento presentaron variacións nos diferentes ensaios, destacando o comportamento da variedade Galaica na zona de Lugo, como consecuencia da súa adaptación ás características ambientais da devandita. área.de produción.
5. Un aspecto importante da calidade do gran dunha leguminosa é o tempo de cocción. Nesta investigación, atopáronse valores adecuados dos tempos de cocción nas catro variedades melloradas obxecto de estudo, similares aos valores óptimos comunicados anteriormente noutras variedades, o que confirma o valor cualitativo destas variedades.
6. A incidencia de fungos e oomicetos patóxenos (*Fusarium oxysporum*, *F. solani*, *F. proliferatum*, *Rhizoctonia solani*, sp., *Alternaria* sp. e *Phyium* sp.) e artrópodos parasitarios (*Agrotis ipsilon*, *Delia platura* e *Tetranychus* sp.) en solos e/ou plantas da explotación experimental da MBG-CSIC, e especialmente nos campos produtivos da Mariña de Lugo, indica unha situación fitosanitaria que afecta a IXP Faba de Lourenzá, para o cal recoméndase medidas fitosanitarias para superar esta situación.
7. En comparación coas mostraxes anteriores realizadas no cultivo de feixón en Galicia, detéctase que a diversidade de organismos fitopatóxenos diminuíu, quizais por unha mellora das prácticas agronómicas, debido á posible redución da sensibilidade das variedades de feixón aos organismos patóxenos ou pola influencia da meteoroloxía anual.
8. Nos feixóns inoculados con *T. harzianum* detéctase un período de floración máis curto e un aumento do contido de Nitróxeno e Fósforo da folla, o que podería estar relacionado cunha maior taxa fotosintética. O número de vainas por planta, que é un importante indicador de rendemento, foi elevado no caso da coinoculación con *T. harzianum* e *B. alba* e tamén houbo un maior número de nódulos na coinoculación. Así mesmo, a inoculación con *T. harzianum* mellorou as características de calidade do gran nas variedades Galaica e Matterhorn.

9. A inoculación con *R. etli* afectou ao ciclo biolóxico, con redución da duración da floración, sen que se detecten efectos sobre a produtividade ou a calidade do gran. Nin a nodulación nin o contido de nitróxeno e fósforo da folla foron afectados. A fertilización con nitróxeno tivo un efecto na redución do número de nódulos nas raíces.
10. A identificación e inicio da investigación sobre *Burkholderia alba* representa unha das achegas máis relevantes desta Tese de Doutoramento. A inoculación con esta bacteria tivo efectos positivos en varios caracteres avaliados en ensaios de campo e, ademais, abriu un notable campo de investigación sobre a capacidade de fixación simbiótica de nitróxeno desta bacteria e tamén sobre a súa función biolóxica de promoción do crecemento das plantas de feixón.

SUMMARY

The common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is an annual diploid species, predominantly autogamous, and constitutes an extremely important food since its dried grain represents the main source of vegetable protein in the human diet in many parts of the world.

The general objective of this Doctoral Thesis has been the study of improved varieties of common bean, in different cropping systems and with different treatments and agronomic cultivation methodologies. The purpose is to generate new knowledge about the performance of bean varieties in these systems and methodologies so that this knowledge allows to provide innovations in bean cultivation, especially in varieties with added market value, including phytosanitary aspects. Likewise, novel methodologies are proposed that allow environmental advances that can contribute to the mitigation of climate change. This general objective is developed in the operational objectives that follow below:

1. To determine the agromorphological and grain quality characteristics of improved bean varieties grown on the experimental farm of the MBG-CSIC (Pontevedra), in monoculture and cultivation associated with corn.
2. Analyze the rhizobia-bean symbiotic system in improved bean varieties, with different soil treatments (inoculation with microbiota, fertilization, different pH), in monoculture and in intercropping with maize in the experimental farm of the MBG-CSIC.
3. Analyze the interactive bean-microbiota system in the Galaica (Spain) and Matterhorn (international) varieties in combination with chemical and biological treatments: nitrogen fertilizer, *Burkholderia alba* and *Trichoderma harzianum*, in the MBG-CSIC experimental farm.
4. Diagnose and assess the main pests and diseases present in different varieties, in bean production fields of the MBG-CSIC in Pontevedra and of the Galaica variety in Lugo.
5. Study the agromorphological and grain quality characteristics of the Galaica variety, in production fields in Lugo.

The bean varieties have been studied experimentally in the field trials carried out in 2019 and 2020 (Andecha, Galaica, Matterhorn and Montcau) and in 2021 and 2022 (Galaica and Matterhorn), in the experimental farm and in the laboratories of the MBG- CSIC (Pontevedra, Spain), as well as in the EFA laboratories (Pontevedra, Spain). Twenty-one quantitative plant, root, pod and grain characters were studied, as well as the incidence of pests and diseases. In the 2019 and 2020 trials, three variation factors were introduced: cropping system (bean monoculture/bean-maize intercropping), soil amendment (liming/non-liming) and fertilization (0/N/inoculation with *Rhizobium etli*). In the 2021 and 2022 trials, the variation factors have been the treatments applied: 0/N/inoculation with *Trichoderma harzianum*/inoculation with *Burkholderia alba*. In addition, the grain quality characteristics and the incidence of pests and diseases of the Galaica variety, grown in production fields in Ribadeo and Lourenza (Lugo, Spain), in 2019, have been studied due to its relevance in the production of beans of the Protected Geographical Indication (IGP) Faba de Lourenza.

The conclusions of the Doctoral Thesis are the following:

1. The cultivation years (which differ meteorologically between them) had an influence on the biological cycle of the bean varieties studied, as well as their genotype, in particular the growth habit. However, the cropping system did not have a significant effect on plant growth. No notable effects related to amendment factors, fertilization (absent, N and microbiota) and treatment with *Trichoderma harzianum* have been detected either.
2. In the bean trials carried out at the MBG-CSIC in the 2019, 2020, 2021 and 2022 crop cycles, different variation factors were introduced to assess their effects on the agronomic performance of the four improved varieties studied: cultivation system, soil amendment, fertilization and inoculation with microbiota. Although responses to these factors were detected in productive and nodulation aspects, there is no relevant effective response in the bean varieties studied.
3. The performance of the four genetically improved bean varieties regarding to the different environmental factors has shown few effects of these factors, which shows a trend of stability of the varieties in different environments of the agrosystem and sufficient genetic plasticity for adaptation to them. despite being varieties selected from an autogamous species, which means considering them pure lines.
4. The grain quality of the four bean varieties studied has been carried out in several years in the experimental farm of the MBG-CSIC and in 2019 in production fields in the IGP “Faba de Lourenzá” area, based on grain characteristics of importance for commercial quality. The grain weight, the absorption of soaking water and the proportion of tegument presented variations in the different trials, being notable the performance of the Galaica variety in the Lugo area, as a result of its adaptation to the environmental characteristics of such area of production.
5. An important aspect of the grain quality of a legume is the cooking time. In this research, adequate values of cooking times have been found in the four improved varieties under study, similar to the optimal values previously reported in other varieties, which confirms the qualitative value of these varieties.
6. The incidence of pathogenic fungi and oomycetes (*Fusarium oxysporum*, *F. solani*, *F. proliferatum*, *Rhizoctonia solani*, sp., *Alternaria* sp., and *Phyitium* sp.) and parasitic arthropods (*Agrotis ipsilon*, *Delia platura* and *Tetranychus* sp.) in soils and/or plants in the experimental farm of the MBG-CSIC, and especially in the production fields of Mariña de Lugo, indicates a phytosanitary situation that affects the productive area of the IGP “Faba de Lourenzá”, therefore, cropping, agronomic and phytosanitary measures are recommended to overcome this situation.
7. In comparison with previous sampling carried out in bean crop in Galicia, it was detected that the diversity of phytopathogenic organisms has decreased, perhaps due to an improvement in agronomic practices, the possible reduction in the sensitivity of some bean varieties to pathogens or due to the influence of annual weather.
8. In beans inoculated with *T. harzianum*, a shorter flowering period and an increase in the Nitrogen and Phosphorus content of the leaf is detected, which could be related to a higher photosynthetic rate. The number of pods per plant, which is an important indicator of yield, was high in the case of co-inoculation with *T. harzianum* and *B. alba* and there has also been a greater number of nodules in co-inoculation. Likewise, inoculation with *T. harzianum* has improved grain quality characteristics in the Galaica and Matterhorn varieties.

9. Inoculation with *R. etli* affected the biological cycle, with a reduction in the duration of flowering, with no effects detected on productivity traits or grain quality. Neither the nodulation nor the Nitrogen and Phosphorus content of the leaf have been affected. Nitrogen fertilization had an effect on reducing the number of nodules on the roots.
10. The identification and beginning of research on *Burkholderia alba* represent one of the most relevant contributions of this Doctoral Thesis. Inoculation with this bacterium had positive effects on several of the traits evaluated in field trials, and, in addition, has opened a notable field of research regarding the symbiotic nitrogen fixation capacity of this bacterium and also on its biological function of promotion of plant growth in bean plants.

ÍNDICE GENERAL

Los contenidos de la Tesis Doctoral se estructuran en los siguientes Apartados:

1. Introducción.

Este Apartado incluye los aspectos generales de la judía común, como especie biológica y como cultivo de importancia global. Se expone la filogenia, la domesticación y el origen de la especie, así como su evolución más allá de las áreas de origen y domesticación, como Europa. También se lleva a cabo una revisión de la judía en España y de las actuales “marcas de calidad” y se exponen los antecedentes de las investigaciones sobre judía en la MBG y aspectos fitosanitarios del cultivo.

2. Objetivos

En este Apartado se describe el objetivo general y los objetivos operativos de la investigación.

3. Materiales y metodología

En este Apartado se relacionan los materiales utilizados en las tareas de investigación y se describen las metodologías empleadas, organizados según los siguientes Sub-apartados:

Estudio agromorfológico y cualitativo de variedades mejoradas de judía, en monocultivo y cultivo asociado con maíz, y del sistema simbiótico rizobia-judía con diferentes tratamientos (inoculación, abonado, pH).

Análisis del sistema interactivo judía-microbiota en las variedades Galaica y Matterhorn con tratamientos químicos y biológicos (fertilizante nitrogenado, *Burkholderia alba* y *Trichoderma harzianum*).

Diagnóstico y valoración de las principales plagas y enfermedades presentes en diferentes variedades, en campos de producción de judía de la MBG-CSIC en Pontevedra y de la variedad Galaica en Lugo y estudio de las características agromorfológicas y de calidad de grano de la variedad Galaica, en campos de producción en Lugo.

4. Resultados

En este Apartado se describen los resultados de la investigación de la Tesis Doctoral, estructurados en varios Sub-apartados:

Estudio agromorfológico y cualitativo de variedades mejoradas de judía, en monocultivo y cultivo asociado con maíz, y del sistema simbiótico rizobia-judía con diferentes tratamientos (inoculación, abonado, pH).

Este Sub-apartado se orienta hacia el estudio del comportamiento agronómico de cuatro variedades élite o mejoradas de judía bajo diferentes condiciones, con la finalidad de

progresar científicamente en el conocimiento de este cultivo en posibles condiciones que pueden darse en diversos agrosistemas. Conceptualmente, el cultivo asociado judía-maíz ha sido una práctica frecuente en países del centro y sur de América, que se difundió posteriormente a la Península Ibérica. La mayoría de la investigación sobre cultivo asociado se ha centrado en aspectos agronómicos, rendimiento de los cultivos, densidades, control de plagas, fechas de siembra, etc., aunque el aspecto al que se le ha dado mayor importancia es el aumento del rendimiento. Esto es debido a que, en general, las variedades de judía común cuando crecen en asociación con maíz rinden menos que cuando lo hacen en cultivos puros. Es posible que las variedades que se utilicen en sistemas de cultivo asociado deban ser mejoradas específicamente para este propósito, aunque hasta ahora son muy pocos los mejoradores que han seleccionado sus variedades para estos sistemas de cultivo. La innovación que aporta la presente investigación es extender el estudio del sistema asociado al conocimiento de los efectos mayores e interacciones que pueden derivarse de la introducción en el sistema de factores agronómicos y bióticos, como la interacción con microbiota del suelo.

Análisis del sistema interactivo judía-microbiota en las variedades Galaica y Matterhorn con tratamientos químicos y biológicos (fertilizante nitrogenado, *Burkholderia alba* y *Trichoderma harzianum*).

Este Sub-apartado se orienta hacia el estudio del comportamiento agronómico de dos variedades élite o mejoradas de judía bajo diferentes condiciones, con la finalidad de progresar científicamente en el conocimiento de este cultivo en posibles condiciones que pueden darse en diversos agrosistemas. Conceptualmente, existe una tendencia hacia la reducción de agroquímicos de síntesis en la producción agraria, en particular de fertilizantes nitrogenados, debido a su impacto en el medio ambiente. Más del 60% de las emisiones de N₂O a nivel mundial provienen de cultivos en suelos agrícolas. Esta contribución se ha visto amplificada mediante la llamada “revolución verde”, que ha aumentado la presencia de nitrógeno (N) en el suelo mediante la aplicación de fertilizantes sintéticos a base de nitrógeno. La concentración atmosférica de N₂O ha aumentado progresivamente desde 1900 hasta 2020, aumento que se ha relacionado con el N aplicado como fertilizante. Recientemente se ha introducido en la producción agraria la microbiota simbiótica fijadora de nitrógeno, con el propósito de reducir la aportación de los fertilizantes nitrogenados en la agricultura, y asimismo es frecuente el uso de microorganismos promotores de crecimiento vegetal. La innovación de la presente investigación radica en el uso de la bacteria *B. alba*, no utilizada hasta el momento como fijadora de nitrógeno ni como promotora del crecimiento del cultivo, y las posibilidades científicas, agronómicas y ambientales que puede suponer en el cultivo de la judía.

Diagnóstico y valoración de las principales plagas y enfermedades presentes en diferentes variedades, en campos de producción de judía de la MBG-CSIC en Pontevedra y de la variedad Galaica en Lugo y estudio de las características agromorfológicas y de calidad de grano de la variedad Galaica, en campos de producción en Lugo.

Este Sub-apartado se orienta hacia el estudio de la incidencia de plagas y enfermedades en diversas variedades de judía y también hacia el comportamiento agronómico de la variedad Galaica en circunstancias de producción. Conceptualmente, se trata de plantear los principios para la transferencia de conocimiento científico y tecnológico al sector productivo, en particular a la IGP Faba de Lourenzá. Por ello, se realizaron seguimientos

en parcelas de agricultores, en condiciones reales de producción, con lo cual se pretende avanzar en el conocimiento del comportamiento agronómico de dicha variedad y poder proponer iniciativas y soluciones innovadoras en la producción de la variedad Galaica para la IGP Faba de Lourenzá.

5. Discusión.

En este Apartado se realiza una discusión conjunta de los resultados científicos y técnicos de los Sub-apartados incluidos en el Apartado 4.

6. Conclusiones.

En este Apartado se exponen las Conclusiones de la Tesis Doctoral.

7. Bibliografía.

En este Apartado se relaciona la Bibliografía consultada en la Tesis Doctoral.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Importancia del cultivo

La judía común (*Phaseolus vulgaris* L.) es una especie diploide anual, predominantemente autógama, y constituye un alimento extremadamente importante ya que su grano seco representa la principal fuente de proteína vegetal en la dieta humana en muchos lugares del mundo. La judía común es la legumbre más importante a nivel mundial para consumo humano directo y en muchas zonas, es la segunda fuente más importante de calorías después del maíz. Un aspecto actualmente destacado de la judía es su valor como alimento funcional debido a sus beneficios para la salud y la prevención de enfermedades humanas. De hecho, su inclusión en la dieta está relacionada con la reducción del riesgo de obesidad, diabetes, enfermedades cardiovasculares y cáncer de colon, próstata y mama (Correa 1981, Hangen y Bennink 2003, Thompson et al. 2009). Estos beneficios para la salud pueden atribuirse a su importante contenido en fibra y almidón, capacidad para regular la glucemia y la función gastrointestinal, así como a sus propiedades antioxidantes proporcionadas por la presencia de compuestos fenólicos y proteínas. Entre los principales cultivos alimentarios, la judía común muestra una gran variación fenotípica en caracteres como hábito de crecimiento, características de las semillas (tamaño, forma y color) y ciclo biológico. Esta variabilidad permite su adaptación y cultivo en una amplia gama de sistemas de cultivo y agrosistemas en América, África, Medio Oriente, China y Europa (Blair et al. 2010).

La judía se produce y consume principalmente como grano seco, aunque puede cultivarse para el aprovechamiento de sus vainas y granos frescos. Existen diversas formas de uso en fresco, así las semillas se pueden consumir en su estado verde, lo que es común en América Latina y África, las hojas como una hortaliza rica en vitamina A, en ciertas partes de África, y las vainas verdes en su estado inmaduro, con poca hebra, en América, África, Asia y Europa. Estos productos, al contrario que los granos secos, presentan un bajo contenido en proteínas y glúcidos, pero contienen vitaminas y minerales, lo cual es importante ya que en muchas partes del mundo la dieta humana es deficitaria en vitaminas (Silbernagel et al. 1991).

Tradicionalmente, en muchas áreas de producción, la judía se cultivaba asociada con maíz (*Zea mays* L.), pero esta práctica se está reduciendo y el monocultivo de judía puede volverse insostenible en algunos entornos a medida que el suelo se erosiona y aumenta la presión de plagas y enfermedades (Davis y Woolley 1993).

En 2021, la superficie mundial cosechada de judía seca fue 406911 ha, con una producción de 239607 Mg (FAO 2021). En lo que se refiere a la superficie dedicada al cultivo y a la producción de judía seca en España en 2020, los datos son los siguientes (figuras 1.1, 1.2) (Anuario de Estadística 2021):

Superficie: 9133 ha

(7860 ha en monocultivo y 1273 en cultivo asociado con maíz)

Producción: 16671 Mg

Comunidades autónomas con mayor presencia del cultivo:

Castilla y León:

Superficie: 4787 ha

Producción: 11267 Mg

Galicia:

Superficie: 1899 ha
Producción: 3896 Mg

Principado de Asturias:

Superficie: 1060 ha
Producción: 540 Mg

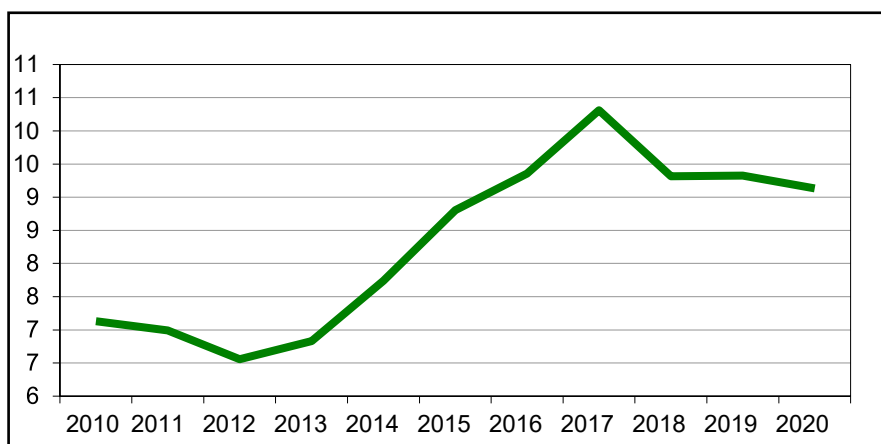


Figura 1.1. Evolución de la superficie de cultivo de judía grano en España (miles de hectáreas) (Anuario de Estadística 2021).

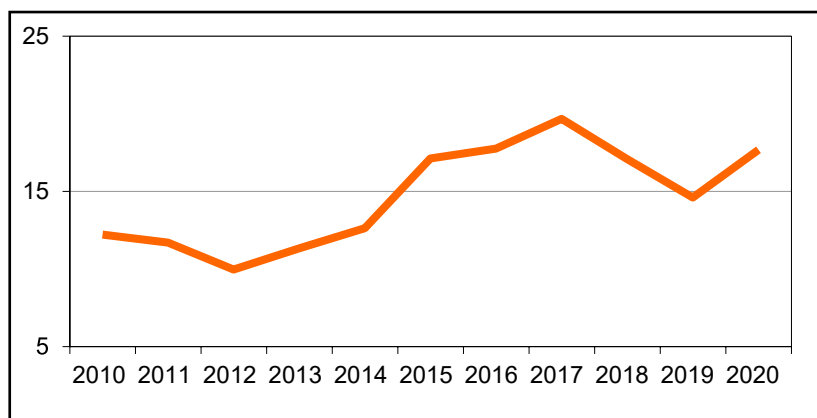


Figura 1.2. Evolución de la producción de judía grano en España (miles de toneladas) (Anuario de Estadística 2021).

1.2. Filogenia, domesticación y origen de la especie

1.2.1. Filogenia

La mayoría de las especies de *Phaseolus* se distribuyen geográficamente en Mesoamérica, por lo que se considera que el género se originó en dicha zona (Freytag y Debouck 2002, Delgado-Salinas et al. 2006) hace entre 6 y 4 millones de años (Ma) (Delgado-Salinas et al. 2006). Esto indica que el género *Phaseolus* se originó después del Mioceno tardío (~ 7 Ma, Coates et al. 2004) cuando el cierre del istmo de Panamá permitió la conexión de Mesoamérica y Sudamérica a través de un puente terrestre. Entre los ocho clados del género *Phaseolus*, el grupo *vulgaris* es el más antiguo (~ 4 Ma). Junto con *P. vulgaris* (judía común), existen otras tres especies de *Phaseolus* domesticadas que pertenecen a este grupo, *P. dumosus*, *P. coccineus*, *P. acutifolius*, siendo las especies más emparentadas con *P. vulgaris*, mientras que la otra especie domesticada, *P. lunatus*, está más lejanamente relacionada con *P. vulgaris* (Delgado-Salinas et al. 2006). En la especie *P. vulgaris* se han identificado dos acervos genéticos principales: Mesoamericano y Andino.

1.2.2. Domesticación

Las formas domesticadas de judía tienen características importantes que las distinguen de las formas silvestres, tales como reducción y pérdida de los mecanismos de diseminación, pérdida de latencia de las semillas e insensibilidad al fotoperíodo, mayor tamaño de las semillas y, en algunos casos, hábito de crecimiento determinado. El efecto principal de la domesticación fue una reducción en la diversidad genética en las formas domesticadas debido al efecto fundador (deriva genética) y la selección en los genes que controlan los caracteres de domesticación. Esta reducción se ha identificado claramente en el acervo genético domesticado Mesoamericano en varios estudios (Papa et al. 2005, Papa et al. 2007, Rossi et al. 2009, Kwak y Gepts 2009, Nanni et al. 2011, Bitocchi et al. 2013). Los mismos estudios han demostrado que, en cambio, en el acervo genético Andino el cuello de botella de la domesticación es menos evidente; en particular, Bitocchi et al. (2013) mostró una reducción en la diversidad que fue tres veces mayor en Mesoamérica en comparación con los Andes.

Existe cierto debate acerca de domesticaciones únicas o múltiples dentro de los dos acervos genéticos principales, con estudios que sugieren tanto una (Papa y Gepts 2003, Kwak y Gepts 2009, Kwak et al. 2009, Rossi et al. 2009) como múltiples (Singh et al. 1991a, b, c, Chacón et al. 2005). Sin embargo, los estudios más recientes avalan una sola domesticación, tanto en Mesoamérica como en los Andes (Bitocchi et al. 2013).

(Mamidi et al. 2011) analizaron datos de secuencias de 13 loci y establecieron los cuellos de botella de domesticación en aproximadamente 8000 y 7000 años antes del presente en los acervos genéticos Mesoamericano y Andino, respectivamente. En Mesoamérica, recientemente se han sugerido dos áreas geográficas de domesticación diferentes: la cuenca del Río Lerma-Río Grande de Santiago en el centro-oeste de México (Kwak et al. 2009) y en el Valle de Oaxaca (Bitocchi et al. 2013). De manera similar, en los Andes, Chacón et al. (2005) señalaron el centro-sur del Perú como el área geográfica donde se domesticó la especie; en contraste, otros estudios han sugerido Bolivia y el norte de Argentina (Beebe et al. 2001, Bitocchi et al. 2013).

1.2.3. Origen

Las formas silvestres de judía se encuentran desde el norte de México hasta el noroeste de Argentina, y pertenecen a los dos acervos genéticos Mesoamericano y Andino y a un tercero en el norte de Perú-Ecuador (Debouck et al. 1993, Kami et al. 1995). El Mesoamericano y el

Andino son los dos acervos genéticos principales, en los que la distribución geográfica es evidente también en las formas domesticadas, como se ha demostrado a través de estudios basados en la morfología de la planta, proteínas de semillas, aloenzimas, marcadores moleculares y datos de nucleótidos (Bellucci et al. 2014). El tercer acervo genético está constituido por poblaciones silvestres que crecen en un área geográfica pequeña en las laderas occidentales de los Andes, cuya característica distintiva es la faseolina específica (proteína principal de almacenamiento de semillas), tipo I ('Inca', Kami et al. 1995), que no se ha encontrado en los otros dos acervos genéticos principales.

Hasta hace poco, el origen más acreditado de la especie era la hipótesis del norte de Perú-Ecuador, como lo sugieren Kami et al. (1995) quienes secuenciaron una porción del gen que codifica la faseolina e informaron que el gen de la faseolina tipo I no tiene las repeticiones directas en tándem que son, en cambio, características de los tipos de faseolina mesoamericana y andina. Teniendo en cuenta que es más probable que ocurran duplicaciones, que generan repeticiones directas en tándem, que eliminaciones, que eliminan específicamente un miembro de una repetición directa en tándem, (Kami et al. 1995) sugirieron que la judía se originó de las poblaciones silvestres del norte de Perú y Ecuador y posteriormente se expandió hacia el norte (desde Colombia hasta el norte de México) y hacia el sur (desde el sur de Perú hasta Argentina).

La hipótesis alternativa plantea un origen mesoamericano para la judía. Bitocchi et al. (2012) investigaron la diversidad de nucleótidos en cinco fragmentos de genes en una amplia muestra de poblaciones silvestres de judía que eran representativas de toda la distribución geográfica de la especie. En particular, tres resultados principales apoyaron un origen mesoamericano de la especie. i) Una fuerte reducción en la diversidad genética (90 %) de las formas silvestres andinas en comparación con las mesoamericanas, lo que indica la existencia de un cuello de botella en el acervo genético andino anterior a su domesticación, ii) Se destaca una estructura poblacional clara en Mesoamérica, con cuatro grupos genéticos diferentes (B1, B2, B3 y B4) que caracterizan las accesiones de este acervo genético. El grupo B1 incluyó accesiones distribuidas en toda Mesoamérica, mientras que los otros tres grupos se caracterizaron por solo accesiones mexicanas; en particular, el grupo B2 se extendió desde el centro hasta el sur de México, siendo los B3 y B4 característicos de una amplia zona del centro de México. Tal estructura poblacional no había sido identificada antes en estudios previos, la razón principal probablemente estuvo relacionada con la naturaleza de los marcadores utilizados; de hecho, en comparación con los marcadores moleculares multilocus, los datos de secuencia son menos propensos a la homoplasia (Wright et al. 2005, Morrell y Clegg 2007), y es menos probable que se viole la suposición de que no hay recombinación y, por lo tanto, estos datos de secuencia eran muy útiles para abordar cuestiones evolutivas (Bitocchi et al. 2012, 2013). (iii) No existe una distinción clara entre los acervos genéticos mesoamericanos y andinos silvestres, lo que fue indicado por las relaciones filogenéticas entre los cuatro diferentes grupos genéticos mesoamericanos con los acervos genéticos sudamericanos.

Teniendo en cuenta todos estos datos, (Bitocchi et al. 2012) sugirieron el origen mesoamericano de la judía, siendo México la cuna más probable de la diversidad de esta especie, donde están presentes los cuatro grupos genéticos diferentes. Además, sugirieron que la judía silvestre que crece en el norte de Perú y Ecuador representa una población relictica que solo incluye una fracción de la diversidad genética de la población ancestral, con la faseolina tipo I aparentemente extinta en Mesoamérica. Este resultado fue confirmado recientemente por la resecuenciación de 60 genotipos silvestres de judía (Schmutz et al. 2014).

1.3. Evolución de la especie fuera de las áreas de origen y domesticación

La difusión de la judía común fuera de los centros de domesticación parece haber sido muy compleja y haber implicado numerosas introducciones en diferentes continentes y países. Varios de estos han sido propuestos como centros secundarios de diversificación, como Europa (Santalla et al. 2002, Angioi et al. 2010, Gioia et al. 2013), centro-este y sur de África, Brasil y China (Bellucci et al. 2014). En particular, la judía de Europa se caracteriza por una mayor frecuencia de los tipos andinos (aproximadamente 70 %) en comparación con los tipos mesoamericanos (Gepts y Bliss 1988, Gil y De Ron 1992, Logozzo et al. 2007, Angioi et al. 2010). En Brasil, (Burle et al. 2010) informaron que los tipos mesoamericanos son cuatro veces más frecuentes que los andinos. En África hay una frecuencia igual de los dos tipos (Gepts y Bliss 1988, Asfaw et al. 2009, Blair et al. 2010), mientras que China muestra un predominio de los tipos mesoamericanos (Zhang et al. 2008).

Además, una vez fuera de las Américas, no se mantuvo el aislamiento espacial entre los acervos genéticos mesoamericano y andino, lo que proporcionó un mayor potencial para su hibridación e introgresión. En Europa, este aspecto es muy importante para el cultivo de judía y su mejora genética; de hecho, su hibridación ha llevado a la recombinación de caracteres mesoamericanos y andinos que ha resultado en la producción de genotipos y fenotipos novedosos y útiles, por ejemplo, con tolerancia a estreses bióticos y abióticos (Rodiño et al. 2006, Angioi et al. 2010, Blair et al. 2010, Santalla et al. 2010). Sin embargo, varios estudios sugieren que en otros continentes la introgresión entre estos acervos genéticos parece no ser tan relevante como lo ha sido en Europa.

1.4. La judía en España

Las primeras variedades de judía común llegaron a la Península Ibérica desde Centroamérica hacia 1506 (Sauer 1966) y desde Sudamérica después de 1532, por medio de mercaderes que probablemente trajeron las semillas como una curiosidad, por sus variadas formas y colores (Brücher y Brücher 1976). Por tanto, tuvo lugar una introducción inicial de genotipos Mesoamericanos, de grano pequeño, debido al comercio que existía en aquella época con islas de América Central, y esta introducción incorporó más tarde genotipos Andinos, de grano grande, a medida que se iban explorando nuevos territorios. Este germoplasma se adaptó a nuevos ambientes, en cuanto a condiciones ambientales y sistemas de cultivo, especialmente en el N y NO de la Península Ibérica, que es el área de Europa en la que se ha encontrado una mayor variabilidad genética (Santalla et al. 2002, Rodiño et al. 2006). Actualmente el banco de germoplasma del Centro Nacional de Recursos Fitogenéticos (CRF-INIA, CSIC, Alcalá de Henares, España) posee 3500 entradas de *Phaseolus vulgaris* L. (INIA, 2023), lo que es un indicador de la variabilidad de la especie.

Después de su introducción, tuvo lugar el cultivo de variedades de ambos acervos genéticos en proximidad, en pequeñas huertas, lo que favoreció el flujo de genes entre ambos, contrario al aislamiento genético que existió históricamente en América. Esto dio lugar a una recombinación entre ambos acervos genéticos, apareciendo formas genéticamente intermedias que presentan fenotipos tanto Mesoamericanos como Andinos (Rodiño et al, 2006), y que tienen por lo tanto características que no corresponden exactamente con las descritas por Singh et al. (1991a).

Colón llamó “habas blancas” a unos granos pequeños que identificó en sus viajes a América y que corresponderían a variedades de judía de Centroamérica y que, por su forma, recordaban a las habas (*Vicia faba* L.), cuyo cultivo estaba entonces muy extendido en España. Cuando esta nueva legumbre, la judía, llega a España se extiende por el país, y también por otros países europeos, probablemente por la mayor calidad de sus granos respecto al haba y también quizá por su vistosidad, que en ocasiones llevaría a su uso estético, lúdico u ornamental, al igual que en América, dónde en muchos lugares los escolares las usan en sus juegos. Como consecuencia de este proceso, la judía es conocida en diversos lugares de España como “haba”, “habichuela” y “faba”, como recuerdo de la sustitución de cultivos.

Además, antes de las exploraciones colombinas se cultivaban en la Península Ibérica leguminosas de grano de origen afroasiático, llegadas de la mano de la expansión árabe, y que han dejado huella en la agricultura andalusí (Álvarez de Morales 2002). Entre estas legumbres destacaba la “alubia” (en árabe "lubiya", nombre procedente del griego "lobos" o "lobia"), que es la especie *Vigna unguiculata* (L.) Walp., una leguminosa cuyo cultivo es hoy muy limitado, aunque sigue siendo apreciada en algunas zonas de España, y especialmente en Portugal. En España se conoce como “caupí” (nombre derivado del inglés "cow pea") y también como judía carilla, mientras que en Portugal comúnmente es denominada “feijão frade” (Mateo Box 1961). Es lógico suponer que, al igual que el haba, la alubia fuera sustituida por la judía en los campos españoles, heredando la recién llegada judía un nuevo nombre, “alubia”, utilizado actualmente en muchos lugares de España (De Ron et al. 2003).

Existen numerosas variedades tradicionales de judía común en diferentes zonas de España, que reciben nombres locales como alubia, caparrón, faba, fréjol, feixón, garbanzo, haba, habichuela, judía, mongeta, pocha, etc. Estas variedades han tenido gran importancia en la producción agraria y en la alimentación; sin embargo, en los últimos años se ha ido abandonando su cultivo, probablemente por su escasa rentabilidad, y la demanda actual el mercado se satisface con importaciones, generalmente con baja calidad de grano. En el mercado nacional e internacional, la competitividad de las judías españolas, tiene que suponer la mejora

de la calidad comercial de las mismas, buscando un valor añadido del producto final, en comparación con la calidad de las judías importadas. Actualmente, los consumidores demandan una mayor calidad y una mejor información sobre la naturaleza, los métodos de producción y las características específicas de los productos agrícolas. Debido a ello, actualmente existen Indicaciones Geográficas Protegidas (IGPs) y Denominaciones de Origen Protegidas (DOPs) en diversas zonas de producción de España, lo cual supone un importante apoyo a la producción y al consumo de variedades locales autóctonas de judía (De Ron et al. 2016), así como el aumento del valor añadido de mercado de estas variedades. Estas marcas de calidad confirman las cualidades diferenciadas que proporcionan el medio geográfico y las condiciones agroclimáticas de la zona donde se cultivan, y están sustentadas por el vínculo histórico y por la tradición de producción, consumo y comercialización de la judía.

En las DOPs la producción, transformación y elaboración del producto deben realizarse en una zona geográfica determinada, con unos conocimientos específicos reconocidos y comprobados. El producto demostrará tener unas características que sólo son posibles gracias al entorno natural y a las habilidades de los productores de la región con la que está asociado. Todos los productos amparados por una DOP llevan el distintivo europeo.

En las IGPs el vínculo del producto con el medio geográfico sigue presente en al menos una de las etapas de producción, transformación o elaboración. Cuando el producto tenga la calidad exigida en el correspondiente pliego de condiciones llevará el distintivo europeo que avala los productos amparados por la IGP. En el caso de la judía común, existen actualmente en España las siguientes marcas de calidad (De Ron et al. 2016, MAPA 2023):

DOP Fesols de Santa Pau (GIRONA).

La Denominación de Origen Protegida “Fesols de Santa Pau” protege las semillas de judía (*Phaseolus vulgaris* L.) de las variedades tradicionales Tavella Brisa, Setsetmanera y GraPetit, secas, cocidas y en conserva, producidas en tierras volcánicas.

La zona geográfica de producción y elaboración de las judías amparadas por la Denominación de Origen Protegida corresponde a los municipios de Santa Pau (principal núcleo de producción), Castellfollit de la Roca, Les Planes d’Hostoles, Les Preses, Olot, Sant Feliu de Pallerols y Sant Joan les Fonts (todos pertenecientes a la comarca de la Garrotxa, situada en Catalunya, en el N.E. de España). La fase de cultivo queda limitada a las tierras de naturaleza volcánica. Actualmente la superficie cultivada de judías susceptible de acogerse a la Denominación es de unas 50 ha.

DOP Mongeta del Ganxet Vallès-Maresme (BARCELONA).

La Denominación de Origen Protegida protege las semillas de la judía (*Phaseolus vulgaris* L.) del tipo varietal Ganxet, secas o cocidas y en conserva.

Zona de producción: la zona geográfica de producción de las judías amparadas por la Denominación de Origen Protegida corresponde a todos los municipios de las comarcas de El Vallès Occidental y El Vallès Oriental, junto con algunos municipios de la comarca de El Maresme y de La Selva. Las cuatro comarcas señaladas pertenecen a Cataluña (NE de España).

DOP Alubia de Anguiano (LA RIOJA).

Las alubias protegidas por la denominación de origen protegida «Alubia de Anguiano» se corresponde con las semillas secas, separadas de la vaina, procedentes de la familia Fabaceae (=Papilionaceae de la sistemática clásica) de la tribu Phaseoleae, especie *Phaseolus vulgaris* L.,

que se destinan al consumo humano. Las semillas secas procederán exclusivamente de la variedad “El Encinar”.

La zona geográfica delimitada con una extensión total de 90,89 km² comprende un municipio de la Comunidad Autónoma de La Rioja situado en la comarca de La Sierra de Rioja Alta, concretamente el municipio de Anguiano, dando nombre a la denominación.

IGP Alubia de La Bañeza-León (LEÓN).

El producto amparado lo constituyen las semillas secas y separadas de la vaina de alubias (*Phaseolus vulgaris* L. subespecie Papilionaceae, leguminosa de grano para consumo humano) de las variedades locales Canela, Plancheta, Riñón Menudo y Pinta.

La zona de producción agrícola comprende las siguientes provincias y comarcas: Provincia de León: Astorga, El Páramo, Esla-Campos, La Bañeza, La Cabrera, Tierras de León; Provincia de Zamora: Benavente y los Valles.

IGP Faba Asturiana (ASTURIAS).

Judías secas, separadas de la vaina, de la especie "*Phaseolus vulgaris*, L", de la variedad tradicional "Granja Asturiana", sanas, enteras, limpias, destinadas al consumo humano.

La zona de producción está constituida por los terrenos ubicados en el territorio de la Comunidad Autónoma del Principado de Asturias. Limita al norte con el mar Cantábrico, al Sur con la provincia de León, al este con la Comunidad Autónoma de Cantabria y al oeste con la provincia de Lugo. La superficie total de producción ocupa una extensión de 2600 ha.

IGP Faba de Lourenzá (LUGO).

El producto amparado por la I.G.P. “Faba de Lourenzá” son judías secas (alubias o “fabas”) separadas de la vaina procedentes de la familia de las Fabaceas o leguminosas, especie "*Phaseolus vulgaris*, L”, de la variedad local conocida como “Faba Galaica”; sanas, enteras, limpias y destinadas a consumo humano.

El área de producción del producto amparado por la Indicación Geográfica Protegida abarca el territorio costero de la provincia de Lugo conocido por A Mariña Luguesa, comarca natural dividida administrativamente en tres comarcas: A Mariña Occidental, A Mariña Central y A Mariña Oriental.

IGP Judías de El Barco de Ávila (ÁVILA).

Judías secas separadas de la vaina procedentes de las plantas de la familia de las leguminosas, especie "*Phaseolus vulgaris*, L", de las variedades "blanca redonda", "blanca riñón", "morada larga", "morada redonda", "arrocina" "planchada" y "judión de Barco", enteras y destinadas a consumo humano.

La zona de producción se encuentra situada al suroeste de la provincia de Ávila. Limita al norte con la comarca agraria de Ávila, al este con las comarcas de Gredos y Valle del Tiétar de esta misma provincia al sur con las provincias de Toledo y Cáceres y al Oeste con las provincias de Cáceres y Salamanca. Coincide esta zona de producción con la comarca agrícola denominada Barco de Ávila-Piedrahita, extendiéndose además al pueblo de El Tejado de la provincia de Salamanca, limítrofe a esta comarca y con las mismas características agroclimáticas. Esta comarca constituye un valle limitado al sur por la Sierra de Gredos y al norte por las tierras altas de Castilla-León. La superficie dedicada al cultivo de las judías secas es de 1000 ha.

1.5. Estado fitosanitario del cultivo de la judía

En este apartado se mencionan los agentes fitopatógenos diagnosticados en Galicia en judía común, en el período 2000-2010, en la Estación Fitopatológica Areeiro de la Diputación de Pontevedra (EFA, Unidad Asociada Sistemas Agroforestales al CSIC, a través de la MBG, Pontevedra, España) (tabla 1.1) (De Ron et al. 2011), como un indicador del estado fitosanitario del cultivo

Tabla 1.1. Agentes fitopatógenos y plagas diagnosticados en Galicia en judía, en el período 2000-2010, en la Estación Fitopatológica Areeiro (De Ron et al. 2011).

ESPECIE		
Hongos y Oomicetos	<i>Alternaria</i> sp.	<i>Pythium</i> sp.
	<i>Ascochyta</i> sp.	<i>Phytophthora</i> .
	<i>Botrytis cinerea</i>	<i>Rhizoctonia solani</i>
	<i>Cladosporium</i> sp.	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>
	<i>Colletotrichum lindemuthianum</i>	<i>Sphaerotheca fuliginea</i>
	<i>Fusarium oxysporum</i>	<i>Uromyces appendiculatus</i>
	<i>Fusarium solani</i>	<i>Verticillium</i> sp.
Bacterias	<i>Pseudomonas syringae phaseolitica</i>	<i>Pseudomonas viridiflava</i>
Virus	BCMV	TSWV
	PepMV	
Nematodos	<i>Meloidogyne hapla</i>	<i>Meloidogyne incognita</i>
Insectos	<i>Acanthocelides obtectus</i>	<i>Macrosiphum euphorbiae</i>
	<i>Aphis fabae</i>	<i>Myzus persicae</i>
	<i>Bemisia tabaci</i>	<i>Phorbia (Delia) platura</i>
	<i>Frankliniella occidentalis</i>	<i>Thrips tabaci</i>
	<i>Heliothis armigera</i>	<i>Trialeurodes vaporariorum</i>
Ácaros	<i>Polyphagotarsonemus latus</i>	<i>Tetranychus urticae</i>

En relación con los hongos, han tenido incidencia especial especies de los géneros *Fusarium* spp y *Rhizoctonia* spp.

De *F. oxysporum* se han descrito más de un centenar de formas especializadas, siendo en el caso de las leguminosas, *Fusarium oxysporum* sp. *phaseoli* específico de la judía y del guisante, y *Fusarium oxysporum* sp. *ciceris* específico del garbanzo. *F. solani* puede permanecer en el suelo como saprofito sobre restos infectados, que son también una importante fuente de inóculo de *F. oxysporum*. Las clamidosporas de *Fusarium* spp. pueden sobrevivir prolongadamente en el suelo de forma inactiva, conservando su capacidad infectiva durante 5 años. La infección primaria se inicia con la germinación de las clamidosporas, estimuladas por los exudados radiculares de las plantas hospedadoras o incluso de las plantas no hospedadoras. En el caso de *F. oxysporum* la colonización vascular se inicia en la raíz y en la base del tallo por hifas delgadas, así como numerosos microconidios que, junto con el desarrollo de las hifas, facilitan la colonización sistémica de la planta. Está descrita la transmisión de ambas especies de

Fusarium a través de semilla producida por plantas infectadas, por transporte en aperos y útiles de cultivo infectados, por restos vegetales y tierra, y por agua de drenaje (Burke and Hall 2005).

Rhizoctonia solani es un hongo muy polífago que en leguminosas, si bien es capaz de producir la muerte de las semillas antes o durante la germinación también produce daños en planta y puede provocar la pudrición del tallo. *R. solani* puede sobrevivir durante muchos años en el suelo y en los tejidos vegetales produciendo esclerocios (órganos de resistencia) de forma irregular y de color marrón a negro. También sobrevive de forma saprófita como micelio al colonizar la materia orgánica como resultado de su actividad patogénica. Los esclerocios y el micelio presente en el suelo o en los tejidos de las plantas, germinan para producir las hifas, estructuras vegetativas del hongo que pueden atacar una amplia gama de cultivos. Con condiciones ambientales favorables, las hifas son atraídas a la planta por los estimulantes químicos liberados por las células vegetales en crecimiento activo o por los residuos vegetales en descomposición. Las hifas fúngicas entran en contacto con la planta y se adhieren a su superficie externa. A medida que el proceso infectivo mata a las células de la planta, la hifa continúa creciendo y colonizando el tejido muerto, formando de nuevo esclerocios, de forma que el ciclo se repetirá cuando haya nuevos sustratos disponibles. El hongo se transmite por semilla, agua de lluvia o de riego, herramientas, aperos y material infectado (Hagedorn 2005). En insectos, el díptero *Phorbia (Delia) platura* se ha detectado en numerosas ocasiones (Darvas and Kozma 1982). Se trata de un insecto muy polífago que afecta de forma importante a la judía y otras leguminosas. Los daños son causados por las larvas, que se alimentan de materia orgánica en descomposición, semillas, brotes tiernos y cotiledones, tallos de plántulas, y raíces, así como de materia orgánica en descomposición. Las mordeduras en los brotes tiernos o en los cotiledones de las plántulas antes de la emergencia originan el denominado "desorejado" o "descabezado" de estas, y el consiguiente fallo o "marra" de nascencia. Si este daño es generalizado obliga a realizar una resiembra de la parcela. Las larvas también pueden realizar galerías en los tallos y el cuello de las plantas recién emergidas, provocando su debilitamiento o su muerte prematura, según el nivel de daño. Además, las plantas atacadas que sobreviven son más susceptibles a enfermedades producidas por hongos de suelo.

Entre los ácaros, destaca *Tetranychus urticae*, la araña roja común, que es una plaga polífaga de amplia distribución que produce daños de importancia económica en muchos cultivos agrícolas, siendo hospedadores preferentes las plantas herbáceas. La judía y otras leguminosas pueden verse gravemente afectadas, tanto en cultivo al aire libre como en invernadero. No se han determinado los periodos críticos para el cultivo de leguminosas, sin embargo, los ataques en las primeras fases del cultivo pueden comprometer el desarrollo de la planta (Gómez-Bernardo et al. 2004).

Los nematodos identificados pertenecen al género *Meloidogyne* son endoparásitos sedentarios que ocasionan importantes daños en los cultivos hortícolas, entre los que se incluye la judía. Las dos especies detectadas *M. incognita* y *M. hapla* están ampliamente distribuidas en España. Se les conoce comúnmente como nematodos del nódulo, debido a las deformaciones, agallas y engrosamientos que provoca su ataque en el sistema radicular de las plantas parasitizadas.

Son parásitos obligados, polípagos y su presencia en el sistema radicular ocasiona un desequilibrio en la asimilación de nutrientes y en la absorción de agua que reducen el crecimiento de las plantas y el rendimiento final de la cosecha.

1.6. La judía en la Misión Biológica de Galicia

La investigación en judía común en la Misión Biológica de Galicia (MBG), del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC, Pontevedra, España) (MBG-CSIC), comenzó en 1987. Desde entonces se constituyó una colección internacional de germoplasma de esta especie, que en 2016 (De Ron et al. 2018) constaba de 2014 entradas de diferentes países (Europa-17, América-15, Asia-4, África-1 y Oceanía-1), además de una colección de líneas de mejora y recombinantes y una colección nuclear de 53 variedades españolas (Rodiño et al. 2003), dentro de la colección de germoplasma de la MBG-CSIC, con código FAO ESP009.

Asimismo, desde 1987, el Grupo de Leguminosas, posteriormente Grupo de Biología de Agrosistemas (BAS), ha llevado a cabo la caracterización de germoplasma de España, y de otras procedencias, así como programas de selección y mejora, que han permitido la obtención de líneas puras y familias segregantes, así como diferentes registros varietales (De Ron y Rodiño 2022).

Tras una reorganización de la MBG-CSIC en 2018, el Grupo BAS dispone, en 2023, de la siguiente colección de germoplasma de judía común:

770 variedades locales, mayoritariamente de España, con amplia representación de Portugal y Argentina, y algunas variedades de Grecia, Bolivia y Japón
46 poblaciones silvestres de Argentina
60 líneas de mejora
32 variedades comerciales

Durante estos años, además, las variedades de la colección han sido objeto especial de estudio en aspectos relacionados con la agronomía y las interacciones con el agrosistema, en particular el sistema de cultivo asociado y la simbiosis con rhizobia. Asimismo, se ha investigado la tolerancia a estreses abióticos (baja temperatura y déficit hídrico) y la incidencia de plagas y enfermedades.

En la MBG-CSIC se están estudiando actualmente diversas variedades seleccionadas de uso nacional e internacional desde el punto de vista de sus características agromorfológicas, fitopatológicas y de calidad, así como el sistema simbiótico judía – rhizobia – micorrizas - hongos benéficos para manejar/controlar microorganismos patógenos del suelo en el cultivo de judías y promover el crecimiento del cultivo. Algunas de estas variedades son el material genético objeto de estudio en la presente investigación.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general y objetivos operativos

El objetivo general de este trabajo es el estudio de variedades mejoradas de judía común, en distintos sistemas de cultivo y con diferentes tratamientos y metodologías agronómicas de cultivo. La finalidad es generar nuevo conocimiento acerca del comportamiento de variedades de judía en dichos sistemas y metodologías para que este conocimiento permita abordar innovación en el cultivo de judía, especialmente de variedades de valor añadido de mercado, incluyendo los aspectos fitosanitarios. Asimismo, se plantean metodologías novedosas que permitan avances medioambientales que puedan contribuir a la mitigación del cambio climático.

Este objetivo general se desarrolla en los objetivos operativos que siguen a continuación:

1. Determinar las características agromorfológicas y de calidad de grano de variedades mejoradas de judía cultivadas en la finca experimental de la MBG-CSIC (Pontevedra), en monocultivo y cultivo asociado con maíz.
2. Analizar el sistema simbiótico rizobia–judía en variedades mejoradas de judía, con diferentes tratamientos del suelo (inoculación con microbiota, abonado, diferente pH), en monocultivo y cultivo asociado con maíz, en la finca experimental de la MBG-CSIC.
3. Analizar el sistema interactivo judía-microbiota en las variedades Galaica (España) y Matterhorn (internacional) en combinación con tratamientos químicos y biológicos: fertilizante nitrogenado, *Burkholderia alba* y *Trichoderma harzianum*, en la finca experimental de la MBG-CSIC.
4. Diagnosticar y valorar las principales plagas y enfermedades presentes en diferentes variedades, en campos de producción de judía de la MBG-CSIC en Pontevedra y de la variedad Galaica en Lugo.
5. Estudiar las características agromorfológicas y de calidad de grano de la variedad Galaica, en campos de producción en Lugo.

3. MATERIALES Y METODOLOGÍA

3.1. Estudio agromorfológico y cualitativo de variedades mejoradas de judía, en monocultivo y cultivo asociado con maíz, y del sistema simbiótico rizobia-judía con diferentes tratamientos (inoculación, abonado, pH) (Objetivos 1 y 2)

3.1.1. Localización de la finca experimental de la MBG-CSIC

El trabajo se realizó en la finca experimental de la Misión Biológica de Galicia (MBG-CSIC) situada a 20 m de altitud, latitud 42° 26' N y longitud 08° 38' O, de 10 ha de extensión, ubicada en Salcedo – Pontevedra, España. El ensayo experimental se realizó de Mayo a Octubre en los años 2019 y 2020 en la parcela Huerta II.

El análisis de suelo se realizó en la Estación Fitopatológica Areeiro (Pontevedra, España) y los datos del mismo se muestran en la tabla 3.1. Es un suelo ácido (pH 4,4 – 4,6) derivado del granito o esquisto con texturas franco-arenosas, clasificado como Cambisol Húmico según la FAO (1991). Se determinaron las propiedades químicas utilizando procedimientos estándar en muestras de suelo. La acidez de cambio (cmol(+)/kg) se ha corregido mediante el encalado con una enmienda de caliza magnésica granulada (30% CaO + 7% MgO).

Tabla 3.1. Análisis del suelo de la parcela Huerta II.

PARAMETRO	VALOR
pH H ₂ O	5,7
pH KCl	4,5
% Materia orgánica	4,1
Acidez de cambio (cmol (+) /kg)	n.d.
Fosforo disponible (ppm)	140
Potasio asimilable (ppm)	188
Magnesio cambiante (ppm)	54
Conductividad eléctrica 1:5 (mmho/cm)	n.d.
Cationes del complejo del cambio (cmol (+) /kg)	
Ca ²⁺ 3,40	Mg ²⁺ 0,43
Na ⁺ 0,13	K ⁺ 0,47
Al ³⁺ 0,70	Intercambio catiónico 5,13
Ca/Mg 8,00	K/Mg 1,1
Ca:Mg:K 79:10:11	

3.1.2. Material biológico

3.1.2.1. Judía

Se han utilizado cuatro variedades de judía, tres de España, de enrame que representan marcas de calidad de diferenciada de judía con Denominación de origen Protegida (DOP) o Indicación Geográfica Protegidas (IGP), y una variedad internacional de porte erecto, como sigue a continuación.

- Indicación Geográfica Protegida (IGP) “Faba de Lourenzá”. La producción se basa en la variedad comercial protegida “Galaica” (variedad vegetal 20170135, BOE 2018) (Rodiño y De Ron 1998, Rodiño et al. 1998), perteneciente a la clase comercial “Favada” (Santalla et al. 2001) del acervo genético Andino, con porte indeterminado trepador (hábito IV, CIAT 1983), grano blanco de tamaño muy grande (aprox. 90 g 100 semillas⁻¹) y ciclo vegetativo muy tardío (figura 3.1).

- IGP “Faba Asturiana”. La variedad comercial “Andecha” (variedad vegetal 19890057) es considerada como el prototipo comercial de “faba granja” (Ferreira et al. 2007). Tiene semilla recta alargada de color blanco y extra-grande (100 g 100 semillas⁻¹). Pertenece a la clase comercial “Favada”, del acervo Andino, y tiene hábito de crecimiento indeterminado trepador, tipo IV (CIAT 1983) (figura 3.1).
- Denominación de Origen Protegida (DOP) “Mongeta del Ganxet”. La variedad de judía denominada “Montcau” (variedad vegetal 20050133) pertenece a la clase comercial “Hook”, del acervo Mesoamericano, es de crecimiento indeterminado y ciclo vegetativo muy tardío. Su grano es blanco de tamaño mediano-grande (aprox. 50 g 100 semillas⁻¹) y de forma fuertemente arriñonada (Casañas et al. 1998) (figura 3.1).
- La variedad Matterhorn es tolerante a la sequía y a algunas enfermedades como grasa de la judía o bacteriosis de halo (*Pseudomonas syringae* pv *phaseolicola*) y al virus del mosaico común (BCMV y BCMNV (Kelly et al. 1999, Urrea et al. 2009, Rodiño et al. 2010). Es de origen Mesoamericano y es una variedad de reconocido uso internacional por sus destacadas características agronómicas. Tiene grano blanco de tamaño mediano (aprox. 40 g 100 semillas⁻¹) y hábito de crecimiento indeterminado tipo II (CIAT 1983) (figura 3.1).



Figura 3.1. Variedades utilizadas en el ensayo de la MBG-CSIC.

3.1.2.2. Rizobia

Se ha utilizado en el presente ensayo experimental una especie de *Rhizobium*, una bacteria fijadora de nitrógeno simbiótica que habita en el suelo y que es el principal nodulador de la judía común, *Rhizobium etli* CFN 42 (Segovia et al. 1993, Lloret y Martínez-Romero 2005, Quinto et al. 2014, Wang et al. 2019). Esta cepa tiene una importancia agronómica considerable en la producción de judía.

3.1.2.3. Maíz

En los ensayos de campo se utilizó la variedad local Tui (figura 3.2), procedente del sur de la Provincia de Pontevedra (De Ron 1987) y que ha sido sometida a selección masal en la MBG-CSIC para estabilizar sus características fenotípicas. Esta variedad de maíz se ha usado para el cultivo asociado y también para separar los distintos tratamientos que se han realizado en las parcelas de cultivo.



Figura 3.2. Mazorcas de la variedad de maíz Tui usada en el experimento.

3.1.3. Equipamiento de laboratorio

- Balanza de precisión Sartorius BP 110S
- Balanza Mettler PM 600
- Balones Kjeldahl
- Cabina de flujo laminar PENTA TL 2460
- Calibrador digital Mitutoyo
- Canaleta graduada
- Cocidímetro
- Congelador (-20°C)
- Espátula
- Espectrofotómetro
- Estufa de secado por aire Selecta 374 A
- Frigorífico (5°C)
- Matraces aforados
- Medidor de humedad Dickey John,; Multi grain (figura 3.3)
- Medios de cultivo
- Microscopio
- Molinillo
- Papel de filtro
- Placas con pocillos
- Placas Petri
- Reactivos de laboratorio
- Tubos de digestión/ensayo

3.1.4. Equipamiento de campo

- Desgranadora eléctrica Hege 16 (figura 3.4)
- Fertilizantes y productos fitosanitarios
- Malla antihierbas de suelo
- Mochila y carretilla pulverizadora
- Sembradores manuales
- Sistema de riego por goteo
- Tractores y útiles de laboreo
- Tutoros de hierro galvanizado



Figura 3.3. Medidor de humedad Dickey John, Multi grain.





Figura 3.4. Desgranadora eléctrica Hege 16. Figura superior: tolva de vertido de vainas y cóncavo de desgranado. Figura inferior: vista general del equipo.

3.1.5. Diseño experimental

El diseño experimental elegido es el de parcelas divididas (Cochran y Cox 1990, Badii et al. 2007), un tipo especial de diseño de bloques completos que suele utilizarse en experimentos factoriales. Se ha planteado un diseño en parcelas divididas con dos repeticiones y en dos años diferentes, con diferentes tratamientos:

- Parcela principal (2): sistema de cultivo (monocultivo y cultivo asociado con maíz)
- Parcela secundaria (2): enmienda del suelo (encalado y no encalado)
- Parcela terciaria (3): tipo de fertilización (control 0, Nitrógeno y *Rhizobium*) (figura 3.5).

Los tratamientos y los sistemas de cultivo se consideraron factores fijos y los ambientes han sido considerados factores aleatorios. Respecto al número de repeticiones, debe ser suficiente para asegurar un control de la variación ambiental (Cochran y Cox 1957), aunque puedan verse afectadas por el tamaño de la muestra (Márquez-Sánchez y Hallauer 1970).

Respecto al número de plantas que deben ser suficientes para representar la variedad (Camussi 1979), se emplearon parcelas de 15 golpes con dos granos por golpe (30 plantas), separados 25 cm entre plantas y 80 cm entre surcos. En las parcelas de cultivo asociado judía-maíz, el maíz fue sembrado con tres semanas de anticipación a la siembra de judía dentro de una misma fila y la densidad de siembra fue de 50000 plantas/ha.

3.1.6. Labores culturales

Se realizaron diversas labores preparatorias en la parcela Huerta II de la MBG-CSIC:

Preparación del terreno: se realizó una labor con grada de discos, una labor ordinaria de arado (25-30 cm de profundidad) y una labor con fresadora (figura 3.6).

Encalado: esta labor se realizó antes de la siembra, aplicándose una enmienda de caliza magnésica granulada (caliza magnésica y caliza dolomítica) que contiene 30% de Óxido de Calcio y 7% de Óxido de Magnesio. Se aplicaron 15 kg cada 100 m².

Siembra: las fechas de siembra fueron: la siembra del maíz se realizó el 14 de mayo de 2019 y el 1 de junio de 2020; la siembra de la judía fue el 04 de junio de 2019 y el 16 de junio de 2020. Ambas siembras se realizaron con sembradores manuales. Cada parcela experimental fue señalizada con estaquillas y etiquetas con el número de parcela para su identificación.

Labores de cultivo: se colocó en el suelo una cobertura de malla antihierbas para el control de malezas en el ensayo.

Abonado: en el ensayo hay tres tratamientos de abonado, uno de control (0), otro con nitrógeno (N) (OSMOFORM NXT 22-5-11+2Mg+TE) y otro con *Rhizobium etli* (R). Se realizó la inoculación de la semilla con *Rhizobium etli* en el momento de la siembra, repitiéndose a las cuatro semanas con inóculo líquido en las parcelas correspondientes. También se realizó la aplicación de nitrógeno a las parcelas con dicho tratamiento. La aplicación del fertilizante fue de 6 g de N en el monocultivo y de 12 g para el cultivo asociado (judía-maíz) en el momento de la siembra.

Riegos: se aplicaron 5 riegos para evitar marchitez/estrés por agua de las plantas del ensayo. El suministro del sistema de riego por goteo es de 1,780 L/h.

Tratamientos fitosanitarios: se realizaron aplicaciones para el control de plagas del suelo (*Agrotis sp.*) con el insecticida deltametrin, sustancia activa perteneciente al subgrupo químico de los piretroides (Decis) en dosis de 0,5 L/ha. Para el control de pulgones como *Aphis fabae* y la mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*) se aplicó el piretroide de tercera generación Lambdacihalotrin (Karate Zeon) en dosis de 15 ml/100 l. También se hicieron aplicaciones de un insecticida orgánico a base de jabón potásico. Cuando las plantas mostraban algún problema fitosanitario se enviaban a la Estación Fitopatológica Areiro para su análisis.

Cosecha: la cosecha se realizó en el mes de octubre de 2019 y noviembre de 2020 y el grano se llevó al laboratorio para continuar el procesamiento postcosecha y la posterior toma de datos.

			Enmienda				Maíz	No enmienda			
Cultivo Asociado	Nada	Repetición I	1	2	3	4	Maíz	1	2	3	4
		Repetición II	1	2	3	4		1	2	3	4
		Maíz				Maíz					
		Maíz				Maíz					
	Nitrogeno	Repetición I	1	2	3	4		1	2	3	4
		Repetición II	1	2	3	4		1	2	3	4
		Maíz				Maíz					
		Maíz				Maíz					
	Rizobium	Repetición I	1	2	3	4		1	2	3	4
		Repetición II	1	2	3	4		1	2	3	4
		Maíz				Maíz					
		Maíz				Maíz					
Monocultivo	Nada	Repetición I	1	2	3	4	1	2	3	4	
		Repetición II	1	2	3	4	1	2	3	4	
		Maíz				Maíz					
		Maíz				Maíz					
	Nitrogeno	Repetición I	1	2	3	4	1	2	3	4	
		Repetición II	1	2	3	4	1	2	3	4	
		Maíz				Maíz					
		Maíz				Maíz					
	Rizobium	Repetición I	1	2	3	4					
		Repetición II	1	2	3	4					

Figura 3.5. Esquema del diseño experimental de los tratamientos. 1 (Galaica), 2 (Andecha), 3 (Montcau) y 4 (Matterhorn).



Figura 3.6. Preparación del terreno.

3.1.7. Caracteres estudiados

Planta

- Inicio de floración

Número de días desde la germinación hasta que el 50% de las plantas tienen flor.

- Final de floración

Número de días desde la germinación hasta que el 50% de las plantas ya no tienen flor.

- Duración de la floración

Número de días desde el inicio de floración de las plantas hasta que el 50% de las plantas han parado de florecer.

$$\text{DIAFLO} = \text{FINFLO} - \text{INIFLO}$$

- Masa fresca aérea

Se cortaron las plantas a ras de suelo en el momento de plena floración y se pesó la parte aérea (g planta^{-1})

- Masa seca aérea

Para el peso de la materia seca aérea por planta (g planta^{-1}) se secaron a $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 2 días (Bouhmouch et al. 2005).

- Número de vainas por planta

Se contaron las vainas existentes en cada parcela experimental que tuvieran al menos un grano y se dividió por el número de plantas que al menos tuviese una vaina.

- Rendimiento de grano por planta

En el momento de la cosecha se tomó el peso de grano por parcela. Son los gramos de grano que hay en cada parcela

- Rendimiento de grano por hectárea

Posteriormente se ajustó el rendimiento a un 14% de humedad, para luego convertirlo a kilogramos por hectárea. El ajuste de rendimiento del grano se realizó con la fórmula propuesta por el CIAT (1991).

Fórmula para determinar el rendimiento de la parcela:

$$R = \frac{P_i \cdot 100 - \%H}{86}$$

R = rendimiento del grano de judía

P_i = peso inicial de la muestra con la humedad de la cosecha

%H = porcentaje de humedad de cosecha evaluado con un medidor de humedad (Dickey John, Multi grain).

86 = resultado de restarle 14% de ajuste al 100%

Raíz

- Masa fresca raíz

Para calcular la materia fresca radicular por planta (g planta^{-1}), una vez cortada la planta a ras de suelo, se extrajo la raíz (con cuidado de no romperla o perder los nódulos). Después de extraer y contar los nódulos, la raíz se pesó (Ehlers et al. 1991).

- Masa seca raíz

Para calcular la materia seca radicular por planta (g planta^{-1}) la raíz se secó a $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 2 días y se pesó (Ehlers et al. 1991).

- Número de nódulos

Se extrajeron los nódulos de la raíz y se contaron 45 días después de la siembra, que es cuando coincide con plena floración de la planta, y que es el momento de máxima expresión de la

simbiosis. Se determinó el número de nódulos efectivos que presenten un color interno rojo o rosado.

- **Masa fresca nódulos**

- La materia fresca nodular por planta (g planta^{-1}) se determinó una vez contados los nódulos, y pesados (Bouhmouch et al. 2005).

- **Masa seca nódulos**

La materia seca nodular por planta (g planta^{-1}) se determinó una vez contados los nódulos, secados a $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 2 días y pesados (Bouhmouch et al. 2005).

Grano

- **Número de granos por vaina**

Se eligieron cinco vainas al azar en cada parcela. Se contaron los granos existentes en cada vaina, sin contabilizar los granos abortados, y se tomó como valor de la parcela la media de los cinco valores.

- **Longitud de grano**

Media de la longitud de 10 granos expresada en milímetros.

- **Anchura de grano**

Media de la anchura de los 10 granos expresada en milímetros. Se ha considerado la anchura como la dimensión tomada desde el hilum de la semilla hasta su parte opuesta.

- **Grosor de grano**

Media del grosor de los 10 granos expresada en milímetros. Se ha considerado el grosor como la dimensión tomada por la parte media de la semilla, con el hilum en posición frontal.

- **Masa de 10 granos**

Se ha tomado la masa de 10 granos, expresada en gramos.

- **Absorción de agua del grano**

La masa de una muestra de 10 granos tras un período de 18 horas de inmersión en agua, a temperatura ambiente, y posterior eliminación del exceso de agua no absorbida por el grano, expresada en gramos (Quenzer et al. 1978).

$$* \text{ Absorción de agua (\%)} = \frac{(\text{Masa en remojo} - \text{Masa seca}) \times 100}{\text{Masa seca}}$$

- **Masa del tegumento del grano**

La media de la masa de los tegumentos de 10 granos expresadas en gramos. Los granos se sumergieron en agua a temperatura ambiente durante 18 horas (Korban et al. 1981) para facilitar la separación del tegumento del resto de grano. Posteriormente, el tegumento se sometió a un proceso de secado durante 24 h en una estufa a una temperatura de $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

- **Masa de los cotiledones**

La media de la masa de los 10 granos sin piel expresada en gramos. Los granos se sumergieron en agua a temperatura ambiente durante 18 horas (Korban et al. 1981) para facilitar la separación del tegumento del resto de grano. Posteriormente, el grano se sometió a un proceso de secado durante 24 h en una estufa a una temperatura de $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

- **Proporción de tegumento**

La proporción de tegumento se calcula con la siguiente fórmula:

$$* \text{ Proporción de tegumento(\%)} = \frac{\text{Masa tegumento} \times 100}{\text{Masa tegumento} + \text{Masa cotiledones}}$$

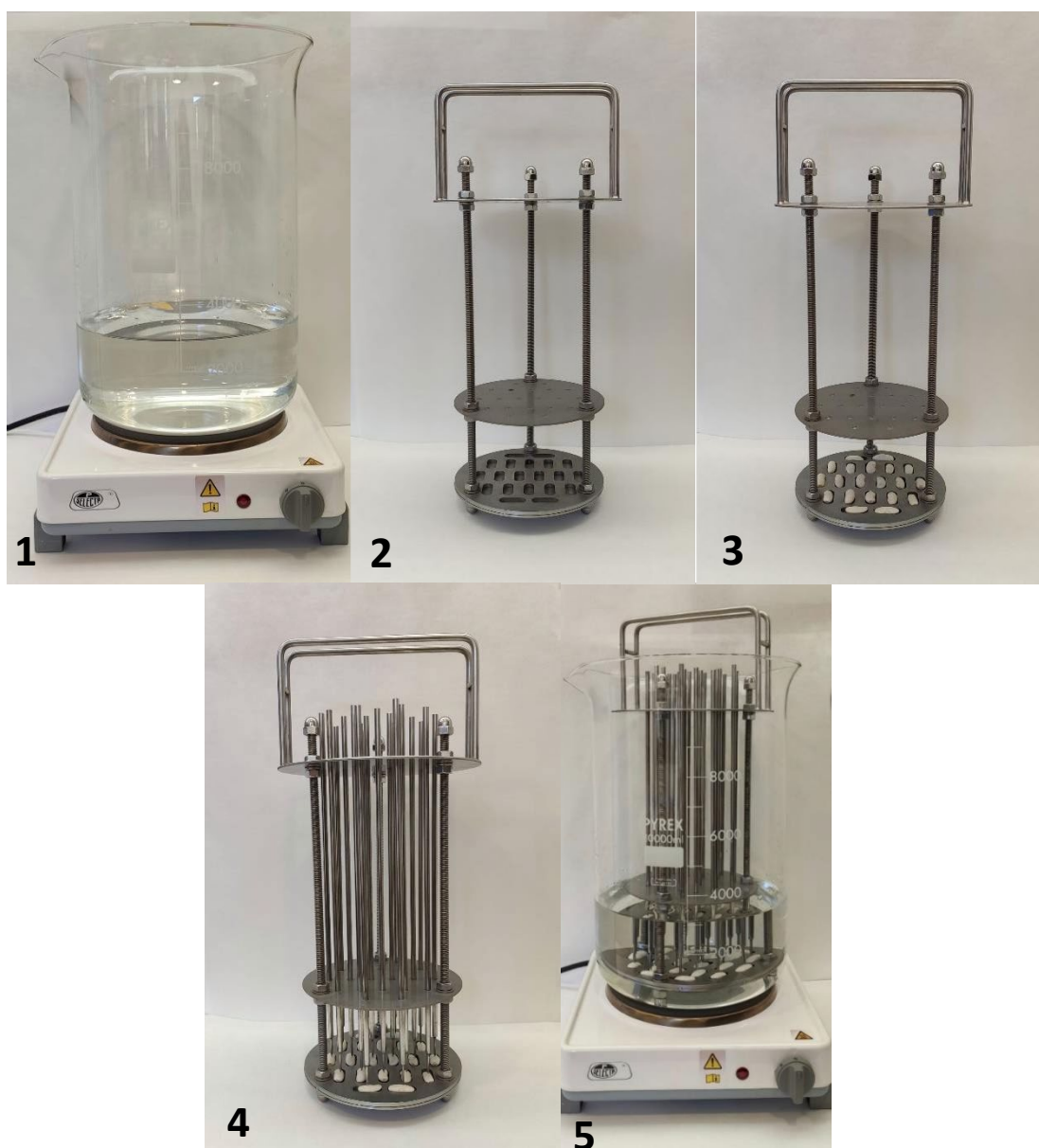


Figura 3.7. Proceso de cocción en el cocidímetro utilizado en la MBG-CSIC. 1) Vaso de precipitados con agua destilada y placa calefactora. 2) Estructura metálica del equipo, y placa con 20 cavidades. 3) Colocación de 20 granos de judía remojados en las cavidades de la placa. 4) Colocación de las 20 agujas sobre cada uno de los granos. 5) Introducción del cocidímetro en el vaso de precipitados con agua, para la cocción.

- Tiempo de cocción y dureza del grano

Las características de las semillas que influyen en su cualidad culinaria son tiempo de cocción y dureza del grano. Estos caracteres se determinaron mediante un prototipo de un modelo de utilidad de un cocidímetro diseñado en la Misión Biológica de Galicia (De Ron et al. 2023) basado en un tipo genérico Mattson (Jackson y Varianno-Marston 1981) (figura 3.7). El

cocidimetro que se usó estaba formado por una placa de acero con 20 cavidades. En esta placa se colocan 20 semillas, que se remojaron previamente durante 16 horas, y se situaron 20 varillas de acero del mismo peso (40 g) sobre las semillas en las cavidades de la placa y se colocó todo el sistema en un vaso de precipitados Pyrex con agua destilada y se llevó a ebullición. Se registró el tiempo de inicio de ebullición y se redujo la intensidad de la placa calefactora con calor suficiente para mantener la ebullición lenta durante todo el período de cocción. El número de varillas que van penetrando en las semillas se contaron a intervalos de 10 minutos hasta que todas las varillas penetraron en las semillas. Se ha considerado que el tiempo de cocción corresponde al 80 % de las varillas (16) introducidas en los granos.

3.1.8. Preparación del inóculo e inoculación

El estudio de la simbiosis judía-rizobia se realizó durante los dos años de ensayos, 2019 y 2020. Al realizar una revisión de los antecedentes de los análisis proporcionados por la Estación Fitopatológica Areeiro se confirmó que no había presencia de rizobios en los suelos de la parcela de la MBG-CSIC usada en este ensayo. Para la inoculación de las semillas se usó la cepa bacteriana de referencia internacional *Rhizobium etli* CFN42. Las cepas puras se sembraron en placas Petri con medio YMA (Yeast Manitol Agar) y se incubaron a 25°C durante 3 días. Con un hisopo se extrajeron las colonias y se disolvieron en agua destilada a una concentración de 10^8 células/ml. La concentración se determina midiendo la turbidez con un espectrofotómetro. Antes de inocular las semillas, estas se lavaron con una solución de lejía al 10% (5,25 % sodio hipoclorito) para evitar una posible contaminación. Las semillas, una vez inoculadas, se guardaron en una bolsa de polietileno para que conservasen la humedad. Las bolsas se guardaron en un lugar fresco y evitando la radiación solar. Las semillas no inoculadas se sembraron en primer lugar para evitar la contaminación con las cepas de las demás parcelas.

3.1.9. Análisis de Nitrógeno y Fósforo

Para el análisis de Nitrógeno y de Fósforo se colectaron las hojas de las plantas de judía, se secaron (70°C durante dos días) y después se trituraron. Se guardaron en tubos de plástico, en un ambiente fresco y seco. Estas son las muestras con las que se hizo la digestión del tejido y la determinación del Nitrógeno y el Fósforo.

3.1.9.1. Digestión de las muestras vegetales

- Preparación de las muestras para la digestión:

Para el proceso de la digestión se pesaron 0,3 g de muestra vegetal (hoja seca) triturada, que se envolvieron en forma de bolita en un papel de fumar (marca OBC), y este paquete se colocó en el tubo de digestión. Todas las muestras se colocaron en gradillas especiales de acuerdo a la capacidad del digestor. Cada tubo fue codificado o enumerado para identificar el tratamiento al que corresponde.

- Preparación de la mezcla de digestión:

La mezcla de digestión se preparó añadiendo 0,42 g de Se y 14 g de $\text{Li}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ en 350 ml de H_2O_2 y se mezcló. Posteriormente se añadió despacio 420 ml de H_2SO_4 concentrado, manteniéndolo frío. Esta mezcla se conservó a 2°C durante un máximo de 3 semanas. Se agregaron 4,4 ml de la mezcla de digestión a los tubos de digestión con una pipeta dosificadora. También se prepararon dos testigos o blancos (4,4 ml de mezcla de digestión sin muestra vegetal). Se colocaron los tubos en el bloque de digestión y se calentaron a baja temperatura, a 150°C hasta que la reacción inicial disminuya (aproximadamente 15 min). Después se subió la temperatura a 330°C y se continuó con la digestión durante 120 min (figura 3.8). La digestión

finalizó cuando el líquido se volvió incoloro o amarillo pálido. Posteriormente, se quitaron los tubos de digestión del bloque calefactor y se dejó enfriar unos 15 min. A este proceso de digestión se agregaron, aproximadamente, 40 ml de agua destilada y se mezcló bien. Cuando el líquido ya está frío se hizo un enrasado a 100 ml y se cerró con parafilm. Todo este proceso se realizó en una campana de extracción. Este extracto de muestra producto de la digestión, se diluyó nuevamente para la determinación de N y P en microplacas y así evitar interferencias con los reactivos a bajo pH, para lo cual la muestra se vierte en una probeta de 100 ml, y se enrasa a 100 ml (Walinga et al. 1995).



Figura 3.8. Digestión de las muestras vegetales.

3.1.9.2. Determinación de Nitrógeno en hojas por colorimetría (indophenol blue method).

Reactivos:

- Reactivo citrato: disolver 5 g de citrato trisódico ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y 2 g de NaOH en 100 ml de agua destilada.
- Reactivo salicilato: disolver 7,813 g de salicilato sódico y 0,125 g de sodio pentacianonitrosotrihidrato ($\text{Na}_2\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$) en 100 ml de agua destilada. Mantener protegido de la luz, renovar mensualmente.
- Reactivo hipoclorito: disolver 1 g de fosfato sódico (Na_3PO_4), 2 ml de NaOH 2M y 10 ml de hipoclorito sódico en 100 ml de agua destilada. Renovar antes de una semana.
- Solución estándar de amonio (1000 ppm): disolver 3,8209 g de NH_4Cl en 1 L de agua destilada (guardar en nevera).
- Preparación de los patrones antes de su utilización: se tomó el volumen indicado de solución estándar y enrasado a 100 ml.

Procedimiento (Sims et al. 1995) (figura 3.9):

- Los pocillos A1 y B1 de la placa son testigos con 250 µl de agua destilada (sin reactivos).
- Añadir 75 µl de los patrones (en vertical y por duplicado) de 1, 2, 4, 6, 8 y 10 ppm de amonio y un blanco con 75 µl de agua destilada (blanco con reactivos).
- Añadir 75 µl de muestra en cada pocillo.
- Añadir 100 µl de agua destilada.
- Añadir 75 µl de reactivo de citrato + salicilato (1 parte de citrato y 2 de salicilato).
- Añadir 25 µl de reactivo de hipoclorito.
- Incubar la placa cubierta durante 45 min y leer absorbancia a 650 nm.

Cálculos:

$$C(\text{mg N / ghoja}) = c / \text{pesomuestra}$$

c: concentración de N (ppm) en el pocillo = $\text{ABS} * b + a$

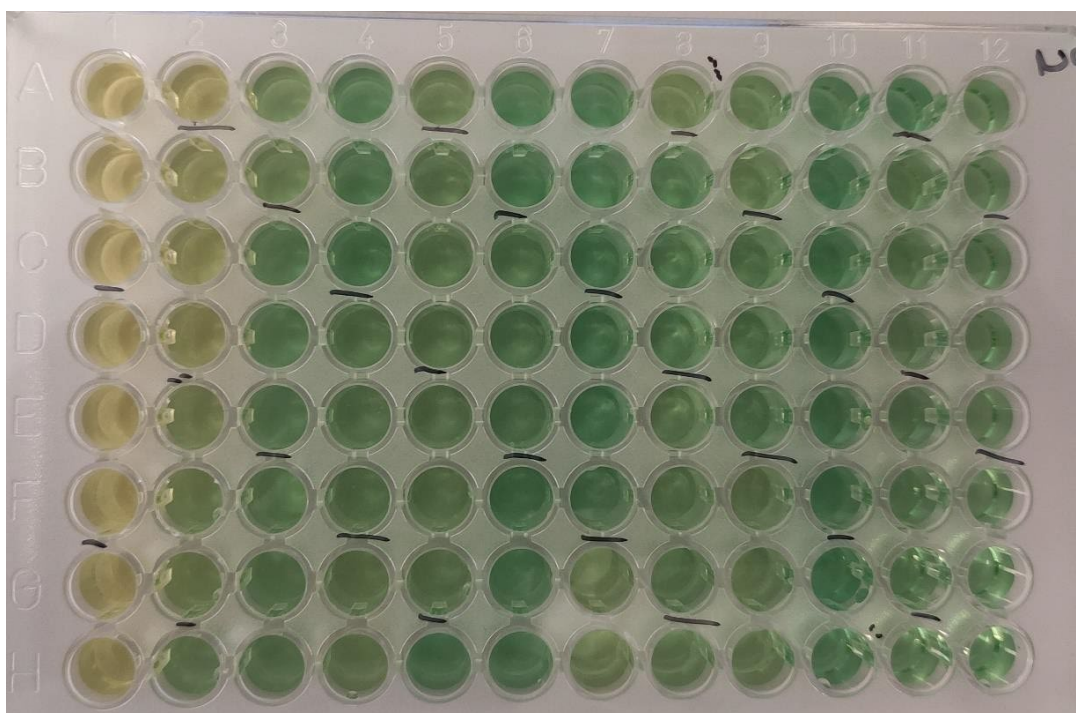


Figura 3.9. Determinación de Nitrógeno por colorimetría.

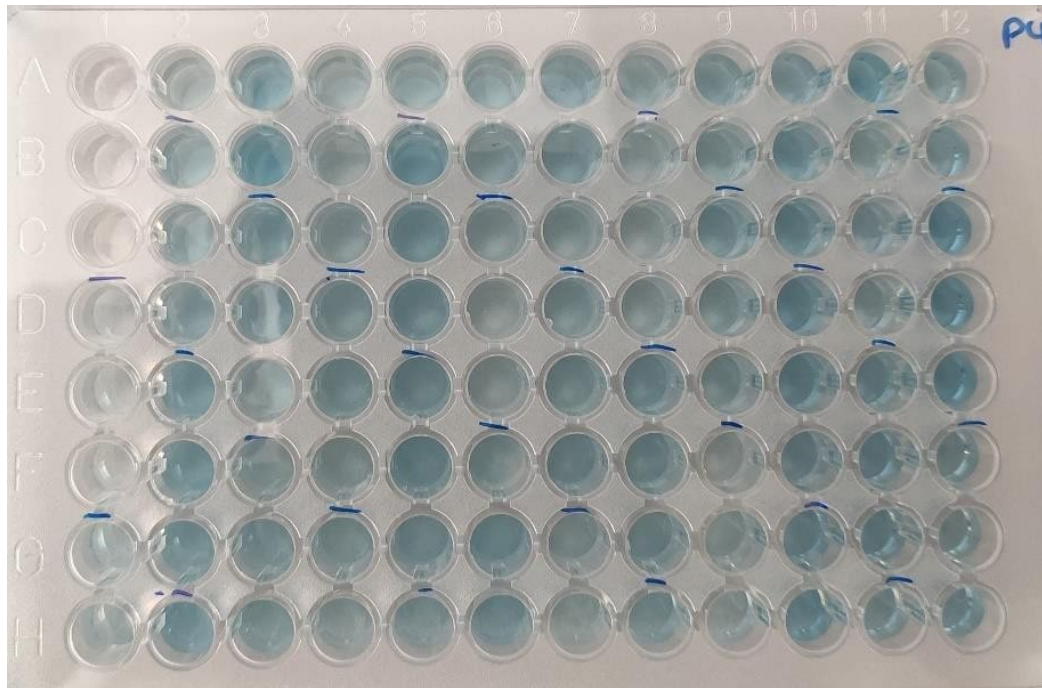


Figura 3.10. Determinación de Fósforo por colorimetría.

3.1.9.3. Determinación de Fósforo en hojas por colorimetría (*molybdenum blue method*)

Reactivos:

- Solución estándar (100 mg P/ L): disolver 0,4393 g de KH_2PO_4 en agua y enrasar a 1 L.
- Estándar de trabajo (2 mg P/ L): tomar 2 ml de la solución estándar en un matraz de 100 ml y enrasar a volumen.
- Reactivo de molibdato amónico – ácido sulfúrico: disolver 25 g de molibdato amónico en 200 ml de agua destilada, (puede que sea necesario calentar). Cuidadosamente añadir 280 ml de sulfúrico concentrado en 400 ml de agua destilada, mezclando y enfriando. Añadir la solución de molibdato amónico en la solución ácida. Mezclar y enfriar.
- Reactivo de cloruro de estaño: disolver 0,1 g de $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ en 50 ml de HCl al 2% v/v (pipetear 1 ml de HCl y enrasar a 50 ml). Preparar inmediatamente antes de su uso.

Procedimiento (Allen et al. 1986) (figura 3.10):

- Preparar patrones con 0, 5, 10, 15, 20 y 25 ml del estándar de trabajo en matraces aforados de 50 ml.
- Poner en cada cubeta 200 μl de muestra.
- Añadir 10 μl de molibdato amónico.
- Añadir 10 μl de cloruro de estaño.
- Incubar la placa cubierta durante 30 min y leer absorbancia a 700 nm.

Cálculos:

$$C(\text{mg N / ghoja}) = c / \text{pesomuestra}$$

C: Concentración de N (ppm) en el pocillo = ABS* b + a

3.1.10. Análisis estadístico de los datos

Se llevó a cabo un diseño Split-plot (parcelas divididas): los esquemas de tratamiento se asignan aleatoriamente a 12 + 2 plots, cada uno de los cuales se dividirá a su vez en 8 parcelas, a las que se asignará de manera aleatoria una variedad y una réplica. En cada una de las parcelas, se repetirán las mediciones en el año 1 (2019) y en el año 2 (2020). Dado que algunas de las variables respuesta es de conteo y no cumple las asunciones necesarias para ajustar un análisis de varianza (ANOVA) de efectos aleatorios, los modelos se estimarán en el entorno de los modelos mixtos (Pinheiro and Bates 2000, Jiang 2007), cuya interpretación es similar a la de un ANOVA pero permite mayor flexibilidad, ya que no tiene unas asunciones tan rígidas. Dentro del entorno de los modelos mixtos, el modelo general para este tipo de diseño se podría representar de la siguiente forma:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \eta_k(i) + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_k(ij)$$

donde

Y_{ijk} representa a cada una de las respuestas, para cada uno de los tratamientos (i), variedades (j) y parcelas o split-plot (k).

μ representa el **valor medio estimado** para la variable Y .

α_i representa el **efecto principal** (o fijo) del **tratamiento** i .

$\eta_k(i)$ representa el error asociado al plot (*whole-plot*), que se distribuye como una $N(0, \sigma^2\eta)$.

β_j representa el **efecto principal** de la **variedad** j .

$(\alpha\beta)_{ij}$ representa el **factor de interacción** entre el tratamiento i y la variedad j .

$\epsilon_k(ij)$ representa el error asociado al split-plot k , para cada variedad y tratamiento.

El primer paso es estimar los modelos con diferente estructura del error incorporando (a) sólo el plot, (b) plot y año, (c) plot, año y repetición, y llevar a cabo la selección de dicha estructura. Los criterios utilizados para la selección serán el criterio de información de Akaike (AIC), y el test de razón de verosimilitud. Este test compara modelos con grado creciente de complejidad. La hipótesis nula es que el modelo más sencillo es mejor, por lo que si obtenemos un p-valor > 0.05 podemos concluir que el modelo más sencillo es mejor.

Una vez obtenidos los modelos, se estimarán las medias (y su intervalo de confianza al 95%) para cada uno de los factores principales y su interacción. Posteriormente se llevará a cabo el contraste de la diferencia de medias, cuyos p-valores se ajustarán mediante el método de Holm (Holm 1979), con el objetivo de reducir el error de tipo I debido a la realización de múltiples tests.

Todos los análisis se han llevado a cabo con el software libre R (R Core Team 2021). El paquete lme4 (Bates et al. 2015) ha permitido el ajuste de los modelos mixtos, y los paquetes emmeans (Lenth 2019) y lmerTest (Kuznetsova et al. 2017) se han utilizado para la estimación de las medias, los diferentes contrastes, y el ajuste de los p-valores. Los paquetes ggplot2 (Wickham 2016) y plotly (Sievert 2020) se han utilizado para generar los gráficos y hacerlos interactivos.

3.2. Análisis del sistema interactivo judía-microbiota en las variedades Galaica y Matterhorn con tratamientos químicos y biológicos (fertilizante nitrogenado, *Burkholderia alba* y *Trichoderma harzianum*) (Objetivo 3)

3.2.1. Localización de la finca experimental de la MBG-CSIC

El trabajo se realizó en la finca experimental de la Misión Biológica de Galicia (MBG-CSIC). El ensayo experimental se realizó de Mayo a Octubre en los años 2021 y 2022 en la parcela Huerta II.

3.2.2. Material biológico

3.2.2.1. Judía

Se han utilizado dos variedades de judía, Galaica, de enrame, con Indicación Geográfica Protegida (IGP), y Matterhorn, variedad internacional, de porte erecto.

3.2.2.2. Bacteria simbiótica

En el presente ensayo experimental se ha utilizado una bacteria simbiótica del género *Burkholderia*, especie *B. alba*, aislada de nódulos de las raíces de plantas de judía en 2020 en suelos de la MBG-CSIC. Es la primera vez que se aísla *B. alba* de nódulos de judía, ya que esta especie se aisló anteriormente, pero de suelos en la República de Corea (Lee et al. 2018) (figura 3.11).



Figura 3.11. Colonias de *Burkholderia alba*.

3.2.2.3. Hongo promotor de crecimiento

En este ensayo experimental se ha utilizado como promotor de crecimiento el hongo *Trichoderma harzianum*, proporcionado por el grupo de investigación de Ingeniería y Agricultura sostenible de la Universidad de León (figura 3.12). El género *Trichoderma* posee buenas cualidades para el control de enfermedades en plantas causadas por patógenos fúngicos del suelo, principalmente de los géneros *Phytophthora*, *Rhizoctonia*, *Sclerotium*, *Pythium* y *Fusarium* entre otros.

3.2.3. Equipamiento de laboratorio

- Balanza de precisión Sartorius BP 110S
- Balanza Mettler PM 600
- Balones Kjeldahl
- Cabina de flujo laminar PENTA TL 2460
- Calibrador digital Mitutoyo
- Canaleta graduada
- Congelador (-20°C)
- Espátula
- Espectrofotómetro
- Estufa de secado por aire Selecta 374 A
- Frigorífico (5°C)
- Matraces aforados
- Medidor de humedad Dickey John, Multi grain
- Medios de cultivo
- Microscopio
- Molinillo
- Papel de filtro
- Placas con pocillos
- Placas Petri
- Reactivos de laboratorio

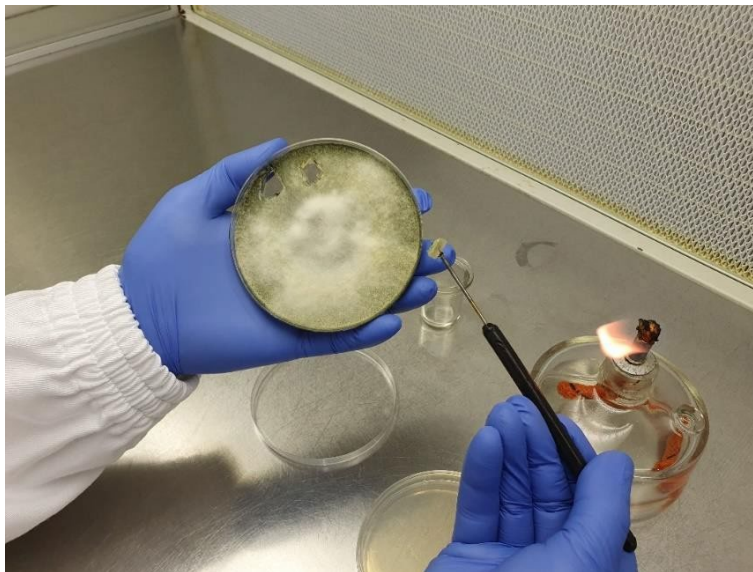


Figura 3.12. Manejo de *Trichoderma harzianum*.

3.2.4. Equipamiento de campo

- Desgranadora eléctrica Hege 16
- Fertilizantes y productos fitosanitarios
- Malla antihierbas de suelo

- Mochila y carretilla pulverizadora
- Sembradores manuales
- Sistema de riego por goteo
- Tractores y útiles de laboreo
- Tutoros de hierro galvanizado

3.2.5. Diseño experimental

El diseño experimental elegido es el de bloques aleatorizados con repeticiones (Cochran y Cox 1990), un diseño en el que las unidades experimentales, a las que se les aplican los tratamientos, se organizan en grupos homogéneos llamados bloques, de modo que el número de unidades experimentales en un bloque es igual al número (o a algún múltiplo del mismo) de tratamientos que se están estudiando. Se asignan entonces al azar los tratamientos a las unidades experimentales dentro de cada bloque. Debe tenerse en cuenta que cada tratamiento aparece en todos los bloques y que cada bloque recibe todos los tratamientos (figura 3.13). En el diseño de bloques aleatorizados se consideran tres orígenes de variación: tratamientos, bloques y el error.

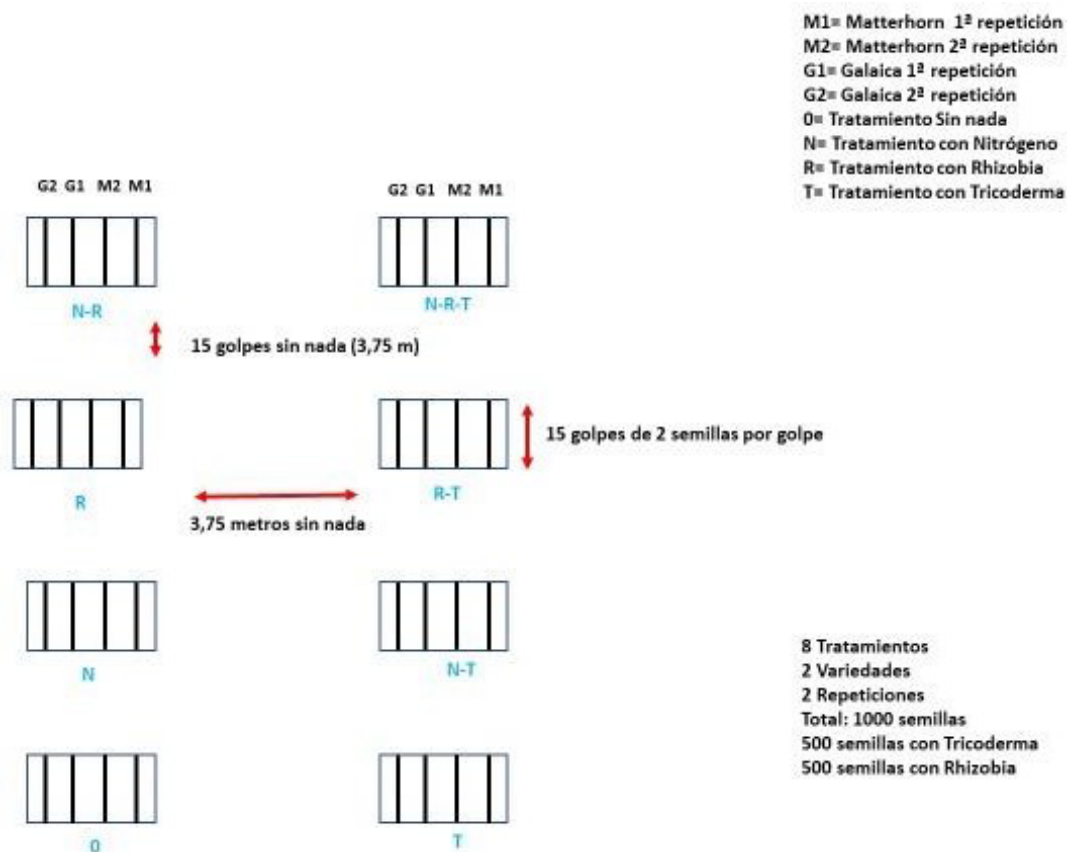


Figura 3.13. Diseño experimental de los ensayos de campo (R: la rizobacteria utilizada ha sido *Burkholderia alba*).

3.2.6. Labores culturales

Se realizaron diversas labores preparatorias en la parcela Huerta II de la MBG-CSIC:

Preparación del terreno: se realizó una labor con grada de discos, una labor ordinaria de arado (25-30 cm de profundidad) y una labor con fresadora.

Siembra: las fechas de siembra fueron 20 de mayo de 2021 y 23 de mayo de 2022 y ambas se realizaron con sembradores manuales. Cada parcela experimental fue señalizada con estaquillas y etiquetas con el número de parcela para su identificación.

Labores de cultivo: se colocó en el suelo una cobertura de malla antihierbas para el control de malezas en el ensayo.

Abonado: en el ensayo hay ocho tratamientos de abonado, control (0), con nitrógeno (N) (OSMOFORM NXT 22-5-11+2Mg+TE), inoculación con *B. alba* (B), inoculación con *Trichoderma harzianum* (T) y sus combinaciones, N-B, N-T, B-T y N-B-T. Se realizó la inoculación de la semilla con *B. alba* y *T. harzianum* en el momento de la siembra, repitiéndose a las cuatro semanas con inóculo líquido en las parcelas correspondientes. También se realizó la aplicación de nitrógeno a las parcelas con dicho tratamiento. La aplicación del fertilizante fue de 10 g en el momento de la siembra.

Riegos: se aplicaron 5 riegos para evitar marchitez/estrés por agua de las plantas del ensayo. El suministro del sistema de riego por goteo es de 1,780 L/h durante 1 hora al día.

Tratamientos fitosanitarios: se realizaron aplicaciones para el control de plagas del suelo (*Agrotis sp.*) con el insecticida deltametrin, sustancia activa perteneciente al subgrupo químico de los piretroides (Decis) en dosis de 0,5 L/ha. Para el control de pulgones como *Aphis fabae* y la mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*) se aplicó el piretroide de tercera generación Lambdacihalotrin (Karate Zeon) en dosis de 15 ml/100 l. También se hicieron aplicaciones de un insecticida orgánico a base de jabón potásico. Cuando las plantas mostraban algún problema fitosanitario se enviaban a la Estación Fitopatológica Areeiro para su análisis.

Cosecha: la cosecha se realizó en el mes de octubre de 2021 y de 2022 y el grano se llevó al laboratorio para continuar el procesamiento postcosecha y la posterior toma de datos.

3.2.7. Caracteres estudiados

- Inicio de floración
- Final de floración
- Duración de la floración
- Masa fresca aérea
- Masa seca aérea
- Número de vainas por planta
- Rendimiento de grano por planta
- Rendimiento de grano por hectárea
- Masa fresca raíz
- Masa seca raíz
- Número de nódulos
- Masa fresca nódulos
- Número de granos por vaina
- Longitud de grano
- Anchura de grano
- Grosor de grano
- Masa de 10 granos
- Absorción de agua del grano

- Masa del tegumento del grano
- Masa de los cotiledones
- Proporción de tegumento

3.2.8.Preparación del inóculo e inoculación

Para la inoculación de las semillas se usó la bacteria *Burkholderia alba* aislada de nódulos de las raíces de plantas de judía en los suelos de la MBG-CSIC y el hongo *Trichoderma harzianum* como protector ante enfermedades fúngicas. Las cepas puras se sembraron en placas Petri con medio YMA (Yeast Manitol Agar) y PDA (Potato Dextrose Agar), respectivamente y se incubaron a 25°C durante 3 días. Con un hisopo se extrajeron las colonias y se disolvieron en agua destilada a una concentración de 10^8 células/ml. La concentración se determina midiendo la turbidez con un espectrofotómetro (Figura 3.14). Antes de inocular las semillas, estas se lavaron con una solución de lejía al 10% (5,25 % sodio hipoclorito) para evitar una posible contaminación. Las semillas, una vez inoculadas, se guardaron en una bolsa de polietileno para que conservasen la humedad. Las bolsas se guardaron en un lugar fresco y evitando la radiación solar. Las semillas no inoculadas se sembraron en primer lugar para evitar la contaminación con las cepas de las demás parcelas.



Figura 3.14. Medición de la concentración de bacterias.

3.2.9.Análisis estadístico de los datos

Se llevó a cabo un diseño en bloques aleatorizado (incompleto). Dado que alguna de las variables respuesta es de conteo, y no cumple las asunciones necesarias para ajustar un ANOVA de efectos aleatorios, los modelos se estimarán en el entorno de los modelos mixtos (LMM, Jiang 2007; Pinheiro and Bates 2000), cuya interpretación es similar a la de un ANOVA (respecto a las medias estimadas), pero permite mayor flexibilidad, ya que no tiene unas asunciones tan rígidas. La estructura seleccionada incorpora en la parte fija la interacción entre la variedad y el año, y la triple interacción entre tratamiento, variedad, y año. En la parte aleatoria se mantiene la réplica. Una vez obtenidos los modelos, se estimarán las medias (y su intervalo de confianza al 95%) para cada uno de los factores principales y su interacción. Posteriormente se llevará a cabo el contraste de la diferencia de medias, cuyos p-valores se

ajustarán mediante el método de Holm (Holm 1979), con el objetivo de reducir el error de tipo I debido a la realización de múltiples tests.

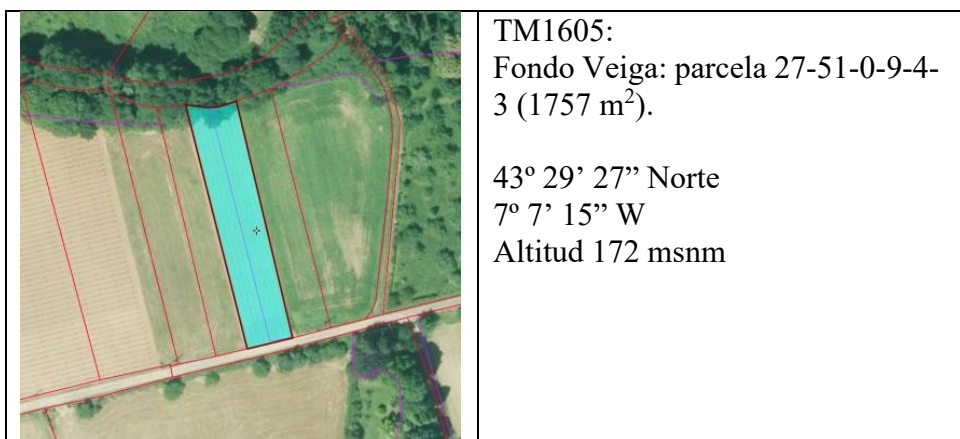
Todos los análisis se han llevado a cabo con el software libre R (R Core Team 2021). El paquete lme4 (Bates et al. 2015) ha permitido el ajuste de los modelos mixtos, y los paquetes emmeans (Lenth 2019) y lmerTest (Kuznetsova et al. 2017) se han utilizado para la estimación de las medias, los diferentes contrastes, y el ajuste de los p-valores. El paquete ggplot2 (Wickham 2016) y plotly (Sievert 2020) se han utilizado para generar los gráficos y hacerlos interactivos.

3.3. Diagnóstico y valoración de las principales plagas y enfermedades presentes en diferentes variedades, en campos de producción de judía de la MBG-CSIC en Pontevedra y de la variedad Galaica en Lugo y estudio de las características agromorfológicas y de calidad de grano de la variedad Galaica, en campos de producción en Lugo (Objetivos 4 y 5).

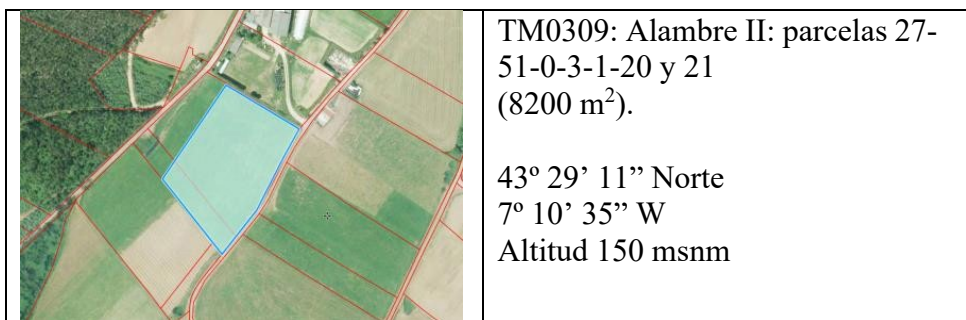
3.3.1. Parcelas de estudio en el área de producción de la IGP Faba de Lourenzá

En la figura 3.15 se describen las parcelas de seguimiento del cultivo de la variedad Galaica en el área de producción de la IGP Faba de Lourenzá, dos en Ribadeo (Lugo) y tres en Lourenzá (Lugo).

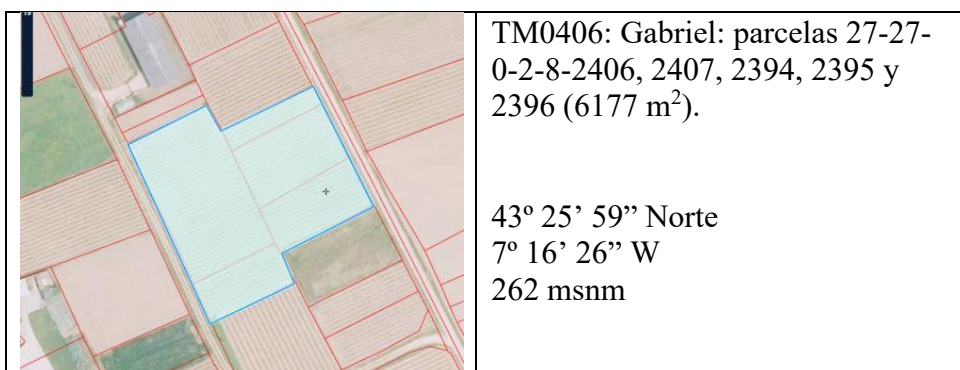
Ribadeo 1



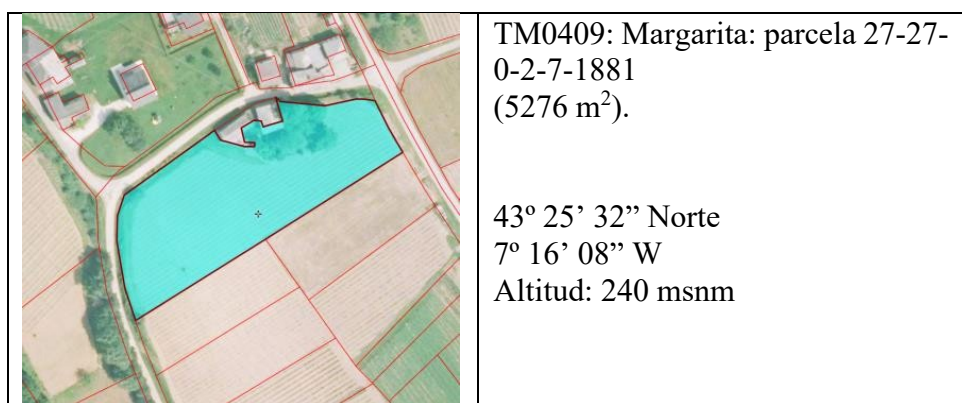
Ribadeo 2



Lourenzá 1



Lourenzá 2



Lourenzá 3

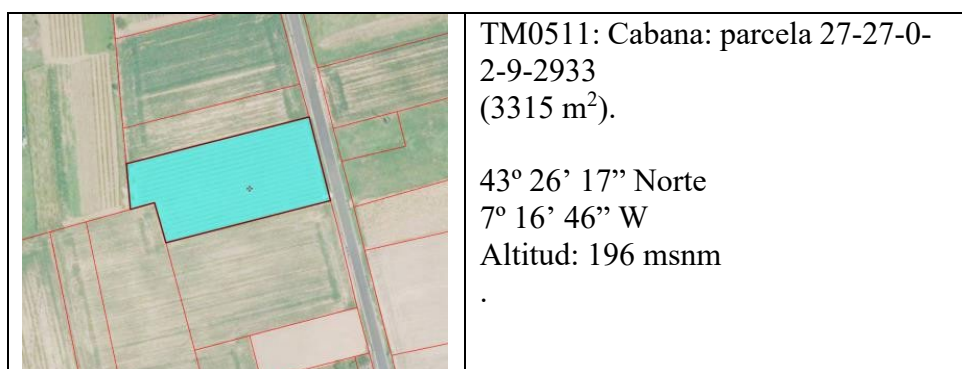


Figura 3.15. Parcelas de estudio en el área de producción de la IGP Faba de Lourenzá

3.3.2. Características de los suelos de Ribadeo y Lourenzá

En la tabla 3.2 se muestran las características de los suelos de las parcelas de estudio en el área de producción de la IGP Faba de Lourenzá (muestreadas el 17-06-2019 y analizadas en la EFA, Pontevedra).

Tabla 3.2. Características de los suelos de las parcelas de estudio en el área de producción de la IGP Faba de Lourenzá.

Zona	Ribadeo 1	Ribadeo 2	Lourenzá 1	Lourenzá 2	Lourenzá 3
FINCA	TM 1605 – FONDO VEIGA	TM 0309- ALAMBRE II	TM 0406- GABRIEL	TM 0409- MARGARITA	TM 05 II- CABANA
Variable	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor
pH H ₂ O (1:2.5)	6,5	5,2	6,3	6,3	6,3
pH KCl (1:2.5)	5,8	4,8	5,9	6,0	5,7
% Materia orgánica	6,3	7,3	3,7	3,2	4,4
Acidez cambio (cmol(+)/kg)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Fósforo disponible (ppm)	66	32	78	65	53
Potasio asimilable (ppm)	254	212	266	330	298
Magnesio cambiante (ppm)	184	144	120	134	114
C. E. 1:5 (mmho/cm)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Cationes del complejo de cambio (cmol(+)/kg)					
Ca ²⁺	10,20	5,00	8,20	7,60	7,70
Mg ²⁺	1,47	1,15	0,96	1,07	0,91
Na ⁺	0,20	0,34	0,16	0,21	0,14
K ⁺	0,63	0,53	0,67	0,82	0,75
Al ³⁺	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10
(CiCe) ⁽²⁾	12,61	7,32	10,09	9,80	9,60
Relación entre cationes					
Ca/Mg	7	4	9	7	8
K/Mg	0,4	0,5	0,7	0,8	0,8
Ca:Mg:K	83:12:05	75:17:08	83:10:07	80:11:09	82:10:08
(1) Método Olsen. (2) Desplazamiento con CINH					

3.3.3. Material biológico

Como se menciona en el Apartado 1, existen numerosas variedades tradicionales de judía común en diferentes zonas de España, que reciben nombres locales como alubia, caparrón, faba, fréjol, feixón, garbanzo, haba, habichuela, judía, monxeta, pocha, etc. En la MBG-CSIC, como también se menciona en el Apartado 1, se conservan 862 variedades tradicionales y comerciales


y líneas de mejora, que se cultivan anualmente para aumentar las existencias de semilla y conservar el poder germinativo, sobre la base de la monitorización de esta colección respecto a la germinación y a las existencias de semilla. En la parcela de multiplicación de estas variedades se hace un seguimiento fitopatológico de plagas y enfermedades, en colaboración con la Estación Fitopatológica Areeiro.




En el caso de la variedad Galaica (ya descrita anteriormente), se ha realizado un seguimiento fitopatológico de suelos y plantas en varias localidades de producción amparadas en la IGP Faba de Lourenzá, que se describen en el siguiente apartado.

3.3.4.Labores culturales

La metodología de cultivo en estas cinco parcelas fue la habitual utilizada por los agricultores de la zona, sin un diseño específico.

La preparación del terreno se realizó con grada de discos (25-30 cm de profundidad) y una labor con fresadora. Las fechas de siembra fueron durante la última semana del mes de mayo 2019. En todas las fincas se realizó una sola labor de cultivo que fue el deshierbe de malezas presentes en las parcelas de producción comercial para evitar el crecimiento de las mismas y se aplicaron riegos en las fechas que no hubo lluvia, para evitar marchitez/estrés por escasez de agua de las plantas de Galaica. Se realizó un seguimiento fenológico visual de las plantas durante el ciclo de cultivo (figura 3.16). La cosecha se realizó en Octubre de 2019 y se enviaron muestras a la MBG-CSIC para la toma de datos de vaina y grano.

Ribadeo 1	
	<p>TM1605: Fondo Veiga: parcela 27-51-0-9-4-3 (1757 m²).</p> <p>Plantas color verde intenso, hojas grandes Algunas plantas con presencia de colonias de pulgón negro (<i>Aphis fabae</i>).</p> <p>Sin presencia de virosis.</p>

Ribadeo 2	
	<p>TM0309: Alambre II: parcelas 27-51-0-3-1-20 y 21 (8200 m²).</p> <p>Plantas color verde intenso, hojas grandes</p> <p>Algunas plantas con presencia de colonias de pulgón negro (<i>A. fabae</i>).</p> <p>Sin presencia de virosis.</p>
Lourenzá 1	
	<p>TM0406: Gabriel: parcelas 27-27-0-2-8-2406, 2407, 2394, 2395 y 2396 (6177 m²).</p> <p>Trampa. Adultos de lepidópteros = 12.</p> <p>Presencia de pulgón negro (<i>A. fabae</i>)</p> <p>Presencia de nódulos bacterianos en las raíces.</p> <p>Presencia de virosis (BCMV).</p>
Lourenzá 2	
	<p>TM0409: Margarita: parcela 27-27-0-2-7-1881 (5276 m²).</p> <p>Presencia de <i>Fusarium solani</i>, <i>Rhizoctonia solani</i>, <i>Thielaviopsis spp.</i></p> <p>Presencia de virosis (BCMV)</p>


Lourenz3	
	<p>TM0511: Cabana: parcela 27-27-0-2-9-2933 (3315 m²).</p> <p>Plantas muy pequeñas, con pocas raíces, base del tallo con necrosis rojiza zona tejido vascular (<i>Fusarium solani</i>).</p> <p>No hay indicios de la presencia de <i>Rhizobium</i></p>

Figura 3.16. Seguimiento fenológico visual de las plantas durante el ciclo de cultivo.

3.3.5. Caracteres estudiados

- Número de granos por vaina
- Longitud de grano
- Anchura de grano
- Grosor de grano
- Masa de 10 granos
- Absorción de agua del grano
- Masa del tegumento del grano
- Masa de los cotiledones
- Proporción de tegumento
- Nitrógeno hoja seca
- Fósforo hoja seca

3.3.6. Análisis fitopatológicos

Desde 1987, la Estación Fitopatológica Areeiro (EFA, Unidad Asociada a la MBG-CSIC desde 2007) lleva a cabo el seguimiento fitopatológico de diferentes cultivos en la MBG-CSIC, incluida la judía, así como de los suelos de cultivo de diferentes parcelas de la MBG-CSIC en Pontevedra y en fincas experimentales colaboradoras en diferentes localidades. En la tabla 3.3 se muestra el modelo de ficha de los análisis que en la MBG-CSIC se solicitan habitualmente a la EFA. La detección de artrópodos, hongos y oomicetos se llevó a cabo en la EFA siguiendo las fichas descriptivas del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino y manuales de identificación fitopatológica (Amate et al. 1998; Burke and Hall 2005; Hagedorn 2005; Melgarejo et al. 2010; Pfender and Hagedorn 2005; Rodríguez et al. 2004). Los hongos fueron diagnosticados por análisis morfológicos y moleculares, los oomicetos por análisis morfológicos y los insectos y ácaros por análisis morfológicos.

Tabla 3.3. Modelo de ficha de los análisis que se solicitan habitualmente a la EFA.

**UNIDAD ASOCIADA SISTEMAS AGROFORESTALES
MICIÓN BIOLÓGICA DE GALICIA-CONSEJO SUPERIOR DE ONVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
ESTACIÓN FITOPATOLÓGICA AREEIRO-DIPUTACIÓN DE PONTEVEDRA**

FICHA DE ANÁLISIS

TIPO DE ANÁLISIS

EDAFOLÓGICO

FITOPATOLÓGICO

MICROBIOLÓGICO

FECHA:

REFERENCIA:

Nº DE MUESTRAS:

SOLICITANTE:

PROYECTO:

CULTIVO/ESPECIE:

LOCALIZACIÓN:

PARCELA:

OBSERVACIONES:

4. Resultados

4.1. Estudio agromorfológico y cualitativo de variedades mejoradas de judía, en monocultivo y cultivo asociado con maíz, y del sistema simbiótico rizobia-judía con diferentes tratamientos (inoculación, abonado, pH) (Objetivos 1 y 2).

4.1.1. Antecedentes

4.1.1.1. Estudio agromorfológico y cualitativo de variedades de judía

Uno de los principales objetivos planteados en el manejo de germoplasma de un cultivo es poder cuantificar la variabilidad genética utilizable. Para ello el primer paso es conocer como son las variedades cultivadas actualmente en la zona y el grado de proximidad entre ellas. Esto implica una evaluación y clasificación del material de partida. La utilidad de los caracteres tomados en una evaluación de variedades depende de los objetivos que se propongan, y la información obtenida va a estar determinada por factores genéticos, ambientales y la interacción de ambos (Allard 1960).

La judía común es una especie fenotípicamente muy diversa (Singh 1989) y esta diversidad refleja el amplio rango de ambientes bajo los cuales se ha desarrollado. Para analizar toda esta variedad intrínseca son necesarios una serie de descriptores que caractericen adecuadamente a estas variedades. El uso de caracteres cuantitativos como descriptores, además de ayudar a la eliminación de duplicaciones en las colecciones, facilita la evaluación desde el punto de vista agronómico de las variedades, así como el establecimiento de las relaciones taxonómicas entre las mismas.

Existen diferentes listas de descriptores para la judía común, con un diferente número de variables cualitativas y cuantitativas en cada uno de ellos. Estos descriptores pueden agruparse en diferentes categorías: fenología, planta, hoja, inflorescencia, flor, vaina inmadura, vaina madura y grano. Hay otras variables agromorfológicas que a menudo no son lo suficientemente útiles, por ejemplo: tamaño de la hoja, color del cotiledón, número de nudo en la cosecha en el tallo principal, color en semilla inmadura, y relaciones de las dimensiones de la vaina (De la Cuadra et al. 2001).

Los descriptores de Bioversity International, ampliamente utilizados, y recientemente actualizados (Debouck et al. 2009) están principalmente diseñados para describir las plantas durante la recolección o en la etapa vegetativa, lo cual supone que el trabajo de descripción debe realizarse en el campo. Por esta razón es necesario identificar claramente cada variedad y seguirla en todas las etapas del desarrollo de la planta. Estos descriptores agromorfológicos se basan en distintas características fenotípicas agrupadas en categorías, como sigue a continuación.

DATOS DE PLANTA

Uso

Hábito de crecimiento

Días hasta 50 % de floración

Color de la flor (alas y estandarte)

Color de la vaina

Días hasta la maduración del 90 % de las vainas

DATOS DEL GRANO

Diseño del color

Color de la piel

Brillo del grano

Forma del grano

Peso de 100 granos



Además, en los descriptores se incluye el tipo de faseolina (proteína de reserva del grano) y la incidencia de factores abióticos (sequía) y bióticos (brúchidos-plaga de los granos, antracnosis, bacteriosis y virosis).

En 1987, en la MBG-CSIC comenzaron los estudios agromorfológicos y genéticos de judía (Gil and De Ron 1992). En el proyecto PHASELIEU FAIR3463 (De Ron et al. 1999), se establecieron un conjunto de descriptores cualitativos y cuantitativos de judía (De la Cuadra et al. 2001), y asimismo se establecieron las principales variedades o “market classes” cultivadas en Europa y sus características agromorfológicas (Santalla et al. 2001, González et al. 2006). En el caso de los descriptores cuantitativos hay que tener en cuenta que el valor observado cuando se mide un carácter cuantitativo en un individuo es el valor fenotípico, que incluye componentes genotípicos y ambientales. Por ello, un objetivo importante es evaluar la importancia relativa del genotipo *versus* la influencia del ambiente. Por lo tanto, la información sobre parámetros genéticos, como la heredabilidad y constancia (Goodman and Paterniani 1969, De Ron and Ordás 1987), es relevante para decidir cuáles son los caracteres cuantitativos más adecuados para utilizarse en la evaluación de germoplasma enfocada en pre-mejora y mejora genética. Los descriptores cuantitativos que se incluyeron inicialmente en esta investigación se han escogido dentro de los propuestos por De la Cuadra et al. (2001).

Las características del grano de la judía que influyen en la aceptabilidad por parte del procesador y el consumidor son principalmente el tamaño del grano, la forma y color, tiempo de cocción y la calidad culinaria. Existe una amplia variabilidad de colores de grano, formas y tamaños, y cada mercado refleja unas preferencias para específicos tipos de grano. Así, en cada país de centro y sur de América existen diferentes preferencias en los tipos específicos de grano. En España está más aceptado el grano blanco de gran tamaño, aunque en regiones concretas adquieren gran importancia otros tipos, por ejemplo, la "alubia negra" de Tolosa y la "alubia pinta" de León (Clemente y De Ron 2016).

La calidad culinaria está determinada, en gran medida, por la capacidad de absorción de agua y el tiempo de cocción del grano. El tiempo de cocción de las semillas tiene un componente ambiental y otro genético, con lo que está influenciado por la estación, localidad y otras interacciones de esos efectos (Ghaderi et al. 1984, Hosfield et al. 1984). Además, esta calidad culinaria está relacionado con la dureza de la cubierta del grano, ya que los granos que son relativamente impermeables al agua requieren tiempos de cocción más largos. Bourne (1967) definió el término de granos duros como "granos maduros que no pueden embeber agua en un tiempo razonable" y sugiere que los granos de menor tamaño son generalmente los más duros (“hard-to-cook”, difíciles de cocer). Respecto al tegumento, son los granos con un tegumento más grueso los que necesitan mayor tiempo de cocción, y los que tienen el tegumento más adherido a los cotiledones los que embeben menos agua (Powell et al. 1986). Otros factores que influyen en la facilidad de cocción son las condiciones de almacenamiento (tiempo, temperatura y humedad) y el período de hidratación previo a la cocción (Quenzer et al. 1978).

4.1.1.2. Monocultivo de judía y cultivo asociado judía-maíz

El efecto de incorporar una leguminosa en un sistema de cultivo asociado es generalmente positivo en el rendimiento de cultivos sucesivos. Según Wright (1990), las habas (*Vicia faba* L.), los guisantes (*Pisum sativum* L.) y las lentejas (*Lens culinaris* L.) aumentaron el rendimiento de los cereales en un promedio del 21 % en el primer año y del 12 % en el segundo año en las praderas del norte de Canadá. El uso de la leguminosa reduce los aportes de fertilizante nitrogenado en una rotación de cultivos o en un sistema de cultivo intercalado y reduce el riesgo de lixiviación de nitrógeno. En una rotación trigo-lenteja de 25 años a largo plazo, el trigo que siguió a la lenteja produjo una cantidad equivalente de rendimiento en comparación con el trigo continuo, pero con un 40 % menos de fertilizante aplicado al trigo

cultivado después de la lenteja (Gan 2012). Las crecientes demandas de prácticas agrícolas respetuosas con el medio ambiente y de seguridad alimentaria, especialmente en Europa, establecen un contexto favorable para el desarrollo de nuevos sistemas de cultivo que incluyen leguminosas de grano anual al mismo tiempo que exigen a los mejoradores que produzcan ideotipos de plantas que cumplan objetivos más complejos (Duc et al. 2015).

En ambientes con bajo contenido de nitrógeno, particularmente en agricultura orgánica o ecológica, la combinación de dos especies (leguminosa-cereal) con vías de adquisición de nitrógeno complementarias en espacio, tiempo y requerimientos, puede mejorar el comportamiento agronómico de ambos cultivos. En estas asociaciones se mejora la eficiencia en el uso de los recursos y se reduce el consumo de energía fósil, y asimismo se puede facilitar la absorción de hierro o fósforo y la reducción de algunas enfermedades y plagas en sistemas asociados o intercalados (Trenbat 1993, Duc et al. 2015).

La judía común puede cultivarse en diferentes sistemas puros o asociados, que se agrupan en diferentes categorías y variantes (Woolley y Davis 1991, Santalla 1994), como las siguientes:

- Cultivo puro o monocultivo de judía de crecimiento determinado o indeterminado.
- Cultivo asociado retardado de judía. En este caso las judías se siembran cuando el maíz alcanza su madurez fisiológica.
- Cultivo asociado en filas alternas de judía con maíz. La siembra es generalmente simultánea, o con pocos días de diferencia.
- Cultivo asociado en la misma fila de maíz y judía. El maíz y la judía se siembran en el mismo golpe, en ocasiones con retardo de la judía, una vez que emerge el maíz.

En la MBG-CSIC, Santalla et al. (1994, 1995, 1999) y Casquero et al. (1994) evaluaron el comportamiento del sistema de cultivo asociado judía-maíz, práctica habitual en el NO de la Península Ibérica, así como en muchos lugares de América Central y del Sur. En el caso de España, la existencia del cultivo asociado judía-maíz se reconoce en el Reglamento de la Indicación Geográfica Protegida (IGP) Faba de Lourenzà (Consellería del Medio Rural 2008, al cual se hace referencia en el Capítulo 3), y se establecen detalles concretos acerca de este sistema de cultivo.

La ausencia de interacciones de los sistemas de cultivo sugiere que los programas de mejora para cultivo asociado pueden no ser necesarios o justificables, ya que las mejores variedades seleccionadas en monocultivo también podrían ser adecuadas para cultivo asociado. Por lo tanto, el producto final de un programa de selección en un sistema específico bajo estas condiciones ambientales estaría bien adaptado a ambos sistemas. Las características de las variedades óptimas aún deberían definirse con precisión y estarán influenciadas por la elección de las especies asociadas. Los principales caracteres involucrarán la arquitectura y fisiología de las plantas que determinarán una complementación o competencia por los recursos (luz, agua, minerales), el comportamiento agronómico y los usos para incrementar la producción agraria (Rodiño et al. 2008, Duc et al. 2015).

En algunas áreas (por ejemplo, en Centro y Sur América y en el Noroeste de la Península Ibérica) el cultivo asociado de judía con maíz es más frecuente que el monocultivo, debido a la preferencia de este sistema de cultivo por parte del agricultor que cultiva judía en estas zonas. Esta predominancia del cultivo asociado en la agricultura de estos lugares se debe a que ofrece una mayor diversidad en la dieta y ventajas en el rendimiento comparado con el monocultivo (Crookston 1976, Santalla 1994). Una ventaja es la mayor estabilidad del rendimiento en diferentes estaciones, ya que, si un cultivo falla o crece pobremente, el otro cultivo asociado puede compensarlo, y otra ventaja, y la más común, es que podría conseguirse un mayor

rendimiento en una estación de cultivo. A pesar de que el cultivo asociado supone una disminución en el rendimiento de judía de un 55 % y en el del maíz de un 33%, la relación equivalente de tierra (LER) del cultivo asociado es de 1,12. En cultivos asociados con valores de LER > 1,0 indican que tienen una mayor productividad cuando los cultivos están asociados, que cuando se cultivan de forma independiente (Santalla 1995).

Existen diferentes causas que originan estas ventajas agronómicas cuando los dos cultivos crecen juntos (Willey 1979, Trenbath 1993). Una de las principales causas es la utilización más eficiente de los recursos ambientales en cultivo asociado, ya que pueden complementarse uno a otro para hacer una mejor utilización de los recursos disponibles que cuando crecen separadamente. Esta complementariedad puede ser temporal, cuando los modelos de crecimiento de los cultivos ocurren en tiempos diferentes. Puede existir además una complementariedad espacial, cuando se combinan cultivos con distinta canopia agronómica o distinto sistema radicular, existiendo así un mejor aprovechamiento de nutrientes, agua o luz, que sería el caso, por ejemplo, de un cereal alto con una leguminosa de porte bajo. Además de ello, hay que tener presente la capacidad de las leguminosas para fijar simbióticamente Nitrógeno, lo cual beneficia al cereal asociado, en este caso, el maíz.

Otro aspecto ventajoso del cultivo asociado podría ser un mejor control de las malas hierbas, plagas y enfermedades. La combinación de cultivos genéticamente diferentes creciendo juntos en la misma área, no provee del substrato uniforme necesario para que las plagas se multipliquen rápidamente y adquieran proporciones epidémicas, lo que puede dar lugar a un aumento del rendimiento. Además, el cultivo asociado puede mejorar la conservación del suelo y la retención de agua, por el mantenimiento de una cubierta de follaje durante más tiempo que el cultivo puro.

Sin embargo, puede haber desventajas al cultivar juntas dos especies, como es la disminución del rendimiento que se produce debido a efectos de competencia entre cultivos y a las dificultades del manejo del cultivo asociado, especialmente en donde hay un alto grado de mecanización o cuando cada cultivo tiene necesidades diferentes de fertilizantes, herbicidas, pesticidas, etc.

Los estudios sobre el cultivo asociado judía-maíz se han centrado principalmente en la selección de variedades adaptadas para este sistema, ya que no hay una razón clara por la que genotipos adaptados para sistemas puros, o monocultivos, lo sean también para sistemas asociados. Esto indica la importancia de conocer la estabilidad y variabilidad de los caracteres cuantitativos (agronómicos e indicadores de cualidades físicas y nutritivas) en diversos ambientes (años y localidades distintos), así como las interacciones con sistema de cultivo, ya que permite elegir aquellos caracteres que sean más estables de un ambiente a otro (Annicchiarico et al. 2015).

Se han usado dos tipos de diseños, bloques completos aleatorizados y parcelas divididas, ambos ampliamente utilizados en todos los estudios sobre cultivo asociado (Mead y Riley 1981, Mead y Stern 1980). Los diseños en parcelas divididas presentan varias ventajas, como son que la medida de los efectos del factor adjudicado a la subparcela (en este caso sistema de cultivo) y su interacción con el factor de la parcela principal (variedad) es más precisa que la obtenida con un diseño de bloques aleatorizados. Sin embargo, la medida de los efectos de los tratamientos de la parcela principal es menos precisa que la conseguida con un diseño de bloques completos aleatorizados (Gómez y Gómez 1984). Por otro lado, si lo que interesa es conocer si existe alguna ventaja de combinar los dos cultivos, se necesita un diseño de bloques aleatorizados en el que se puedan incluir tratamientos de monocultivo de ambas especies, para así poder estandarizar las medidas.

4.1.1.3. Sistema simbiótico rizobia-judía

Las leguminosas tienen la capacidad de formar simbiosis mutualistas fijadoras de N_2 atmosférico con bacterias diazotrofas. El conocimiento de la existencia de estas bacterias data de finales del siglo XIX cuando, por primera vez Frank, en 1889, denominó *Rhizobium leguminosarum* a las bacterias aisladas a partir de nódulos de leguminosas, y fue este nombre el que dio origen al genérico de rizobios para designar a todas las bacterias formadoras de nódulos en leguminosas. Consecuencia directa de la capacidad de fijar N_2 es que las leguminosas pueden crecer en suelos empobrecidos o áridos, con bajo contenido en N y escasa fertilidad, por lo que se utilizan como plantas pioneras en la recuperación de suelos deteriorados, así como en procesos de revegetación y fitorrecuperación. De manera tradicional también se emplean en rotación de cultivos, sobre todo con cereales, para mantener la fertilidad del suelo.

La simbiosis entre leguminosas y rizobios se destaca como una de las interacciones naturales más importantes para la reducción del nitrógeno contaminante en la biosfera. El nitrógeno es un factor clave para los ecosistemas, la productividad y la competitividad agrícola (Hardarson y Atkins 2003). Los fertilizantes industriales de síntesis química son una fuente de contaminación, y la mitad de las emisiones de gases de efecto invernadero son generadas por el nitrógeno mineral u orgánico (un gas como el N_2O , con una capacidad calorífica 300 veces superior a la del CO_2). Evitar o reducir los fertilizantes nitrogenados es un punto clave para una contribución eficaz de la agricultura a la lucha contra el calentamiento global y contra la contaminación del agua, el suelo y el aire. Es posible utilizar N_2 atmosférico, (libremente disponible y renovable) en ecosistemas sin daño ambiental (Rodiño et al. 2005). Las leguminosas (guisantes, habas, altramuces, habas, lentejas, vezas, alfalfa, trébol, etc.) no necesitan fertilizantes nitrogenados para crecer gracias a que establecen simbiosis con bacterias presentes de forma natural en el suelo (Symbiotic Nitrogen Fixation-Fijación Simbiótica de Nitrógeno-FSN), y que convierten el nitrógeno del aire (N_2) en nitrógeno mineral (NH_3), que puede ser asimilado por la planta (Buttery et al. 1997). El uso de inoculantes (bacterias simbióticas) para la biofertilización de leguminosas es una alternativa viable y sostenible para la conservación del medio natural, la revegetación de suelos y la producción agrícola.

La investigación actual tiene como objetivo explorar los impactos beneficiosos para el medio ambiente del sistema simbiótico leguminosas-rizobios. Así, se contribuirá a frenar el calentamiento global desde una perspectiva diferente a la habitual (N_2O versus CO_2) con una implicación positiva para los ecosistemas y la producción agrícola. Los estudios sobre el uso de leguminosas silvestres para la revegetación de ecosistemas degradados son escasos. Sin embargo, pueden prevenir la erosión, aumentar la fertilidad del suelo y facilitar la creación y el crecimiento de otras especies de plantas. Esta estrategia debe verse reflejada en un desarrollo rural equilibrado (reducción de costes para el productor) respetuoso con el medio ambiente (reducción del impacto atmosférico) y asegurando una producción de alta calidad. La seguridad y los impactos ambientales de la producción agrícola están cobrando suma importancia, contribuyendo a la construcción de una bioeconomía basada en el desarrollo de nuevas asociaciones planta-microorganismo, con una mejor preservación del medio ambiente.

La simbiosis *Rhizobium*-leguminosa se puede calificar como rizoendosimbiosis mutualista estricta. En el establecimiento de esta simbiosis se pueden diferenciar dos procesos complejos: a) una infección controlada, y b) la aparición de un nuevo órgano en la planta, el nódulo, en el cual se lleva a cabo la fijación del nitrógeno atmosférico (Mylona et al. 1995, Schultze y Kondorosi, 1998).

Se han descrito dos tipos de nódulos en las leguminosas, determinados e indeterminados, que difieren en su morfología, en la estructura y desarrollo del cordón de infección (Rae et al.

1992), en la presencia o no de meristemo apical y en el tipo de metabolitos nitrogenados que exportan. Los nódulos indeterminados se caracterizan por presentar un meristemo indeterminado situado en el ápice que origina nódulos pleomórficos, un sistema vascular abierto que conecta el sistema vascular de la raíz con el meristemo nodular, asparagina y glutamina como productos mayoritarios de traslado a la planta del nitrógeno fijado, bacteroides de gran tamaño individuales y un canal de infección ancho. Las leguminosas de zonas templadas como *Pisum*, *Vicia*, *Trifolium* y *Medicago* desarrollan nódulos indeterminados. Los nódulos determinados se caracterizan, a su vez, por presentar un meristemo apical determinado que origina nódulos globosos, un sistema vascular cerrado que se dicotomiza y es continuo por el nódulo, ureidos como productos mayoritarios de traslado a la planta del nitrógeno fijado, bacteroides en grupos de dos o más que se hallan entremezclados con células intersticiales no infectadas y canal de infección estrecho que apenas interviene en la distribución de las bacterias. Las leguminosas de zonas subtropicales y tropicales, *Glycine*, *Phaseolus*, *Vigna*, etc. presentan nódulos determinados (Riveiro 2012).

La investigación reciente en leguminosas y sus rizobios simbióticos comenzó en la MBG-CSIC en 1990. Pero, en realidad, las investigaciones en cultivos de leguminosas y su interacción con los rizobios se habían iniciado en los años 40 del Siglo XX, según se desprende de una carta dirigida a la MBG-CSIC en 1943 (figura 4.1) (De Ron et al. 2019). La investigación actual y futura, en lo que se refiere a los rizobios, está enfocada al estudio del efecto del déficit hídrico en la simbiosis, el estudio de cepas locales de rizobios, el análisis del proceso simbiótico en la zona de origen del acervo genético Andino de la judía común, el estudio de la simbiosis en invernadero y en diferentes sistemas de cultivo en campo, y la co-evolución y migración de la judía común y los rizobios en Europa.

Actualmente se sabe que la judía común puede establecer simbiosis con varias especies del género *Rhizobium*. La especie de *Rhizobium* que predominantemente nodula la judía es *Rhizobium etli*, aunque también está descrita simbiosis con otras especies como *R. leguminosarum* bv. *phaseoli*, *R. gallicum* bv. *phaseoli*, *R. giardinii* bv. *phaseoli* y *R. tropici*. La judía también puede nodular y fijar nitrógeno con especies de otros géneros como *Sinorhizobium arboris* y *Mesorhizobium huakuii* (Riveiro 2012).

No obstante, a pesar de su capacidad para formar nódulos con distintas especies de rizobios, se considera que la judía es de escasa capacidad fijadora de N₂ cuando se compara con otras leguminosas, lo que se ha atribuido tanto a la ineficiencia de los rizobios nativos de un determinado suelo como al efecto que distintos factores ambientales ejercen sobre la simbiosis (Rodiño et al. 2011, 2020). Asimismo, el sistema de cultivo, cultivo asociado con maíz y monocultivo de judía, tienen efecto sobre la nodulación (Santalla et al. 2001).

Por lo anterior, para una producción sostenible resulta relevante analizar la eficiencia del sistema simbiótico judía-rizobio en distintas condiciones de fertilización y en diferentes sistemas de cultivo, en particular en monocultivo y en asociación con maíz. Un sistema simbiótico eficiente judía-rizobio permitiría reducir las aportaciones de fertilizantes nitrogenados y avanzar hacia la producción de un biofertilizante con cepas de rizobios seleccionadas por su capacidad de infección/nodulación que además reduzca las emisiones contaminantes de nitratos en el agua y de óxidos de nitrógeno en el aire.



INSTITUTO ESPAÑOL DE BACTERIOLOGÍA RADICÍCOLA

LABORATORIOS ESPAÑOLES DE BACTERIOLOGÍA RADICÍCOLA S. L.

Director científico: Dr. José M.^o ROSELL
BARCELONA

Tuy, 31 de mayo de 1943.-

LABORATORIOS:
PASEO SANTA EULALIA, 45 (Sarrisa)
TELÉFONO 74124
OFICINA Y VENTAS:
PASEO GRACIA, 47, PRAL - TEL. 7051

Sr. D. Cruz Gallestegui Unzuano,
PONTEVEDRA.

Estimado amigo:

Estoy en esta unos días y hoy entre 12 y 1 he telefoneado a la Misión Biológica para saber si Ud. estaba o estaría allí mañana, pues hubiera ido a visitarle. El objeto de la visita hubiera sido, a parte de saludarle, consultarle algunas cosas y preguntarle si le llegó la soja alemana Herb 22, apropiada para secado y de ciclo vegetativo de 3 meses y los cultivos para inocular las semillas y al mismo tiempo traerle unas cuantas semillas del altramuз dulce alemán que hasta ahora no había sido posible tener fuera de Alemania y del cual yo he tenido tres semillas de las variedades que le incluyo adjunto.

Le envío pues, las seis bolsitas adjuntas, incluyendo cada una una semilla de altramuз de las 2 que tenía a mi disposición de cada clase, habiéndose quedado una en Barcelona, otra el Sr. Nagore y la tercera para Ud.

Suponiendo que Ud. tendrá interés en sembrarlas, he encargado al Instituto Radicícola de Barcelona, que le envíen inmediatamente un cultivo de altramuз con el cual podrá inocular cada semilla. Le agradecería que tenga presente cuando llegue la recolección del fruto, guardarme unas cuantas semillas de cada clase de las que hayan salido que nos interesan para nuestro Instituto.

Me interesaría saber si recibió, pues, la soja alemana de que le hablo y si la han sembrado con control. Si no la hubiera recibido, yo tengo todavía una pequeña cantidad de 100 gramos que podría entregarle con sus respectivos cultivos.

Yo estaré en esta hasta el sábado por la noche y si Ud. tuviera interés en verme haría lo posible para ir a verle el sábado si Ud. me lo comunicaba a tiempo.

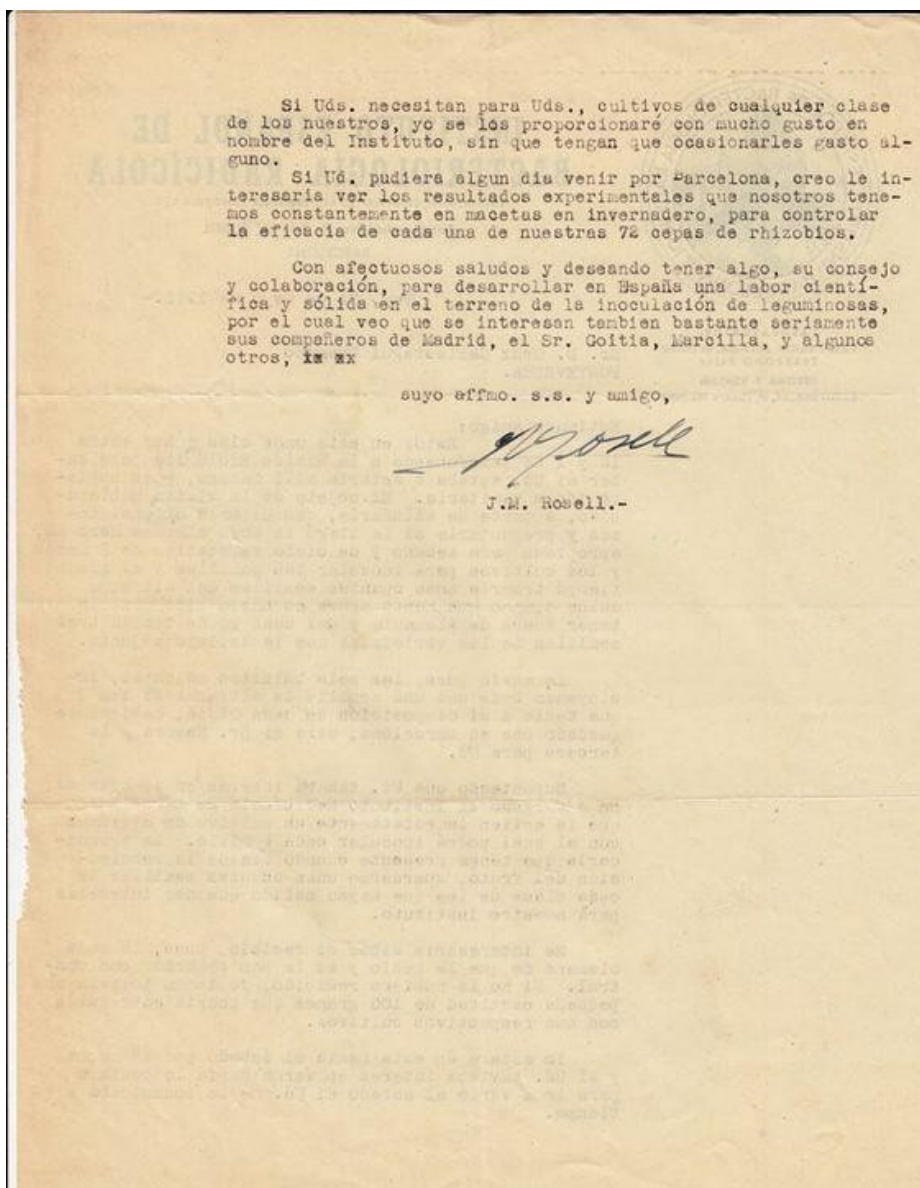


Figura 4.1. Carta fechada en 1943, de José M. Rosell, Director del Instituto Español de Bacteriología Raíz (Barcelona, España), dirigida al Director de la MBG-CSIC, Cruz Gallástegui (De Ron et al. 2019).

4.1.2.Resultados

En este apartado se presentan, en primer lugar, los resultados de los ensayos realizados en los años 2019 y 2020. Además, se incluyen los análisis de varianza, las medias y los contrastes de las 24 variables analizadas en las variedades de judía estudiadas con 12 tratamientos diferentes y las medias de las pruebas de cocidímetro.

4.1.2.1.Resultados de los ensayos de 2019 y 2020.

En la tabla 4.1 se recogen los resultados de los ensayos de campo llevados a cabo en la finca experimental de la MBG-CSIC en las campañas 2019 y 2020.

Tabla 4.1. Resultados de los ensayos de campo de las variedades de judía estudiadas en las campañas de 2019 y 2020 (sistemas de cultivo).

Variedad	Sistema	Inicio floración (d)	Fin floración (d)	Duración floración (d)	Número nódulos	Masa fresca nódulos (g)	Masa seca nódulos (g)
Andecha	Mono	65.1	87.4	22.3	70.1	1.0	0.2
Galaica	Mono	62.5	86.0	23.5	86.0	1.4	0.4
Matterhorn	Mono	44.9	63.2	18.3	8.6	0.1	0.1
Montcau	Mono	66.3	86.9	20.6	115.3	2.2	0.5
Andecha	Aso	65.0	86.6	21.6	56.6	1.0	0.2
Galaica	Aso	65.5	87.0	21.5	30.3	0.8	0.2
Matterhorn	Aso	45.3	62.5	17.4	19.8	0.3	0.1
Montcau	Aso	62.5	81.6	18.8	81.5	1.3	0.4
Variedad	Sistema	Masa fresca aérea (g)	Masa seca aérea (g)	Masa fresca raíz (g)	Masa seca raíz (g)	Nitrógeno hoja seca mgN/g	Fósforo hoja seca mgP/g
Andecha	Mono	238.7	40.9	12.0	3.5	32.3	2.4
Galaica	Mono	106.4	19.7	7.1	2.1	27.7	2.6
Matterhorn	Mono	71.9	12.5	6.3	1.4	37.5	2.8
Montcau	Mono	390.0	65.8	19.8	4.7	31.6	2.3
Andecha	Aso	127.2	22.4	15.4	2.4	34.3	2.6
Galaica	Aso	85.3	16.0	5.3	1.8	35.0	2.6
Matterhorn	Aso	39.3	6.6	3.2	1.1	36.7	2.7
Montcau	Aso	158.4	28.3	8.5	2.4	36.2	2.9
Variedad	Sistema	Granos/vaina	Vainas/planta	Rend/planta (g)	Rend (kg/ha)	Longitud grano (mm)	Anchura grano (mm)
Andecha	Mono	3.2	18.5	30.7	1535.4	20.6	8.8
Galaica	Mono	3.5	16.5	24.0	1201.8	21.4	8.7
Matterhorn	Mono	4.9	20.9	23.9	1192.9	12.2	8.0
Montcau	Mono	5.5	28.6	30.4	1521.0	15.1	8.0
Andecha	Aso	3.4	14.2	29.2	1462.3	20.3	9.0
Galaica	Aso	3.1	10.1	20.5	1026.9	20.9	8.8
Matterhorn	Aso	4.8	9.6	15.7	786.9	12.7	8.1
Montcau	Aso	5.6	18.2	30.2	1509.5	15.5	8.2

Variedad	Sistema	Grosor grano (mm)	Masa 10 granos (g)	Absorción agua grano (%)	Masa tegumento (g)	Masa cotiledón (g)	Tegumento (%)
Andecha	Mono	6.8	8.4	125.9	0.5	6.7	7.4
Galaica	Mono	7.1	9.6	123.7	0.6	7.7	7.3
Matterhorn	Mono	5.2	3.4	113.9	0.2	2.8	7.7
Montcau	Mono	4.0	3.6	132.4	0.3	2.8	10.8
Andecha	Aso	6.8	8.8	115.0	0.5	6.6	7.9
Galaica	Aso	6.8	8.3	118.9	0.5	6.4	8.2
Matterhorn	Aso	5.5	3.6	111.1	0.3	3.1	7.7
Montcau	Aso	4.5	3.7	123.7	0.3	3.1	10.5

Tabla 4.1. Resultados de los ensayos de campo de las variedades de judía estudiadas en las campañas de 2019 y 2020 (enmiendas del suelo).

Variedad	Encalado	Inicio floración (d)	Fin floración (d)	Duración floración (d)	Número nódulos	Masa fresca nódulos (g)	Masa seca nódulos (g)
Andecha	Si	65.0	87.2	22.2	48.8	1.1	0.3
Galaica	Si	65.3	86.9	21.6	27.7	0.6	0.2
Matterhorn	Si	45.5	62.7	17.3	14.8	0.3	0.1
Montcau	Si	64.3	84.4	19.4	100.3	1.9	0.5
Andecha	No	65.1	86.9	21.8	79.1	1.0	0.2
Galaica	No	65.5	87.8	22.3	61.8	1.3	0.3
Matterhorn	No	44.7	63.0	18.3	13.4	0.2	0.1
Montcau	No	64.6	84.1	20.0	98.6	1.6	0.4

Variedad	Encalado	Masa fresca aérea (g)	Masa seca aérea (g)	Masa fresca raíz (g)	Masa seca raíz (g)	Nitrógeno hoja seca mgN/g	Fósforo hoja seca mgP/g
Andecha	Si	190.4	31.8	10.3	3.1	34.5	2.4
Galaica	Si	138.1	24.3	7.2	2.4	35.3	2.7
Matterhorn	Si	45.8	8.3	4.0	0.9	34.5	2.7
Montcau	Si	296.3	47.8	15.3	3.8	34.3	2.7
Andecha	No	178.5	31.9	16.8	2.8	32.0	2.5
Galaica	No	192.6	34.4	8.9	2.8	34.7	2.6
Matterhorn	No	66.8	11.0	5.7	1.5	39.7	2.9
Montcau	No	260.6	48.0	13.5	3.3	33.2	2.5

Variedad	Encalado	Vainas/ planta	Granos/ vaina	Rend/ planta (g)	Rend (kg/ha)	Longitud grano (mm)	Anchura grano (mm)
Andecha	Si	16.9	3.2	32.2	1609.4	20.8	8.9
Galaica	Si	13.7	3.0	24.0	1198.1	21.0	8.8
Matterhorn	Si	14.8	4.5	17.4	870.8	12.3	7.9
Montcau	Si	22.7	5.5	31.5	1577.0	15.2	7.9
Andecha	No	15.9	3.4	27.9	1392.6	20.1	8.9
Galaica	No	15.2	3.2	28.5	1423.2	20.8	8.7
Matterhorn	No	15.4	5.2	22.2	1109.0	12.6	8.1
Montcau	No	24.0	5.6	29.0	1449.9	15.5	8.2

Variedad	Encalado	Grosor grano (mm)	Masa 10 granos (g)	Absorción agua grano (%)	Masa tegumento (g)	Masa cotiledón (g)	Tegumento (%)
Andecha	Si	6.9	8.6	120.4	0.5	6.8	7.3
Galaica	Si	6.9	8.7	119.5	0.5	6.9	7.4
Matterhorn	Si	5.2	3.5	110.7	0.2	2.8	7.6
Montcau	Si	4.2	3.6	127.3	0.3	2.8	10.5
Andecha	No	6.7	8.5	121.5	0.5	6.4	8.0
Galaica	No	6.7	8.7	127.4	0.5	6.7	8.1
Matterhorn	No	5.5	3.5	114.2	0.2	3.0	7.8
Montcau	No	4.3	3.6	128.6	0.3	3.1	10.8

Tabla 4.1. Resultados de los ensayos de campo de las variedades de judía estudiadas en las campañas de 2019 y 2020 (fertilización).

Variedad	Fertiliz	Inicio floración (d)	Fin floración (d)	Duración floración (d)	Número nódulos	Masa fresca nódulos (g)	Masa seca nódulos (g)
Andecha	0	65.3	86.3	20.9	67.2	1.2	0.2
Galaica	0	65.1	87.7	22.6	50.9	1.2	0.2
Matterhorn	0	44.7	63.8	19.1	19.8	0.4	0.1
Montcau	0	66.5	86.5	20.1	100.5	1.9	0.4
Andecha	N	64.9	87.2	22.2	49.8	0.8	0.2
Galaica	N	65.5	87.3	21.8	32.4	0.7	0.2
Matterhorn	N	44.9	64.3	19.7	8.1	0.1	0.0
Montcau	N	64.5	84.2	20.0	117.6	2.4	0.7
Andecha	R	64.9	87.8	22.8	72.3	1.0	0.3
Galaica	R	65.5	87.0	21.5	48.3	1.0	0.2
Matterhorn	R	45.6	60.5	14.9	14.2	0.2	0.1
Montcau	R	62.4	81.8	18.9	82.8	1.2	0.3

Variedad	Fertiliz	Masa fresca aérea (g)	Masa seca aérea (g)	Masa fresca raíz (g)	Masa seca raíz (g)	Nitrógeno hoja seca mgN/g	Fósforo hoja seca mgP/g
Andecha	0	140.1	24.4	8.0	2.3	33.7	2.5
Galaica	0	171.9	31.3	7.4	2.3	31.9	2.4
Matterhorn	0	58.1	9.8	4.2	1.4	41.4	3.0
Montcau	0	267.1	41.7	13.1	3.2	37.9	2.7
Andecha	N	251.1	44.6	25.5	4.4	34.6	2.4
Galaica	N	208.8	36.9	10.5	3.5	38.6	2.8
Matterhorn	N	69.7	11.8	7.1	1.4	35.3	2.7
Montcau	N	346.0	67.7	18.4	4.8	33.1	2.5
Andecha	R	168.6	27.8	8.3	2.4	31.5	2.5
Galaica	R	115.3	19.9	6.3	1.9	34.8	2.7
Matterhorn	R	42.1	7.7	3.3	0.9	34.7	2.6
Montcau	R	227.9	35.0	12.0	2.8	30.5	2.6
Variedad	Fertiliz	Vainas/planta	Granos/vaina	Rend/planta (g)	Rend (kg/ha)	Longitud grano (mm)	Anchura grano (mm)
Andecha	0	14.6	3.3	29.8	1491.8	20.8	9.1
Galaica	0	13.7	3.1	25.4	1272.0	20.9	8.7
Matterhorn	0	13.4	4.6	19.1	954.3	12.6	8.1
Montcau	0	20.2	5.4	26.1	1305.5	15.4	8.0
Andecha	N	23.1	3.5	33.8	1691.6	20.1	8.8
Galaica	N	18.4	3.2	27.4	1367.8	20.8	8.7
Matterhorn	N	18.8	4.9	21.4	1071.9	12.2	7.9
Montcau	N	26.5	5.7	36.5	1826.1	15.4	8.2
Andecha	R	11.8	3.1	26.5	1323.3	20.3	8.8
Galaica	R	11.5	3.0	25.6	1277.5	21.1	8.8
Matterhorn	R	12.8	5.0	18.8	941.2	12.5	8.0
Montcau	R	23.3	5.5	28.3	1413.6	15.1	8.1
Variedad	Fertiliz	Grosor grano (mm)	Masa 10 granos (g)	Absorción agua grano (%)	Masa tegumento (g)	Masa cotiledón (g)	Tegumento (%)
Andecha	0	7.1	9.5	121.1	0.6	7.2	7.5
Galaica	0	6.8	8.7	126.0	0.5	6.8	8.3
Matterhorn	0	5.4	3.5	114.0	0.3	3.1	7.5
Montcau	0	4.2	3.6	127.1	0.4	3.2	10.8
Andecha	N	6.5	7.4	121.1	0.5	5.8	8.2
Galaica	N	6.7	8.2	126.9	0.5	6.5	7.6
Matterhorn	N	5.3	3.6	110.6	0.2	2.9	7.6
Montcau	N	4.3	3.8	129.5	0.3	2.9	10.6
Andecha	R	6.7	8.5	120.5	0.5	6.7	7.3
Galaica	R	6.9	9.1	116.5	0.6	7.2	7.3
Matterhorn	R	5.4	3.5	112.8	0.2	2.8	8.0
Montcau	R	4.3	3.5	127.2	0.3	2.7	10.6

Leyenda: Mono: monocultivo de judía, Aso: cultivo asociado judía-maíz, Fertiliz: fertilización, 0: sin fertilización, N: fertilización nitrogenada, R: inoculación con *R. etli*.

De acuerdo con los sistemas de cultivo (monocultivo de judía y cultivo asociado con maíz), la duración del ciclo biológico de las variedades estudiadas se ha visto poco afectado, y no en el mismo sentido, pues Galaica retrasa su floración en cultivo asociado (62,5 => 65,5 días), mientras que Montcau la adelanta (66,3 => 62,5 días), y en ambas variedades la duración de la floración se reduce en cultivo asociado.

Respecto a la nodulación, en general se reduce el número de nódulos en cultivo asociado, salvo en el caso de la variedad Matterhorn, aunque no hay diferencias relevantes en la masa de los nódulos.

La masa de la parte aérea de la planta y de la raíz, en general se reduce de un modo relevante en cultivo asociado, lo cual es esperado, al compartir el terreno dos cultivos, siendo el maíz un cultivo de grandes exigencias, lo cual ha debido influir en el crecimiento en biomasa de la judía. Esto también se refleja en la productividad de las plantas, que en el cultivo asociado se reduce en indicadores como el número de vainas por planta y el rendimiento de la planta, aunque la reducción del rendimiento no es muy acusada, el máximo lo presenta Andecha en monocultivo (1535,4 kg/ha) y el mínimo Matterhorn en cultivo asociado (786,9 kg/ha).

En relación con los caracteres de grano, el tamaño de este y la proporción de tegumento no experimentan variación importante entre ambos sistemas de cultivo, aunque la absorción de agua se reduce en el cultivo asociado en las cuatro variedades estudiadas, con un máximo de 132,4 % en Montcau en monocultivo, y un mínimo de 111,1 % en Matterhorn en cultivo asociado.

El encalado del suelo no parece haber tenido una gran influencia en el comportamiento agronómico de las cuatro variedades estudiadas. El encalado suele producir una reducción en el pH del suelo, lo cual generalmente influye en la nodulación por los rizobios. En este caso, la respuesta de la nodulación no es homogénea, puesto que Andecha y Galaica presentan mayor número de nódulos en suelos no encalados (con pH menor), mientras que apenas hay variación en Matterhorn y Montcau.

Respecto al rendimiento, la respuesta al encalado tampoco es uniforme, el valor más alto lo ofrece Andecha en suelo encalado (1609,4 kg/ha) y el menor Matterhorn, también en suelo encalado (870,8 kg/ha), Galaica tiene mayor rendimiento en suelo no encalado y Montcau en suelo encalado.

Los diferentes sistemas de fertilización (0, N, *R. etli*) no tienen influencia en el ciclo biológico de las variedades. En la nodulación, Andecha experimenta reducción (mínimo de 49,8) en el número de nódulos cuando es fertilizada con N, al igual que Galaica (máximo de 50,9 en fertilización 0) y Matterhorn (máximo de 19,8 en fertilización 0), en contraste, Montcau tiene su máximo de nódulos (117,6) en fertilización de N.

Desde el punto de vista de la productividad y la biomasa, la respuesta positiva a la fertilización con N es clara en la masa aérea de la planta y en la masa de la raíz. El mismo efecto se manifiesta en el número de vainas por planta, que alcanza los valores más altos como resultado de la fertilización nitrogenada en las cuatro variedades estudiadas. En el caso del rendimiento, el efecto positivo de la fertilización con N es evidente, puesto que las cuatro variedades alcanzan los mayores rendimientos en este caso (Montcau 1826,1 kg/ha, Andecha 1691,6 kg/ha, Galaica 1367,8 kg/ha y Matterhorn 1071,9 kg/ha).

4.1.2.2. Análisis de varianza

En la tabla 4.2 se muestra el análisis de varianza combinado de las variables cuantitativas estudiadas en los ensayos de campo de 2019 y 2020.

Tabla 4.2. Análisis de varianza combinado de las variables cuantitativas estudiadas en las campañas de 2019 y 2020.

Origen	SC	CM	gln	gld	F	p	Sig
Inicio de floración (d)							
T	60,7	5,52	11	183	1,95	0,04	p<0,05 *
V	5195,8	1731,95	3	183	613,05	0,00	p<0,001 ***
A	235,6	235,62	1	183	83,40	0,00	p<0,001 ***
T x V	55,8	1,69	33	183	0,60	0,96	ns
V x A	81,0	27,00	3	183	9,56	0,00	p<0,001 ***
T x V x A	424,3	9,87	43	183	3,49	0,00	p<0,001 ***
Fin de floración (d)							
T	398,3	36,21	11	178	13,63	0,00	p<0,001 ***
V	4515,3	1505,10	3	178	566,40	0,00	p<0,001 ***
A	1171,5	1171,47	1	178	440,85	0,00	p<0,001 ***
T x V	458,7	13,90	33	178	5,23	0,00	p<0,001 ***
V x A	147,5	49,17	3	178	18,50	0,00	p<0,001 ***
T x V x A	1795,5	41,76	43	178	15,71	0,00	p<0,001 ***
Duración de floración (d)							
T	180,1	16,37	11	178	12,67	0,00	p<0,001 ***
V	38,7	12,89	3	178	9,97	0,00	p<0,001 ***
A	2598,3	2598,28	1	178	2010,84	0,00	p<0,001 ***
T x V	392,2	11,88	33	178	9,20	0,00	p<0,001 ***
V x A	15,5	5,17	3	178	4,00	0,01	p<0,01 **
T x V x A	1038,3	24,15	43	178	18,69	0,00	p<0,001 ***
Masa fresca aérea (g)							
T	1233531,6	112139,23	11	178	30,89	0,00	p<0,001 ***
V	639451,4	213150,47	3	178	58,71	0,00	p<0,001 ***
A	4313,8	4313,76	1	178	1,19	0,28	ns
T x V	357867,1	10844,46	33	178	2,99	0,00	p<0,001 ***
V x A	172469,8	57489,94	3	178	15,84	0,00	p<0,001 ***
T x V x A	622083,0	14467,05	43	178	3,98	0,00	p<0,001 ***

Masa seca aérea (g)								
T	40078,7	3643,52	11	178	37,44	0,00	p<0,001	***
V	15057,1	5019,05	3	178	51,57	0,00	p<0,001	***
A	424,3	424,33	1	178	4,36	0,04	p<0,05	*
T x V	14289,2	433,01	33	178	4,45	0,00	p<0,001	***
V x A	2899,2	966,40	3	178	9,93	0,00	p<0,001	***
T x V x A	16873,5	392,41	43	178	4,03	0,00	p<0,001	***
Vainas / planta								
T	4708,2	428,02	11	157	17,04	0,00	p<0,001	***
V	456,5	152,16	3	157	6,06	0,00	p<0,001	***
A	129,2	129,24	1	157	5,15	0,02	p<0,05	*
T x V	1679,1	50,88	33	157	2,03	0,00	p<0,001	***
V x A	424,9	141,64	3	157	5,64	0,00	p<0,001	***
T x V x A	3783,2	94,58	40	157	3,77	0,00	p<0,001	***
Rendimiento / planta (g)								
T	2767,2	251,56	11	160	5,16	0,00	p<0,001	***
V	154,5	51,50	3	160	1,06	0,37	ns	
A	43,2	43,20	1	160	0,89	0,35	ns	
T x V	4787,2	145,07	33	160	2,98	0,00	p<0,001	***
V x A	787,2	262,39	3	160	5,38	0,00	p<0,001	***
T x V x A	6705,7	167,64	40	160	3,44	0,00	p<0,001	***
Rendimiento por hectárea (kg/ha)								
T	6919282,3	629025,66	11	160	5,16	0,00	p<0,001	***
V	386171,5	128723,83	3	160	1,06	0,37	ns	
A	108089,6	108089,64	1	160	0,89	0,35	ns	
T x V	11966127,8	362609,93	33	160	2,98	0,00	p<0,001	***
V x A	1967945,8	655981,94	3	160	5,38	0,00	p<0,001	***
T x V x A	16763926,4	419098,16	40	160	3,44	0,00	p<0,001	***
Masa fresca raíz (g)								
T	4051,2	368,29	11	178	5,99	0,00	p<0,001	***
V	1171,4	390,46	3	178	6,35	0,00	p<0,001	***
A	94,8	94,81	1	178	1,54	0,22	ns	
T x V	691,0	20,94	33	178	0,34	1,00	ns	
V x A	568,2	189,40	3	178	3,08	0,03	p<0,05	*
T x V x A	7006,6	162,94	43	178	2,65	0,00	p<0,001	***
Masa seca raíz (g)								
T	226,1	20,55	11	177	24,97	0,00	p<0,001	***
V	96,5	32,17	3	177	39,09	0,00	p<0,001	***
A	11,7	11,65	1	177	14,16	0,00	p<0,001	***
T x V	111,8	3,39	33	177	4,12	0,00	p<0,001	***
V x A	16,7	5,57	3	177	6,76	0,00	p<0,001	***
T x V x A	133,4	3,18	42	177	3,86	0,00	p<0,001	***

Número de nódulos							
T	48466,7	4406,06	11	164	1,72	0,07	ns
V	34812,9	11604,29	3	164	4,54	0,00	p<0,001 ***
A	67884,4	67884,39	1	164	26,53	0,00	p<0,001 ***
T x V	48975,4	1484,10	33	164	0,58	0,97	ns
V x A	14421,5	4807,17	3	164	1,88	0,14	ns
T x V x A	203101,0	5077,53	40	164	1,98	0,00	p<0,001 ***
Masa fresca nódulos (g)							
T	13,2	1,20	11	164	1,08	0,38	ns
V	15,8	5,27	3	164	4,75	0,00	p<0,001 ***
A	8,2	8,22	1	164	7,40	0,01	p<0,01 **
T x V	31,6	0,96	33	164	0,86	0,68	ns
V x A	6,0	2,00	3	164	1,80	0,15	ns
T x V x A	74,7	1,92	39	164	1,73	0,01	p<0,01 **
Masa seca nódulos (g)							
T	0,6	0,06	11	160	1,08	0,38	ns
V	1,0	0,34	3	160	6,28	0,00	p<0,001 ***
A	0,6	0,59	1	160	10,92	0,00	p<0,001 ***
T x V	1,1	0,03	33	160	0,61	0,95	ns
V x A	0,5	0,16	3	160	3,01	0,03	p<0,05 *
T x V x A	4,8	0,13	38	160	2,33	0,00	p<0,001 ***
Granos / vaina							
T	15,4	1,40	11	160	7,71	0,00	p<0,001 ***
V	58,6	19,53	3	160	107,76	0,00	p<0,001 ***
A	2,1	2,10	1	160	11,58	0,00	p<0,001 ***
T x V	32,2	0,98	33	160	5,38	0,00	p<0,001 ***
V x A	1,0	0,34	3	160	1,90	0,13	ns
T x V x A	31,9	0,80	40	160	4,40	0,00	p<0,001 ***
Longitud de grano (mm)							
T	17,2	1,57	11	160	3,59	0,00	p<0,001 ***
V	647,4	215,79	3	160	494,36	0,00	p<0,001 ***
A	1,7	1,66	1	160	3,79	0,05	p<0,05 *
T x V	44,6	1,35	33	160	3,10	0,00	p<0,001 ***
V x A	1,0	0,32	3	160	0,73	0,53	ns
T x V x A	53,8	1,34	40	160	3,08	0,00	p<0,001 ***
Anchura de grano (mm)							
T	3,2	0,29	11	157	3,94	0,00	p<0,001 ***
V	8,4	2,79	3	157	37,60	0,00	p<0,001 ***
A	6,6	6,56	1	157	88,51	0,00	p<0,001 ***
T x V	5,2	0,16	33	157	2,12	0,00	p<0,001 ***
V x A	2,6	0,88	3	157	11,86	0,00	p<0,001 ***
T x V x A	7,3	0,18	40	157	2,46	0,00	p<0,001 ***

Grosor de grano (mm)								
T	3,6	0,32	11	157	4,49	0,00	p<0,001	***
V	59,3	19,76	3	157	275,14	0,00	p<0,001	***
A	0,3	0,28	1	157	3,94	0,05	p<0,05	*
T x V	10,3	0,31	33	157	4,35	0,00	p<0,001	***
V x A	0,2	0,06	3	157	0,80	0,50	ns	
T x V x A	14,7	0,37	40	157	5,10	0,00	p<0,001	***
Masa de 10 granos (g)								
T	14,9	1,35	11	158	3,86	0,00	p<0,001	***
V	294,4	98,15	3	158	280,62	0,00	p<0,001	***
A	0,1	0,09	1	158	0,26	0,61	ns	
T x V	45,8	1,39	33	158	3,97	0,00	p<0,001	***
V x A	0,2	0,07	3	158	0,21	0,89	ns	
T x V x A	39,9	1,00	40	158	2,85	0,00	p<0,001	***
Absorción de agua del grano (%)								
T	3818,5	347,14	11	156	5,78	0,00	p<0,001	***
V	3691,9	1230,65	3	156	20,48	0,00	p<0,001	***
A	1737,8	1737,82	1	156	28,92	0,00	p<0,001	***
T x V	5841,0	177,00	33	156	2,95	0,00	p<0,001	***
V x A	809,3	269,75	3	156	4,49	0,00	p<0,001	***
T x V x A	7676,2	191,90	40	156	3,19	0,00	p<0,001	***
Masa del tegumento (g)								
T	0,1	0,01	11	156	6,61	0,00	p<0,001	***
V	0,8	0,27	3	156	227,50	0,00	p<0,001	***
A	0,0	0,01	1	156	8,68	0,00	p<0,001	***
T x V	0,1	0,00	33	156	3,24	0,00	p<0,001	***
V x A	0,0	0,00	3	156	1,24	0,30	ns	
T x V x A	0,3	0,01	40	156	6,50	0,00	p<0,001	***
Masa de los cotiledones (g)								
T	14,5	1,32	11	158	4,32	0,00	p<0,001	***
V	190,9	63,64	3	158	208,82	0,00	p<0,001	***
A	0,6	0,56	1	158	1,84	0,18	ns	
T x V	33,9	1,03	33	158	3,37	0,00	p<0,001	***
V x A	0,2	0,05	3	158	0,18	0,91	ns	
T x V x A	76,2	1,90	40	158	6,25	0,00	p<0,001	***
Proporción de tegumento (%)								
T	11,0	1,00	11	158	2,40	0,01	p<0,01	**
V	81,7	27,22	3	158	65,41	0,00	p<0,001	***
A	7,8	7,82	1	158	18,78	0,00	p<0,001	***
T x V	27,8	0,84	33	158	2,03	0,00	p<0,001	***
V x A	3,0	1,00	3	158	2,39	0,07	ns	
T x V x A	88,3	2,21	40	158	5,30	0,00	p<0,001	***

Nitrógeno hoja seca (mg/g)							
T	836,8	76,07	11	177	1,58	0,11	ns
V	279,4	93,14	3	177	1,94	0,13	ns
A	901,2	901,20	1	177	18,75	0,00	p<0,001 ***
T x V	2888,4	87,53	33	177	1,82	0,01	p<0,01 *
V x A	73,0	24,34	3	177	0,51	0,68	ns
T x V x A	4603,1	109,60	42	177	2,28	0,00	p<0,001 ***
Fósforo hoja seca (mg/g)							
T	5,9	0,54	11	177	3,00	0,00	p<0,001 ***
V	0,1	0,01	3	177	0,03	0,99	ns
A	0,4	0,43	1	177	2,36	0,13	ns
T x V	13,4	0,40	33	177	2,24	0,00	p<0,001 ***
V x A	0,3	0,09	3	177	0,51	0,68	ns
T x V x A	19,5	0,46	42	177	2,56	0,00	p<0,001 ***

Leyenda: T: tratamientos, V: variedades, A: años, SC: suma de cuadrados, CM: cuadrados medios, gln: grados de libertad del numerador en la prueba F, gld: grados de libertad del denominador en la prueba F, F: estadístico F, p: probabilidad de F, Sig: significación estadística de p, ns: no significativo

Los factores analizados en los ensayos han sido los siguientes.

Los tratamientos (T) (12) han sido:

- Monocultivo de judía / cultivo asociado con maíz (2).
- Enmienda de cal / no enmienda (2).
- Testigo 0 / fertilización con N / inoculación con rhizobium (3).

Variedades de judía (V) (4) han sido:

- Galaica: clase comercial internacional “Favada”, con crecimiento indeterminado trepador tipo IV, muy agresivo.
- Andecha: clase comercial internacional “Favada”, con crecimiento indeterminado trepador tipo IV, muy agresivo.
- Montcau: clase comercial internacional “Hook (Ganxet)”, con crecimiento indeterminado trepador tipo IV.
- Matterhorn: clase comercial internacional “Great Northern”, con crecimiento indeterminado no trepador erecto tipo II.

Por último, los años (A) (2) han sido:

- 2019.
- 2020.

En los análisis de varianza se han utilizado 24 variables cuantitativas que son caracteres indicadores fenotípicos de las distintas partes de la planta en diferentes fases de su ciclo biológico.

Las variedades utilizadas tienen notables diferencias genéticas entre ellas, en particular en hábito de crecimiento y ciclo biológico, lo que explica que existan diferencias estadísticamente significativas en la mayoría de los caracteres estudiados en dichas variedades.

Los caracteres indicadores de ciclo de cultivo (floración) presentan diferencias significativas entre variedades, tratamientos y años, así como interacciones también significativas, con la excepción de TxV en inicio de floración. Estos resultados son esperables debido tanto a las diferencias entre variedades ya comentadas, como a la influencia de las condiciones de cada año de cultivo en el desarrollo de las plantas.

No ha habido diferencias significativas entre variedades en contenido en nitrógeno y fósforo en hoja seca, aunque hay diferencias en nitrógeno entre años y en fósforo entre tratamientos, y en ambos casos hay interacciones significativas TxV y TxVxA. Tampoco hay diferencias entre variedades en rendimiento por planta y por hectárea, que es un carácter muy variable con los años, aunque en los análisis no se detecta efecto significativo de los mismos en el rendimiento, pero sí diferencias entre tratamientos (T) e interacciones VxA y TxVxA. Hay que hacer mención expresa de que el ensayo de 2020 fue atípico, debido a las importantes restricciones impuestas ese año por la pandemia de COVID-19. De hecho, en la mayoría de los caracteres estudiados existen diferencias significativas entre años, así como en las interacciones VxA y TxVxA.

Los diferentes tratamientos presentan diferencias significativas en todas las variables excepto en las relacionadas con la nodulación, lo que parece indicar que los procesos simbióticos (nodulación y contenido en Nitrógeno) no se han visto afectados por la enmienda caliza del suelo y tampoco por el sistema de cultivo (M / A).

Los caracteres de grano o semilla pueden considerarse como indicadores de la “fitness” o viabilidad de una planta, pues la contribución genética a la siguiente generación. La mayoría de estos caracteres han mostrado diferencias significativas entre tratamientos, variedades y años, así como sus interacciones. La excepción han sido longitud de grano (en la interacción VxA), grosor de grano (en VxA), masa de 10 granos (A y VxA), masa del tegumento (VxA) masa de los cotiledones (A y VxA) y proporción de tegumento (VxA).

La masa de 10 granos es un componente del rendimiento, junto con el número de vainas por planta y el número de granos por vaina. Como ya se ha mencionado, la masa de 10 granos no ha presentado diferencias entre años, lo cual resulta un hecho bastante inesperado, dado que la masa del grano suele estar bastante influida por el ambiente, en este caso los años, lo cual no ha sucedido en este caso. En los otros indicadores de la producción, el número de vainas por planta presentó diferencias significativas en todos los efectos y asimismo en las interacciones, mientras que el número de granos por vaina únicamente mostró diferencias no significativas en la interacción VxA.

La calidad comercial del grano, y su valor para el consumo, viene dada por caracteres como la absorción de agua y la proporción de tegumento del grano (además del tamaño del grano). La absorción de agua es un carácter de valor muy especial en la cocción, ya que es preciso un buen remojo como paso previo para un buen comportamiento en el cocinado del grano. Por su parte, la proporción de tegumento tiene gran importancia en la palatabilidad del grano de judía al consumirse; una alta proporción de tegumento tendría efectos no deseados en el consumo del grano. Ambos caracteres han presentado diferencias significativas en todos los efectos e interacciones, salvo la interacción VxA en proporción de tegumento.

4.1.2.3. Medias totales y contrastes de medias

En la tabla 4.3 se muestran las medias totales de las variables cuantitativas estudiadas en los ensayos de campo de 2019 y 2020 de las cuatro variedades, y en la tabla 4.4 los contrastes de medias.

Tabla 4.3. Medias totales de las variables estudiadas en las cuatro variedades.

VARIEDAD	MEDIA	INTERVALO DE CONFIANZA		EE	gl
Inicio de floración (d)					
ANDECHA	65,07	64,56	- 65,59	0,26	183
GALAICA	65,37	64,90	- 65,85	0,24	183
MATTERHORN	45,09	44,60	- 45,57	0,25	183
MONTCAU	64,40	63,92	- 64,89	0,25	183
Fin de floración (d)					
ANDECHA	87,02	86,52	- 87,53	0,25	178
GALAICA	87,31	86,85	- 87,78	0,24	178
MATTERHORN	62,83	62,35	- 63,30	0,24	178
MONTCAU	84,28	83,79	- 84,77	0,25	178
Duración de floración (d)					
ANDECHA	21,95	21,60	- 22,30	0,18	178
GALAICA	21,94	21,61	- 22,26	0,16	178
MATTERHORN	17,83	17,50	- 18,16	0,17	178
MONTCAU	19,70	19,36	- 20,04	0,17	178
Masa fresca aérea (g)					
ANDECHA	184,23	163,82	- 204,64	9,81	179
GALAICA	165,34	145,98	- 184,69	9,13	179
MATTERHORN	56,31	36,69	- 75,93	9,31	179
MONTCAU	279,29	259,66	- 298,91	9,31	179
Masa seca aérea (g)					
ANDECHA	31,84	26,70	- 36,99	2,09	179
GALAICA	29,37	24,21	- 34,54	2,00	179
MATTERHORN	9,68	4,53	- 14,84	2,02	179
MONTCAU	47,93	42,78	- 53,09	2,02	179
Vainas / planta					
ANDECHA	16,42	14,70	- 18,15	0,87	157
GALAICA	14,40	12,89	- 15,90	0,76	157
MATTERHORN	15,09	13,58	- 16,60	0,76	157
MONTCAU	23,37	21,76	- 24,97	0,81	157
Rendimiento planta (g)					
ANDECHA	30,02	27,66	- 32,38	1,2	160
GALAICA	26,05	23,95	- 28,16	1,06	160
MATTERHORN	19,80	17,72	- 21,88	1,05	160
MONTCAU	30,30	28,09	- 32,51	1,12	160
Rendimiento hectárea (kg)					
ANDECHA	1501,00	1382,77	- 1619,23	59,87	160
GALAICA	1302,75	1197,62	- 1407,88	53,23	160
MATTERHORN	989,90	885,97	- 1093,83	52,63	160
MONTCAU	1515,09	1404,69	- 1625,48	55,90	160

Masa fresca raíz (g)						
ANDECHA	13,63	11,14	-	16,13	1,23	179
GALAICA	8,08	5,74	-	10,42	1,13	179
MATTERHORN	4,84	2,45	-	7,22	1,16	179
MONTCAU	14,42	12,04	-	16,80	1,16	179
Masa seca raíz (g)						
ANDECHA	2,99	2,71	-	3,27	0,14	177
GALAICA	2,59	2,33	-	2,85	0,13	177
MATTERHORN	1,23	0,95	-	1,51	0,14	177
MONTCAU	3,58	3,32	-	3,85	0,13	177
Número de nódulos						
ANDECHA	63,39	41,45	-	85,33	9,63	9
GALAICA	44,00	22,41	-	65,59	9,10	7
MATTERHORN	14,49	-7,71	-	36,70	9,91	10
MONTCAU	99,64	78,02	-	121,26	9,16	7
Masa fresca nódulos (g)						
ANDECHA	1,03	0,70	-	1,36	0,17	164
GALAICA	0,97	0,66	-	1,27	0,16	164
MATTERHORN	0,25	-0,11	-	0,60	0,18	164
MONTCAU	1,80	1,49	-	2,11	0,16	164
Masa seca nódulos (g)						
ANDECHA	0,23	0,16	-	0,30	0,04	160
GALAICA	0,20	0,13	-	0,27	0,03	160
MATTERHORN	0,08	0,00	-	0,16	0,04	160
MONTCAU	0,45	0,38	-	0,52	0,03	160
Granos / vaina						
ANDECHA	3,29	3,15	-	3,44	0,07	160
GALAICA	3,09	2,96	-	3,22	0,06	160
MATTERHORN	4,84	4,71	-	4,97	0,06	160
MONTCAU	5,51	5,38	-	5,65	0,07	160
Longitud de grano (mm)						
ANDECHA	20,43	20,21	-	20,66	0,11	160
GALAICA	20,92	20,73	-	21,12	0,10	160
MATTERHORN	12,45	12,25	-	12,64	0,10	160
MONTCAU	15,34	15,13	-	15,55	0,11	160
Anchura de grano (mm)						
ANDECHA	8,89	8,80	-	8,99	0,05	157
GALAICA	8,76	8,67	-	8,85	0,04	157
MATTERHORN	8,02	7,93	-	8,11	0,04	157
MONTCAU	8,09	8,00	-	8,19	0,04	157
Grosor de grano (mm)						
ANDECHA	6,79	6,69	-	6,90	0,05	158
GALAICA	6,82	6,73	-	6,92	0,04	158
MATTERHORN	5,36	5,26	-	5,45	0,04	158
MONTCAU	4,29	4,19	-	4,39	0,05	158

Masa de 10 granos (g)						
ANDECHA	8,57	8,37	-	8,78	0,10	158
GALAICA	8,68	8,51	-	8,86	0,09	158
MATTERHORN	3,53	3,35	-	3,70	0,09	158
MONTCAU	3,62	3,44	-	3,81	0,09	158
Absorción de agua de grano (%)						
ANDECHA	120,89	114,66	-	127,12	2,21	156
GALAICA	123,13	116,66	-	129,60	2,11	156
MATTERHORN	112,43	105,96	-	118,90	2,11	156
MONTCAU	128,11	121,74	-	134,48	2,14	156
Masa tegumento de grano (g)						
ANDECHA	0,52	0,50	-	0,53	0,01	156
GALAICA	0,54	0,53	-	0,56	0,01	156
MATTERHORN	0,24	0,23	-	0,26	0,01	156
MONTCAU	0,34	0,32	-	0,35	0,01	156
Masa cotiledones de grano (g)						
ANDECHA	6,62	6,43	-	6,81	0,10	158
GALAICA	6,83	6,67	-	7,00	0,08	158
MATTERHORN	2,93	2,77	-	3,10	0,08	158
MONTCAU	2,94	2,76	-	3,11	0,09	158
Proporción de tegumento de grano (%)						
ANDECHA	7,64	7,42	-	7,86	0,11	158
GALAICA	7,73	7,54	-	7,93	0,10	158
MATTERHORN	7,70	7,51	-	7,90	0,10	158
MONTCAU	10,64	10,43	-	10,84	0,10	158
Nitrógeno hoja seca (mg/g)						
ANDECHA	33,37	28,91	-	37,83	1,67	177
GALAICA	35,07	30,53	-	39,60	1,62	177
MATTERHORN	37,08	32,56	-	41,61	1,62	177
MONTCAU	33,71	29,18	-	38,23	1,62	177
Fósforo hoja seca (mg/g)						
ANDECHA	2,49	2,25	-	2,73	0,09	177
GALAICA	2,62	2,37	-	2,86	0,09	177
MATTERHORN	2,78	2,53	-	3,02	0,09	177
MONTCAU	2,61	2,37	-	2,85	0,09	177
Leyenda: EE: error estándar, gl: grados de libertad						

Tabla 4.4. Contrastes de medias entre las variedades.

CONTRASTE	EST	EE	gl	INTERVALO DE CONFIANZA		t	p	Sig
Inicio de floración (d)								
A-G	-0,30	0,36	183	-1,26	- 0,65	-0,84	0,40	ns
A-MA	19,99	0,36	183	19,03	- 20,95	55,65	0,00	p<0,001***
A-MO	0,67	0,36	183	-0,29	- 1,63	1,86	0,08	ns
G-MA	20,29	0,34	183	19,37	- 21,21	58,83	0,00	p<0,001***
G-MO	0,97	0,34	183	0,05	- 1,89	2,81	0,01	p<0,01**
MA-MO	-19,32	0,35	183	-20,24	- -18,39	-55,72	0,00	p<0,001***
Fin de floración (d)								
A-G	-0,29	0,35	178	-1,21	- 0,64	-0,83	0,41	ns
A-MA	24,2	0,35	178	23,26	- 25,13	69,12	0,00	p<0,001***
A-MO	2,75	0,36	178	1,80	- 3,69	7,72	0,00	p<0,001***
G-MA	24,49	0,34	178	23,59	- 25,38	72,8	0,00	p<0,001***
G-MO	3,03	0,34	178	2,12	- 3,95	8,86	0,00	p<0,001***
MA-MO	-21,45	0,35	178	-22,38	- -20,53	-62,04	0,00	p<0,001***
Duración de la floración (d)								
A-G	0,01	0,24	178	-0,63	- 0,66	0,06	0,95	ns
A-MA	4,13	0,24	178	3,47	- 4,78	16,90	0,00	p<0,001***
A-MO	2,25	0,25	178	1,59	- 2,92	9,08	0,00	p<0,001***
G-MA	4,11	0,23	178	3,49	- 4,74	17,53	0,00	p<0,001***
G-MO	2,24	0,24	178	1,60	- 2,88	9,38	0,00	p<0,001***
MA-MO	-1,87	0,24	178	-2,51	- -1,23	-7,76	0,00	p<0,001***
Masa fresca aérea (g)								
A-G	18,90	12,81	179	-15,29	- 53,09	1,47	0,14	ns
A-MA	127,92	12,94	179	93,40	- 162,45	9,88	0,00	p<0,001***
A-MO	-95,05	12,94	179	-129,58	- -60,52	-7,34	0,00	p<0,001***
G-MA	109,02	12,43	179	75,86	- 142,19	8,77	0,00	p<0,001***
G-MO	-113,95	12,43	179	-147,12	- -80,78	-9,17	0,00	p<0,001***
MA-MO	-222,98	12,56	179	-256,50	- -189,45	-17,75	0,00	p<0,001***
Masa seca aérea (g)								
A-G	2,47	2,10	179	-3,13	- 8,07	1,18	0,24	ns
A-MA	22,16	2,12	179	16,51	- 27,81	10,46	0,00	p<0,001***
A-MO	-16,09	2,12	179	-21,74	- -10,44	-7,59	0,00	p<0,001***
G-MA	19,69	2,04	179	14,26	- 25,12	9,67	0,00	p<0,001***
G-MO	-18,56	2,04	179	-23,99	- -13,13	-9,12	0,00	p<0,001***
MA-MO	-38,25	2,06	179	-43,74	- -32,76	-18,59	0,00	p<0,001***
Vainas / planta								
A-G	2,03	1,16	157	-1,07	- 5,13	1,75	0,12	ns
A-MA	1,33	1,16	157	-1,77	- 4,43	1,15	0,30	ns
A-MO	-6,94	1,19	157	-10,13	- -3,76	-5,82	0,00	p<0,001***
G-MA	-0,70	1,08	157	-3,59	- 2,19	-0,65	0,52	ns
G-MO	-8,97	1,12	157	-11,95	- -5,99	-8,04	0,00	p<0,001***
MA-MO	-8,28	1,12	157	-11,26	- -5,29	-7,42	0,00	p<0,001***

Rendimiento planta (g)									
A-G	3,97	1,60	160	-0,32	-	8,25	2,47	0,02	p<0,05 *
A-MA	10,22	1,59	160	5,96	-	14,48	6,41	0,00	p<0,001 ***
A-MO	-0,28	1,64	160	-4,66	-	4,10	-0,17	0,86	ns
G-MA	6,26	1,50	160	2,26	-	10,26	4,18	0,00	p<0,001 ***
G-MO	-4,25	1,54	160	-8,37	-	-0,12	-2,75	0,01	p<0,01 **
MA-MO	-10,50	1,54	160	-14,60	-	-6,40	-6,84	0,00	p<0,001 ***
Rendimiento hectárea (kg)									
A-G	198,25	80,11	160	-15,76	-	412,27	2,47	0,02	p<0,05 *
A-MA	511,10	79,71	160	298,16	-	724,04	6,41	0,00	p<0,001 ***
A-MO	-14,09	81,91	160	-232,9	-	204,72	-0,17	0,86	ns
G-MA	312,85	74,86	160	112,87	-	512,82	4,18	0,00	p<0,001 ***
G-MO	-212,34	77,19	160	-418,55	-	-6,13	-2,75	0,01	p<0,01 **
MA-MO	-525,19	76,77	160	-730,28	-	-320,09	-6,84	0,00	p<0,001 ***
Masa fresca raíz (g)									
A-G	5,56	1,67	179	1,11	-	10,00	3,33	0,00	p<0,001 ***
A-MA	8,80	1,68	179	4,31	-	13,29	5,23	0,00	p<0,001 ***
A-MO	-0,79	1,68	179	-5,28	-	3,71	-0,47	0,64	ns
G-MA	3,24	1,62	179	-1,07	-	7,56	2,01	0,06	ns
G-MO	-6,34	1,62	179	-10,66	-	-2,03	-3,92	0,00	p<0,001 ***
MA-MO	-9,59	1,63	179	-13,95	-	-5,22	-5,86	0,00	p<0,001 ***
Masa seca raíz (g)									
A-G	0,40	0,19	177	-0,12	-	0,91	2,06	0,04	p<0,05 *
A-MA	1,76	0,20	177	1,23	-	2,29	8,83	0,00	p<0,001 ***
A-MO	-0,60	0,19	177	-1,12	-	-0,08	-3,06	0,00	p<0,001 ***
G-MA	1,36	0,19	177	0,85	-	1,87	7,11	0,00	p<0,001 ***
G-MO	-0,99	0,19	177	-1,49	-	-0,49	-5,31	0,00	p<0,001 ***
MA-MO	-2,36	0,19	177	-2,87	-	-1,84	-12,17	0,00	p<0,001 ***
Número de nódulos									
A-G	19,39	11,01	164	-10,02	-	48,79	1,76	0,08	ns
A-MA	48,89	11,69	164	17,66	-	80,12	4,18	0,00	p<0,001 ***
A-MO	-36,25	11,07	164	-65,81	-	-6,70	-3,28	0,00	p<0,001 ***
G-MA	29,51	11,26	164	-0,56	-	59,57	2,62	0,01	p<0,01 **
G-MO	-55,64	10,61	164	-83,97	-	-27,32	-5,25	0,00	p<0,001 ***
MA-MO	-85,15	11,31	164	-115,36	-	-54,94	-7,53	0,00	p<0,001 ***
Masa fresca nódulos (g)									
A-G	0,07	0,23	164	-0,55	-	0,68	0,28	0,78	ns
A-MA	0,79	0,25	164	0,13	-	1,45	3,18	0,00	p<0,001 ***
A-MO	-0,77	0,23	164	-1,39	-	-0,16	-3,35	0,00	p<0,001 ***
G-MA	0,72	0,24	164	0,08	-	1,36	3,03	0,00	p<0,001 ***
G-MO	-0,84	0,22	164	-1,43	-	-0,25	-3,79	0,00	p<0,001 ***
MA-MO	-1,56	0,24	164	-2,20	-	-0,92	-6,51	0,00	p<0,001 ***
Masa seca nódulos (g)									
A-G	0,03	0,05	160	-0,11	-	0,16	0,56	0,58	ns
A-MA	0,15	0,06	160	0,00	-	0,29	2,64	0,01	p<0,01 **
A-MO	-0,22	0,05	160	-0,35	-	-0,08	-4,32	0,00	p<0,001 ***
G-MA	0,12	0,05	160	-0,03	-	0,26	2,19	0,04	p<0,05 *
G-MO	-0,25	0,05	160	-0,38	-	-0,12	-5,02	0,00	p<0,001 ***
MA-MO	-0,37	0,05	160	-0,51	-	-0,22	-6,72	0,00	p<0,001 ***

Granos / vaina									
A-G	0,20	0,10	160	-0,06	-	0,46	2,06	0,04	p<0,05 *
A-MA	-1,55	0,10	160	-1,81	-	-1,29	-15,91	0,00	p<0,001 ***
A-MO	-2,22	0,10	160	-2,49	-	-1,95	-22,21	0,00	p<0,001 ***
G-MA	-1,75	0,09	160	-1,99	-	-1,50	-19,15	0,00	p<0,001 ***
G-MO	-2,42	0,09	160	-2,67	-	-2,17	-25,70	0,00	p<0,001 ***
MA-MO	-0,67	0,09	160	-0,92	-	-0,42	-7,18	0,00	p<0,001 ***
Longitud de grano (mm)									
A-G	-0,49	0,15	160	-0,90	-	-0,09	-3,25	0,00	p<0,001 ***
A-MA	7,99	0,15	160	7,58	-	8,39	52,94	0,00	p<0,001 ***
A-MO	5,09	0,16	160	4,67	-	5,50	32,83	0,00	p<0,001 ***
G-MA	8,48	0,14	160	8,10	-	8,86	59,85	0,00	p<0,001 ***
G-MO	5,58	0,15	160	5,19	-	5,97	38,21	0,00	p<0,001 ***
MA-MO	-2,90	0,15	160	-3,29	-	-2,51	-19,94	0,00	p<0,001 ***
Anchura de grano (mm)									
A-G	0,13	0,06	157	-0,03	-	0,30	2,15	0,04	p<0,05 *
A-MA	0,88	0,06	157	0,71	-	1,05	14,14	0,00	p<0,001 ***
A-MO	0,80	0,06	158	0,63	-	0,97	12,58	0,00	p<0,001 ***
G-MA	0,74	0,06	157	0,59	-	0,90	12,75	0,00	p<0,001 ***
G-MO	0,67	0,06	158	0,51	-	0,83	11,11	0,00	p<0,001 ***
MA-MO	-0,08	0,06	158	-0,24	-	0,08	-1,26	0,21	ns
Grosor de grano (mm)									
A-G	-0,03	0,06	158	-0,19	-	0,13	-0,50	0,62	ns
A-MA	1,44	0,06	158	1,27	-	1,60	23,46	0,00	p<0,001 ***
A-MO	2,50	0,06	158	2,33	-	2,67	39,77	0,00	p<0,001 ***
G-MA	1,47	0,06	158	1,31	-	1,62	25,51	0,00	p<0,001 ***
G-MO	2,53	0,06	158	2,37	-	2,69	42,71	0,00	p<0,001 ***
MA-MO	1,07	0,06	158	0,91	-	1,22	18,08	0,00	p<0,001 ***
Masa de 10 granos (g)									
A-G	-0,11	0,14	158	-0,48	-	0,26	-0,81	0,45	ns
A-MA	5,05	0,14	158	4,68	-	5,41	36,88	0,00	p<0,001 ***
A-MO	4,95	0,14	158	4,58	-	5,32	35,38	0,00	p<0,001 ***
G-MA	5,16	0,13	158	4,82	-	5,50	40,44	0,00	p<0,001 ***
G-MO	5,06	0,13	158	4,71	-	5,41	38,69	0,00	p<0,001 ***
MA-MO	-0,10	0,13	158	-0,45	-	0,25	-0,75	0,45	ns
Absorción de agua de grano (%)									
A-G	-2,24	1,79	156	-7,04	-	2,55	-1,25	0,21	ns
A-MA	8,46	1,79	156	3,67	-	13,25	4,72	0,00	p<0,001 ***
A-MO	-7,22	1,83	156	-12,12	-	-2,31	-3,93	0,00	p<0,001 ***
G-MA	10,70	1,67	156	6,24	-	15,17	6,40	0,00	p<0,001 ***
G-MO	-4,97	1,72	156	-9,56	-	-0,39	-2,90	0,01	p<0,01 **
MA-MO	-15,68	1,72	156	-20,26	-	-11,09	-9,14	0,00	p<0,001 ***
Masa tegumento de grano (g)									
A-G	-0,02	0,01	156	-0,05	-	0,00	-3,09	0,00	p<0,001 ***
A-MA	0,28	0,01	156	0,26	-	0,30	35,00	0,00	p<0,001 ***
A-MO	0,18	0,01	156	0,16	-	0,20	22,64	0,00	p<0,001 ***
G-MA	0,30	0,01	156	0,28	-	0,32	40,87	0,00	p<0,001 ***
G-MO	0,21	0,01	156	0,19	-	0,23	27,45	0,00	p<0,001 ***
MA-MO	-0,09	0,01	156	-0,11	-	-0,07	-12,40	0,00	p<0,001 ***

Masa cotiledones de grano (g)									
A-G	-0,22	0,13	158	-0,56	-	0,12	-1,71	0,11	ns
A-MA	3,68	0,13	158	3,34	-	4,02	28,83	0,00	p<0,001***
A-MO	3,68	0,13	158	3,33	-	4,03	28,17	0,00	p<0,001***
G-MA	3,90	0,12	158	3,58	-	4,22	32,78	0,00	p<0,001***
G-MO	3,90	0,12	158	3,57	-	4,22	31,92	0,00	p<0,001***
MA-MO	-0,01	0,12	158	-0,33	-	0,32	-0,04	0,96	ns
Proporción de tegumento de grano (%)									
A-G	-0,09	0,15	158	-0,49	-	0,30	-0,63	0,78	ns
A-MA	-0,07	0,15	158	-0,47	-	0,33	-0,45	0,78	ns
A-MO	-3,00	0,15	158	-3,41	-	-2,59	-19,65	0,00	p<0,001***
G-MA	0,03	0,14	158	-0,35	-	0,40	0,19	0,85	ns
G-MO	-2,90	0,14	158	-3,29	-	-2,52	-20,36	0,00	p<0,001***
MA-MO	-2,93	0,14	158	-3,31	-	-2,55	-20,55	0,00	p<0,001***
Nitrógeno hoja seca (mg/g)									
A-G	-1,70	1,49	177	-5,68	-	2,28	-1,14	0,38	ns
A-MA	-3,71	1,50	177	-7,71	-	0,29	-2,48	0,06	ns
A-MO	-0,34	1,50	177	-4,34	-	3,66	-0,23	0,82	ns
G-MA	-2,01	1,44	177	-5,85	-	1,82	-1,40	0,33	ns
G-MO	1,36	1,44	177	-2,48	-	5,20	0,95	0,42	ns
MA-MO	3,37	1,45	177	-0,49	-	7,23	2,33	0,06	ns
Fósforo hoja seca (mg/g)									
A-G	-0,12	0,09	177	-0,37	-	0,12	-1,32	0,24	ns
A-MA	-0,28	0,09	177	-0,53	-	-0,03	-3,05	0,02	p<0,05 *
A-MO	-0,12	0,09	177	-0,36	-	0,13	-1,28	0,24	ns
G-MA	-0,16	0,09	177	-0,39	-	0,08	-1,80	0,15	ns
G-MO	0,00	0,09	177	-0,23	-	0,24	0,04	0,97	ns
MA-MO	0,16	0,09	177	-0,07	-	0,40	1,83	0,15	ns
<p>Leyenda: EST: estimación de diferencias entre medias, EE: error estándar, gl: grados de libertad, t: estadístico "t", p: probabilidad de "t", Sig: significación estadística de p, ns: no significativo, variedades: A: ANDECHA, G: GALAICA, MA: MATTERHORN, MO: MONTCAU</p>									

En lo relativo al ciclo biológico, hay que tener en cuenta que Andecha, Galaica y Montcau tienen hábito de crecimiento indeterminado trepador tipo IV, lo que se manifiesta en un ciclo biológico muy largo, con el inicio de la floración más de dos meses después de la siembra. Las diferencias son menores en la duración de la floración, que presenta valores medios entre 17,83 y 21,95 días.

Respecto a la nodulación simbiótica, destaca Montcau, que presenta un máximo de 121,26 nódulos por planta, con media de casi 100 nódulos. Matterhorn tiene valores muy bajos en número de nódulos, quizá relacionado con su origen americano, aunque la variedad se adapta bien a las condiciones locales de cultivo. Se repiten estos valores en la masa de los nódulos, aunque los contenidos en Nitrógeno y Fósforo son semejantes en las cuatro variedades.

En cuanto a los caracteres indicadores de producción, en vainas/planta y granos/vaina destaca Montcau, lo que se ve reflejado en su rendimiento, de más de 1500 kg/ha, valor semejante al de Andecha, mientras que Galaica tiene un rendimiento menor y Matterhorn mucho más bajo, como menos de 1000 kg/ha, aunque llega a un máximo superior a este valor.

En lo referido a calidad del grano, las variedades Andecha y Galaica, muy similares fenotípicamente y probablemente cercanas genéticamente (ambas pertenecen a la clase comercial 'Favada' y sus áreas de origen son muy próximas, Asturias y Galicia), tienen granos muy largos, de más de 20 mm y su masa alcanza valores de casi 0,9 g / grano. Esto contrasta con los granos de menor tamaño de Montcau y de Matterhorn, cuyos granos son netamente menores que los de Andecha y Galaica. La absorción de agua del grano de las cuatro variedades varía desde un mínimo de 105,96 % hasta un máximo de 129,60 %, en Galaica. Son valores de referencia destacados de este carácter como indicador relevante de la calidad del grano. Dado que se trata de cuatro variedades resultado de programas de mejora, estos resultados son los esperados. Sin embargo, en lo que se refiere a proporción de tegumento, cabría esperar que fuese reducida, al tratarse de variedades mejoradas, pero mientras Andecha, Galaica y Matterhorn muestran valores entre 7,42 % y 7,93 %, Montcau está en valores altos, con una media de 10,64 %, lo que no es un indicador de buena calidad de grano, a pesar de ser una variedad que se ha seleccionado, entre otros caracteres, por la calidad de su grano.

Los resultados de los contrastes de las medias de las variables cuantitativas estudiadas en las cuatro variedades mejoradas, coinciden con lo expuesto sobre las medias totales de los caracteres estudiados.

Como se menciona en el apartado de Materiales y Métodos de este Capítulo, las cuatro variedades estudiadas son el resultado de diferentes programas de selección y mejora genética. Estas variedades han sido elegidas para este estudio por sus características, en algunos casos semejantes entre ellas y en otros casos contrastantes. Andecha y Galaica, como ya se ha mencionado, pertenecen a la clase comercial internacional 'Favada' y los orígenes territoriales de los materiales base de su mejora son próximos, en el Norte y Noroeste de España (Andecha, Asturias y Galaica, Lugo-Galicia). Montcau es una variedad mejorada dentro del tipo "Ganxet" (clase comercial internacional 'Hook'). Esta variedad ha sido seleccionada por la calidad de su grano, un tipo muy apreciado en su zona de producción en el NE de España (Cataluña). Por último, Matterhorn se ha elegido en esta investigación como variedad de referencia internacional (clase comercial 'Great Northern'). Ha sido obtenida por mejora genética en Michigan (USA) y está ampliamente difundida en esta área, apreciada por su buen comportamiento agronómico y la calidad de su grano, aunque estas características no se manifiestan expresamente en los resultados de esta investigación.

Las tablas 4.5 y 4.6 muestran los valores medios de las pruebas de cocción de grano realizadas con el cocidímetro, descrito en el apartado de Material y Métodos de este Capítulo, en los ciclos de cultivo de 2019 y 2020, en las cuatro variedades de judía estudiadas.

Tabla 4.5. Valores medios de las pruebas de cocidímetro en 2019.

VARIEDAD	TIEMPO TOTAL DE COCCIÓN (min)
ANDECHA	32
ANDECHA	33
ANDECHA	38
ANDECHA	64
ANDECHA	67
<i>Máximo</i>	67
<i>Media</i>	48
<i>Mínimo</i>	32
GALAICA	40
GALAICA	38
GALAICA	59
GALAICA	47
GALAICA	67
GALAICA	53
GALAICA	61
GALAICA	64
GALAICA	68
<i>Máximo</i>	68
<i>Media</i>	55
<i>Mínimo</i>	38
MATTERHORN	67
MATTERHORN	60
MATTERHORN	36
MATTERHORN	49
MATTERHORN	54
MATTERHORN	49
MATTERHORN	64
MATTERHORN	57
MATTERHORN	59
MATTERHORN	51
MATTERHORN	65
<i>Máximo</i>	67
<i>Media</i>	56
<i>Mínimo</i>	36

MONTCAU	59
MONTCAU	35
MONTCAU	29
MONTCAU	54
MONTCAU	40
MONTCAU	38
MONTCAU	45
MONTCAU	51
MONTCAU	47
MONTCAU	32
MONTCAU	54
<i>Máximo</i>	59
<i>Media</i>	44
<i>Mínimo</i>	29

Tabla 4.6. Valores medios de las pruebas de cocidímetro en 2020.

VARIEDAD	TIEMPO TOTAL DE COCCIÓN (min)
ANDECHA	29
ANDECHA	41
ANDECHA	32
ANDECHA	40
ANDECHA	38
ANDECHA	32
ANDECHA	43
ANDECHA	40
ANDECHA	36
ANDECHA	47
ANDECHA	51
ANDECHA	27
<i>Máximo</i>	51
<i>Media</i>	38
<i>Mínimo</i>	27

GALAICA	40
GALAICA	32
GALAICA	41
GALAICA	37
GALAICA	36
GALAICA	32
GALAICA	28
GALAICA	35
GALAICA	38
GALAICA	36
GALAICA	51
GALAICA	38
<i>Máximo</i>	51
<i>Media</i>	37
<i>Mínimo</i>	28
MATTERHORN	33
MATTERHORN	30
MATTERHORN	37
MATTERHORN	55
MATTERHORN	43
MATTERHORN	32
MATTERHORN	40
MATTERHORN	47
MATTERHORN	39
MATTERHORN	46
MATTERHORN	38
MATTERHORN	64
<i>Máximo</i>	64
<i>Media</i>	42
<i>Mínimo</i>	30
MONTCAU	30
MONTCAU	29
MONTCAU	36
MONTCAU	26
MONTCAU	30
MONTCAU	23
MONTCAU	30
MONTCAU	38
MONTCAU	48
MONTCAU	28
MONTCAU	29
<i>Máximo</i>	48
<i>Media</i>	32
<i>Mínimo</i>	23

De acuerdo con estos resultados, se observa que en 2019 se han realizado 36 pruebas, mientras que en 2020 han sido 47. La tabla 4.7 resume los análisis tenidos en cuenta según la variedad y el año.

La capacidad para realizar estas pruebas en grano depende de la cosecha y de la disponibilidad de dicho grano, que, además, debe utilizarse para otras pruebas, como absorción de agua y proporción de tegumento, y esto ha sido diferente en 2019 y 2020. Por otra parte, al tratarse de un prototipo de un modelo de utilidad, que ha sido descrito en Metodología, algunas de las pruebas iniciales no han proporcionado resultados adecuados, por lo cual no han sido considerados. Finalmente, no ha sido posible separar los resultados de los análisis de acuerdo con el diseño del experimento con diferentes factores, sino que ha habido que agruparlos por variedad, debido a la limitación de disponibilidad de grano.

El valor más alto de tiempo de cocción experimental lo presentó Galaica en 2019 (68 min), mientras que el mínimo correspondió a Montcau en 2020 (23 min). Los valores medios varían desde un mínimo de 32 min de Montcau en 2020 hasta el máximo de 56 min de Matterhorn en 2019. No obstante, debido a que se utilizó un prototipo, y por primera vez, adecuando la metodología a las características del mismo, deben tenerse en cuenta estos resultados con cierta reserva, ya que sería necesario realizar más pruebas con el prototipo, y con más variedades de judía, para que las medidas resultasen más consistentes.

A pesar de ello, disponer del equipamiento y de la metodología para evaluar un carácter de gran importancia (la cocción) para el consumo y el procesado industrial de judía grano debe considerarse como un proceso innovador, que puede abrir al camino para posteriores investigaciones.

Tabla 4.7. Muestras procesadas de cada variedad en 2019 y 2020.

Variedad	Año	Nº de muestras
ANDECHA	2019	5
GALAICA	2019	9
MATTERHORN	2019	11
MONTCAU	2019	11
SUBTOTAL		36
ANDECHA	2020	12
GALAICA	2020	12
MATTERHORN	2020	12
MONTCAU	2020	11
SUBTOTAL		47
TOTAL		83

La figura 4.2 resume los tiempos totales de cocción de las 83 muestras procesadas de las cuatro variedades estudiadas en 2019 y 2020.

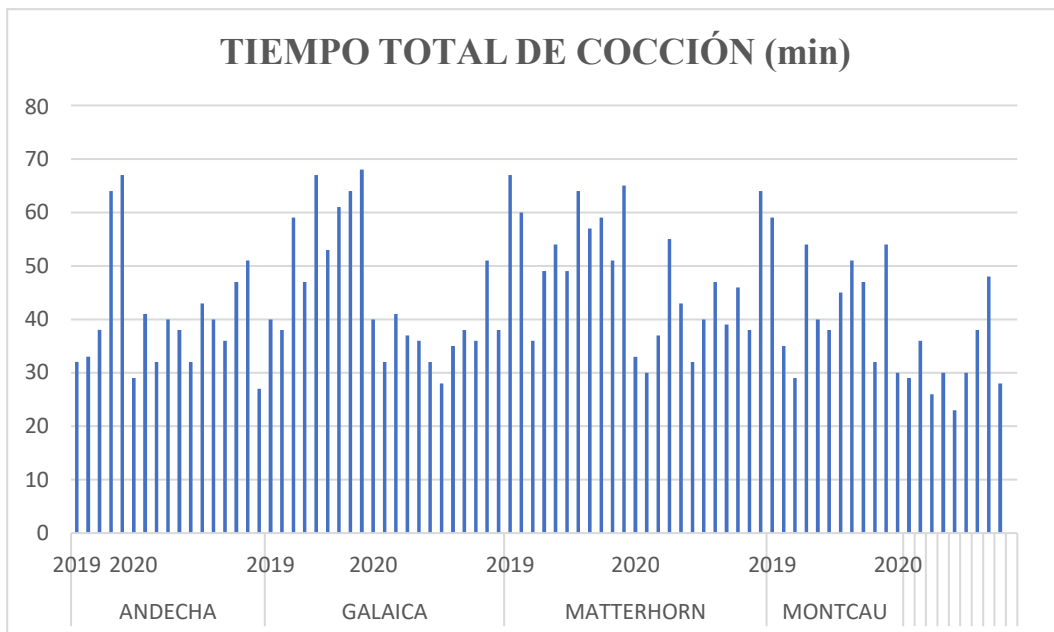


Figura 4.2. Tiempo total de cocción, según variedad y año.

4.2. Análisis del sistema interactivo judía-microbiota en las variedades Galaica y Matterhorn con tratamientos químicos y biológicos (fertilizante nitrogenado, *Burkholderia alba* y *Trichoderma harzianum*) (Objetivo 3).

4.2.1. Antecedentes

4.2.1.1. Variedades de judía

Las variedades de judía estudiadas en este Sub-apartado, Galaica y Matterhorn, ya han sido descritas en el Apartado Materiales y Metodología. La variedad Galaica (seleccionada en la MBG-CSIC) representa una variedad de alta calidad y también alto valor de mercado, mientras que Matterhorn es una variedad internacionalmente reconocida y de madurez temprana. Además, presenta resistencia a enfermedades como roya y BCMV y tolerancia a *Fusarium*. En este capítulo se incluye el análisis del sistema interactivo judía-microbiota en dichas variedades utilizando un tratamiento químico (fertilizante nitrogenado) y otros biológicos (la bacteria simbiótica *Burkholderia alba* y el hongo *Trichoderma harzianum*).

La agricultura sostenible se enfrenta a un desafío relevante: proporcionar alimentos para las crecientes demandas humanas y, al mismo tiempo, minimizar los impactos en los agrosistemas cuya biodiversidad a menudo se ha empobrecido por prácticas agrícolas intensivas y agresivas. Los ecosistemas agrícolas pueden verse agravados por el cambio climático, que aumentaría la frecuencia de las perturbaciones, modificaría la idoneidad de los hábitats y cambiaría la forma en que interactúan las especies. En ese contexto, el control biológico de los factores bióticos de los sistemas plantas-microbiota del suelo contribuirá a la estabilidad y diversidad de las comunidades agrícolas. En el caso de la judía, su interacción con la microbiota del suelo tiene diversos aspectos de relevancia para el cultivo y para el medio ambiente (De Ron 2015). Por una parte, la simbiosis con rizobacterias da lugar a la fijación simbiótica o biológica de nitrógeno (FSN o FBN), de la que se beneficia tanto la planta de judía como el suelo y el medio ambiente, al limitarse el uso de fertilizantes nitrogenados, que son responsables de la emisión de gases de efecto invernadero (óxidos de nitrógeno) (Rodríguez et al. 2011). Algunas de estas rizobacterias también presentan actividades benéficas como biorremediación, biocontrol y promoción del crecimiento vegetal. Por otra parte, hongos del suelo como las micorrizas endógenas y las especies del género *Trichoderma* contribuyen a la defensa contra enfermedades y además promueven el crecimiento vegetal (De Ron et al. 2019).

4.2.1.2. Factores ambientales que afectan a la Fijación Simbiótica de Nitrógeno (FSN)

La producción agraria está a menudo limitada por la deficiencia de nitrógeno en los suelos de cultivo, siendo el factor limitante más común para el crecimiento de las plantas. Los fertilizantes nitrogenados son ampliamente utilizados para corregir esta deficiencia y elevar los rendimientos de las cosechas. No obstante, una producción sostenible no sólo se basa en conseguir altos rendimientos con buena calidad de producto y a menor coste, sino que también debe buscar la protección del medio ambiente. El uso de fertilizantes nitrogenados ha aumentado durante muchas décadas, especialmente en países en vía de desarrollo, por encima de su uso en los países desarrollados. En la mayoría de los casos sólo el 30-40 % del nitrógeno aplicado en los cultivos es utilizado por las plantas, y el resto se pierde en la atmósfera y en el suelo (Rodríguez et al. 2004). En este sentido, asegurar la eficiencia del uso de estos fertilizantes es una de las principales tareas en el desarrollo de programas agrícolas en algunos países en desarrollo. La fijación simbiótica de nitrógeno (FSN) es una fuente alternativa a la fertilización con nitrógeno inorgánico y tiene un gran valor económico y medioambiental. Además, en la actualidad es posible incrementar la FSN mejorando la eficiencia de la asociación planta-bacteria simbiótica por medio de la doble mejora genética de la planta y de la bacteria, determinando los binomios más eficientes en un determinado agrosistema.

Entre los factores ambientales que influyen en la FSN, la temperatura es fundamental para la formación de nódulos; la salinidad y la sequía disminuyen la permeabilidad del nódulo al O₂ y el suministro de fotosintato al nódulo, y la deficiencia de fósforo inhibe el desarrollo del nódulo y la fijación de N₂ total (Drevon et al. 2015).

Algunos estreses abióticos como la salinidad y la sequía (González et al. 2001) reducen fuertemente la FSN. Se han propuesto varias hipótesis para explicar el efecto negativo de la salinidad sobre la FSN en leguminosas: suministro reducido de fotosintato al nódulo (Georgiev and Atkins 1993), suministro reducido de sustratos respiratorios a los bacteroides (Delgado et al. 1994) y alteraciones en la barrera de difusión de oxígeno que reduce el flujo de oxígeno hacia el nódulo y evita el daño de la nitrogenasa (Serraj et al. 1994). En condiciones de sequía, la importación reducida de fotosintatos puede hacer que haya menos carbohidratos disponibles para la función del nódulo (Durand et al. 1987). Otra posibilidad es que la exportación de carbohidratos de los nódulos se bloquee debido a la falta de agua (Walsh 1990). La respuesta de nodulación y fijación de N₂ al déficit hídrico depende del estado de crecimiento de las plantas. Peña-Cabriales y Castellanos (1993) señalaron que el déficit hídrico durante el crecimiento vegetativo fue más perjudicial para la nodulación y la FSN que durante la etapa de reproducción.

En relación con la acidez del suelo, está bien documentado que la productividad de las leguminosas está limitada por la posible acidez, que es un problema significativo para la producción agrícola en muchas áreas del mundo (Correa and Barneix 1997). La mayoría de las leguminosas requieren un suelo neutro o ligeramente ácido para crecer, especialmente cuando dependen de la FSN (Brockwell et al. 1991). La incapacidad de las leguminosas para nodular en condiciones de suelo ácido es común, especialmente en suelos con un pH inferior a 5,0 y la incapacidad de algunos rizobios para persistir en tales condiciones es una de las causas del fracaso de la nodulación (Carter et al. 1994). Las especies de leguminosas difieren mucho en su respuesta a un pH bajo con respecto al crecimiento y la nodulación (Tang and Thomson 1996). Recientemente, se ha descubierto que la cantidad de N₂ fijada por las leguminosas forrajeras en suelos ácidos de baja fertilidad depende del crecimiento y la persistencia de las leguminosas; asimismo se ha identificado que el número de nódulos, la actividad de la nitrogenasa y la ultraestructura de los nódulos de la judía común y de caupí se vieron muy afectados en suelos ácidos con un pH de 4,5 (Alva et al. 1990, Vassileva et al. 1997).

La fertilización con nitrógeno tiene, en general, una gran influencia en la simbiosis rizobio-leguminosa, al inhibir la nodulación y la consiguiente fijación simbiótica de nitrógeno. Nitrato (NO₃⁻), amonio (NH₄⁺) y urea estimulan el crecimiento de las leguminosas al inicio del crecimiento vegetativo ya que el suministro de nitrógeno es necesario durante la fase inicial de la nodulación, cuando la planta no puede depender de la fijación simbiótica de nitrógeno (Sousanna and Hartwig 1996). La inhibición depende de la dosis, momento de empleo y tipo de fertilizante. El tratamiento con ciertos productos fitosanitarios, especialmente algunos fungicidas aplicados a la semilla, también pueden crear problemas en la viabilidad de las cepas de los inóculos e inhibir fuertemente la nodulación. Es conveniente la inoculación del suelo para que sean las cepas inoculadas las que formen una alta proporción de nódulos en la especie huésped (Rodiño et al. 2004). El efecto local del nitrato en la inhibición de la nodulación y la fijación de N₂ puede estar relacionado con el hecho de que la alta acumulación de nitrato está restringida en las partes de la raíz en contacto directo con el nitrato (Ohyama et al. 1993). La intensidad de la inhibición del crecimiento de nódulos por el NO₃⁻ está relacionada con el período de tratamiento, así como con la tolerancia de las diferentes especies de leguminosas (Fujikake et al. 2003).

4.2.1.3. La bacteria simbiótica *Burkholderia alba*

Para mejorar la producción de la judía común es crucial ampliar la identificación de nuevos microsimbiontes (μ -simbiontes) de judía, competitivos y eficientes. En este contexto, más de 20 especies de rizobios, incluidas proteobacterias alfa y beta, se han descrito como μ -simbiontes de judía. El género *Burkholderia sensu stricto* comprende más de 100 especies (Vandamme and Eberl 2018) en nichos ecológicos muy diversos, habiendo sido aisladas de suelos, plantas, insectos, entornos industriales, entornos hospitalarios y humanos infectados (Coenye and Vandamme 2003, Eberl and Vandamme 2016). Algunas cepas de *Burkholderia* tienen interés para su uso en agricultura, industria, biocontrol y promoción del crecimiento vegetal (PGPR, Plant Growth Promoting Rhizobacteria) (Eberl and Vandamme 2016). La capacidad de fijación de N_2 por parte de *Burkholderia* fue descrita en *B. vietnamiensis* (Gillis et al. 1995) y observada posteriormente en otras especies, de las cuales se han descrito más de 15 que efectivamente nodulan diferentes especies de leguminosas, siendo *Mimosa* la más frecuente. *Burkholderia* se aisló de nódulos de judía en Marruecos (Talbi et al. 2010), México (Martínez-Aguilar et al. 2013) y Brasil (Dall'Agnol et al. 2017). En 2020, en ensayos de campo en la MBG-CSIC, se observó que el crecimiento de las plantas de judía inoculadas con la cepa control *R. etli* CFN42 fue menor que el de las plantas control que no fueron inoculadas ni tratadas con fertilizante nitrogenado (Osmoform NXT). Además, se observó la presencia de nódulos en las raíces de las plantas testigo sin inocular, aislándose *Burkholderia alba* de dichos nódulos. Es la primera vez que se aísla *B. alba* de nódulos de judía, ya que esta especie se aisló anteriormente, pero en suelos de Corea del Sur (Lee et al. 2018).

Todo ello abre posibilidades interesantes, acerca del posible uso de este nuevo μ -simbionte, *B. alba*, como bioinoculante para la fertilización nitrogenada de la judía en una agricultura sostenible que evite la emisión de gases de efecto invernadero para contribuir a la mitigación del cambio climático.

4.2.1.4. Importancia de *Trichoderma* en la agronomía y en la protección de los cultivos

Trichoderma es un género de hongos de la familia Hypocreaceae, que se encuentran en el suelo y pueden crecer en diversas estructuras de diferentes plantas. El valor de *Trichoderma* deriva de sus importantes efectos beneficiosos en plantas relevantes para la producción agraria, como su capacidad para proteger a los cultivos contra enfermedades (Benítez et al. 2004) y promover el crecimiento vegetal de los cultivos en el campo (Harman et al. 2004, De Ron et al. 2019, De Ron et al. 2021). Muchas especies de *Trichoderma* actúan como agentes de biocontrol de importantes hongos patógenos de los cultivos, mediante mecanismos de micoparasitismo, antibiosis y competencia por los nutrientes con el potencial hongo patógeno (Harman et al. 2004). El género *Trichoderma* coloniza la superficie de las raíces de las plantas y producen cambios metabólicos relevantes (Shoresh et al. 2010), limitándose su relación biológica con las plantas a la primera capa celular de la epidermis y la corteza de la raíz. Además, *Trichoderma* es capaz de inducir la expresión de genes implicados en la respuesta de defensa vegetal ante patógenos y, asimismo, promover el crecimiento de las plantas (Hermosa et al. 2012).

Muchas cepas de diferentes especies de *Trichoderma* producen metabolitos bioactivos que tienen actividades promotoras del crecimiento y / o antimicrobianas cuando se aplican a plantas. Así, los metabolitos secundarios purificados de *Trichoderma* pueden ser potencialmente eficaces en controlar infecciones microbianas, mostrando una actividad antibiótica más rápida que la observada con la aplicación del propio organismo vivo en condiciones de campo (Fravel 1988). Por otra parte, diversos estudios demostraron que la aplicación de dichos metabolitos bioactivos a diferentes plantas proporcionaba efectos equivalentes a los observados con la aplicación directa de las cepas de *Trichoderma* productora

de dichos metabolitos, pero sin las desventajas de manejar el microorganismo vivo en un agrosistema (Keswani et al. 2014). Otros estudios recientes, demostraron que la aplicación de diferentes metabolitos bioactivos en un cultivo como la soja no sólo estimulaba el crecimiento de la planta, sino que también aumentaba las propiedades nutricionales en la semilla cosechada (Marra 2019). De manera similar, también se demostró una correlación positiva entre la aplicación de metabolitos bioactivos seleccionados de *Trichoderma* a la vid y el aumento del contenido de polifenoles y la actividad antioxidante en los frutos (Pascale et al. 2017). Finalmente, las cepas de *Trichoderma* también se consideran eficientes productores de enzimas extracelulares, algunas de las cuales están implicadas en el control biológico de enfermedades de las plantas (Monte 2001, Harman et al. 2004); además, las especies de *Trichoderma* también producen reguladores de crecimiento vegetal y solubilizan minerales en el suelo, lo que ayuda a promover el crecimiento de las plantas. Todo ello ha favorecido el desarrollo comercial de numerosas formulaciones o “cócteles” microbianos que incluyen *Trichoderma* en su formulación, para prácticas agrícolas sostenibles.

En conclusión, es una prioridad desarrollar métodos de producción agraria que no utilicen agroquímicos de síntesis y utilizar como alternativa sistemas integrados de producción, para una producción agraria sostenible, incluyendo el uso de agentes de biocontrol (De Ron et al. 2021). El tratamiento de plantas con *Trichoderma harzianum*, así como con los metabolitos secundarios que segrega, permitirá mejorar la defensa de las plantas ante enfermedades microbianas y promover el crecimiento vegetal de las plantas y la calidad de sus frutos, abriendo nuevas oportunidades para la mejora de los cultivos, en un sistema de producción agraria sostenible, lo que es objeto de estudio en el presente Capítulo.

4.2.2.Resultados

En este apartado se presentan, en primer lugar, los resultados de los ensayos realizados en los años 2021 y 2022. Además, se incluyen los análisis de varianza, las medias de las 24 variables analizadas y los contrastes de medias en las variedades de judía estudiadas con 12 tratamientos diferentes.

4.2.2.1.Resultados de los ensayos de 2021 y 2022.

En la tabla 4.8 se recogen los resultados de los ensayos de campo llevados a cabo en la finca experimental de la MBG-CSIC en las campañas 2021 y 2022.

Tabla 4.8. Resultados de los ensayos de campo de las variedades de judía estudiadas en las campañas de 2021 y 2022.

Variedad	Trat	Inicio floración (d)	Fin floración (d)	Duración floración (d)	Número nódulos	Masa fresca nódulos (g)	Masa seca nódulos (g)
Galaica	0	68,0	104,0	36,0	24,3	1,2	0,2
Matterhorn	0	45,5	65,0	19,5	34,5	1,0	0,7
Galaica	N	67,5	103,8	36,3	12,0	0,1	0,1
Matterhorn	N	46,5	64,8	18,3	44,5	3,1	0,7
Galaica	B	68,5	104,3	35,8	71,5	1,9	0,7
Matterhorn	B	46,8	66,5	19,8	46,3	1,1	0,9
Galaica	T	66,8	100,0	33,3	26,8	0,7	0,1
Matterhorn	T	48,8	66,0	17,3	35,8	1,1	0,4
Galaica	NB	68,5	100,0	31,5	153,5	2,1	0,9
Matterhorn	NB	45,5	65,3	19,8	95,0	2,2	1,0
Galaica	NT	68,0	101,0	33,0	50,8	1,9	0,7
Matterhorn	NT	45,8	63,0	17,3	44,8	1,3	0,5
Galaica	BT	68,0	100,5	32,5	85,0	2,3	0,7
Matterhorn	BT	47,5	66,5	19,0	127,0	2,3	0,7
Galaica	NBT	68,0	101,0	33,0	9,8	0,2	0,1
Matterhorn	NBT	45,5	65,0	19,5	60,0	1,3	0,6

Variedad	Trat	Masa fresca aérea (g)	Masa seca aérea (g)	Masa fresca raíz (g)	Masa seca raíz (g)	Nitrógeno hoja seca mgN/g	Fósforo hoja seca mgP/g
Galaica	0	129,3	23,0	5,9	0,3	32,6	2,3
Matterhorn	0	136,8	23,1	5,9	1,7	39,5	2,7
Galaica	N	131,8	27,3	9,9	2,1	36,2	2,5
Matterhorn	N	213,4	42,7	7,8	3,3	44,5	2,7
Galaica	B	142,5	25,5	6,2	1,6	32,9	2,3
Matterhorn	B	91,5	13,8	5,2	1,6	49,7	4,1
Galaica	T	192,7	33,4	7,6	1,5	38,7	2,7
Matterhorn	T	107,1	18,5	5,4	1,3	55,8	3,8
Galaica	NB	172,0	30,5	7,5	1,6	32,5	2,6
Matterhorn	NB	206,0	33,5	12,3	3,2	47,9	2,9
Galaica	NT	300,8	50,1	12,4	2,8	39,5	3,1
Matterhorn	NT	165,0	21,6	10,0	2,6	60,5	2,7
Galaica	BT	159,0	25,3	6,6	1,6	38,7	2,9
Matterhorn	BT	89,7	13,3	7,4	1,6	50,6	3,4
Galaica	NBT	245,6	46,3	10,4	2,7	32,0	2,9
Matterhorn	NBT	178,3	26,3	10,2	2,3	48,9	3,1
Variedad	Trat	Vainas/planta	Granos/vaina	Rend/planta (g)	Rend (kg/ha)	Longitud grano (mm)	Anchura grano (mm)
Galaica	0	10,6	2,4	47,4	2368,1	20,9	9,2
Matterhorn	0	19,8	4,4	17,0	847,7	11,3	7,5
Galaica	N	15,1	2,3	60,0	2999,8	21,1	9,0
Matterhorn	N	29,2	4,5	23,9	1193,0	12,0	7,8
Galaica	B	7,3	2,2	11,2	559,1	21,1	8,9
Matterhorn	B	18,5	4,6	12,3	614,4	11,1	7,1
Galaica	T	12,9	2,4	41,0	2048,3	20,5	9,4
Matterhorn	T	19,8	5,0	24,2	1211,3	12,2	8,1
Galaica	NB	18,5	2,7	51,1	2555,4	20,7	8,8
Matterhorn	NB	20,4	5,2	18,1	904,0	11,5	7,6
Galaica	NT	15,3	2,9	54,1	2706,1	20,9	9,0
Matterhorn	NT	30,8	4,7	39,4	1971,7	12,0	7,6
Galaica	BT	27,0	2,8	22,4	1121,0	20,8	9,1
Matterhorn	BT	25,0	4,9	25,7	1284,0	12,0	8,1
Galaica	NBT	20,4	2,8	80,2	4010,5	20,5	8,9
Matterhorn	NBT	28,3	5,3	36,1	1802,8	11,6	7,8

Variedad	Trat	Grosor grano (mm)	Masa 10 granos (g)	Absorción agua grano (%)	Masa tegumento (g)	Masa cotiledón (g)	Tegumento (%)
Galaica	0	6,8	8,9	124,9	1,7	11,6	14,6
Matterhorn	0	4,3	2,5	129,9	0,6	4,1	13,5
Galaica	N	6,8	8,2	129,0	1,7	11,1	15,2
Matterhorn	N	4,9	3,1	103,5	0,5	3,2	16,0
Galaica	B	6,5	8,3	94,6	2,0	11,2	18,0
Matterhorn	B	4,3	2,7	107,8	0,9	4,9	19,3
Galaica	T	6,7	8,9	116,1	1,7	12,1	14,4
Matterhorn	T	4,8	3,1	115,1	0,5	3,9	12,2
Galaica	NB	6,6	7,8	125,3	1,6	10,7	15,2
Matterhorn	NB	4,5	2,7	135,9	0,5	3,6	12,6
Galaica	NT	6,9	8,2	123,5	1,6	10,9	14,8
Matterhorn	NT	5,1	3,5	118,5	0,6	5,1	12,2
Galaica	BT	6,8	8,4	122,8	2,1	12,7	16,8
Matterhorn	BT	4,9	3,2	113,0	0,6	4,9	12,8
Galaica	NBT	6,5	8,0	127,0	1,6	11,0	14,6
Matterhorn	NBT	5,1	3,2	122,9	0,5	4,3	11,6

Los diversos tratamientos no han tenido un efecto claro sobre el ciclo biológico de las dos variedades de judía. Únicamente se detecta un ligero retraso en el inicio de la floración en Matterhorn con el tratamiento T (48,8 d). Las floraciones más cortas se presentan en ambas variedades con el tratamiento T, en Galaica con NB y en Matterhorn con NT.

Respecto al número de nódulos, la variación es muy amplia en las variedades y con los diferentes tratamientos. Los valores más bajos los presentan Galaica con N (12,0) y Matterhorn con NBT (9,8). Los valores más altos se encuentran en Galaica con NB (253,5) y en Matterhorn con BT (127,0). Parece que el tratamiento N tiene efecto en reducir el número de nódulos en ambas variedades.

En relación con la biomasa y la productividad, la masa de la parte aérea de la planta y de la raíz (fresca y seca) alcanza los valores más altos en los tratamientos con N, o con otros tratamientos que incluyen N, indicando el efecto del nitrógeno en el crecimiento de la planta. Los valores más altos de vainas por planta están relacionados con N, T y B. El rendimiento con el tratamiento NBT alcanza valores muy altos, tanto en Galaica (4010,5 kg/ha) como en Matterhorn (1802,8 kg/ha), aunque esta última variedad tiene el mayor rendimiento en el tratamiento NT. Galaica también tiene buena respuesta al tratamiento N, mientras que los valores mínimos en ambas variedades se presentan en el tratamiento B.

En los caracteres de calidad de grano, la masa de grano más baja de Galaica (que tiene grano extra-grande) se da en el tratamiento NB (7,8 g 100 granos⁻¹) y la mayor masa de Matterhorn (con grano de tamaño intermedio) en el tratamiento NT (3,5 g 100 granos⁻¹). En absorción de agua, Matterhorn en el tratamiento NB tiene un valor muy alto (135,9 %) y Galaica presenta el valor más bajo (94,6 %) con el tratamiento B. Los mejores valores de proporción de tegumento se presentan en Matterhorn con NBT (11,6 %), con T y con NT (ambos con valor de 12,2 %).

4.2.2.2. Análisis de varianza

En la tabla 4.9 se muestra el análisis de varianza combinado de las variables cuantitativas estudiadas en los ensayos de campo de 2021 y 2022.

Tabla 4.9. Análisis de varianza combinado de las variables cuantitativas estudiadas en las campañas de 2021 y 2022.

Origen	SC	CM	gln	gld	F	p	Sig
Inicio de floración (d)							
T	21,5	2,15	10	64	2,22	0,03	p<0,05*
V	4510,9	4510,90	1	64	4656,42	0,00	p<0,001***
A	5,6	5,62	1	64	5,81	0,02	p<0,05*
T x V	46,7	4,67	10	64	4,82	0,00	p<0,001***
V x A	60,5	60,50	1	64	62,45	0,00	p<0,001***
T x V x A	5,0	0,62	8	64	0,65	0,74	ns
Fin de floración (d)							
T	100,8	10,08	10	64	1,84	0,07	ns
V	14292,6	14292,60	1	64	2613,50	0,00	p<0,001***
A	1836,0	1836,03	1	64	335,73	0,00	p<0,001***
T x V	79,7	7,97	10	64	1,46	0,18	ns
V x A	8,0	8,00	1	64	1,46	0,23	ns
T x V x A	65,5	8,19	8	64	1,50	0,18	ns
Duración de floración (d)							
T	95,0	9,50	10	64	1,43	0,19	ns
V	2744,5	2744,54	1	64	414,27	0,00	p<0,001***
A	1638,4	1638,40	1	64	247,31	0,00	p<0,001***
T x V	22,0	2,20	10	64	0,33	0,97	ns
V x A	24,5	24,50	1	64	3,70	0,06	ns
T x V x A	87,5	10,94	8	64	1,65	0,13	ns
Masa fresca aérea (g)							
T	121836,6	12183,66	10	62	3,01	0,00	p<0,001***
V	8611,2	8611,24	1	62	2,13	0,15	ns
A	2519,9	2519,97	1	62	0,62	0,43	ns
T x V	25416,4	2541,64	10	62	0,63	0,78	ns
V x A	362,7	362,65	1	62	0,09	0,77	ns
T x V x A	74053,2	9256,65	8	62	2,29	0,03	p<0,05*

Masa seca aérea (g)							
T	3312,2	331,22	10	62	3,20	0,00	p<0,001***
V	449,9	449,92	1	62	4,34	0,04	p<0,05*
A	45,9	45,93	1	62	0,44	0,51	ns
T x V	945,6	94,56	10	62	0,91	0,53	ns
V x A	7,3	7,26	1	62	0,07	0,79	ns
T x V x A	1850,5	231,32	8	62	2,23	0,04	p<0,05*
Vainas / planta							
T	1913,7	191,37	10	60	15,06	0,00	p<0,001***
V	386,7	386,66	1	60	30,43	0,00	p<0,001***
A	504,2	504,19	1	60	39,68	0,00	p<0,001***
T x V	1105,9	110,60	10	60	8,70	0,00	p<0,001***
V x A	91,6	91,58	1	60	7,21	0,01	p<0,01**
T x V x A	674,5	84,31	8	60	6,64	0,00	p<0,001***
Rendimiento / planta (g)							
T	6022,6	669,18	9	55	2,56	0,02	p<0,05*
V	1899,0	1899,02	1	55	7,26	0,01	p<0,01*
A	14857,2	14857,21	1	55	56,77	0,00	p<0,001***
T x V	787,0	98,37	8	55	0,38	0,93	ns
V x A	1842,3	1842,30	1	55	7,04	0,01	p<0,01**
T x V x A	1333,7	166,71	8	55	0,64	0,74	ns
Rendimiento por hectárea (kg/ha)							
T	15056441,1	1672937,90	9	55	2,56	0,02	p<0,05*
V	4747548,1	4747548,12	1	55	7,26	0,01	p<0,01**
A	37143034,2	37143034,22	1	55	56,77	0,00	p<0,001***
T x V	1967496,6	245937,07	8	55	0,38	0,93	ns
V x A	4605753,3	4605753,29	1	55	7,04	0,01	p<0,01**
T x V x A	3334245,1	416780,63	8	55	0,64	0,74	ns
Masa fresca raíz (g)							
T	285,9	28,59	10	62	4,91	0,00	p<0,001***
V	0,2	0,18	1	62	0,03	0,86	ns
A	122,2	122,19	1	62	20,98	0,00	p<0,001***
T x V	133,8	13,39	10	62	2,30	0,02	p<0,05*
V x A	15,3	15,28	1	62	2,62	0,11	ns
T x V x A	74,9	9,37	8	62	1,61	0,14	ns
Masa seca raíz (g)							
T	26,9	2,69	10	62	4,65	0,00	p<0,001***
V	1,9	1,91	1	62	3,31	0,07	ns
A	18,1	18,12	1	62	31,37	0,00	p<0,001***
T x V	10,2	1,02	10	62	1,76	0,09	ns
V x A	0,6	0,61	1	62	1,06	0,31	ns
T x V x A	2,7	0,34	8	62	0,59	0,78	ns

Número de nódulos							
T	81111,5	8111,15	10	62	4,31	0,00	p<0,001***
V	2995,6	2995,60	1	62	1,59	0,21	ns
A	38937,6	38937,60	1	62	20,68	0,00	p<0,001***
T x V	21852,9	2185,30	10	62	1,16	0,33	ns
V x A	0,1	0,13	1	62	0,00	0,99	ns
T x V x A	17308,5	2163,56	8	62	1,15	0,34	ns
Masa fresca nódulos (g)							
T	21,3	2,13	10	56	1,62	0,13	ns
V	1,0	1,03	1	56	0,78	0,38	ns
A	37,7	37,70	1	56	28,57	0,00	p<0,001***
T x V	11,5	1,15	10	56	0,87	0,57	ns
V x A	0,1	0,05	1	56	0,04	0,84	ns
T x V x A	12,8	2,13	6	56	1,61	0,16	ns
Granos / vaina							
T	4,8	0,48	10	60	5,90	0,00	p<0,001***
V	53,6	53,56	1	60	665,06	0,00	p<0,001***
A	2,3	2,30	1	60	28,61	0,00	p<0,001***
T x V	4,8	0,47	10	60	5,89	0,00	p<0,001***
V x A	0,0	0,00	1	60	0,06	0,80	ns
T x V x A	0,9	0,11	8	60	1,36	0,23	ns
Longitud de grano (mm)							
T	2,8	0,28	10	61	2,46	0,02	p<0,05*
V	824,3	824,27	1	61	7177,81	0,00	p<0,001***
A	0,2	0,17	1	61	1,44	0,00	ns
T x V	7,8	0,78	10	61	6,81	0,00	p<0,001***
V x A	0,1	0,05	1	61	0,42	0,52	ns
T x V x A	2,7	0,34	8	61	2,98	0,01	p<0,01**
Anchura de grano (mm)							
T	3,0	0,30	10	61	12,09	0,00	p<0,001***
V	19,3	19,30	1	61	775,97	0,00	p<0,001***
A	0,8	0,76	1	61	30,61	0,00	p<0,001***
T x V	1,3	0,13	10	61	5,39	0,00	p<0,001***
V x A	0,7	0,71	1	61	28,57	0,00	p<0,001***
T x V x A	0,7	0,09	8	61	3,51	0,00	p<0,001***
Grosor de grano (mm)							
T	3,3	0,33	10	61	5,90	0,00	p<0,001***
V	44,9	44,90	1	61	811,56	0,00	p<0,001***
A	2,1	2,06	1	61	37,23	0,00	p<0,001***
T x V	1,8	0,18	10	61	3,25	0,00	p<0,001***
V x A	0,5	0,52	1	61	9,42	0,00	p<0,001***
T x V x A	2,2	0,28	8	61	4,98	0,00	p<0,001***

Masa de 10 granos (g)							
T	6,8	0,68	10	60	5,52	0,00	p<0,001***
V	269,1	269,10	1	60	2195,54	0,00	p<0,001***
A	4,3	4,34	1	60	35,38	0,00	p<0,001***
T x V	4,1	0,45	9	60	3,70	0,00	p<0,001***
V x A	1,8	1,76	1	60	14,34	0,00	p<0,001***
T x V x A	3,8	0,48	8	60	3,88	0,00	p<0,001***
Absorción de agua del grano (%)							
T	15360,7	1536,07	10	60	15,53	0,00	p<0,001***
V	7,1	7,13	1	60	0,07	0,79	ns
A	2073,4	2073,43	1	60	20,96	0,00	p<0,001***
T x V	4140,3	460,03	9	60	4,65	0,00	p<0,001***
V x A	298,9	298,89	1	60	3,02	0,09	ns
T x V x A	3185,6	398,20	8	60	4,03	0,00	p<0,001***
Masa del tegumento (g)							
T	0,1	0,01	10	57	1,86	0,07	ns
V	12,1	12,10	1	57	2016,00	0,00	p<0,001***
A	16,9	16,98	1	57	2830,02	0,00	p<0,001***
T x V	0,1	0,01	9	57	2,20	0,04	p<0,05*
V x A	1,2	1,23	1	57	204,75	0,00	p<0,001***
T x V x A	0,1	0,01	8	57	1,26	0,28	ns
Masa de los cotiledones (g)							
T	16,5	1,65	10	57	6,37	0,00	p<0,001***
V	452,1	452,10	1	57	1746,10	0,00	p<0,001***
A	306,4	306,45	1	57	1183,57	0,00	p<0,001***
T x V	8,6	0,95	9	57	3,68	0,00	p<0,001***
V x A	12,5	12,47	1	57	48,17	0,00	p<0,001***
T x V x A	6,7	0,84	8	57	3,23	0,00	p<0,001***
Proporción de tegumento (%)							
T	66,8	6,68	10	55	2,73	0,01	p<0,01**
V	22,4	22,41	1	55	9,15	0,00	p<0,001***
A	767,9	767,94	1	55	313,55	0,00	p<0,001***
T x V	52,7	5,85	9	55	2,39	0,02	p<0,05*
V x A	19,8	19,75	1	55	8,06	0,01	p<0,01**
T x V x A	82,2	10,28	8	55	4,20	0,00	p<0,001***

Leyenda: T: tratamientos – V: variedades – A: años, SC: suma de cuadrados, CM: cuadrados medios, gln: grados de libertad del numerador en la prueba F, gld: grados de libertad del denominador en la prueba F, F: estadístico F, p: probabilidad de F, Sig: significación estadística de p, ns: no significativa

Los factores analizados en los ensayos (con 2 repeticiones) han sido los siguientes.

Los tratamientos (T=8) han sido:

- Testigo 0 (0) / fertilización con N (N) / inoculación con *B. alba* (B) / tratamiento con *T. harzianum* (T) y sus combinaciones: N-B, N-T, B-T y N-B-T.

Variedades de judía (V=2) han sido:

- Galaica: clase comercial internacional “Favada”, con crecimiento indeterminado trepador tipo IV.
- Matterhorn: clase comercial internacional “Great Northern”, con crecimiento indeterminado no trepador erecto tipo II.

Los años (A=2) han sido:

- 2021.
- 2022.

En los ensayos de campo y laboratorio se han utilizado 21 variables cuantitativas de planta (8), raíz (4), vaina (1), y grano (8). Estos caracteres son indicadores fenotípicos de las distintas partes de la planta en diferentes fases de su ciclo biológico.

Las variedades utilizadas tienen notables diferencias genéticas entre ellas, en particular en hábito de crecimiento y ciclo biológico, lo que explica que existan diferencias estadísticamente significativas en la mayoría de los caracteres estudiados en dichas variedades. Las variedades Galaica y Matterhorn se han elegido para este estudio basadas en sus diferentes características: Galaica es una variedad tradicional de Galicia, cultivada durante muchos años en la MBG-CSIC. Matterhorn es una variedad internacional de amplio cultivo en diferentes áreas. Dado que se estudia la importancia de la bacteria *B. alba* en el cultivo de judía, y que dicha bacteria se ha identificado en suelos de cultivo de la MBG-CSIC, en Galicia, se han elegido dos variedades contrastantes, una de Galicia, y otra de origen americano.

Los caracteres indicadores de ciclo de cultivo (floración) presentan diferencias significativas entre variedades y años, pero las diferencias en tratamientos sólo han sido significativas en el caso de inicio de floración, al igual que las interacciones TxV y VxA. En fin de floración y duración de la floración, ninguna interacción ha sido significativa. Estos resultados son esperables en cierta medida debido a las diferencias entre variedades ya comentadas y a la influencia de las condiciones de cada año de cultivo en el desarrollo de las plantas.

Hay diferencias significativas en rendimiento por planta y por hectárea en T, V y A, así como en la interacción VxA. Son caracteres muy variables con los años, debido a las variaciones meteorológicas propias de la zona de cultivo de las variedades, Galicia, en NO de España, muy sometida a las variaciones que impone el clima claramente atlántico.

Los diferentes tratamientos presentan diferencias significativas en 17 de las 21 variables estudiadas, no siendo significativa en fin y duración de floración, masa fresca de nódulos y masa de tegumento del grano. En cierta medida esto parece indicar que los procesos simbióticos (nodulación) no se han visto afectados por la inoculación con *B. alba*.

La interacción TxVxA tiene una influencia diferente en los caracteres estudiados. No es significativa en los caracteres de floración, de nodulación y de rendimiento, parece que la inoculación con *B. alba* no ha producido respuestas diferentes en Galaica y en Matterhorn en lo que se refiere a la duración del ciclo biológico, la interacción simbiótica y la producción de grano.

Los caracteres de grano o semilla pueden considerarse como indicadores de la “fitness” o viabilidad de una planta, pues son la contribución genética a la siguiente generación. La mayoría

de estos caracteres han mostrado diferencias significativas entre tratamientos, variedades y años, así como sus interacciones. Las excepciones han sido la longitud de grano (en Ay VxA), absorción de agua del grano (en A y VxA) y masa de tegumento (en T y TxVxA)

La masa de 10 granos es un componente del rendimiento, junto con el número de vainas por planta y el número de granos por vaina. La masa de 10 granos ha presentado diferencias significativas en todos los efectos principales e interacciones. En los otros indicadores de la producción, el número de vainas por planta presentó diferencias significativas en todos los efectos y asimismo en las interacciones, mientras que el número de granos por vaina únicamente mostró diferencias no significativas en las interacciones VxA y TxVxA.

La calidad comercial del grano, y su valor para el consumo, viene dada por caracteres como la absorción de agua y la proporción de tegumento del grano (además del tamaño del grano). La absorción de agua es un carácter de valor muy especial en la cocción, ya que es preciso un buen remojo como paso previo para un buen comportamiento en el cocinado del grano, y este carácter ha presentado diferencias significativas en los efectos principales e interacciones salvo en V y VxA. Por su parte, la proporción de tegumento tiene gran importancia en la palatabilidad del grano de judía al consumirse; una alta proporción de tegumento tendría efectos no deseados en el consumo del grano y ha presentado diferencias significativas en todos los efectos e interacciones.

4.2.2.3. Medias totales y contrastes de medias

En la tabla 4.10 se muestran las medias totales de las variables cuantitativas estudiadas en los ensayos de campo de 2020 y 2021 de las dos variedades.

Tabla 4.10. Medias de variedades.

VARIEDAD	MEDIA	INTERVALO DE CONFIANZA	EE	gl
Inicio de floración (d)				
GALAICA	67,91	67,56 - 68,25	0,17	64
MATTERHORN	46,47	46,12 - 46,82	0,17	64
Fin de floración (d)				
GALAICA	101,81	100,99 - 102,64	0,41	64
MATTERHORN	65,25	64,42 - 66,08	0,41	64
Duración de floración (d)				
GALAICA	33,91	33,00 - 34,82	0,46	64
MATTERHORN	18,78	17,87 - 19,69	0,46	64
Masa fresca aérea (g)				
GALAICA	186,43	163,20 - 209,65	11,62	62
MATTERHORN	148,50	126,01 - 170,99	11,25	62
Masa seca aérea (g)				
GALAICA	33,16	29,44 - 36,87	1,86	62
MATTERHORN	24,10	20,51 - 27,70	1,80	62
Vainas / planta				
GALAICA	15,81	12,06 - 19,56	1,14	60
MATTERHORN	23,97	20,16 - 27,78	1,13	60
Rendimiento planta (g)				
GALAICA	49,67	28,64 - 70,71	6,14	60
MATTERHORN	25,39	3,88 - 46,91	6,06	60

Rendimiento hectárea (kg)					
GALAICA	2483,72	1431,88	- 3535,57	307,06	55
MATTERHORN	1269,55	193,84	- 2345,27	303,06	55
Masa fresca raíz (g)					
GALAICA	8,44	7,56	- 9,32	0,44	62
MATTERHORN	8,02	7,17	- 8,87	0,43	62
Masa seca raíz (g)					
GALAICA	1,77	1,49	- 2,05	0,14	62
MATTERHORN	2,21	1,94	- 2,47	0,13	62
Número de nódulos					
GALAICA	53,19	37,62	- 68,77	7,79	62
MATTERHORN	58,84	43,26	- 74,42	7,79	62
Masa fresca nódulos (g)					
GALAICA	1,30	0,87	- 1,73	0,21	58
MATTERHORN	1,56	1,13	- 1,98	0,21	58
Granos / vaina					
GALAICA	2,55	2,42	- 2,68	0,05	60
MATTERHORN	4,80	4,67	- 4,93	0,05	60
Longitud de grano (mm)					
GALAICA	20,79	20,67	- 20,92	0,06	61
MATTERHORN	11,71	11,59	- 11,82	0,06	61
Anchura de grano (mm)					
GALAICA	9,05	8,99	- 9,11	0,03	61
MATTERHORN	7,72	7,67	- 7,78	0,03	61
Grosor de grano (mm)					
GALAICA	6,71	6,62	- 6,80	0,04	61
MATTERHORN	4,74	4,66	- 4,82	0,04	61
Masa de 10 granos (g)					
GALAICA	8,35	8,22	- 8,47	0,06	60
MATTERHORN	3,01	2,88	- 3,13	0,06	60
Absorción de agua de grano (%)					
GALAICA	121,19	117,56	- 124,82	1,82	60
MATTERHORN	119,00	115,37	- 122,64	1,82	60
Masa tegumento de grano (g)					
GALAICA	1,76	1,73	- 1,78	0,01	57
MATTERHORN	0,55	0,52	- 0,58	0,01	57
Masa cotiledones de grano (g)					
GALAICA	11,38	11,19	- 11,57	0,09	57
MATTERHORN	4,15	3,95	- 4,34	0,10	57
Proporción de tegumento de grano (%)					
GALAICA	15,32	14,36	- 16,27	0,34	56
MATTERHORN	13,48	12,54	- 14,42	0,36	56

Leyenda: EE: error estándar, gl: grados de libertad

En la tabla 4.11 se muestran los contrastes entre las dos variedades de las medias de las variables cuantitativas estudiadas en los ensayos de campo de 2020 y 2021.

Tabla 4.11. Contrastes de medias entre variedades.

CONT	EST	EE	gl	INTERVALO	t	p	Sig
DE CONFIANZA							
Inicio de floración (d)							
G-MA	21,44	0,25	64	20,95 - 21,93	87,12	0,00	p<0,001***
Fin de floración (d)							
G-MA	36,56	0,58	64	35,39 - 37,73	62,54	0,00	p<0,001***
Duración de la floración (d)							
G-MA	15,13	0,64	64	13,84 - 16,41	23,51	0,00	p<0,001***
Masa fresca aérea (g)							
G-MA	37,93	16,17	62	5,60 - 70,26	2,35	0,02	p<0,05*
Masa seca aérea (g)							
G-MA	9,05	2,59	62	3,88 - 14,23	3,50	0,00	p<0,001***
Vainas / planta							
G-MA	-8,16	0,91	60	-9,97 - -6,35	-9,01	0,00	p<0,001***
Rendimiento planta (g)							
G-MA	24,28	4,29	55	15,68 - 32,89	5,66	0,00	p<0,001***
Rendimiento hectárea (kg)							
G-MA	1214,17	214,61	55	784,07 - 1644,26	5,66	0,00	p<0,001***
Masa fresca raíz (g)							
G-MA	0,42	0,61	62	-0,80 - 1,65	0,69	0,49	ns
Masa seca raíz (g)							
G-MA	-0,44	0,19	62	-0,82 - -0,05	-2,26	0,03	p<0,05*
Número de nódulos							
G-MA	-5,65	11,02	62	-27,67 - 16,38	-0,51	0,61	ns
Masa fresca nódulos (g)							
G-MA	-0,25	0,30	58	-0,86 - 0,35	-0,84	0,40	ns
Granos / vaina							
G-MA	-2,25	0,07	60	-2,39 - -2,1	-31,15	0,00	p<0,001***
Longitud de grano (mm)							
G-MA	9,09	0,09	61	8,92 - 9,26	104,62	0,00	p<0,001***
Anchura de grano (mm)							
G-MA	1,33	0,04	61	1,25 - 1,41	32,83	0,00	p<0,001***
Grosor de grano (mm)							
G-MA	1,97	0,06	61	1,85 - 2,09	32,71	0,00	p<0,001***
Masa de 10 granos (g)							
G-MA	5,34	0,09	60	5,16 - 5,52	59,08	0,00	p<0,001***
Absorción de agua de grano (%)							
G-MA	2,19	2,57	60	-2,95 - 7,32	0,85	0,40	ns

Masa tegumento de grano (g)							
G-MA	1,20	0,02	57	1,16	- 1,24	58,58	0,00 p<0,001***
Masa cotiledones de grano (g)							
G-MA	7,23	0,13	57	6,96	- 7,50	53,57	0,00 p<0,001***
Proporción de tegumento de grano (%)							
G-MA	1,84	0,42	55	1,01	- 2,67	4,42	0,00 p<0,001***

Leyenda: CONT: contraste, EST: estimación de diferencias entre medias, EE: error estándar, gl: grados de libertad, t: estadístico "t", p: probabilidad de "t", Sig: significación estadística de p, ns: No significativo, variedades: G: GALAICA, MA: MATTERHORN

En lo relativo al ciclo biológico, hay que tener en cuenta que Galaica tiene hábito de crecimiento indeterminado trepador tipo IV, lo que se manifiesta en un ciclo biológico muy largo, con el inicio de la floración más de dos meses después de la siembra. Por su parte Matterhorn es una variedad de crecimiento tipo II, erecta, con un ciclo considerablemente más corto, lo que se pone de manifiesto en los caracteres inicio, fin y duración de la floración, con diferencias altamente significativas de 21,44, 36,56 y 15,13 días en dichos caracteres, respectivamente.

Respecto a la nodulación simbiótica, los valores son muy semejantes en ambas variedades, con 53,19 nódulos/planta en Galaica y 58,84 en Matterhorn, mientras que la masa fresca de los nódulos fue de 1,30 g en Galaica y 1,56 g en Matterhorn, y las diferencias entre ellas no son significativas estadísticamente.

En cuanto a los caracteres indicadores de producción, en vainas/planta y granos/vaina, los contrastes muestran diferencias altamente significativas entre ambas variedades, con valores superiores de Matterhorn en ambos caracteres. Sin embargo, el tamaño del grano de Galaica con una masa de 8,35 g / 10 granos, es netamente superior al de Matterhorn con una masa de 3,01 g / 10 granos, lo que se ve reflejado en los rendimientos: Galaica 2483,72 kg/ha y Matterhorn 1269,55 kg/ha, diferencia en que el contraste es altamente significativa.

En lo referido a calidad del grano, ya se ha mencionado el tamaño claramente superior de Galaica, mientras que en otros caracteres indicadores de calidad como absorción de agua (Galaica 121,19 % y Matterhorn 119,00 %) y proporción de tegumento (Galaica 15,32 % y Matterhorn 13,48 %) las diferencias entre ambas variedades son menores. En el contraste entre las variedades, la absorción de agua es no significativa, mientras que la proporción de tegumento sí es significativamente diferente.

Como se menciona anteriormente, las dos variedades estudiadas son el resultado de diferentes programas de selección y mejora genética. Estas variedades han sido elegidas para este estudio por sus características, en algunos casos semejantes entre ellas y en otros casos contrastantes. Galaica, como ya se ha mencionado, pertenece a la clase comercial internacional 'Favada' y los orígenes territoriales de los materiales base de su mejora son del N de España (Galicia). Matterhorn se ha elegido en esta investigación como variedad de referencia internacional (clase comercial 'Great Northern'). Ha sido obtenida por mejora genética en Michigan (USA) y está ampliamente difundida en esta área, apreciada por su buen comportamiento agronómico y la calidad de su grano. En los ensayos de 2021 y 2022 ambas variedades han mostrado buen comportamiento agronómico, adecuada calidad de grano y buen rendimiento.

4.3. Diagnóstico y valoración de las principales plagas y enfermedades presentes en diferentes variedades, en campos de producción de judía de la MBG-CSIC en Pontevedra y de la variedad Galaica en Lugo y estudio de las características agromorfológicas y de calidad de grano de la variedad Galaica, en campos de producción en Lugo (Objetivos 4 y 5).

4.3.1. Antecedentes

4.3.1.1. Cooperación con los productores de judía de A Mariña

En 1997 comenzó la cooperación entre la MBG-CSIC y los productores de judía grano de la comarca de A Mariña (Lugo), que habitualmente cultivan una variedad propia de aquella zona, la llamada “Faba de Lourenzá”, variedad Galaica (BOE 2018), aunque también se cultiva la variedad Do Marisco, o verdina, que no está amparada por la IGP Faba de Lourenzá (BOE 2022). Desde entonces se llevaron a cabo diversas actuaciones, colaboraciones y actividades, como las que siguen a continuación, durante el período 1997-2006 (con anterioridad a la aprobación de la IGP Faba de Lourenzá) y también recientemente. A continuación, se exponen las colaboraciones llevadas a cabo entre la MBG-CSIC y el Consello Regulador de la IGP Faba de Lourenzá, técnicos y productores de la zona, que son la base que ha dado lugar a las tareas que se exponen en este Capítulo.

ACTIVIDADES EN COLABORACIÓN

1997

I Seminario de Judía en la Península Ibérica. Universidad de Santiago de Compostela, Lugo. Coordinador: AM De Ron.

Charla técnica en el Ayuntamiento de Lourenzá (Lugo): Situación actual y posibilidades futuras del cultivo de la judía o faba en Galicia: AM De Ron.

2000

Stand de la MBG-CSIC en la Exposición de la Festa da Faba en Lourenzá. Pregón en la Festa da Faba de Lourenzá: AM De Ron.

2001

Charla técnica en el Ayuntamiento de Lourenzá. AM De Ron, T Martínez.
Ensayos de campo de variedades locales en Lourenzá.

2002

Jornada “Legumbres y Salud”. Difusión de resultados del Proyecto Europeo LINK. Madrid. Degustación de “Faba Galaica” y “Faba do Marisco” de Lourenzá.
Ensayos de campo de variedades locales en Lourenzá.

2003

III Seminario de Judía en la Península Ibérica. Lourenzá, Lugo. MBG-CSIC y Universidad de Santiago de Compostela. Coordinador: AM De Ron.

2004

Contribución con textos científico-técnicos para el Centro de Interpretación da Faba de Lourenzá.

Textos técnicos para el Pliego de Condiciones de la Denominación de Origen Protegida (D.O.P.) “Faba de Lourenzá”.

Ensayos de campo de “Faba do Marisco”. Pontevedra, Ponteceso (A Coruña).

2005

Ensayos de campo de “Faba do Marisco”. Pontevedra, Xinzo de Limia (Ourense), Lalín (Pontevedra).

Estudio de plagas y enfermedades de variedades locales: muestreos en fincas de Lourenzá, Junio-Julio.

2006

II Jornadas de la Asociación Española de Leguminosas. Cuenca. AM De Ron, AP Rodiño, V Martínez Sierra. Elecciones a la Junta Directiva de la Asociación Española de Leguminosas (AEL). Presidente: AM De Ron, Secretaria-Tesorera: AP Rodiño, Vocal: V Martínez Sierra (Alcalde de Lourenzá).

Recogida de muestras de semillas para análisis fitopatológico. Marzo.

Muestreos en fincas de Lourenzá. Junio-Julio.

2012

IV Jornadas de la Asociación Española de Leguminosas. V Seminario de Judía. Colaboración del Consello Regulador de la IGP “Faba de Lourenzá”. Pontevedra.

2019

Jornada Técnica. Producción de semente certificada de faba galaica e exposición dos resultados das diferentes técnicas de cultivo da faba de Lourenzá. Centro de Formación e Experimentación Agraria (CFEA) Pedro Murias. Ribadeo (Lugo).

Recogida de muestras de suelos para análisis fitopatológico en fincas de Lourenzá y Ribadeo. Marzo.

Muestreos en fincas de Lourenzá y Ribadeo. Junio-Julio.

2020

Recogida de muestras de suelos para análisis fitopatológico en fincas de Lourenzá y Ribadeo. Marzo.

Muestreos en fincas de Lourenzá y Ribadeo. Junio-Julio.

PROYECTOS Y CONTRATOS DE INVESTIGACIÓN EN COLABORACIÓN

DESARROLLO DE UN PROGRAMA DE MEJORA GENÉTICA INTEGRADA EN JUDÍA (*Phaseolus* sp.) - PHASEGEN. Plan Nacional. AGL2000-1613. MBG-CSIC. Investigador Responsable: AM De Ron. 2000-2003.

MEJORA GENÉTICA DE LA JUDÍA (*Phaseolus*) MEDIANTE EL USO DE POBLACIONES RECOMBINANTES Y GERMOPLASMA BÁSICO Y EXPLORACIÓN DEL VALOR AGRONÓMICO DE MATERIALES RELACIONADOS (*Vigna*). Plan Nacional. AGL2003-03834-C03-01. MBG-CSIC. Investigador Responsable: AM De Ron. 2003.

MEJORA GENÉTICA DE LA JUDÍA (*Phaseolus* sp.) Y MANEJO DE LOS RECURSOS GENÉTICOS, PARA SU USO ESTRATÉGICO EN EL DESARROLLO DE NUEVAS VARIEDADES RESISTENTES A ENFERMEDADES. INIA. RTA03-048-C2-2. ITACYL-MBG-CSIC. Investigadora Responsable en la MBG-CSIC: M Santalla. 2003-2005.

MEJORA GENÉTICA DE JUDÍA: DESARROLLO Y EXPLOTACIÓN DE MATERIAL GENÉTICO. Plan Nacional. AGL2005-01268/AGR. MBG-CSIC. Investigador Responsable: AM De Ron. 2005-2008.

MEJORA DE LA PRODUCCIÓN, DIVERSIFICACIÓN, Y SELECCIÓN DE NUEVOS MATERIALES DE MEJORA DE JUDÍA (*Phaseolus*) PARA LAS ZONAS PRODUCTORAS DE GALICIA. PGIDIT02RAG40301PR. MBG-CSIC. Investigador Responsable: AM De Ron. 2002-2005.

MEJORA DE LA EFICIENCIA DEL CULTIVO DE LA JUDÍA EN GALICIA MEDIANTE SU INTERACCIÓN CON RHIZOBIOS. PGIDIT06RAG40301PR. MBG-CSIC. Investigador Responsable: AM De Ron. 2006-2009.

CONTRATO DE TRANSFERENCIA DE MATERIAL Y LICENCIA DE EXPLOTACIÓN DE LA VARIEDAD VEGETAL FABA GALAICA ENTRE LA AGENCIA ESTATAL CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS (CSIC) Y TERRAS DA MARIÑA S. COOP. GALEGA. 191708. Investigador Responsable: AM De Ron. 2018-2022. AS VARIEDADES AUTÓCTONAS COMO ALIMENTOS FUNCIONAIS A PARTIR DE CULTIVOS SOSTIBLES – NUTRIVEX. Sementares SL, MBG-CSIC, AGACAL. Investigadora Responsable: E Cartea. 2022-2024.

CONTRATO DE TRANSFERENCIA DE MATERIAL Y LICENCIA DE EXPLOTACIÓN DE LAS VARIEDADES DE JUDÍA “FABA GALAICA” Y “FABA DO MARISCO” ENTRE LA AGENCIA ESTATAL CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS M. P., Y LA EMPRESA SEMENTARES S. L. BDC 20222466, 22/478. Investigador Responsable: AM De Ron. 2022-2027.

PUBLICACIONES

Rodiño AP, Montero I, De Ron AM, Santalla M. 1998. Evaluación preliminar de las características nutritivas y sensoriales del grano de las variedades de judía común galaica y riñón. *Actas de Horticultura* 22: 221-227.

Rodiño AP, De Ron AM. 1998. La judía de Lorenzana. Un producto de calidad culinaria. *Agricultura* 791: 464-466.

González AM, Monteagudo AB, Casquero PA, De Ron AM, Santalla M. 2006. Genetic variation and environmental effects on agronomical and commercial quality traits in the main European market classes of the dry bean. *Field Crops Research* 95: 336-347.

De Ron AM, Rodiño AP, Santalla M, Martínez-Sierra V. 2006. Denominación de Origen Protegida “Faba de Lourenzá”. En: De los Mozos MM, Giménez J, Rodríguez Conde MF, Sánchez R (eds) *Nuevos retos y oportunidades de las leguminosas en el sector agroalimentario español*: 387-392. Consejería de Agricultura de Castilla - La Mancha. Toledo.

De Ron AM, Rodiño AP, Santalla M. 2006. Agronomic performance of flageolet beans in Spain. *Annual Report Bean Improvement Cooperative* 49: 113-114.

De Ron, A. M. 2008. *Recetas de feixóns*. Misión Biolóxica de Galicia – CSIC. Pontevedra. 10 pp.

De Ron AM, Rubiales D, González Bernal J, Suso MJ, Gil J, Rubio J, Córdoba EM, Nadal S, Pérez de la Vega M, Alonso Ponga J, De Miguel E. 2016. Las legumbres en España. En: Clemente A, De Ron AM (Eds.) *Las legumbres*, 35-78. CSIC Colección Divulgación - Los libros de La Catarata. Madrid.

De Ron, A. M. 2010. Pregón X Festa da Faba. En: Concello de Lourenzá (Ed.) *Pregoando a Faba de Lourenzá (1996-2010)*, 29-31. Lourenzá, Lugo.

TRABAJOS ACADÉMICOS

Trabajo de Investigación Tutelado (Tercer Ciclo) de Ana M. González Fernández: Potencial agronómico de las clases comerciales europeas de judía. Universidad de Santiago de Compostela. 2003. Directores: M Santalla, AM De Ron.

Trabajo de Investigación de Fin de Carrera de Ingenieros Agrónomos de Salvador Rodríguez Pérez: Evaluación agronómica y de la calidad de variedades locales de *Phaseolus vulgaris* L. del tipo Faba do marisco o Faba Verdina. Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias, Universidad de Valladolid. Palencia. 2006. Directores: AM Ron, AP Rodiño.

Todas estas colaboraciones sirvieron de apoyo para la aprobación de la Indicación Geográfica Protegida (IGP) Faba de Lourenzá, y fueron la base para diferentes trabajos e investigaciones posteriormente llevados a cabo en colaboración, y que se han incorporado a la presente Tesis Doctoral.



Figura 4.3. Logotipo de la IGP Faba de Lourenzá (Consellería del Medio Rural 2008).

4.3.1.2. La IGP Faba de Lourenzá

La Consellería del Medio Rural (2008) de la Xunta de Galicia publicó la Orden de 20 de agosto de 2008 por la que se aprueba el Reglamento de la Indicación Geográfica Protegida (IGP) Faba de Lourenzá (figura 4.3) y de su Consejo Regulador, y se nombra el Consejo Regulador Provisional. El área de producción de judía amparada por la IGP Faba de Lourenzá abarca el territorio costero de la provincia de Lugo conocido como A Mariña Luguesa, comarca natural dividida administrativamente en tres comarcas: A Mariña Occidental, A Mariña Central y A Mariña Oriental, y que engloba los ayuntamientos de Alfoz, Barreiros, Burela, Cervo, Foz, Lourenzá, Mondoñedo, Oulol, A Pontenova, Ribadeo, Trabada, O Valadouro, O Vicedo, Viveiro y Xove (Consellería del Medio Rural 2008).

Respecto al producto amparado por esta IGP, se define que será judía seca de la especie *Phaseolus vulgaris* L., de la variedad conocida como Galaica (BOE 2018, Rodiño et al. 1998) (esta variedad ha sido descrita en el Apartado de Materiales y Metodología), procedentes de semillas certificadas, reemplazo controlado de la propia explotación o de semillas procedentes de otras plantaciones inscritas en los registros del órgano de control, para consumo humano (Consellería del Medio Rural 2008). En relación a la sanidad del cultivo en la zona de

producción de la variedad Galaica amparada por al IGP Faba de Lourenzá, se establece lo que sigue en el artículo 10 de su Reglamento (Consellería del Medio Rural 2008).

Tratamientos:

1. Para un buen control de las plagas y enfermedades se establecerán las medidas de precaución siguientes:
 - Desinfección de estructuras y suelo, previa a la plantación en parcelas con historial de araña roja.
 - Eliminación de malas hierbas y restos de cultivo.
 - Vigilancia de los cultivos durante las primeras fases de desarrollo.
 - Empleo de marcos de plantación adecuados que permitan la aireación.
 - Empleo de semilla sana y de buena calidad germinativa.
 - Mantenimiento de los suelos correctamente fertilizados y encalados, evitando el exceso de nitrógeno.
 - Evitar encharcamientos y compactación del terreno.
 - Realización de siembras poco profundas.
 - Establecimiento de rotaciones de cultivo, para evitar la proliferación de enfermedades difíciles de controlar.
 - Evitar siembras extremadamente tempranas.
2. En la aplicación de tratamientos a la plantación, se guardarán las siguientes normas:
 - Se aplicarán los mínimos tratamientos posibles, respetando las dosis recomendadas por el fabricante.
 - No se realizarán ni mezclarán más de dos aplicaciones seguidas con el mismo producto sin las previas recomendaciones técnicas.
 - Se guardarán los plazos de seguridad entre los tratamientos aplicados y la recolección.
3. Los tratamientos con herbicidas se aplicarán preferentemente en preemergencia, teniendo en cuenta el tipo de terreno y el tipo de vegetación espontánea existente. Su aplicación será la mínima posible para alcanzar los objetivos previstos, aumentando los pases de cultivador y utilizando las técnicas de cultivo adecuadas.
4. En la aplicación de fungicidas se deberán seguir las siguientes recomendaciones:
 - En períodos de fuerte crecimiento vegetativo en fase previa o de inicio de la enfermedad se usarán preferentemente productos sistémicos.
 - Una vez alcanzada por la planta el pleno desarrollo, podrá permitirse la aplicación de productos de contacto y penetrantes.
 - En los casos en los que resulte necesario, será siempre recomendable incrementar el número de tratamientos frente al aumento en las dosis sin repetir las aplicaciones con el mismo producto más de 2 ó 3 veces seguidas.
5. Los tratamientos insecticidas se realizarán con productos poco agresivos, a excepción de los casos en los que la plaga a combatir cree resistencia, en cuyo caso se incrementará la agresividad de la fórmula. Las aplicaciones serán básicamente contra pulgón, mosca blanca, mosca de los sembrados, araña roja y gusano del suelo.

En principio, hay que entender que estas especificaciones científico-técnicas se refieren a las principales plagas y enfermedades de la judía en la zona de producción, como se han mencionado en el Apartado 1 (tabla 1.1, De Ron et al. 2011). En particular en el Pliego de Condiciones (Anónimo 2008) se citan:

Plagas: pulgón, mosca blanca, mosca de los sembrados, araña roja y gusano del suelo.

Enfermedades: antracnosis, fusariosis, mildiu y roya.

4.3.1.3. La variedad Galaica en campos de producción de la zona de la IGP Faba de Lourenzá

En los Apartado anteriores se estudian diferentes aspectos científico-técnicos de sistemas de cultivo, de tratamientos agronómicos y de la asociación simbiótica con bacterias de varias variedades de judías, incluyendo la Galaica. Todo ello se enfoca desde el punto de vista experimental para conocer el comportamiento agronómico de las variedades de judía estudiadas, sus interacciones con el agrosistema y con la microbiota simbiótica del suelo.

Sin embargo, resulta conveniente contrastar los estudios de carácter experimental (realizados bajo condiciones controladas) con la realidad agraria en condiciones de producción. En particular se ha enfocado esta producción a la variedad Galaica y su área de producción amparada por la IGP Faba de Lourenzá. Para ello se contó con la colaboración de productores y técnicos de la zona, a fin de hacer el seguimiento del cultivo en diferentes lugares específicos de cultivo. Este seguimiento incluyó aspectos agronómicos del cultivo, la identificación de las enfermedades y plagas detectadas en los lugares de estudio, y las características cualitativas del material colectado en la cosecha. Por todo ello, este Capítulo tiene un carácter transversal y es de tipo agronómico y práctico, al orientarse al estudio de la producción agraria de un genotipo particular (la variedad Galaica) en condiciones reales de cultivo, de acuerdo con las prácticas agronómicas habituales en la zona.

4.3.2.Resultados

4.3.2.1.Análisis fitopatológico de los suelos de las parcelas de cultivo

La tabla 4.12 y la figura 4.4 muestran el resultado del análisis fitopatológico de los suelos de cultivo de las parcelas con la variedad Galaica en Ribadeo, Lourenzá y MBG-CSIC. Los análisis se realizaron al inicio del desarrollo de la presente Tesis Doctoral, en el año 2019. En el caso de los suelos de la MBG-CSIC, se muestran separadamente los análisis de suelos que recibieron tratamiento de encalado y los suelos no encalados.

En el suelo los mayores problemas fueron los causados por los hongos *F. oxysporum*, *F. solani*, *Rhizoctonia solani* y el oomiceto *Pythium* sp., que afectaron a una importante cantidad de plantas de Galaica. Esto impulsó la iniciativa de los hongos beneficiosos como *Trichoderma* para el control de las enfermedades fúngicas en las campañas posteriores.

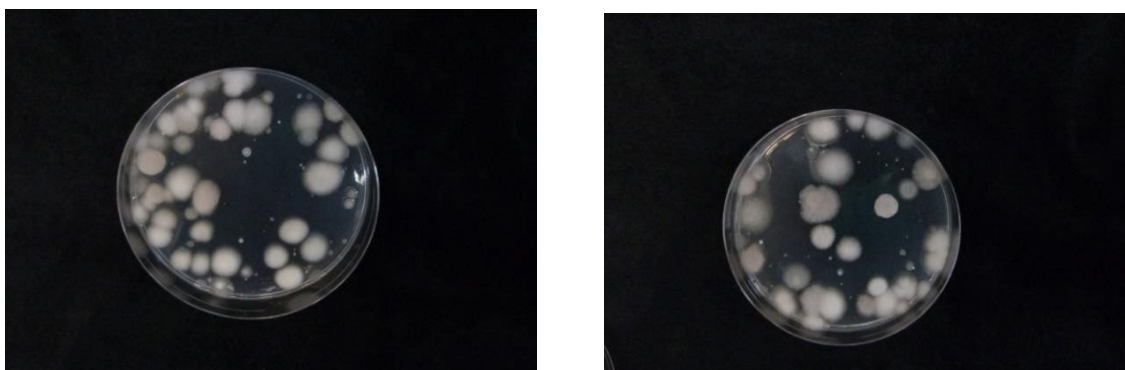


Figura 4.4. Crecimiento de las unidades formadoras de colonias (u.f.c.) de *Fusarium spp.* aisladas del suelo en cultivos de la variedad Galaica (2019).

4.3.2.2.Diagnóstico y valoración de las principales plagas y enfermedades presentes en diferentes variedades, en campos de producción de judía de la MBG-CSIC

En la tabla 4.13 se muestran los resultados de los análisis fitopatológicos realizados en diferentes variedades de judía, durante el período de desarrollo de la Tesis Doctoral, entre 2019-2021.

Tabla 4.12. Resultados de los análisis fitopatológicos de suelos de las parcelas de Ribadeo, Lourenzá y MBG-CSIC Pontevedra (realizados por métodos morfológicos y moleculares en la EFA).

FECHA	ESPECIE	INCIDENCIA (Nº COLONIAS)	LOCALIZACIÓN/ZONA
08/05/2019	<i>Fusarium oxysporum</i>	Colonias/g= 3250.	Alambre II, Ribadeo 2
	<i>Fusarium solani</i>	Colonias/g= 218.	Alambre II, Ribadeo 2
	<i>Pythium</i> sp.		Alambre II, Ribadeo 2
	<i>Fusarium oxysporum</i>	Colonias/g= 878.	Gabriel, Lourenzá 1
	<i>Fusarium solani</i>	Colonias/g= 107	Gabriel, Lourenzá 1
	<i>Pythium</i> sp.		Gabriel, Lourenzá 1
	<i>Fusarium oxysporum</i>	Colonias/g= 854.	Margarita, Lourenzá 2
	<i>Fusarium solani</i>	Colonias/g= 159.	Margarita, Lourenzá 2
	<i>Pythium</i> sp.		Margarita, Lourenzá 2
	<i>Fusarium oxysporum</i>	Colonias/g= 1015.	Cabana, Lourenzá 3
<i>Pythium</i> sp.		Cabana, Lourenzá 3	
30/05/2019	<i>Fusarium oxysporum</i>	Colonias/g= 659.	Fondo Veiga, Ribadeo 1
	<i>Fusarium solani</i>	Colonias/g= 240.	Fondo Veiga, Ribadeo 1
	<i>Pythium</i> sp.		Fondo Veiga, Ribadeo 1
26/09/2019	<i>Fusarium oxysporum</i>	Colonias/g= 101	MBG-CSIC/ Suelo encalado.
	<i>Fusarium solani</i>	Colonias/g= 137	MBG-CSIC/ Suelo encalado.
	<i>Fusarium oxysporum</i>	Colonias/g= 304	MBG-CSIC/ Suelo encalado.
	<i>Fusarium solani</i>	Colonias/g= 289	MBG-CSIC/ Suelo encalado.
	<i>Rhizoctonia solani</i>		MBG-CSIC/ Suelo encalado.
	<i>Pythium</i> sp.		MBG-CSIC/ Suelo encalado.
	<i>Fusarium oxysporum</i>	Colonias/g= 29	MBG-CSIC/ Suelo no encalado.
	<i>Fusarium solani</i>	Colonias/g= 279	MBG-CSIC/ Suelo no encalado.
	<i>Fusarium oxysporum</i>	Colonias/g= 161	MBG-CSIC/ Suelo no encalado.
	<i>Fusarium solani</i>	Colonias/g= 200	MBG-CSIC/ Suelo no encalado.
	<i>Rhizoctonia solani</i>		MBG-CSIC/ Suelo no encalado.
	<i>Pythium</i> sp.		MBG-CSIC/ Suelo no encalado.

Tabla 4.13. Resultados de los análisis fitopatológicos de plantas de diferentes variedades de judía en la MBG-CSIC.

FECHA	ESPECIE IDENTIFICADA		MÉTODO DE DIAGNOSTICO E IDENTIFICACIÓN
09/07/2019	Ácaros	<i>Tetranychus</i> sp.	Morfológico
13/08/2019	Hongos	<i>Penicillium</i> sp.	Morfológico / Molecular
		<i>Penicillium</i> sp.	Morfológico / Molecular
		<i>Fusarium proliferatum</i>	Morfológico / Molecular
		<i>Alternaria</i> sp.	Morfológico / Molecular
		<i>Aspergillus</i> sp.	Morfológico / Molecular
	<i>Stemphyllium globuliferum</i>	Morfológico / Molecular	
	Insectos	<i>Agrotis ipsilon</i>	Morfológico
04/09/2020	Hongos	<i>Alternaria</i> sp.	Morfológico
08/09/2020	Bacterias	<i>Bacterias saprófitas</i>	Morfológico / Molecular
	Hongos	<i>Fusarium solani</i>	Morfológico
		<i>Fusarium oxysporum</i>	Morfológico
		<i>Rhizoctonia solani</i>	Morfológico / Molecular
		<i>Bacterias saprófitas</i>	Aislamiento / Molecular
		<i>Fusarium oxysporum</i>	Morfológico
		<i>Fusarium solani</i>	Morfológico
		<i>Fusarium oxysporum</i>	Morfológico
		<i>Fusarium solani</i>	Morfológico
<i>Rhizoctonia</i> sp.	Morfológico / Molecular		
Oomicetos	<i>Pythium</i> sp.	Morfológico	
12/11/2020	Insectos	<i>Delia platura</i>	Artrópodos morfología
11/06/2021	Hongos	<i>Fusarium solani</i>	Morfológico
		<i>Fusarium oxysporum</i>	Morfológico
		<i>Rhizoctonia solani</i>	Morfológico / Molecular
18/06/2021	Hongos	<i>Fusarium solani</i>	Morfológico
		<i>Alternaria</i> sp.	Morfológico
		<i>Fusarium oxysporum</i>	Morfológico
		<i>Albifimbria proliferatum</i>	Morfológico / Molecular
		<i>Fusarium proliferatum</i>	Morfológico / Molecular

En cada fecha de muestreo se enviaron varias muestras de hoja y/o planta para su análisis en la EFA. Como plagas de artrópodos, se han identificado el ácaro *Tetranychus*, conocido vulgarmente como araña roja, muy frecuente en los cultivos de judía (1 muestra), el insecto lepidóptero *Agrotis ipsilon*, cuyas larvas son muy dañinas para las plantas (1 muestra) y el insecto díptero *Delia platura*, especialmente dañino en plantas jóvenes (1 muestra).

Las especies más frecuentes entre los hongos han sido *F. oxysporum* y *F. solani* presentes respectivamente en 5 muestras y *F. proliferatum* en 2 muestras. La transmisión de *F. oxysporum* y *F. solani* mediante semilla producida por plantas infectadas, está descrita mediante el transporte de aperos y útiles de cultivo infectados, por restos vegetales y tierra de cultivo, y por agua de drenaje.

También se ha detectado la presencia de las especies *Alternaria* (3 muestras) y *Rhizoctonia solani* (3 muestras), mientras que el oomiceto *Pythium* sólo se detectó en una muestra.

Rhizoctonia solani y *Pythium* son patógenos muy polífago que, en leguminosas, pueden producir la muerte de las semillas en pre y post germinación.

Estos resultados coinciden en gran medida con los análisis de los suelos de cultivo de las parcelas de Ribadeo, Lourenzá y de la MBG-CSIC y con las analíticas fitopatológicas llevadas a cabo periódicamente en las parcelas de producción de judía en la MBG-CSIC, que se resumen en el Apartado 1.

4.3.2.3. Características agromorfológicas de la variedad Galaica en las localidades de Ribadeo y Lourenzá.

Se recibieron muestras de vainas de las cinco parcelas ya mencionadas, en Lourenzá y Ribadeo, para evaluar caracteres de vaina y grano, que ya han sido descritos en el Capítulo 2. De estas muestras se eligieron aleatoriamente cinco vainas para la toma de datos, que se muestran en la tabla 4.14.

Tabla 4.14. Características agromorfológicas de la variedad Galaica en las localidades de Ribadeo y Lourenzá (2019).

P	Número de granos por vaina	Longitud de grano (mm)	Anchura de grano (mm)	Grosor de grano (mm)	Masa de 10 granos (g)	Absorción de agua del grano (%)	Masa del tegumento (g)	Masa de los cotiledones (g)	Proporción de tegumento (%)	Nitrógeno hoja seca (mg/g)	Fósforo hoja seca (mg/g)
R1	3,4	22,97	10,38	7,76	12,30	114,55	0,67	10,07	6,19	40,43	1,78
R2	3,7	22,25	9,97	7,20	10,54	108,43	0,60	8,66	6,49	45,82	1,71
L1	3,6	22,79	10,07	7,85	11,75	112,55	0,66	9,61	6,46	34,85	1,80
L2	3,2	22,65	10,01	8,04	12,37	109,75	0,72	10,09	6,70	38,80	1,64
L3	3,9	20,95	9,38	7,30	9,76	108,41	0,57	7,96	6,65	36,84	1,52

Leyenda: P: Parcela, R1: Ribadeo 1 (Fondo Veiga), R2: Ribadeo 2 (Alambre II), L1: Lourenzá 1 (Gabriel), L2: Lourenzá 2 (Margarita), L3: Lourenzá 3 (Cabana).

El número de granos por vaina no presentó diferencias relevantes en las cinco localidades de estudio, mientras que la longitud del grano fue muy similar en cuatro de ellas, pero tuvo un valor bastante menor en la parcela Cabana de Lourenzá (estos valores han sido bastante parejos en la anchura y grosor del grano), lo que también se vio reflejado en la masa de 10 granos, con los menores valores en Cabana (9,76 g) y alcanzando 12,37 g en Margarita (Lourenzá). En los otros indicadores de la calidad de grano, como la absorción de agua del grano (entre 108,41 % y 114,55 %) no se han detectado diferencias importantes, y tampoco en proporción de tegumento, con valores entre 6,19 y 6,70 %. La absorción de agua del grano es semejante en Ribadeo y Lourenzá a la de Pontevedra, en dónde es ligeramente superior, y la proporción de tegumento del grano es mayor en Pontevedra, especialmente en las campañas 2020-2021, que en las dos localidades de producción comercial de Galaica.

En general, estas características morfológicas del grano no presentan diferencias destacables respecto a los datos de la variedad Galaica que se muestran en los Apartado anteriores, resultados de los ensayos en la finca de la MBG-CSIC, aunque parece mostrarse una tendencia a que el grano de la variedad Galaica en Ribadeo y Lourenzá sea de tamaño mayor

que en Pontevedra, posiblemente por una mayor adaptación a las condiciones ambientales de las zonas de producción de la IGP Faba de Lourenzá.

Respecto al contenido en N de la hoja, es superior en Ribadeo y Lourenzá a Pontevedra, mientras que en el contenido en P sucede lo contrario.

5. Discusión

5.1. Ciclo biológico de las variedades de judía estudiadas

El ciclo de cultivo, o ciclo biológico, se ha analizado en los ensayos llevados a cabo en 2019 y 2020 (4 variedades), 2021 y 2022 (dos variedades) en la finca experimental de la MBG-CSIC. Los caracteres indicadores del ciclo han sido: inicio de la floración, fin de la floración y duración de la floración.

En los ensayos de 2019 y 2020 se introdujeron tres factores de variación: sistema de cultivo (monocultivo de judía/cultivo asociado judía-maíz), enmienda del suelo (encalado) y fertilización (0, N y *R. etli*). En los ensayos de 2021 y 2022 los factores de variación han sido los tratamientos aplicados: 0, N, *Trichoderma harzianum* y *Burkholderia alba*.

No existe información abundante sobre el estudio de los ciclos de cultivo de la judía, y de las leguminosas en general (De Ron 2015). El Centro Internacional de Agricultura Tropical (Cali, Colombia, Fernández de Córdova et al. 1986) indica la importancia de la etapa de desarrollo de la planta (fases vegetativas-V y reproductivas-R) al cuantificar su respuesta a los factores ambientales, como indicador más robusto que los días después de la siembra, que, por ejemplo, son referencia para inicio de floración (fase R6) y fin de floración/formación de vainas (fase R7). Asimismo, se indican factores que influirán en el ciclo biológico de la judía: hábito de crecimiento-genotipo, clima y suelo (fertilidad), aunque no se menciona el sistema de cultivo.

En este caso, se han analizado diferentes factores, en los cuatro años de ensayos de campo, para valorar su incidencia en el ciclo biológico de las variedades de judía estudiadas.

El sistema de cultivo, al reunir en el espacio a dos especies, se espera que influya sobre el desarrollo de estas, y por tanto en el ciclo biológico (Döring 2015). El efecto de incorporar una leguminosa en un sistema de cultivo asociado es generalmente positivo en el rendimiento de cultivos sucesivos, ya que se espera una demanda menor de fertilizante nitrogenado, por la fijación simbiótica de nitrógeno. La tendencia actual hacia prácticas agrícolas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente, establecen un contexto favorable para el desarrollo de sistemas de cultivo que incluyen leguminosas, lo cual se hace evidente en las políticas actuales de la Unión Europea e promover el uso de leguminosas, tanto por su relevancia en el aporte de proteína vegetal en la alimentación humana y animal, como por sus beneficiosos efectos ambientales. Asimismo, se espera que la mayor diversidad existente en un sistema de cultivo asociado lleve a la reducción de algunas enfermedades y plagas (Trenbat 1993, Duc et al. 2015).

Puede existir, también, una complementariedad espacial, cuando se combinan cultivos con distinta canopia agronómica, lo que debería tener un efecto sobre el ciclo biológico de las especies componentes del sistema, aunque no es generalmente el objetivo de los estudios de los sistemas asociados, que se han centrado principalmente en la estimación del rendimiento de los componentes del sistema y las posibilidades de mejora (Annicchiarico et al. 2015).

En los ensayos realizados en las campañas 2019 y 2020, el análisis de varianza combinado de variables cuantitativas con respecto al ciclo biológico (inicio de floración, fin de floración y duración de la floración), estos caracteres presentan diferencias significativas entre variedades, tratamientos y años, así como en las respectivas interacciones (con la excepción de TxV en inicio de floración). En los años 2021 y 2022 los caracteres indicadores del ciclo de cultivo presentaron diferencias significativas entre variedades y años, en inicio de floración. Estos resultados son esperables debido tanto a las diferencias entre variedades ya comentadas en otros apartados, como a la influencia de las condiciones de cada año de cultivo en el desarrollo de las plantas, resultados que coinciden con los de Santalla et al. (2001).

En lo relativo al ciclo biológico, hay que tener en cuenta que, como ya se ha mencionado, los genotipos Andecha, Galaica y Montcau tienen hábito de crecimiento indeterminado trepador tipo IV (CIAT 1983), lo que se manifiesta en un ciclo biológico muy largo, con el inicio de la

floración más de dos meses después de la siembra. Las diferencias son menores en la duración de la floración, que presenta valores medios entre 17,83 y 21,95 d en los años 2019 y 2020 y 18,78 y 33,91 d en los años 2020 y 2021.

Smith y Zobel (2015) observaron interacciones significativas entre genotipo x sistema de cultivo que ocurren en el cultivo dominado (judía), siendo menos pronunciadas en el cultivo dominante (maíz). Alemayehu et al. (2018) encontraron que el análisis combinado de varianza en diferentes años muestra que la floración y los días a la madurez fueron significativos entre variedades, entre sistema de cultivo y entre las interacciones respectivas. El inicio de floración fue de 29 días para el cultivo asociado judía-maíz y de 48 días para el monocultivo. Según otro estudio (Barrales 1997), en judía ocurrió la formación de botones florales a los 49 días, el inicio de la floración a los 56 días y el inicio de la formación de vainas a los 62 días. Incluso hay estudios (Schulz 2020) en los que las primeras flores aparecieron muy tarde, más de 60 días después de la siembra, floreciendo incluso después de la antesis del maíz. Sin embargo, si se siembran dos semanas después de la emergencia del maíz, el promedio de la floración baja a 40 días.

La reducción del período de floración en el cultivo asociado se observó en las variedades de judías de floración temprana (Santalla et al. 2001). Las variedades de judías más tardías presentan una reducción en el rendimiento (Davis y García 1983) si se cultivan de forma asociada, al igual que las variedades con floración más larga. El introducir una variedad de judías de floración corta en cultivos asociados con maíz tuvo un aumento importante en el rendimiento de la judía en comparación con el monocultivo.

De acuerdo con las medias totales, el inicio de floración de las variedades Andecha, Galaica y Montcau fue de 65, 62 y 66 d, respectivamente, en monocultivo, mientras que en la variedad Matterhorn fue de 45 d. En cultivo asociado fue de 65, 65 y 62 días para Andecha, Galaica y Montcau y de 45 días para Matterhorn. El fin de la floración de Andecha, Galaica y Montcau fue de 87, 86 y 87 días respectivamente en monocultivo y de 63 días en Matterhorn. En cultivo asociado fue de 87, 87 y 81 días para Andecha, Galaica y Montcau y de 62 días para Matterhorn. La interacción tratamiento por variedad fue significativa para los caracteres de ciclo biológico excepto para inicio de floración. Así, no hay diferencias relevantes entre variedades para ese carácter en los distintos tratamientos, tanto de sistema de cultivo como de encalado o tipo de fertilización.

En los años 2021 y 2022, y en relación a las medias totales y contrastes de medias, el inicio de floración muestra que la variedad Matterhorn (46 d) es más precoz que la variedad Galaica (67 d), y que el fin de la floración fue a los 100 d para la variedad Galaica y de 65 d para la variedad Matterhorn. Ello implica que la variedad Galaica, por hábito de crecimiento indeterminado trepador tipo IV, su tipo de crecimiento se manifiesta en un ciclo biológico muy largo. En este caso, los tratamientos y sus interacciones no fueron significativos para los caracteres de ciclo biológico excepto para inicio de floración.

Estos resultados experimentales indican que las campañas de cultivo (que se diferencian meteorológicamente entre ellas), han tenido influencia en el ciclo de cultivo, de acuerdo con Fernández de Córdoba et al. (1986). Sin embargo, los datos no son concluyentes respecto a un factor relevante como el sistema de cultivo, que parece no haber tenido un efecto importante en el crecimiento de las plantas de judía. Tampoco se han detectado efectos destacados relacionados con el suelo y la fertilización, contrariamente a lo propuesto por Fernández de Córdoba et al. (1986), ni con los factores de enmiendas, fertilización (ausente, N y microbiota) y tratamiento con *Trichoderma*, que podría estimular el crecimiento de la planta.

5.2. Comportamiento agronómico de las variedades estudiadas en los sistemas de cultivo

El comportamiento agronómico se ha estudiado en los ensayos llevados a cabo en 2019 y 2020 (4 variedades), 2021 y 2022 (dos variedades) en la finca experimental de la MBG-CSIC. Los caracteres cuantitativos utilizados para la valoración del comportamiento agronómico han sido los siguientes: masa fresca aérea, masa seca aérea, número de vainas por planta, rendimiento de grano por planta, rendimiento de grano por hectárea, masa fresca raíz, masa seca raíz y número de granos por vaina.

En los ensayos de 2019 y 2020 se introdujeron tres factores de variación: sistema de cultivo (monocultivo de judía/cultivo asociado judía-maíz), enmienda del suelo (encalado) y fertilización (0, N y *R. etli*). En los ensayos de 2021 y 2022 los factores de variación han sido los tratamientos aplicados: 0, N, *Trichoderma harzianum* y *Burkholderia alba*.

Las leguminosas de grano, en general, se manejan como componentes de rotaciones de cultivos desde la antigüedad, ya que ofrecen importantes beneficios medioambientales y un mayor valor nutricional para los seres humanos o el ganado. Como consecuencia de una agricultura moderna, las prácticas de cultivos asociados están siendo reemplazadas por monocultivos de variedades mejoradas de judías. La gran mayoría de las variedades tradicionales de judías tienden a ser reemplazadas por variedades modernas que son económicamente más viables, pero con un estrecho margen genético (Rodiño et al. 2001). Los monocultivos continuos suelen generar desequilibrios en el suelo, así como la aparición de plagas y enfermedades. Así, es interesante el uso de las leguminosas en cultivos asociados ya que constituye una forma de agricultura sostenible y presenta una serie de ventajas evidentes, a pesar de que históricamente ha sido considerado como una práctica primitiva. El cultivo asociado de maíz y judías común es una técnica agroecológica viable por poseer ventajas como favorecer la conservación del suelo con el mejoramiento de la fertilidad, mejorar el rendimiento del desarrollo de granos en la cosecha de maíz y leguminosas y, además, permiten beneficios ecológicos y económicos al incorporar en el suelo los residuos vegetales que pueden reducir las poblaciones y daños ocasionados por patógenos que atacan a las plantas (Santalla et al. 1994). En el cultivo asociado maíz-judía, el maíz tiene un porte erecto que sirve de tutor de la judía.

Una planta de judía es una buena compañera del maíz que precisa de sombreo parcial. Ambas plantas requieren mucha humedad en el suelo y pueden combinarse bien. No hay perjuicio en el enraizamiento, las plantas de judías mejoran el suelo para las plantas de maíz y así permiten un mejor aprovechamiento del mismo. Las plantas de maíz tienen una velocidad de crecimiento lento y la judía más rápida, permiten reducir el trabajo y mantenimiento del suelo, aumentando la producción por unidad de superficie. Tanto el maíz como las judías requieren de tierra fértil y bien drenada, que haya sido trabajada a 15 cm debajo de la superficie. Ambos exigen alta incidencia solar y un pH de aproximadamente 6,0. Otros autores (Santalla et al. 2001) sembraron judía de enrame en tres sistemas de cultivo contrastantes y demostraron una interacción significativa de variedad \times sistema de cultivo en el rendimiento de grano. La mayor reducción de rendimiento de judías ocurrió en cultivos asociados con maíz, pero no fue consistente en todas variedades de judías.

En los ensayos realizados en la finca experimental de la MBG-CSIC en 2019 y 2020, se ha estudiado el sistema de cultivo asociado judía-maíz y el monocultivo de judía. Los resultados indican que la judía es más temprana en cultivo asociado, y la floración es más corta. Asimismo, se detectó una reducción de la masa aérea de la planta y de la masa de la raíz en cultivo asociado y hay una reducción importante en el número de vainas por planta, carácter indicador del rendimiento, y del rendimiento en sí mismo, aunque también se manifiesta un aumento en el contenido en nitrógeno de la hoja. La competencia que se establece entre los dos cultivos asociados afectaría a los mencionando caracteres de la judía.

Tsubo y Walker (2004) y Suárez et al. (2022) establecieron que las respuestas de crecimiento, desarrollo y productividad fueron diferentes en los dos sistemas de cultivo; por ejemplo, en monocultivo, el número de vainas por planta fue mayor, mientras que el número de granos por vaina aumentó bajo patrones de cultivos asociados. Según Addo-Quaye et al. (2011), el tiempo relativo de siembra y la disposición espacial son factores importantes que determinan la productividad del sistema de cultivo asociados maíz-soja.

Nassary et al. (2020) reportaron que la interacción $A \times V$ es significativa en el rendimiento de grano de judías y en la masa del grano y Godoy et al. (2011) demostraron que no hay diferencias significativas en cuanto al rendimiento, lo que indica que las variedades no se vieron afectadas ni por las épocas ni por los sistemas de siembra estudiados de cultivos asociados. La variabilidad del rendimiento de la leguminosa de grano intercalada en un cultivo asociado podría ser debida a la sensibilidad climática del equilibrio competitivo entre los cultivos asociados, ya que la competencia asimétrica amplifica los efectos climáticos entre años.

Otros factores incluidos en los ensayos de 2019 y 2020 han sido la enmienda del suelo (encalado/no encalado) y la fertilización (0/N).

El encalado del suelo es una práctica habitual, especialmente para reducir la acidez del suelo y promover la nodulación (Fueyo 2004). En este caso, aun siendo el suelo de la MBG-CSIC de tipo ácido (pH 4,5-5,7), el encalado ha tenido escaso efecto en el cultivo, de acuerdo con los resultados de los ensayos. No se detectaron efectos en la floración ni en el rendimiento, aunque en las parcelas encaladas se ha producido una limitada reducción del número vainas por planta.

La fertilización con nitrógeno ha producido una reducción del número de nódulos, lo cual se relaciona con la respuesta de la planta ante la disponibilidad de nitrógeno inorgánico, que tiende a limitar la respuesta de la planta a la infección de las raíces por los rizobios. La fertilización nitrogenada ha tenido también un efecto directo en el crecimiento y desarrollo de la planta, aumentando la masa aérea de la planta, y también la masa de la raíz. Asimismo, se registró un aumento en el número de vainas por planta, del número de granos por vaina y el rendimiento en grano del cultivo.

En los ensayos de 2021 y 2022 se ha realizado, asimismo, fertilización nitrogenada. De nuevo, la disponibilidad de nitrógeno mineral en el suelo tiende a reducir el número de nódulos, así como la masa de estos (Arrese-Igor et al. 1998, Basu et al. 2008). En estos ensayos también se ha producido el aumento de la masa aérea de la planta y de la masa de la raíz, así como del contenido en nitrógeno en la hoja, y un incremento de la productividad, en lo que se refiere a vainas por planta y al rendimiento de grano.

El comportamiento agronómico de las variedades estudiadas (Andecha, Galaica, Matterhotn y Montcau) no ha tenido influencia importante de los diversos factores de variación incorporados en las campañas de cultivo 2019-2020 y 2021-2022. En consecuencia, parece que las variedades de judía han sido estables ante los factores ambientales introducidos en los experimentos, lo cual entra en cierta contradicción con el hecho de que se trata de variedades seleccionadas, por lo cual se trataría de líneas puras, que deberían ser sensibles a cambios ambientales más allá de sus áreas originarias de selección.

5.3. Calidad de grano de las variedades

La calidad de grano de las variedades se ha analizado en los ensayos llevados a cabo en 2019 y 2020 (4 variedades), 2021 y 2022 (dos variedades), en la finca experimental de la MBG-CSIC. Los caracteres cuantitativos utilizados para la valoración de la calidad de grano han sido: longitud de grano, anchura de grano, grosor de grano, masa de 10 granos, absorción de agua del grano, masa del tegumento del grano, masa de los cotiledones y proporción de tegumento. Además, en los años 2019 y 2020 se evaluó la cocción del grano mediante un cocidímetro.

En los ensayos de 2019 y 2020 se introdujeron tres factores de variación: sistema de cultivo (monocultivo de judía/cultivo asociado judía-maíz), enmienda del suelo (encalado) y fertilización (0, N y *R. etli*). En los ensayos de 2021 y 2022 los factores de variación han sido los tratamientos aplicados: 0, N, *Trichoderma harzianum* y *Burkholderia alba*. Además, se han estudiado las características de calidad de grano de la variedad Galaica, cultivada en campos de producción en Lugo, en 2019.

Los resultados de la evaluación de 2019 en la zona de producción de Lugo de la variedad Galaica muestran que el tamaño del grano es mayor que en los ensayos llevados a cabo en la MBG-CSIC. Posiblemente se debe a una mayor adaptación a las condiciones ambientales de las zonas de producción de la IGP Faba de Lourenzá, debido a las características de los suelos que inciden directamente sobre la buena calidad del grano, así como las favorables condiciones meteorológicas. En lo referido las variedades Andecha y Galaica, como ya se ha comentado anteriormente, son muy similares fenotípica y probablemente cercanas genéticamente (ambas pertenecen a la clase comercial ‘Favada’ y sus áreas de origen son muy próximas, Asturias y Galicia), tienen granos muy largos, de más de 20 mm y su masa alcanza valores de casi 0,9 g por grano. Esto contrasta con los granos de menor tamaño de Montcau y de Matterhorn, cuyos granos son netamente menores que los de Andecha y Galaica.

Según Fueyo (2004) y Puerta Romero (1961), la calidad de grano va a depender, al menos en diferentes regiones españolas, con tamaño grande del mismo, aunque este criterio no presenta una tendencia internacional (Singh 1999). En los ensayos de 2019 y 2020, en la MBG, los intervalos de variación de la masa del grano fueron 3,4 (Matterhorn) - 9,6 (Galaica) (g 100 granos⁻¹). En los ensayos de 2021 y 2022, Galaica tuvo unos tamaños similares, mientras que Matterhorn llegó a un mínimo de 2,5 g 10 granos⁻¹. El tamaño de la semilla está determinado por el tamaño de la vaina (Patrick y Stoddard 2010), que es tejido materno y está determinado principalmente por el genotipo de la planta madre. Además de los efectos genéticos, los factores ambientales son relevantes en el tamaño del grano en la cosecha (Fueyo 2004).

Otros caracteres relevantes en la calidad comercial del grano de la judía para consumo son la absorción de agua y la proporción de tegumento (Sanz y Atienza 1998, Gelerte et al. 2021). En los ensayos de 2019 en Ribadeo y Lourenzá, la absorción de agua tuvo valores entre 108 - 114 %, mientras que en los ensayos de 2019 y 2020 en la MBG-CSIC los valores variaron entre 111-132 % y en 2021 y 2022, entre 108 y 136 %. La absorción de agua es un carácter de gran importancia para la cocción (Gelerte et al. 2021) ya que una baja absorción de agua por el grano en remojo lleva al fenómeno de “hard-to-cook” (difícil de cocer), por el cual una proporción importante de grano se mantiene duro durante la cocción y reduce su valor comercial.

Respecto a la proporción de tegumento, tiene gran importancia en la calidad final del producto para su consumo. Sanz y Atienza (1998) elaboraron un índice de calidad global del grano de la judía sobre la base de pruebas de cata, en el cual se tiene en consideración de proporción de tegumento y su percepción en la cata. La proporción de tegumento de la variedad Galaica, cultivada en las zonas de producción de la IGP Faba de Lourenzá, presentó valores entre 6,2-6,7 %. Sin embargo, en los ensayos en la MBG-CSIC en 2019 y 2020 esta variedad tuvo entre 7,3 y 8,2 % de proporción de tegumento y en 2021 y 2022, valores entre 14,4 y 18,0

%, muy superiores a los de la zona de producción en Lugo. Como en el caso del tamaño del grano, estos resultados se explicarían por la adaptación a las condiciones ambientales de las zonas de producción.

Todos los caracteres mencionados contribuyen al desarrollo del proceso de cocción del grano de la judía previamente remojada.

El tiempo de cocción de las judías secas está influenciado por muchos factores (Stanley 1992) entre ellas las condiciones ambientales durante la producción y el almacenamiento, la edad de la semilla, el método de cocción y la genética. Arruda et al. (2012) reportaron que el tiempo de cocción de las judías se ve afectado por muchos factores como el tamaño de la semilla, el período de almacenamiento, y la humedad y temperatura del ambiente de almacenamiento. Según Gelerte et al. (2021) un almacenamiento prolongado alarga el tiempo de cocción en un cocidímetro tipo Mattson (Mattson 1946).

En 2019 y 2020, los granos de judía cosechados en los ensayos de campo en la MBG-CSIC, previamente hidratados, se sometieron a la prueba de cocción, con un cocidímetro de Mattson realizado en la MBG-CSIC. A medida que continúa el proceso de cocción de las judías secas, las sustancias pécticas se descomponen y la conexión entre las células de los cotiledones se debilita y la fuerza de corte disminuye, entonces la cubierta de la semilla y la microestructura de las semillas pueden ser responsables de facilitar un rápido ablandamiento de las semillas durante el remojo (Taiwo et al. 1998).

De acuerdo con las evaluaciones de cocción de las semillas de judías en el presente trabajo de investigación, los tiempos de cocción variaron entre 23 min (Montcau) y 68 min (Galaica). Según diversos autores, los intervalos del tiempo de cocción son muy variables, por ejemplo, Cichy et al. (2019) reportan 16-156 min y Gelerte et al. (2021) 42-57 min. Respecto a esta amplia variación de tiempo de cocción, Mateo Box (1961) indica que, entre las características que influyen en la cocción del grano, además del ya mencionado período de almacenamiento y las condiciones de humedad y temperatura durante el mismo, se encontraría el tipo de suelo, asociando los suelos moderadamente ácidos con tiempos adecuados de cocción, lo cual podría explicar las buenas cualidades de cocción de la variedad Galaica, que se cultiva en zonas de Lugo en suelos moderadamente ácidos (pH 4,8-6,59). Puerta Romero (1961) indica que se consideraría de gran calidad comercial una variedad con tiempo de cocción del grano inferior a 90 min.

Elia (2003) ha reportado que estudios sobre las judías del acervo genético Andino mostraron que el tiempo de cocción está determinado genéticamente, con predominio del tiempo de cocción corto sobre el tiempo de cocción largo, con influencias citoplasmáticas en la expresión de corto tiempo de cocción. En todo caso, remojar las judías antes de cocinarlas reduce el tiempo de cocción en comparación con judías sin remojar. El proceso de remojo ablanda las judías y activa las enzimas de la pared celular (Miano y Duarte 2018). Una posible explicación para este efecto es el relacionado con los cationes, calcio y magnesio, que participan en la estabilización de la molécula de pectina, resultando en el endurecimiento del tegumento (Sao José et al. 1986).

En la presente investigación las variables que contribuyen a la calidad del grano y el tiempo de cocción adquieren especial relevancia, dado que las cuatro variedades estudiadas han sido mejoradas previamente y, en el caso de las tres españolas, están acogidas a formas de protección varietal. Estas variedades se corresponden con los alimentos de calidad diferenciada, que son aquellos productos que están protegidos por una normativa de la UE que garantiza el cumplimiento de unos requisitos superiores a los exigidos para el resto de los productos. Como se ha mencionado previamente, las Denominaciones de Origen Protegidas (D.O.P.) e Indicaciones Geográficas Protegidas (I.G.P.) constituyen el sistema utilizado en España para el

reconocimiento de una calidad diferenciada, consecuencia de características propias y diferenciales, debidas al medio geográfico en el que se producen las materias primas, se elaboran los productos, y a la influencia del factor humano que participa en las mismas (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación 2016).

5.4. Incidencia de plagas y enfermedades en el cultivo

El estudio de la incidencia de plagas y enfermedades en el cultivo de la variedad Galaica se llevó a cabo en fincas de productores en Lourenzá y Ribadeo (Lugo), y también en diversas variedades de judía en la finca experimental de la MBG-CSIC, en 2019.

Los patógenos presentes en los suelos de cultivo de las fincas colaboradoras pertenecen a los géneros *Fusarium* y *Pythium*. Todos los suelos de las fincas (2 en Ribadeo y 3 en Lourenzá) tuvieron presencia de hongos, en el caso de *Fusarium*, pertenecientes a las especies *F. oxysporum* y *F. solani*, y del oomiceto *Pythium* del cual no se ha podido identificar la especie en las analíticas. Salvo en Cabana, Lourenzá 3, en las demás fincas se han detectado los tres hongos (con diverso número de colonias/g de suelo), lo cual coincide con las observaciones habituales de técnicos de la zona de producción, acerca de las enfermedades fúngicas en esta área de La Mariña de Lugo. Dichos tienen características adecuadas para el crecimiento de la variedad Galaica; son de carácter moderadamente ácido, con materia orgánica adecuada (3,2-7,3 %).

Hay diferencias en incidencia de hongos patógenos respecto a los resultados de De Ron et al. (2011) respecto a las enfermedades fúngicas detectadas en plantas de judía en Galicia y en la MBG-CSIC durante el período de 2000-2010, ya que en dicho caso se detectaron *Uromyces appendiculatus*, *Colletotrichum lindemuthianum*, *Botrytis cinerea*, *Ascochyta* sp., *Sphaerotheca fuliginea*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Rhizoctonia solani*, *Fusarium solani*, *Phytophthora* sp., *Fusarium oxysporum*, *Alternaria* sp., *Verticillium* sp., *Cladosporium* sp. y el oomiceto *Pythium* sp. Su capacidad de persistencia en el suelo es diversa, lo que explica las diferencias entre los resultados de los análisis de suelos y de partes aéreas de las plantas. Puerta Romero (1961, 1962) describe las principales plagas y enfermedades de la judía, relacionándolas con las diferentes zonas de producción en España, incluyendo los hongos anteriormente mencionados.

En los suelos de las parcelas experimentales de la MBG-CSIC, se han realizado análisis en suelos sin encalar y encalados separadamente. Los hongos detectados han sido algunos de los más relevantes que atacan a la judía (Mancho 1976, Abawi 1989, Allen et al. 1998), *Fusarium oxysporum*, *F. solani*, *Rhizoctonia solani* y el oomiceto *Pythium* sp., tanto en las parcelas encaladas como en las no encaladas, y con una presencia de colonias/g de suelo semejantes. De nuevo hay algunas diferencias respecto a De Ron et al. (2011), con las mismas consideraciones que en el párrafo anterior. Los resultados no son concluyentes desde el punto de vista del efecto del encalado, con reducción del pH, en la incidencia de hongos patógenos. Según Martín et al. (1999), acerca de *Pythium* sp., las poblaciones del oomiceto eran mayores en suelos con un pH que oscilaba entre 6,8 y 7,2 y menores en suelos con un pH que oscilaba entre 3,6 y 5,5. El pH del suelo influye en algunas fases del ciclo de vida de las especies de *Pythium* sp, como son la formación de oosporas y esporangios. También Lumsden et al. (1987) señalan que los suelos alcalinos (por encima de un pH de 7) favorecen el crecimiento de especies de *Pythium*. Según Abawi et al. (2000) los surcos y la labranza profunda aumentan la aireación y el drenaje, creando condiciones menos favorables para el desarrollo de enfermedades.

Durante los períodos de cultivo 2019, 2020 y 2021, se tomaron muestras de plantas con síntomas de enfermedades, que se analizaron en la EFA. Los patógenos presentes (junto con bacterias saprofitas) han sido: *Fusarium oxysporum*, *F. solani*, *F. proliferatum*, *Rhizoctonia solani*, *Penicillium* sp., *Alternaria* sp., *Aspergillus* sp., *Stemphyllium globuliferum*, *Albifimbria* sp. y *Pythium* sp., algunos de ellos no reportados por De Ron et al. (2011). No se han detectado los hongos patógenos causantes de la antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum*) y de roya (*Uromyces appendiculatus*), enfermedades importantes en la judía, lo cual coincide por lo

descrito por Puerta romero (1961, 1962). Monteagudo et al. (2006) evaluaron la resistencia a diversas enfermedades fúngicas, bacterianas y víricas en una colección nuclear de judía de la MBG-CSIC, encontrando algunas resistencias a hongos patógenos, por ejemplo, al patógeno causante de la roya en el genotipo PHA-0917, variedad local de la cual se ha obtenido la variedad comercial de conservación Galaica, objeto de esta investigación.

Araya y Hernández (2003, 2006) afirman que el cambio en el uso de variedades comerciales, las alteraciones en el clima y la incorporación de nuevas áreas de cultivo han favorecido el progreso de enfermedades de pudrición radicular. Además, Xue et al. (2015) reafirman que la marchitez por *Fusarium oxysporum* f sp *phaseoli* se considera una de las principales enfermedades de la judía a nivel mundial. Granados–Montero et al. (2021) difieren parcialmente de estos resultados, ya que los hongos aislados más frecuentes en su estudio, identificados mediante secuenciación de la región ITS del ADN nuclear ribosomal, fueron *Macrophomina phaseolina* (26.7%), *Fusarium oxysporum* (13.6%) y *Athelia rolfsii* (5.6%). A partir de los síntomas observados de marchitez en campo se aislaron los hongos comúnmente descritos en judía para esas patologías.

Al-Jaradi et al. (2018) detectaron en judía, en una prueba de patogenicidad, *Pythium aphanidermatum* causando síntomas de marchitez, lesiones marrones y pudrición de la raíz en el hipocótilo y la raíz principal de las plantas de judías tratadas. Los mismos investigadores reportaron que la infección por *P. aphanidermatum* resultó en una reducción significativa en el peso fresco, el peso seco y la longitud de los brotes de la judía. Según Nzungize et al. (2012) *Pythium* sp. causa síntomas severos de enfermedades como marchitez pre-emergente y post-emergente, tizón, retraso en el crecimiento y pudrición de semillas, raíces y tallos.

En los análisis de muestras de plantas con síntomas de plagas, que se analizaron en la EFA, se encontraron artrópodos que parasitan frecuentemente la judía (Puerta-Romero 1962), como *Agrotis ipsilon*, *Delia platura* y *Tetranychs* sp.

Las larvas del insecto lepidóptero *Agrotis ipsilon* son muy dañinas para las plantas de judías. Rios et al. (2006) describieron que para evitar que la población sobrepase el nivel de daño económico y la disminución de las ganancias del cultivo y el umbral económico la incidencia no debe superar seis plantas afectadas en cada muestreo u observación de control. Valenciano et al. (2001) describen que las larvas penetran en las semillas en germinación o en las plántulas y realizan galerías en los cotiledones, en los pequeños tallos y/o en las jóvenes raíces, antes de la emergencia, destruyéndolas; originan el desorejado o descabezado de la planta que consiste en la destrucción de los cotiledones, problema endémico de la mayor parte de las zonas de cultivo de judías.

Respecto al insecto díptero *Delia platura*, Darvas y Kozma (1982) reportaron los importantes daños que puede causar en plantas jóvenes de judía. Es una plaga que puede causar graves pérdidas en la producción de judía en América del Norte y Europa. Se trata de un insecto muy polífago que afecta de forma importante a la judía y otras leguminosas. Los daños son causados por las larvas, que se alimentan de materia orgánica en descomposición, semillas, brotes tiernos y cotiledones, tallos de plántulas, y raíces. Las larvas también pueden realizar galerías en los tallos y el cuello de las plantas recién emergidas, provocando su debilitamiento o su muerte prematura, según el nivel de daño. Además, las plantas atacadas que sobreviven son más susceptibles a enfermedades producidas por hongos de suelo.

En las muestras de hoja y/o planta se ha identificado también *Tetranychus* (araña roja), que también estaba presente en el cultivo durante el período 2000-2010 (De Ron et al. 2011), realmente se trata de un ácaro muy frecuente en los cultivos de judía. Es una especie de la familia Tetranychidae que parasita a una gran cantidad de vegetales silvestres y cultivados entre los cuales se encuentran numerosas especies de leguminosas, como las judías, especialmente en los

cultivos hortícolas. Las hojas de las plantas parasitadas por este ácaro muestran, como primer síntoma, unas finas punteaduras cloróticas, que evolucionan a tonos amarillentos y rojizos. En el envés de estas hojas se pueden apreciar las arañitas en movimiento, junto a unas finísimas telas características de esta especie. Ferragut y Escudero (1999) han estudiado la biología del acaro *Tetranychus*; la duración del desarrollo de huevo a adulto transcurre en 13,5 d a 25°C; la puesta de huevos alcanza un máximo de unos 13 huevos diarios a una temperatura media y la temperatura umbral de desarrollo se sitúa cerca de los 13°C, aproximadamente las condiciones que se dan en la MBG-CSIC durante el ciclo de cultivo de la judía.

Tabla 5.1. Comparación de agentes fitopatógenos detectados en Galicia y en la MBG-CSIC en dos períodos diferentes.

	PERÍODO	
	2000-2010 (Galicia)	2019-2021 (MBG-CSIC)
HONGOS		<i>Albifimbria</i> sp.
	<i>Alternaria</i> sp.	<i>Alternaria</i> sp
	<i>Ascochyta</i> sp.	
		<i>Aspergillus</i> sp.
	<i>Botrytis cinerea</i>	
	<i>Cladosporium</i> sp.	
	<i>Colletotrichum lindemuthianum</i>	
	<i>Fusarium oxysporum</i>	<i>Fusarium oxysporum</i>
	<i>Fusarium proliferatum</i>	<i>Fusarium proliferatum</i>
	<i>Fusarium solani</i>	<i>Fusarium solani</i>
		<i>Penicillium</i> sp
	<i>Phytophthora</i> sp.	
	<i>Rhizoctonia solani</i>	<i>Rhizoctonia solani</i>
	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	
	<i>Sphaerotheca fuliginea</i>	
		<i>Stemphyllium globuliferum</i>
<i>Uromyces appendiculatus</i>		
<i>Verticillium</i> sp.		
OOMICETOS	<i>Pythium</i> sp.	<i>Pythium</i> sp.
ARTRÓPODOS	<i>Agrotis ipsilon</i>	<i>Agrotis ipsilon</i>
	<i>Aphis fabae</i>	
	<i>Bemisia tabaci</i>	
	<i>Delia platura</i>	<i>Delia platura</i>
	<i>Frankliniella occidentalis</i>	
	<i>Heliothis armigera</i>	
	<i>Macrosiphum euphorbiae</i>	
	<i>Myzus persicae</i>	
	<i>Thrips tabaci</i>	
<i>Trialeurodes vaporariorum</i>		
ÁCAROS	<i>Tetranychus</i> sp.	<i>Tetranychus</i> sp.
	<i>Polyphagotarsonemus latus</i>	

En comparación con los estudios (muestreo amplio) de la incidencia de plagas y enfermedades de la judía en Galicia llevados a cabo en el período 2000-2010, se aprecian diferencias importantes en la incidencia de organismos patógenos, respecto a los muestreos de plantas con síntomas de daños en las campañas 2019-2021, restringidos a la finca experimental de la MBG-CSIC (tabla 5.1) (De Ron et al. 2011).

5.5. Evaluación de los efectos en el cultivo de la inoculación con *Trichoderma*

La evaluación de los efectos de la inoculación con *Trichoderma harzianum* se ha analizado en los ensayos llevados a cabo en 2021 y 2022 (dos variedades), en la finca experimental de la MBG-CSIC. Además, ha habido otros tratamientos en el cultivo: fertilización 0, fertilización con N, e inoculación con *Burkholderia alba*.

Trichoderma es un género de hongos que incluye una gran cantidad de especies y un alto porcentaje de estas especies tiene la capacidad de proteger los cultivos contra enfermedades, mediante la actividad de competencia y micoparasitismo del hongo y también mediante la segregación de metabolitos secundarios, y asimismo poder aumentar el rendimiento de los cultivos en condiciones de campo, dentro de una agricultura sostenible y respetuosa con el medio ambiente (Mayo et al. 2015, De Ron et al. 2021). Las especies del género *Trichoderma* han desarrollado mecanismos oportunistas para su adaptación al estrés abiótico, así como para la absorción de nutrientes y el transporte de solutos. En la planta, estos procesos se ven facilitados por la inducción de la extensión y expansión de la pared celular, desarrollo secundario de la raíz, producción de pelos absorbentes de la raíz y una tasa fotosintética más alta (Shoresh et al. 2010, Hermosa et al. 2013). De acuerdo con los resultados de la presente investigación, en las judías inoculadas con *T. harzianum*, se detecta una floración más corta y un aumento en el contenido de Nitrógeno y Fósforo de la hoja, que podría relacionarse con una tasa fotosintética más alta.

Muchas especies de *Trichoderma* actúan como agentes de biocontrol de importantes hongos patógenos de los cultivos, mediante mecanismos de micoparasitismo, antibiosis y competencia por los nutrientes con el potencial hongo patógeno (Harman et al. 2004). El género *Trichoderma* coloniza la superficie de las raíces de las plantas y producen cambios metabólicos relevantes (Shoresh et al. 2010), limitándose su relación biológica con las plantas a la primera capa celular de la epidermis y la corteza de la raíz. Además, *Trichoderma* es capaz de inducir la expresión de genes implicados en la respuesta de defensa vegetal ante patógenos y, asimismo, promover el crecimiento de las plantas (Hermosa et al. 2012, Mayo et al. 2015). Naseri y Younesi (2021) realizaron un metanálisis utilizando 228 experimentos de campo y de invernadero para evaluar las interacciones de bacterias y hongos antagonistas en la producción de judía, mostrando que los factores antagonistas, patógenos y de tratamiento afectaron significativamente la eficiencia del control. Se detectó una mayor eficiencia de control con *Trichoderma gamsii*, *Gliocladium virens*, *Trichoderma viride* y *Pseudomonas fluorescens*. La mejora media mayor y menor en el crecimiento de las plantas se registró para *Pseudomonas aeruginosa*, y *Rhizobium meliloti*, respectivamente. Los antagonistas suprimieron *Phytophthora* sp., *Pythium* sp., *Fusarium oxysporum*, *Sclerotium rolfsii*, *Macrophomina phaseolina*, *Fusarium solani* y *Rhizoctonia solani*. Alabouvette et al. (2009) realizaron pruebas de cultivo pareado, en los que existen varios modos de acción en la inhibición de crecimiento colonial de *F. oxysporum* por aislados de *Trichoderma*, como la competencia por nutrientes y espacio, micoparasitismo y antibiosis. Carvalho et al. (2014) hicieron intentos para caracterizar los mecanismos involucrados en el antagonismo en metabolitos no volátiles (NVM) que inhibieron el crecimiento de patógenos en un 20-26%, y también se comportaron de manera similar en la prueba los metabolitos volátiles (VM). La antibiosis ya sea por VM o NVM, juega un papel importante en el control biológico, que puede actuar junto con la competencia de nutrientes y micoparasitismo, lo que proporciona mayores niveles de antagonismo.

En la presente investigación no hay resultados sobre la incidencia de enfermedades fúngicas en las parcelas de judía inoculadas con *T. harzianum*, dado que los muestreos fitosanitarios se realizaron sobre el cultivo de judía en la MBG-CSIC en general.

Deshmukh et al. (2007) descubrieron que la inoculación con *Rhizobium* y *Trichoderma* reaccionaba de forma sinérgica y se registró una mayor nodulación y aumentó el rendimiento de grano. En los resultados de esta Tesis Doctoral no se ha detectado un aumento directo de la productividad, aunque el número de vainas por planta, que es un indicador importante del rendimiento, fue alto en el caso de la inoculación conjunta con *T. harzianum* y *B. alba* y también ha habido mayor número de nódulos en la inoculación conjunta. Asimismo, se han manifestado respuestas positivas a la inoculación con *T. harzianum* en la calidad del grano; en el caso de Galaica, con mayor tamaño y en Matterhorn menor proporción de tegumento del grano.

5.6. Evaluación del sistema simbiótico judía-microbiota: *Rhizobium* y *Burkholderia*

La evaluación del sistema simbiótico judía-microbiota (rizobacterias) se ha analizado en los ensayos llevados a cabo en 2019 y 2020 (4 variedades, *Rhizobium etli*) y en 2021 y 2022 (dos variedades, *Burkholderia alba*), en la finca experimental de la MBG-CSIC. En los ensayos de 2019 y 2020 se introdujeron otros factores de variación: sistema de cultivo (monocultivo de judía/cultivo asociado judía-maíz), enmienda del suelo (encalado) y fertilización (0, N). En los ensayos de 2021 y 2022 los factores de variación han sido los tratamientos aplicados: 0, N e inoculación con *Trichoderma harzianum*.

El uso de leguminosas en diferentes sistemas de cultivo reduce la dependencia de fertilizantes de nitrógeno inorgánicos. La eficacia de la utilización del nitrógeno procedente de los fertilizantes químicos es muy baja y no supera el 10-50% para los cultivos en el campo (Ribaud et al. 2011). Las razones de esta baja eficiencia son la pérdida de nitrógeno por lixiviación, escorrentía, volatilización de amoníaco o desnitrificación, lo que resulta en la contaminación de las aguas subterráneas y la atmósfera (Zhaohui et al. 2012, Zarabi y Jalali 2012). A través de su capacidad para fijar N₂, las leguminosas desempeñan un papel importante en el suministro de nitrógeno tanto en los ecosistemas naturales como en la agricultura/agrosilvicultura, contribuyendo hasta 500 kg N/ha/año (Briggs et al. 2005).

La simbiosis entre rizobios y leguminosas depende de la especificidad y eficacia de los rizobios que requiere la expresión de diferentes genes por la bacteria y la planta hospedante. Los genes necesarios para la formación de nódulos (*nod*) y para la fijación de nitrógeno (genes *fix* y *nif*) en simbiosis rizobiana con la hospedante leguminosa se encuentran en plásmidos o islas de simbiosis en los cromosomas. Hungría y Vargas (2000) han reportado que factores abióticos como las altas temperaturas del suelo pueden afectar la fijación de N₂ mediante la reducción de la viabilidad de los rizobios en el suelo. También existen evidencia de variabilidad genotípica para la fijación simbiótica de nitrógeno y la influencia en la misma del P disponible, lo que muestra una posibilidad de seleccionar cultivares capaces de soportar la fijación biológica de N₂ en suelos con bajo contenido de P (Drevon et al. 2015).

En los ensayos de campo de 2020, en la finca experimental de la MBG-CSIC, se detectaron nódulos en raíces de plantas que no habían sido inoculadas con *R. etli*. De estos nódulos se aisló la bacteria *Burkholderia alba*, no detectada en análisis previos de los suelos de la finca experimental. Esta especie había sido descrita por Lee et al. (2018) en suelos de Corea del Sur, y hasta el momento se desconocen los motivos por los que dicha bacteria apareció en los suelos de la finca de la MBG-CSIC. Esta es una de las aportaciones innovadoras de esta Tesis Doctoral, y actualmente se están desarrollando investigaciones sobre las capacidades de esta bacteria simbiótica, tanto desde el punto de vista de su capacidad para la fijación simbiótica de nitrógeno, como para la promoción del crecimiento vegetal. Asimismo, está en estudio la capacidad de *B. alba* para asociarse con diferentes leguminosas, lo cual le daría el valor añadido de poder servir de base para la biofertilización de varios cultivos.

De acuerdo con los resultados de los ensayos de 2019 y 2020, los diferentes tratamientos presentan diferencias significativas en todas las variables excepto en las relacionadas con la nodulación, lo que parece indicar que los procesos simbióticos (nodulación y contenido en Nitrógeno) no se han visto afectados por la enmienda caliza del suelo y tampoco por el sistema de cultivo (monocultivo/cultivo asociado). El suelo de la parcela experimental utilizada en los ensayos en la MBG-CSIC tiene un carácter marcadamente ácido (pH 4,5-5,7), lo cual podría incidir negativamente en la nodulación. El pH es una de las variables del suelo que afectan al proceso de nodulación porque puede afectar a las señales secretadas, or ejemplo, reducir la secreción de los exudados radiculares, y asimismo puede reducir la expresión de genes *nod* y factores Nod (Richardson et al. 1988, Drevon et al. 2015).

Gough y Cullimore (2011) indicaron que los flavonoides específicos liberados por las raíces de las leguminosas actúan como quimioatrayentes para el simbionte rizobiano, y también activan la expresión de los genes *nod* rizobianos, responsables de la síntesis de factores nod (lipoquitina-oligosacáridos) que son receptores de la señal de los flavonoides de la planta. La ventaja del sistema de cultivos asociados de maíz y leguminosas en la fijación de nitrógeno biológico por las leguminosas y la transferencia de N al maíz asociado, aunque la presente investigación no aporta resultados respecto a ello. La inoculación con *R. etli* ha producido una cierta reducción en la duración de la floración, no detectándose efectos en los caracteres de productividad ni en la calidad del grano. Tampoco se ha visto afectada la nodulación ni el contenido en Nitrógeno y Fósforo de la hoja.

Según Slattery et al. (2004) y Fueyo (2004), la eficacia de la nodulación también se ve afectada por el estado de nitrógeno del suelo. Esto es especialmente obvio cuando los niveles de nitrógeno inorgánico en el suelo son altos y esto limita o suprime la nodulación natural y la fijación de nitrógeno, dado que la planta dispone de nitrógeno suficiente en el suelo y no facilita la infección de sus raíces por los rizobios simbióticos.

En las interacciones de los TxVxA (tratamientos x variedades x año) existe una alta significación tanto en el número, masa fresca y masa seca del nódulo de las raíces, lo que indica que las condiciones climáticas están influenciando en estas variables. Se ha encontrado que no hay diferencia significativa entre los T (tratamientos), TxV (tratamientos x variedad), VxA (variedad x año), lo que difiere de Rodríguez-Navarro et al. (2000) quienes han reportado que en algunos suelos el número de rizobios compatibles efectivos son bajos y la judía común tiene una reputación de pobre fijadora de N₂, en comparación con otras leguminosas, debido a la escasa nodulación. Otros investigadores como Mrabet et al. (2005) han encontrado que inoculación local o variedades adaptadas de la judía común con cepas nativas efectivas produjo un rendimiento de grano similar al del control fertilizado con N.

Respecto a la formación de nódulos, en los ensayos de 2021 y 2022, se han obtenido valores muy parecidos en las dos variedades estudiadas, y se detectó un aumento del número de nódulos en las plantas inoculadas con *B. alba*, más acusado en el caso de la inoculación conjunta con *T. harzianum*. El contenido de Nitrógeno en la hoja también ha respondido positivamente a la inoculación con *B. alba*, y especialmente el de Fósforo, que alcanza su valor más alto. Sin embargo, la inoculación con esta bacteria simbiótica no ha tenido efecto en la productividad de las plantas. Respecto a la fertilización con N, ha tenido el efecto de que el número de nódulos sea reducido, debido a la disponibilidad de nitrógeno inorgánico en el suelo para el crecimiento vegetal, lo cual está de acuerdo con los resultados de autores como Keister y Evans (1976) y Drevon et al. (2015).

Rodiño et al. (2023) estudiaron la capacidad de nodulación de *B. alba* en 17 leguminosas diferentes (judía común, guisante, garbanzo, guandú, caupí, soja, arveja, arveja amarga, arveja amarilla, lenteja, guisante rojo, alfalfa, haba, algarroba, guisante, maní y altramuz azul) bajo tres condiciones diferentes, un control 0, un control N e inoculadas con *B. alba* y se aisló *B. alba* de nódulos de judía, caupí y guisante. Parece que *B. alba* es una bacteria que persiste en la semilla ya que también aparece en las plantas no inoculadas de control 0 y control N. Estos datos iniciales indican que *B. alba* podría ser una bacteria promiscua, capaz de asociarse con diferentes especies diferentes de leguminosas.

Delgado et al. (2023) estudiaron el comportamiento de plantas inoculadas con *Rhizobium leucaenae* y en combinación con *B. alba*, y encontraron que tuvieron un crecimiento superior al de las plantas inoculadas con *R. etli*, respecto al desarrollo de hojas trifoliadas, número de flores y biomasa. Estos resultados podrían indicar un efecto en la promoción del crecimiento de la planta por parte de *B. alba*.

Walker (2016), define la idea que los rizobios fijadores de nitrógeno cooptaron la antigua vía de señalización de micorrizas para asegurar la entrada de las células de la raíz y la posterior nodulación para la proliferación y protección de las bacterias es bien aceptada. Por lo tanto, esto plantea la cuestión de si Rhizobiales y/o Burkholderiales ancestrales podrían haber sido copartícipes en el origen de las asociaciones planta-micorriza y simbiosis fijadoras de nitrógeno. Son varias los miembros biótrofos del género *Burkholderia* que se relacionan mutualistamente con plantas, a las cuales nodulan (*B. tuberum* en *Aspalathus carnosus*; *B. phymatum* en *Machaerium lunatum*; *B. mimosarum*, y *B. nodosa* en *Mimosa bimucronata*, *M. scabrella* y *Dalbergia* spp.) y proveen de nitrógeno fijado biológicamente, gracias a la presencia de los genes *nif* (Caballero-Mellado et al. 2004).

6. Conclusiones

1. Las campañas de cultivo (que se diferencian meteorológicamente entre ellas), han tenido influencia en el ciclo biológico de las variedades de judía estudiadas, así como su genotipo, en particular el hábito de crecimiento. Sin embargo, el sistema de cultivo no ha tenido un efecto importante en el crecimiento de las plantas. Tampoco se han detectado efectos destacados relacionados con los factores de enmienda, fertilización (ausente, N y microbiota) y tratamiento con *Trichoderma harzianum*.
2. En los ensayos de judía realizados en la MBG-CSIC en los ciclos de cultivo 2019, 2020, 2021 y 2022 se introdujeron diferentes factores de variación para valorar sus efectos en el comportamiento agronómico de las cuatro variedades mejoradas estudiadas: sistema de cultivo, enmienda del suelo, fertilización e inoculación con microbiota. Aunque se detectaron respuestas a dichos factores en aspectos productivos y de nodulación, no hay una respuesta efectiva relevante en las variedades de judía estudiadas.
3. El comportamiento de las cuatro variedades de judía mejoradas genéticamente ante diversos factores ambientales ha manifestado escasos efectos de dichos factores, lo cual muestra una tendencia de estabilidad de las variedades en diferentes entornos del agrosistema y plasticidad genética suficiente para la adaptación a los mismos, apesar de tratarse de variedades seleccionadas de una especie autógama, lo cual supone considerarlas líneas puras.
4. La calidad del grano de las cuatro variedades de judía estudiadas se ha realizado en varios años en la finca experimental de la MBG-CSIC y en 2019 en campos de producción de la zona de la IGP Faba de Lourenzá, sobre la base de caracteres cuantitativos del grano de importancia para la calidad comercial. La masa del grano, la absorción de agua en remojo y la proporción de tegumento han presentado variaciones en los distintos ensayos, siendo destacable el comportamiento de la variedad Galaica en la zona de Lugo, como resultado de su adaptación a las características ambientales de dicha zona de producción.
5. Un aspecto importante de la calidad del grano de una leguminosa es el tiempo de cocción. En esta investigación se han encontrado valores adecuados de los tiempos de cocción, en las cuatro variedades mejoradas en estudio, semejantes a los valores óptimos reportados con anterioridad en otras variedades, lo cual confirma el valor cualitativo de estas variedades.
6. La incidencia de hongos y oomicetos patógenos (*Fusarium oxysporum*, *F. solani*, *F. proliferatum*, *Rhizoctonia solani*, sp., *Alternaria* sp., y *Phytophthora* sp.) y artrópodos parásitos (*Agrotis ipsilon*, *Delia platura* y *Tetranychus* sp.) en suelos y/o plantas en la finca experimental de la MBG-CSIC, y especialmente, en los campos de producción de la Mariña de Lugo, indica una situación fitosanitaria que afecta a la zona productiva de la IGP Faba de Lourenzá, por lo cual son recomendables medidas culturales agronómicas, y fitosanitarias, para superar esta situación.
7. En comparación con muestreos anteriores realizados en el cultivo de judía en Galicia, se detecta que la diversidad de organismos fitopatogénicos ha disminuido, quizá por una mejora en las prácticas agronómicas, por la posible reducción de la sensibilidad de algunas variedades de judía a organismos patógenos o por la influencia de climatología anual.

8. En las judías inoculadas con *T. harzianum*, se detecta una floración más corta y un aumento en el contenido de Nitrógeno y Fósforo de la hoja, que podría relacionarse con una tasa fotosintética más alta. El número de vainas por planta, que es un indicador importante del rendimiento, fue alto en el caso de la inoculación conjunta con *T. harzianum* y *B. alba* y también ha habido mayor número de nódulos en la inoculación conjunta. Asimismo, la inoculación con *T. harzianum* ha mejorado caracteres de la calidad de grano en las variedades Galaica y Matterhorn.
9. La inoculación con *R. etli* ha afectado al ciclo biológico, con una reducción en la duración de la floración, no detectándose efectos en los caracteres de productividad ni en la calidad del grano. Tampoco se ha visto afectada la nodulación ni el contenido en Nitrógeno y Fósforo de la hoja. La fertilización nitrogenada ha tenido efecto en la reducción en el número de nódulos en las raíces.
10. La identificación y el comienzo de las investigaciones sobre *Burkholderia alba* supone una de las aportaciones más relevantes de la presente Tesis Doctoral. La inoculación con esta bacteria ha tenido efectos positivos en varios de los caracteres evaluados en ensayos de campo, y, además, ha abierto un campo de investigación notable respecto a la capacidad de fijación simbiótica de nitrógeno de esta bacteria y también sobre su función biológica de promoción del crecimiento vegetal en plantas de judía.

7. Bibliografía

- Abawi GS, Widmer TL. 2000. Impact of soil health management practices on soil borne pathogens, nematodes and root diseases of vegetable crops. *Appl. Soil Ecol.*, 15, 37-47.
- Abawi GS. 1989. Root rots. En: Schwartz HF, Pastor-Corrales MA (Eds.) *Bean production problems in the tropics*, 2nd Ed. pp 119–120. International Agricultural Center for Tropical Agriculture (CIAT), Cali, Colombia.
- Addo-Quaye AA, Darkwa AA, Ocloo GK. 2011. Yield and productivity of component crops in a maize-soybean intercropping system as affected by time of planting and spatial arrangement.
- Alabouvette C, Olivain C, Migheli Q, Steinberg C. 2009. Microbiological control of soilborne phytopathogenic fungi with special emphasis on wilt-inducing *Fusarium oxysporum*. *New Phytologist* 184:529-544.
- Alemayehu D, Shumi D, Afeta T. 2018. Effect of variety and time of intercropping of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) with maize (*Zea mays* L.) on yield components and yields of associated crops and productivity of the system at mid-land of Guji, Southern Ethiopia. *Adv Crop Sci Tech* 6: 324.
- Al-Jaradi A, Al-Mahmooli I, Janke R, Maharachchikumbura S, Al-Saady N, Al-Sadi AM. 2018. Isolation and identification of pathogenic fungi and oomycetes associated with beans and cowpea root diseases in Oman. *PeerJ-Life and Environment* 6: e6064.
- Allard RW. 1960. *Principles of plant breeding*. John Wiley and Sons, Inc. New York, USA. 485 págs.
- Allen DJ, Buruchara RA, Smithson JB. 1998. Diseases of common bean. En: Allen DJ, Lenne JM (Eds.) *The pathology of food and pasture legumes*, pp 179-235. CAB International, Wallingford, Reino Unido.
- Allen SE, Grimshaw HM, Rowland AP. 1986. Chemical analysis. In: Moore PD, Chapman SB(eds) *Methods in plant ecology*: 285-344. Blackwell Scientific Publications. Oxford.
- Alva AK, Assher CJ, Edwards DG. 1990. Effect of solution pH, external calcium concentration and aluminum activity on nodulation and early growth of cowpea. *Australian Journal of Agricultural Research* 41: 359-365.
- Álvarez De Morales C. 2002. Agrónomos andalusíes y sus legados. En: Nuez F (ed) *La herencia árabe en la agricultura y el bienestar de occidente*: 9-69. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- AM. 2001. Interactions of bush bean intercropped with field and sweet maize M. Santalla. *European Journal of Agronomy* 15: 185–196
- Amate J, Barranco P, Cabello T. 1998. Identificación de larvas de las principales especies de noctuidos plaga de España (Lepidoptera: Noctuidae). *Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas* 24: 101-106.
- Angioi SA, Rau D, Attene G, Nanni L, Bellucci E, Logozzo G, Negri V, Spagnoletti Zeuli PL, Papa R. 2010. Beans in Europe: origin and structure of the European landraces of *Phaseolus vulgaris* L. *Theoretical and Applied Genetics* 121: 829–843.
- Annicchiarico P, Barrett B, Brummer EC, Julier B, Marshall A H. 2015. Achievements and challenges in improving temperate perennial forage legumes. *Crit. Rev. Plant Sci.* 34, 327–380. doi: 10.1080/07352689.2014.898462.
- Annicchiarico P, Collins RP, De Ron AM, Firmat C, Litrico I, Hauggaard-Nielsen H. 2019. Do we need specific breeding for legume-based mixtures? *Advances in Agronomy* 154: 141-215.
- Anónimo. 2008. *Indicación Geográfica Protegida (I.G.P.) “Faba de Lourenzá”*. Pliego de Condiciones.
- Anuario de Estadística. 2021. <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/publicaciones/anuario-de-estadistica/2021/default.aspx> (consultado 24-01-2023).
- Araújo AP, Teixeira MG. 2003. Nitrogen and phosphorus harvest indices of common

- beancultivars: Implications for yield quantity and quality. *Plant Soil* 257:425-433.
- Araya CM, Hernández JC. 2003. Distribución agroecológica de enfermedades del frijol en Costa Rica. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica)* 68: 26-33.
- Araya CM, Hernández JC. 2006. Guía para la identificación de las enfermedades del frijol más comunes en Costa Rica. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). San José, Costa Rica. 44p.
- Arrese-Igor C, Gordon AJ, Minchin FR, Denison RF. 1998. Nitrate entry and nitrite formation in the infected region of soybean nodules. *J Expt Bot* 49: 41-48.
- Arruda B, Guidolin AF, Coimbra JLM, Battilana J. 2012. The environment is crucial to the cooking time of beans. *Food Science and Technology* 32: 573-578.
- Asfaw A, Blair MW, Almekinders C. 2009. Genetic diversity and population structure of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces from the East African highlands. *Theoretical and Applied Genetics* 120: 1–12.
- Badii MH, Castillo J, Rodríguez M, Wong A, Villalpando P. 2007. Diseños experimentales investigación científica (Experimental designs and scientific research) *Innovaciones de Negocios* 4(2): 283 – 330. UANL, San Nicolás, México.
- Bardin SD, Huang H-C, Pinto J, Amundsen EJ. 2004. Biological control of *Pythium* damping-off of pea and sugar beet by *Rhizobium leguminosarum* bv. *viceae*. *Canadian Journal of Botany* 82: 291-296.
- Barrales JS. 1997. La asociación maíz-frijol, como alternativa para agricultura con problemas de heladas. *Agronomía Mesoamericana* 8(2): 121-126.
- Basu M, Bhadoria PBS, Mahapatra SC. 2008. Growth, nitrogen fixation, yield and kernel quality of peanut in response to lime, organic and inorganic fertilizer levels. *Bioresource Technol* 99: 4675-4683.
- Bates D, Maechler M, Bolker B, Walker S. 2015. Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software* 67(1): 1-48.
- Beebe S, Rengifo J, Gaitan E, Duque MC, Tohme J. 2001. Diversity and origin of Andean landraces of common bean. *Crop Science* 41: 854–862.
- Bellucci E, Bitocchi E, Rau D, Rodriguez M. 2014. Genomics of origin, domestication and evolution of *Phaseolus vulgaris*. In: Tuberosa R, Graner A, Frison E (eds) *Genomics of plant genetic resources*: 483–507. Springer, The Netherlands.
- Benchimol-Reis LL, Bueno CJ, Carbonell S, Chiorato F. 2023. Fusarium wilt–common bean pathosystem: Pathogen variability and genetic control. *Crop Science* 63: 2609-2622.
- Benítez T, Rincón AM, Limón MC, Codón AC. 2004. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. *International Microbiology* 7(4): 249-260.
- Bitocchi E, Bellucci E, Giardini A, Rau D, Rodriguez M, Biagetti E, Santilocchi R, Spagnoletti Zeuli PL, Gioia T, Logozzo G, Attene G, Nanni L, Papa R. 2013. Molecular analysis of the parallel domestication of the common bean in Mesoamerica and the Andes. *New Phytologist* 197: 300–313.
- Bitocchi E, Nanni L, Bellucci E, Rossi M, Giardini A, Spagnoletti Zeuli PL, Logozzo G, Stougaard J, McClean P, Attene G, Papa R. 2012. Mesoamerican origin of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is revealed by sequence data. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109: E788–E796.
- Blair MW, González LF, Kimani PM, Butare L. 2010. Genetic diversity, inter-gene pool introgression and nutritional quality of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) from Central Africa. *Theoretical and Applied Genetics* 121: 237–248.
- BOE. 2018. Orden APM/477/2018, de 26 de abril, por la que se dispone la inclusión de diversas variedades de distintas especies en el Registro de Variedades Comerciales: 49264.
- BOE. 2022. Orden APA/276/2022, de 31 de marzo, por la que se dispone la inclusión de diversas variedades de distintas especies en el Registro de Variedades Comerciales: 47035.
- Bolívar-Anilloa H, Contreras-Zentellab M, Teherán-Sierrac L. 2016. *Burkholderia tropica* una bacteria con gran potencial para su uso en la agricultura. *TIP Revista Especializada en*

Ciencias Químico-Biológicas 19(2):102-108.

- Bontemps C, Elliott GN, Simon MF, dos Reis FB Jr, Gross E, Lawton RC. 2010. Las especies de *Burkholderia* son antiguos simbiosistas de leguminosas. *Mol. Ecol.* 19: 44–52.
- Bouhmouch I, Souad-Mouhsine B, Brhada F, Aurag J. 2005. Influence of host cultivars and *Rhizobium* species on the growth and symbiotic performance of *Phaseolus vulgaris* under water stress. *Journal of Plant Physiology* 162: 1103-1113.
- Bourne MC. 1967. Size, density and hardshell in dry beans. *Food Technology* 21: 335-338.
- Buttery BR, Park SJ, Dhanvantari BN. 1990. Effects of combined nitrogen, *Rhizobium* strain and substrate on a supernodulating mutant of *Phaseolus vulgaris* L. *Canadian Journal of Plant Science* 70: 955-963.
- Briggs SR, Cuttle S, Goodlass G, Hatch D, King J, Roderick S, Shepherd M. 2005. Soil nitrogen building crops in organic farming – Defra research project OF0316 project publication. Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra), London.
- Brockwell J, Pilka A, Holliday RA. 1991. Soil pH is a major determinant of the numbers of naturally-occurring *Rhizobium meliloti* in non-cultivated soils of New South Wales. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 31: 211-219.
- Broughton WJ, Hernandez G, Blair M., Beebe S, Gepts P, & Vanderleyden J. (2003). Beans (*Phaseolus* spp.) – model food legumes. *Plant and Soil* 252: 55-128.
- Brücher B, Brücher H. 1976. The south American wild bean (*Phaseolus aborigineus* Burk.) as ancestor of the common bean. *Economic Botany* 30: 257-272.
- Burke DW, Hall R. 2005. Fusarium root rot. In: Schwartz HF, Steadman JR, Hall R, Foster RL (Eds.) *Compendium of bean diseases*. The American Phytopathological Society. Saint Paul, USA.
- Burle ML, Fonseca JR, Kami JA, Gepts P. 2010. Microsatellite diversity and genetic structure among common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces in Brazil, a secondary center of diversity. *Theoretical and Applied Genetics* 121: 801–813.
- Caballero-Mellado J, Martínez-Aguilar L, Pardes-Valdez G, Estrada de los Santos P. 2004. *Burkholderia unamae* sp. nov., an N₂-fixing rhizospheric and endophytic species. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 54: 1165-1172.
- Caballero-Mellado J, Onofre-Lemus J, Estrada de los Santos P, Martínez-Aguilar L. 2007. The tomato rhizosphere, an environment rich in nitrogen-fixing *Burkholderia* species with capabilities of interest for agriculture and bioremediation. *Appl. Environ. Microbiol.* 73, 5308-5319.
- Camussi A. 1979. Numerical taxonomy of Italian populations of maize based on quantitative traits. *Maydica* 24: 161-174.
- Carter JM, Gardner WK, Gibson AH. 1994. Improved growth and yield of faba beans (*Vicia faba* cv. Fiord) by inoculation with strains of *Rhizobium leguminosarum* biovar *viciae* in acid soils in south-west Victoria. *Australian Journal of Agricultural Research* 45: 613-623.
- Carvalho DDC, Lobo M, Peter W, Inglis PW, Mello SCM. 2014. Biological control of *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* in vitro and on common bean seeds: an approach based on multivariate analysis. *Tropical Plant Pathology* 39(5). DOI: 10.1590/S1982-56762014000500005.
- Casañas F, Bosch L, Sanchez E, Romero R, Valero J, Baldi M, Mestres J, Nuez F. 1998. Características de la alubia “Ganxet” (*Phaseolus vulgaris* L.) y acciones para su conservación. *Investigación Agraria* 13:43-53.
- Casquero PA, Santalla M, De Ron AM. 1994. Cultivo asociado judía-maíz. Su papel dentro de una agricultura sostenible en Galicia. *Agricultura* 742: 397-401.
- Chacón SMI, Pickersgill B, Debouck DG. 2005. Domestication patterns in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and the origin of the Mesoamerican and Andean cultivated races. *Theoretical and Applied Genetics* 110: 432–444.
- Chakraborty U, Chakraborty BN. 1989. Interacción de *Rhizobium leguminosarum* y *Fusarium solani* f. sp. *pisi* en guisantes que afectan el desarrollo de enfermedades y la producción de

- fitoalexinas. *Canadian Journal of Botany* 67 (6): 1698-1701.
- Chen WM, de Faria SM, James EK, Elliott GN, Lin K, Chou JH, Sheu SY, Cnockaert M, Sprent JI, and Vandamme P. 2007. *Burkholderia nodosa* sp. nov., isolated from root nodules of the woody Brazilian legumes *Mimosa bimucronata* and *Mimosa scabrella*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 57:1055–1059.
- Chin-A-Woeng TF, Bloemberg GV, Lugtenberg BJ. 2003. Phenazines and their role in biocontrol by *Pseudomonas* bacteria. *New Phytologist* 157: 503-523.
- CIAT. 1983. Etapas de desarrollo de la planta de frijol común. Guía de estudio. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). Cali, Colombia.
- CIAT. 1984. Morfología de la planta de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Guía de estudio. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). Cali, Colombia.
- CIAT. 1991. CIAT Report/Informe CIAT 1991. Amaya S. (ed.) Cali, Colombia. XII. 162 p.
- Clemente A, De Ron AM (Coords.). 2016. Las legumbres. CSIC Colección Divulgación - Los Libros de La Catarata. Madrid. 176 pp.
- Cichy KA, Wiesinger BM, Nchimbi-Msolla Fourie D, Porch TG, Ambechew D, Miklas PN. 2019. The role of genotype and production environment in determining the cooking time of drybeans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Legume Science* 1:e13.
- Clarke LM, Dilworth MJ, Glenn AR. 1993. Survival of *Rhizobium meliloti* WSM419 in laboratory culture: effect of combined pH shock and carbon. *Soil Biology and Biochemistry* 25: 1289- 1291.
- Coates AG, Collins LS, Aubry MP, Berggren WA. 2004. The geology of the Darien, Panama, and the late Miocene-Pliocene collision of the Panama arc with north-western South America. *Geological Society of America Bulletin* 116: 1327–1344.
- Cochran WG, Cox GM. 1957. *Experimental designs*. 2ª ed. John Wiley and Sons. Inc., Nueva York.
- Cochran WG, Cox GM. 1990. *Experimental designs*. 2ª ed. México: Trillas.
- Coenye T, Vandamme P. 2003. Diversity and significance of *Burkholderia* species occupying diverse ecological niches. *Environmental Microbiology* 5: 719–729.
- Consellería del Medio Rural. 2008. Orden de 20 de agosto de 2008 por la que se aprueba el Reglamento de la indicación geográfica protegida Faba de Lourenzá y de su Consejo Regulador, y se nombra el Consejo Regulador Provisional. *Diario Oficial de Galicia* 165: 16130-16139.
- Correa OS, Barneix AJ. 1997. Cellular mechanisms of pH tolerance in *Rhizobium loti*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 13: 153-157.
- Correa P. 1981. Epidemiological correlations between diet and cancer frequency. *Cancer Research* 41: 3685–3690
- Crookston R. 1976. Intercropping, a new version of an old idea. *Crops and Soils Magazine*: 7-9.
- Cubero JI, Moreno MT (Coord.). 1983. *Leguminosas de grano*. Ediciones Mundi Prensa, Madrid. 359 pp.
- Dall'Agnol RF, Bournaud C, Miana de Faria S, Béna G, Moulin L, Hungria M. 2017. Genetic diversity of symbiotic *Paraburkholderia* species isolated from nodules of *Mimosa pudica* (L.) and *Phaseolus vulgaris* (L.) grown in soils of the Brazilian Atlantic Forest (Mata Atlântica). *FEMS Microbiology Ecology* 93(4): fix027.
- Darvas B, Kozma E, 1982. Biology, morphology and parasites of *Delia platura* Meigen (Diptera: Anthomyiidae). *Novenyvedelem*, 18(4): 145-156.
- Davis J, Garcia S. 1983. Competitive ability and growth habit of indeterminate beans and maize for intercropping. *Field Crops Research* 6:59-75.
- Davis JHC, Woolley JN. 1993. Genotypic requirement for intercropping. *Field Crop Research* 34: 407– 430.
- De la Cuadra C, De Ron AM, Schachl R. (eds). 2001. *Handbook on evaluation of Phaseolus*
- De Ron AM (Coord), González AM, De La Fuente M, Rodiño AP, Mansilla JP, Saburido MS,

- Santalla M. 2011. Catálogo de germoplasma de *Phaseolus* de la Misión Biológica de Galicia –CSIC. MBG-CSIC / INIA / AEL. Pontevedra, España. 146 págs.
- De Ron AM (coord), González AM, De La Fuente M, Rodiño AP, Mansilla JP, Saburido MS, Santalla M. 2011. Catálogo de germoplasma de *Phaseolus* de la Misión Biológica de Galicia –CSIC. MBG-CSIC / INIA / AEL. Pontevedra, España. 146 págs.
- De Ron AM, De la Rosa L, Marcos T. 2018. Current situation of the bean germplasm collections in Spain. Annual Report of the Bean Improvement Cooperative 61: 53-54.
- De Ron AM, González AM, Monteagudo AB, Lema M, Santalla M. 2003. Colección de *Vigna*
- De Ron AM, Kalavacharla V (K), Álvarez-García S, Casquero PA, Carro-Huelga G, Gutiérrez S, Lorenzana A, Mayo-Prieto S, Rodríguez-González A, Suárez-Villanueva V, Rodiño AP, Beaver JS, Porch T, Galván MZ, Gonçalves Vidigal MC, Dworkin M, Bedmar Villanueva A, De la Rosa L. 2019. Common bean genetics, breeding, and genomics for adaptation to changing to new agri-environmental conditions. En: Kole C (Ed.) Genomic Designing of Climate-Smart Pulse Crops 1-106. Springer Nature Switzerland. Cham, Switzerland.
- De Ron AM, Maquet, A, Baudoin JP. 1999. Editorial: Improvement of sustainable *Phaseolus* production in Europe for human consumption – PHASELIEU. Biotechnologie, Agronomie, Societe et Environnement 3: 195-196.
- De Ron AM, Ordás A. 1987. Genetic study of non-ear characters in maize. Plant Breeding 98: 268-271.
- De Ron AM, Rodiño AP, Gioia T, Brezeanu C, Burzo I, Janse van Rensburg B, Pastor Corrales MA, Nay MM, Fourie D, Nkhata W, Shimelis H, Solberg SØ, Logozzo G, Marzario S, Gonçalves-Vidigal MC, Vaz-Bisneta M, Valentini G, Galván MZ, Abán C, Brezeanu PM. 2022. Common bean genetics, breeding, and genomics for adaptation to biotic stress conditions. En: Kole C (Ed.) Genomic designing for biotic stress resistant pulse crops, 1-116. Springer Nature Switzerland. Cham, Switzerland.
- De Ron AM, Rodiño AP, López F, Tejada L, Mayo-Prieto S, Gutiérrez S, Casquero PA. 2021. Uso de recursos biológicos efectivos en la prevención de enfermedades de las plantas cultivadas: el caso de la judía común y *Trichoderma*. Investigación 25: 12-17.
- De Ron AM, Rodiño AP. 2022. El género *Phaseolus* (judía). En: Carrea González ME, Suárez Vidal E (coords) Catálogo de las colecciones vegetales locales de la Misión Biológica de Galicia: 57-66. MBG-CSIC. Pontevedra, España.
- De Ron AM, Rubiales D, González Bernal J, Suso MJ, Gil J, Rubio J, Córdoba EM, Nadal S, Pérez de la Vega M, Alonso Ponga J, De Miguel E. 2016. Las legumbres en España. En: Clemente A, De Ron AM (eds) Las legumbres: 35-78. CSIC Colección Divulgación-Los libros de la Catarata. Madrid, España.
- De Ron AM, Tejada Hinojoza JL, Rodiño AP. 2019. Relevance of the rhizobia-legumes symbiotic interaction for the advance of sustainable agriculture: 75 years of research in the MBG-CSIC (Spain). Mol 19: 47-54.
- De Ron AM, Tejada-Hinojoza JL, Rodiño AP. 2018. A model for sustainable agriculture: the intercropping system common bean- maize. Mol: 18: 55-66.
- De Ron AM. (ed). 2015. Grain Legumes. Series: Handbook on Plant Breeding. Springer Science+Business Media, New York, USA. 438 pp.
- De Ron AM. 1987. Estudio genético y taxonómico de las poblaciones gallegas de maíz (*Zea mays* L.). Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela, España.
- Debouck D, De Ron AM, Santalla M, Voysest O, Welsh M (Core Advisory Group). 2009. Key access and utilization descriptors for bean genetic resources. Bioversity International. Rome, Italy. 6 pp.
- Debouck DG, Toro O, Paredes OM, Johnson WC, Gepts P. 1993. Genetic diversity and ecological distribution of *Phaseolus vulgaris* in northwestern South America. Economic Botany 47: 408–423.
- Delgado MJ, Ligeró F, Lluch C. 1994. Effects of salt stress on growth and nitrogen fixation by

- pea, faba-bean, common bean and soybean plants. *Soil Biology and Biochemistry* 26: 371-376.
- Drevon JJ, Alkama N, Bargaz A, Rodiño AP, Sungthongwises K, Zaman-Allah M. 2015. The legume-rhizobia symbiosis. In: De Ron AM (ed) *Grain Legumes*: 267-290. Series: *Handbook on Plant Breeding*. Springer Science+Business Media. New York, USA.
- Delgado MJ, Tortosa G, Gilabert MJ, De Ron AM, Rodiño AP. 2023. Isolation and identification of efficient common bean endosymbionts with reduced capacity to produce the greenhouse gas nitrous oxide. 4th International Legume Society Conference, Book of Abstracts:179.
- Delgado-Salinas A, Bibler R, Lavin M. 2006. Phylogeny of the genus *Phaseolus* (Leguminosae): a recent diversification in an ancient landscape. *Systematic Botany* 31: 779– 791.
- Denarie J, Debelle F, Prome J-C. 1996. *Rhizobium* lipo-chitooligosaccharide nodulation factors: signaling molecules mediating recognition and morphogenesis. *Annu Rev Biochem* 65:503–535.
- Deshmukh RM, Khobragade RM, Dixit PP. 2007. Response of pigeonpea to *Rhizobium* and *Trichoderma viride* in acid soils. En: *Handbook of biofertilizers and biopesticides*. Oxford BookCompany Jaipur, India.
- Döring TF. 2015. Grain legumes cropping systems in temperate climates. En: De Ron AM (Ed.) *Grain Legumes* 401-434. Series: *Handbook of Plant Breeding*. Springer Science+Business Media, New York, USA.
- Drevon JJ, Alkama N, Bargaz A, Rodiño AP, Sungthongwises K, Zaman-Allah. M. 2015. The legume-rhizobia symbiosis. En: De Ron (Ed.) *Grain Legumes*, 267-290. Series: *Handbook of Plant Breeding*. Springer Science+Business Media, New York, USA.
- Duc G, Agrama H, Bao S, Berger J, Bourion V, De Ron AM, Gowda CLL, Mikic A, Millot D, Singh KB, Tullu A, Vandenberg A, Vaz Patto MC, Warkentin T, Zong X. 2015. Breeding annual grain legumes for sustainable agriculture: new methods to approach complex traits and target new cultivar ideotypes. *Critical Reviews in Plant Sciences* 34 (1-3): 381-411.
- Durand JL, Sheehy JE, Minchin FR. 1987. Nitrogenase activity, photosynthesis and nodule water potential in soybean plants experiencing water deprivation. *Journal of Experimental Botany* 38: 311-321.
- Eberl L, Vandamme P. 2016. Members of the genus *Burkholderia*: good and bad guys. *F1000Research* 5: 1007.
- Ehlers W, Hamblin AP, Tennant D, Ploeg RR van der. 1991. Root system parameters determining water uptake of field crops. *Irrigation Science* 12: 115-124.
- Elia FM. 2003. Heritability of cooking time and water absorption traits in dry beans (*Phaseolus vulgaris*) using a North Carolina mating scheme II. *Tanzania Journal of Science* 29: 25-35.
- Ezziyyani M, Hamdache A, Egea-Gilabert C, Requena ME, Candela ME. 2017. Production of Pathogenesis-Related proteins during the induction of resistance to *Phytophthora capsici* in pepper plants treated with *Burkholderia cepacia* and *Trichoderma harzianum* in combination compatible. *J. Mater. Environ. Sci.* 8: 4785-4795.
- FAO. 2021. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL> (consultado 24-01-2023).
- Farzana A, Gaffer A. 1991. Effect of seed treatment with biological antagonists on rhizosphere mycoflora and root infecting fungi of soybean. *Pakistan J. Bot.* 23 (2): 183–188.
- Fernández de Córdova F, Gepts PL, López Genes M. 1986. Etapas de desarrollo de la planta de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 33 p.
- Ferragut F, Escudero LA. 1999. *Tetranychus evansi* Baker & Pritchard (Acari, Tetranychidae), una nueva araña roja en los cultivos hortícolas españoles. *Bol. San. Veg. Plagas* 25: 157-16.
- Ferreira JJ, Pérez-Vega E, Campa A. 2007. Nuevas variedades de judía tipo faba Granja desarrolladas en el SERIDA. Resultados de las evaluaciones morfológicas, agronómicas y de calidad. Ediciones SERIDA – KRK. 59 pp.

- Fravel DR. 1988. The role of antibiosis in the biocontrol of plant diseases Annual Review of Phytopathology 26: 75-91.
- Freytag GF, Debouck DG. 2002. Taxonomy, distribution, and ecology of the genus *Phaseolus* (Leguminosae-Papilionoideae) in North America, Mexico and Central America. Sida, Botanical Miscellany Series 23: 1–300.
- Fueyo Olmo MA. 2004. Producción de judías de calidad. KRK Ediciones, Oviedo. 483 pp.
- Gelerte SH, Mekbib F, Fenta BA, Teamir M. 2021. Genotype-by-environment interaction on canning and cooking quality of advanced large-seeded common bean genotypes. Heliyon 7:e06936.
- Fujikake H, Yamazaki A, Ohtake N, Sueyoshi K, Matsushashi S, Ito T, Mizuniwa C, Kume T, Hashimoto S, Ishioka N-S, Watanabe S, Osa A, Sekine T, Uchida H, Tsuji A, Ohyama T. 2003. Quick and reversible inhibition of soybean root nodule growth by nitrate involves a decrease in sucrose supply to nodules. Journal of Experimental Botany 54:1379-1388.
- Gan Y. 2012. Optimizing crop rotations and minimizing plant diseases. Pulse Point Magazine January: 10-11. Blairmore Media. Saskatoon, Canada.
- Georgiev GI, Atkins CA. 1993. Effects of salinity on N₂ fixation, nitrogen metabolism and export and diffusive conductance of cowpea root nodules. Symbiosis 15: 239-255.
- Gepts P, Bliss FA. 1988. Dissemination pathways of common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae) deduced from phaseolin electrophoretic variability. II Europe and Africa. Economic Botany 42: 86–104.
- germplasm. PHASELIEU - FAIR3463 / MBG-CSIC. Pontevedra, Spain. 87 pp.
- Ghaderi A, Hosfield GL, Adams MW, Uebersax MA. 1984. Variability in culinary quality, component interrelationships, and breeding implications in navy and pinto beans. Journal of the American Society for Horticultural Science 109: 85-90.
- Gil J, De Ron AM. 1992. Variation in *Phaseolus vulgaris* in the northwest of the Iberian Peninsula. Plant Breeding 109: 313-319.
- Gillis M, Van TV, Bardin R, Goor M, Hebbar P, Willems A, Segers P, Kersters K, Heulin T, Fernandez MP. 1995. Polyphasic taxonomy in the genus *Burkholderia* leading to an emended description of the genus and proposition of *Burkholderia vietnamiensis* sp. nov. for N₂-fixing isolates from rice in Vietnam. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology 45(2): 274-289.
- Gioia T, Logozzo G, Attene G, Bellucci E, Bebedettelli S, Negri V, Papa R, Spagnoletti Zeuli PL. 2013. Evidence for introduction bottleneck and extensive inter-gene pool (Mesoamerica × Andes) hybridization in the European common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) germplasm. PLoS One 8: e75974.
- Glick BR. 2012. Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. Scientifica 5: 1-15.
- Godoy L, Díaz G, Vásconez G, Defaz E, González B. 2011. Evaluación de dos variedades de fréjol durante tres épocas de siembra bajo sistema de cultivo asociado con maíz. Ciencia y Tecnología 4(1): 5-11.
- Gómez KA, Gómez AA. 1984. Statistical procedures for agricultural research (2nd ed). John Wiley and Sons. New York, USA. 680 págs.
- Gómez-Bernardo EM, Lorenzana A, Campelo MP, Santiago R. 2004. Ficha 227: *Tetranychos urticae* Koch (araña roja) en varios cultivos. En: Fichas de diagnóstico en laboratorio de organismos nocivos de los vegetales. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España.
- González AM, Monteagudo AB, Casquero PA, De Ron AM, Santalla M. 2006. Genetic variation and environmental effects on agronomical and commercial quality traits in the main European market classes of dry bean. Field Crops Research 95: 336-347.
- González E, Gálvez L, Royuela, Aparicio-Tejo P, Arrese-Igor C. 2001. Insights into the regulation of nitrogen fixation in pea nodules: lessons from drought, abscisic acid and increased photoassimilate availability. Agronomie 21 (6-7): 607-613.

- Goodman M, Paterniani E. 1969. The races of maize: III. Choice of appropriate characters for racial classification. *Economic Botany* 23: 265-273.
- Gough C, Cullimore J. 2011. Lipo-chitoooligosaccharide signaling in endosymbiotic plant-microbe interactions. *MPMI* 24:867–878.
- Granados–Montero MM, Chaves-Barrantes N, Chaverri P, Hernández-Fonseca JC and Escudero-Leyva E. 2021. Fungi associated with common bean (*Phaseolus vulgaris*) wilt in Costa Rica. *Mexican Journal of Phytopathology* 39(2): 289-301.
- Hagedorn DJ. 2005. *Rhizoctonia* root rot. In: Schwartz HF, Steadman JR, Hall R, Foster RL (Eds.) *Compendium of bean diseases*. The American Phytopathological Society. Saint Paul, USA.
- Halifu S, Deng X, Canción X, Song R. 2019. Efectos de dos cepas de *Trichoderma* en el crecimiento de plantas, nutrientes del suelo de la rizosfera y comunidad fúngica de plántulas anuales de *Pinus sylvestris* var. *mongolica*. *Bosques* 10: 758.
- Hangen L, Bennink MR. 2003. Consumption of black beans and navy beans (*Phaseolusvulgaris*) reduces azoxymethane-induced colon cancer in rats. *Nutrition and Cancer* 44: 60–65.
- Hardarson G, Atkins G. 2003. Optimising biological N₂ fixation by legumes in farming systems. *Plant and Soil* 252: 41-54.
- Harman GE, Howell CR, Viterbo A, Chet I, Lorito M. 2004. *Trichoderma* species-opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology* 2(1): 43-56.
- Hermosa MR, Viterbo A, Chet I, Monte E. 2012. Plant-beneficial effects of *Trichoderma* and of its genes. *Microbiology* 158(1): 17-25.
- Hermosa R, Rubio B, Cardoza RE, Nicolas C, Monte E, Gutierrez S. 2013. The contribution of Holm S. 1979. A simple sequentially rejective multiple test procedure. *Scandinavian Journal of Statistics* 6: 65–70.
- Hosfield GL, Uebersax MA, Isleib IG. 1984. Seasonal and genotypic effects on yield and physico-chemical seed characteristic related to food quality in dry, edible beans. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 109: 182-189.
- https://www.mapa.gob.es/es/cartografia-y-sig/publicaciones/alimentacion/mapa_igp_legumbres.igp/Default.aspx (consultado 24-11-2023)
- Hungria M, Kaschuk G. 2014. Regulation of N₂ fixation and NO₃⁻/NH₄⁺ assimilation in nodulated and N-fertilized *Phaseolus vulgaris* L. exposed to high temperature stress. *Environ.Exp. Bot.* 98: 32–39.
- Hungria M, Vargas MAT. 2000. Environmental factors affecting N₂ fixation in grain legumes in the tropics, with an emphasis on Brazil. *Field Crops Research* 65: 151-164.
- Indicación Geográfica Protegida (I.G.P.) “Faba de Lourenzá”. 2008. Pliego de condiciones IGP Faba de Lourenzá.
- INIA. 2023. <https://crf2.inia.es/judias/> (consultado 25-01-2023).
- ISO 5492. 2008. *Vocabulary*. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland.
- Jacinto-Hernández C, Hernández-Sánchez H, Azpíroz-Rivero S, Acosta-Gallegos J, Bernal-Lugo I. 2002. Characterization of a common bean population of inbred lines regarding cooking quality and some nutritional components. *Agrociencia* 36(4): 451-459.
- Jackson MG, Varriano-Marston E. 1981. Hard-to-cook phenomenon in beans: Effects of accelerated storage on water absorption and cooking time. *Journal of Food Science* 46: 799-803.
- Jiang J. 2007. *Linear and generalized linear mixed models and their applications*. Springer.
- Keswani C, Mishra S, Sarma BK, Singh SP, Singh HB. 2014. Unraveling the efficient applications of secondary metabolites of various *Trichoderma* spp. *Applied Microbiology and Biotechnology* 98: 533-544.
- Jiang J. 2007. *Linear and generalized linear mixed models and their applications*, Springer.
- Kelly JD, Miklas PN. 1999. Market-assisted selection. In: Singh SP (Ed.),

- Developments in Plant Breeding. Common Bean Improvement in the Twenty-First Century. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 93–123.
- Kami J, Becerra-Velásquez V, Debouck DG, Gepts P. 1995. Identification of presumed ancestral DNA sequences of phaseolin in *Phaseolus vulgaris*. Proceedings of the National Academy of Sciences 92: 1101–1104.
- Keiter DL, Evans WR. 1976. Oxygen requirement for acetilene reduction by pure cultures of rhizobia. Journal of Bacteriology 127: 1-6.
- Kermah M, Franke AC, Adjei-Nsiah S, Ahiabor BDK, Abaidoo RC, Giller KE. 2017. Maize-grain legume intercropping for enhanced resource use efficiency and crop productivity in the Guinea savanna of northern Ghana. Field Crops Research 213: 38–50.
- Khan MA, Hossain I, and Podder AK. 1998. Biological seed treatment with Rhizobium inoculants to control foot and root rot of lentil (*Lens culinaris* M.). Bangladesh J. Environ. Sci., 4 (4): 146–151.
- Khokhar A, Yousuf A, Singh M, Sharma V, Sandhu PS, Chary GR. 2021. Impact of land configuration and strip-intercropping on runoff, soil loss and crop yields under rainfed conditions in the shivalik foothills of North-West, India. Sustainability: 13, 6282.
- Kuznetsova A, Brockhoff PB, Christensen RHB. 2017. lmerTest package: tests in linearmixed effects models. Journal of Statistical Software 82(13): 1-26.
- Kwak M, Gepts P. 2009. Structure of genetic diversity in the two major gene pools of common bean (*Phaseolus vulgaris* L., Fabaceae). Theoretical and Applied Genetics 118: 979–992.
- Kwak M, Kami J, Gepts P. 2009. The putative Mesoamerican domestication center of *Phaseolus vulgaris* is located in the Lerma-Santiago basin of Mexico. Crop Science 49: 554– 563.
- Lambers Hans. 2023. Nutrient use efficiency. En: Marschners mineral nutrition of plants (Fourth Edition), 651-664.
- Latati M, Pansu M, Drevon JJ, Ounane SM. 2013. Advantage of intercropping maize (*Zea mays* L.) and common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) on yield and nitrogen uptake in Northeast Algeria. IJRAS 01: 1–7.
- Lee JW, Kim YE, Park SJ. 2018. *Burkholderia alba* sp. nov., isolated from a soil sample on Halla mountain in Jeju island. Journal of Microbiology 56(5): 312-316.
- Lenth R. 2019. Emmeans: Estimated marginal means, aka least-squares means. R package version 1.4.2. <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>
- Lin TY, Markhart AH. 1996. *Phaseolus acutifolius* A. Gray is more heat tolerant than *P. vulgaris* L. in the absence of water stress. Crop Science 36: 110-114.
- Lizarraga G. 2004 evaluación cuantitativa y sensorial de la calidad culinaria de variedades comerciales y líneas mejoradas de frijol rojo (*Phaseolus vulgaris*). Proyecto Especial del Programa de Ingeniero Agroindustrial. El Zamorano, Honduras. 26 pp.
- Lloret L, Martínez-Romero E. 2005. Evolución y filogenia de *Rhizobium* Revista Latinoamericana de Microbiología 47: 43 – 60.
- Logozzo G, Donnoli R, Macaluso L, Papa R, Knüpffer H, Spagnoletti Zeuli PL. 2007. Analysis of the contribution of Mesoamerican and Andean gene pools to European common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) germplasm and strategies to establish a core collection. Genetic Resources and Crop Evolution 54: 1763–1779.
- Lumsden LD, Garcia R, Lewis JA, Frias GA. 1987. Suppression of damping-off caused by *Pythium* spp. in soil from indigenous Mexican chinampa agricultural system. Soil Biology and Biochemistry 19: 501-508.
- Lynch JP. 2019. Root phenotypes for improved nutrient capture: an underexploited opportunity for global agriculture. New Phytologist 223(2): 548–564.
- Mamidi S, Rossi M, Annam D, Moghaddam S, Rian L, Papa R, McClean P. 2011. Investigation of the domestication of common bean (*Phaseolus vulgaris*) using multilocus sequence data. Functional Plant Biology 38: 953–967.
- Mancho M. 1976. Plagas y enfermedades del suelo que atacan a la judía. Hojas divulgadoras.

- Publicaciones de Extensión Agraria. Madrid, España.
- MAPA. 2023. <https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/calidad-diferenciada/dop>
- Márquez Sánchez F, Hallauer AR. 1970. Influence of sample size on the estimation of genetic variances in a synthetic variety of maize. I. Grain yield. *Crop Science* 10: 357-361.
- Marra R, Lombardi N, d'Errico G, Troisi J, Scala G, Vinales F, Woo SL, Bonanomi G, Lorito M. 2019. Application of *Trichoderma* strains and metabolites enhances soybean productivity and nutrient content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 67: 1814-1822.
- Martin FN, Loper JE. 1999. Soilborne diseases caused by *Pythium* spp: ecology, epidemiology, and prospects for biological control. *Critical Reviews in Plant Science* 18: 111- 181.
- Mateo Box JM. 1961. Leguminosas de grano. Salvat Editores, Barcelona. 550 pp.
- Mattson S. 1946. The cookability of yellow peas: a colloid chemical and biochemical study. *Acta Agriculturae* 2(1): 185-231.
- Mayo S, Gutierrez S, Malmierca MG, Lorenzana A, Campelo MP, Hermosa R, Casquero PA. 2015. Influence of *Rhizoctonia solani* and *Trichoderma* spp. in growth of bean (*Phaseolus vulgaris*, L.) and in the induction of plant defence-related genes. *Frontiers in Plant Science* 6: 685.
- Mead R, Riley J. 1981. A review of statistical ideas relevant to intercropping research. *Journal of the Royal Statistical Society A* 144(4): 462-509.
- Mead R, Stern D. 1980. Designing experiments for intercropping research. *Experimental Agriculture* 16: 329-342.
- Medeiros CM, Bordin LC, Souza CA, Miquelluti DJ, Guidolin AF. 2009. Cooking time of dry bean grains according to water type. *Ciênc. agrotec.* 33(2): 560-566.
- Melgarejo P, García-Jiménez J, Jordá MC, López MM, Andrés MF, Durán-Vila N (Coords.). 2010. Patógenos de plantas descritos en España. 2ª Ed. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid, España. 858 pp.
- Miano AC, Duarte PE. 2018. The hydration of grains: A critical review from description of phenomena to process improvements. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 17(2): 352–370.
- Monte E. 2001. Understanding *Trichoderma*: between biotechnology and microbial ecology. *International Microbiology* 4(1): 1-4.
- Monteagudo AB, Rodiño AP, Lema M, De la Fuente M, Santalla M, De Ron AM, Singh SP. 2006. Resistance to infection by fungal, bacterial and viral pathogens in a common bean core collection from the Iberian Peninsula. *HortScience* 41: 319-322.
- Mora MA. 1987. Variables relacionadas con la determinación del tiempo de cocción de frijol. Costa Rica. *Agronomía costarricense* 6 (1/2): 91-94.
- Morrell PL, Clegg MT. 2007 Genetic evidence for a second domestication of barley (*Hordeum vulgare*) east of the fertile crescent. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104: 3289–3294.
- Moulin L, Munive A, Dreyfus B, Boivin-Masson C. 2001. Nodulation of legumes by members of the β -subclass of proteobacteria. *Nature* 411: 948–950.
- Mrabet M, Mhamdi R, Tajini F, Tiwari R, Trabelsi M, Aouani ME. 2005. Competitiveness and symbiotic effectiveness of *R. gallicum* strain isolated from root nodule of *Phaseolus vulgaris*. *European Journal of Agronomy* 22: 209-216.
- Mulas D, García-Fraile P, Carro L, Ramírez-Bahena H, Casquero P, Velázquez E, González-Andrés F. 2011. Distribution and efficiency of *Rhizobium leguminosarum* strains nodulating
- Mulas D, García-Fraile P, Carro L, Ramírez-Bahena MH, Casquero P, Velázquez E, González-Andrés F. 2011. Distribution and efficiency of *Rhizobium leguminosarum* strains nodulating *Phaseolus vulgaris* in Northern Spanish soils: selection of native strains that replace conventional N fertilization. *Soil Biology and Biochemistry* 43: 2283-2293.
- Murphy-Bokern D, Stoddard FL, Watson CA. 2017. Legumes in Cropping Systems.

CABIInternational.

- Mylona P, Pawlowsk K, Bisselin T. 1995. Symbiotic nitrogen fixation. *The Plant Cell* 7: 869-885.
- Nanni L, Bitocchi E, Bellucci E, Rossi M, Rau D, Attene G, Gepts P, Papa R. 2011. Nucleotidediversity of a genomic sequence similar to SHATTERPROOF (PvSHP1) in domesticated and wild common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Theoretical and Applied Genetics* 123: 1341–1357
- Papa R, Gepts P. 2003. Asymmetry of gene flow and differential geographical structure of molecular diversity in wild and domesticated common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) from Mesoamerica. *Theoretical and Applied Genetics* 106: 239–250.
- Naseri B, Younesi H. 2021. Beneficial microbes in biocontrol of root rots in bean crops: A meta-analysis (1990–2020). *Physiological and Molecular Plant Pathology* 116: 101712.
- Nassary EK, Baijukya F, Ndakidemi PA. 2020. Productivity of intercropping with maize and common bean over five cropping seasons on smallholder farms of Tanzania. *European Journal of Agronomy* 113: 125964.
- Neumann A, Schmidtke K, Rauber R. 2007. Effects of crop density and tillage system on grain yield and N uptake from soil and atmosphere of sole and intercropped pea and oat. *Field Crops Research* 100:285–293.
- Nzungize JR, Lyumugabe F, Busogoro JP, Baudoin JP. 2012. *Pythium* root rot of common bean: biology and control methods, a review. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment* 16:405–413.
- of *Trichoderma* to balancing the costs of plant growth and defense. *International Microbiology* 16: 69-80.
- Ohyama T, Mizukoshi K, Nishiwaki T. 1993. Distribution of ureide originated from nodules attached to the upper roots and nitrate derived from lower roots in soybean plants cultivated by double potted pots. *Bulletin of the Faculty of Agriculture, Niigata University* 45: 107-116.
- Papa R, Acosta J, Delgado-Salinas A, Gepts P. 2005. A genome-wide analysis of differentiation between wild and domesticated *Phaseolus vulgaris* from Mesoamerica. *Theoretical and Applied Genetics* 111: 1147–1158.
- Papa R, Bellucci E, Rossi M, Leonardi S, Rau D, Gepts P, Nanni L, Attene G. 2007. Tagging the signatures of domestication in common bean (*Phaseolus vulgaris*) by means of pooled DNA samples. *Annals of Botany* 100: 1039–1051.
- Pappa VA, Rees RM, Walker RL, Baddeley JA and Watson CA. (2011) Nitrous oxide emissions and nitrate leaching in an arable rotation resulting from the presence of an intercrop. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 141, 153–161.
- Pascale A, Vinale F, Manganiello G, Nigro M, Lanzuise S, Ruocco M, Marra N, Lombardi N, Pascale A, Vinale F, Manganiello G, Nigro M, Lanzuise S, Ruocco M, Marra R, Lombardi N, Woo SL, Lorito M. 2017. *Trichoderma* and its secondary metabolites improve yield and quality of grapes. *Crop Protection* 92: 176-181.
- Patrick JW and Stoddard FL. 2010. Physiology of flowering and grain filling in faba bean. *Field Crops Research* 115, 234–242.
- Patrick JW, Stoddard FL. 2010. Physiology of flowering and grain filling in faba bean. *Field Crops Research* 115, 234–242.
- Pereira PA, Bliss FA. 1987. Nitrogen fixation and plant growth of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) at different levels of phosphorus availability. *Plant and Soil* 104: 79–84..
- Pereira SI, Castro PM. 2014. Phosphate-solubilizing rhizobacteria enhance *Zea mays* growth in agricultural P-deficient soils. *Ecological Engineering* 73: 526-535.
- Perveen S, Haque SE, Gaffar A, Perveen S. 1994. Biological control of soil borne root infecting fungi in tomato and okra. *Pakistan J. Bot.* 26 (1): 181-186.
- Pfender WF, Hagedorn DJ. 2005. *Pythium* diseases. En: Schwartz HF, Steadman JR, Hall R, Foster RL (Eds.) *Compendium of bean diseases*. The American Phytopathological Society. Saint Paul, USA.

- PHYTOMA. 2021. Judía: plagas y enfermedades. <https://www.phytoma.com/sanidad-vegetal/avisos-de-plagas/judia-plagas-y-enfermedades-agosto-2021>
- Pinheiro JC, Bates DM. 2000. Mixed-effects models in S and S-PLUS. Springer, New York.
- Powell AA, Oliveira MA, Matthews S. 1986. Seed vigour in cultivars of dwarf French bean (*Phaseolus vulgaris*) in relation to testa colour. *Journal of Agricultural Science* 106: 419-425.
- Quenzer NM, Huffman VL, Burns EE. 1978. Some factors affecting pinto bean quality. *Journal of Food Science* 43: 1059-1061.
- Puerta Romero J. 1961. Variedades de judías cultivadas en España. Monografías Número 11. Subdirección de Capacitación Agraria, Madrid. 798 pp.
- Puerta Romero J. 1962. Enfermedades y plagas de la judía. Hojas divulgadoras Instituto Nacional de Investigaciones Agronómicas 11-12.
- Pujola M, Farreras A, Casanas F. 2007. Protein and starch contents of raw, soaked and cooked beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Chemistry* 102(4): 1034-1041.
- Quinto C, Sánchez-López R, Cárdenas L, Montiel J, Arthikala MK, Nava N, Santana O. 2014. The symbiosis between *Phaseolus vulgaris* and rhizobia. *Legume Perspectives* 2: 35-37
- R Core Team. 2021. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Rae AL, Bonfante-Fasolo P, NJ Brewin. 1992. Structure and growth of infection threads in the legume symbiosis with *Rhizobium leguminosarum*. *The Plant Journal* 2: 385-395.
- Rezende C, de Mello Frasca L, Aguiar M, Corrêa R, Lanna A, Corsi de Filippi M, Nascente A. 2021. Physiological and agronomic characteristics of the common bean as affected by multifunctional microorganisms. *Semina: Ciênc. Agrár. Londrina* 42(2): 599-618.
- Ribaudo M, Delgado J, Hansen L, Livingston M, Mosheim R, Williamson J. 2011. Nitrogen in agricultural systems: implications for conservation policy. USDA-ERS Economic Research Report No. 127. 89 pp.
- Richardson AE, Djordjevic MA, Rolfe BG, Simpson RJ. 1988. Effects of pH, Ca and Al on the exudation from clover seedlings of compounds that induce the expression of nodulation genes in *Rhizobium trifolii*. *Plant and Soil* 109: 37-47.
- Rios F, Baca P. 2006. Niveles y umbrales de daños económicos de las plagas. Programa de Manejo Integrado de Plagas en América Central (PROMIPAC), Instituto de Nacional Tecnológico (INATEC) y Proyecto de Fortalecimiento e Integración de la Educación Media a los Procesos de Desarrollo Rural Sostenible y Combate a la Pobreza en América Central (SICA-ZAMORANO-TAIWÁN).
- Riveiro M. 2012. Tolerancia de variedades de judía a estrés hídrico estacional e implicaciones en la fijación simbiótica de Nitrógeno. Tesis Doctoral, Universidad de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela, España.
- Rivera A, Casquero PA, Mayo Prieto S, Almirall A. 2016. Culinary and sensory traits diversity in the Spanish core collection of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Spanish Journal of Agricultural Research* 14(1): e0701.
- Rodiño AP, Abelleira A, Aguín O, Tortosa G, Delgado MJ, De Ron AM. 2023. Novel symbiotic microbiota on several legumes at the MBG-CSIC (Spain). 4th International Legume Society Conference, Granada Spain. Book of Abstracts: 182.
- Rodiño AP, De La Fuente M, De Ron AM, Lema MJ, Drevon JJ, Santalla M. 2011. Variation for nodulation and plant yield of common bean genotypes and environmental effects on the genotype expression. *Plant and Soil* 346: 349-361.
- Rodiño AP, González AM, Santalla M, De Ron AM, Singh SP. 2006. Novel genetic variation in common bean from the Iberian Peninsula. *Crop Science* 46: 2540-2546.
- Rodiño AP, Montero I, De Ron AM, Santalla M. 1998. Evaluación preliminar de las características nutritivas y sensoriales del grano de las variedades de judía común galaica y riñón. *Actas de Horticultura* 22: 221-22.
- Rodiño AP, Riveiro M, De Ron AM. 2020. Implications of the symbiotic nitrogen fixation in

- common bean under seasonal water stress. *Agronomy* 11 (1): 70.
- Rodiño AP, Santalla M, De Ron AM, Drevon JJ. 2005. Variability in symbiotic nitrogen fixation among white landraces of common bean from the Iberian Peninsula. *Symbiosis* 40: 69-78.
- Rodiño AP, Santalla M, De Ron AM, Drevon JJ. 2010. Co-evolucion and migration of bean and rhizobia in Europa. En: Lichtfouse E. (ed) *Sociology, organic farming, climate change and soil science. Sustainable Agriculture Reviews 3*. Springer Science+Bussines, Berlin. pp 171- 188.
- Rodiño AP, Santalla M, De Ron AM, Singh SP. 2003. A core collection of common bean from the Iberian Peninsula. *Euphytica* 131: 165-175.
- Rodiño AP, Santalla M, De Ron AM. 2004. Fertilización biológica del guisante. *Vida Rural* 195: 58-61.
- Rodiño AP, Santalla M, De Ron AM. 2008. Mejora de la adaptación en sistemas de cultivo asociado. En: Ávila C, Atienza S, Cubero JI (eds) *La adaptación al ambiente y los estreses abióticos en la mejora vegetal*, 443-457. SECH-SEG. Córdoba.
- Rodríguez JM, Rodríguez R, Olmos D. 2004. Ficha 261: *Rhizoctonia solani* Kühn (Necrosis basal de plántulas). En: *Fichas de diagnóstico en laboratorio de organismos nocivos de los vegetales*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España.
- Rodríguez-Navarro DN, Buendía AM, Camacho M, Lucas M, y Santamaría C. 2000. Characterization of *Rhizobium* spp. bean isolates from southwest of Spain. *Soil Biol Biochem* 32: 1601-1613.
- Romero-del-Castillo R, Valero J, Casañas F, Costell E, 2008. Training, validation and maintenance of a panel to evaluate the texture of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *J Sensory Stud* 23: 303-319.
- Rosales MA; Ocampo E, Rodríguez-Valentín R, Olvera-Carrillo, Acosta-Gallegos J, Covarrubias AA. 2012. Physiological analysis of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars uncovers characteristics related to terminal drought resistance. *Plant Physiol. Biochem.* 56, 24–34.
- Rossi M, Bitocchi E, Bellucci E, Nanni L, Rau Domenico, Attene G, Papa R. 2009. Linkage disequilibrium and population structure in wild and domesticated populations of *Phaseolus vulgaris* L. *Evolutionary Applications* 2: 504–522.
- Santalla M, Amurrio JM, Rodiño AP, De Ron AM. 2001a. Variation in traits affecting nodulation of common bean under intercropping with maize and sole cropping. *Euphytica* 122: 243-255. Santalla M, Casquero PA, De Ron AM. 1999. Yield and yield components from intercropping improved bush bean cultivars with maize. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 183: 263-269.
- Santalla M, De Ron AM, Casquero PA. 1995. Nutritional and culinary quality of bush bean populations intercropped with maize. *Euphytica* 84: 57-65.
- Santalla M, De Ron AM, De La Fuente M. 2010. Integration of genome and phenotype scanning gives evidence of genetic structure in Mesoamerican common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces from the southwest of Europe. *Theoretical and Applied Genetics* 120: 1635-1651.
- Santalla M, De Ron AM, Escribano MR. 1994. Effect of intercropping bush bean populations with maize on agronomic traits and their implication for selection. *Field Crops Research* 36: 185-189.
- Santalla M, De Ron AM, Voysest O. 2001. European bean market classes. In: Amurrio M, Santalla M, De Ron AM (eds) *Catalogue of bean genetic resources: 77-94*. Fundación Pedro Barrié de la Maza / PHASELIEU-FAIR3463 / MBG-CSIC. Pontevedra, Spain.
- Santalla M, Fueyo MA, Rodiño AP, Montero I, De Ron AM. 1999. Breeding for culinary and nutritional quality of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in intercropping systems with maize (*Zea mays* L.) *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 3(4): 225–229.
- Santalla M, Rodiño AP, Casquero PA, De Ron AM. 2001b. Interactions of bush bean intercropped with field and sweet maize. *European Journal of Agronomy* 15: 185–196.

- Santalla M, Rodiño AP, De Ron AM. 2002. Allozyme evidence supporting southwestern Europe as a secondary center of genetic diversity for common bean. *Theoretical and Applied Genetics* 104: 934-944.
- Santalla M. 1995. Estudio genético y evaluación de sistemas de cultivo en poblaciones de judía de Galicia en monocultivo y cultivo asociado con maíz. Tesis Doctoral, Universidad de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela, España.
- Sanz MA, Atienza J. 1998. Análisis sensorial de la faba. III Jornadas de Análisis Sensorial. IPLA-CIATA, Villaviciosa (Asturias), 87-104.
- Sao José EB, Gómez JC, Matsuoka K, Silva DJ. 1986. Características do endurecimento do tegumento do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) *Arquivos de Biología e tecnologia* 29(4): 633-650.
- Sauer, OC. 1966. *The early Spanish men*. University of California Press. Berkeley and Los Angeles, USA. 318 págs.
- Schmutz J, McClean P, Mamidi S, Wu GA, Cannon SB, Grimwood J, Jenkins J, Shu S, Song Q, Chavarro C, Torres-Torres M, Geffroy V, Moghaddam SM, Gao D, Abernathy B, Barry K, Blair M, Brick MA, Chovatia M, Gepts P, Goodstein DM, Gonzales M, Hellsten U, Hyten DL, Jia G, Kelly JD, Kudrna D, Lee R, Rochard MMS, Miklas PN, Osorno JM, Rodrigues J, Thareau V, Urrea CA, Wang, M, Yu Y, Zhang M, Wing RA, Cregan PB, Rokhsar DS, Jackson SA. 2014. A reference genome for common bean and genome-wide analysis of dual domestications. *Nature Genetics* 46: 707-713.
- Schultze M, Kondorosi A. 1998. Regulation of symbiotic root nodule development. *Annual Review of Genetics* 32: 33-57.
- Schulz VS, Schumann CS, Weisenburger S, Müller-Lindenlauf M, Stolzenburg K, Möller K. 2020. Row-Intercropping maize (*Zea mays* L.) with biodiversity-enhancing flowering-partners-effect on plant growth, silage yield, and composition of harvest material. *Agriculture* 10: 524.
- Schwartz HF, Steadman JR, Hall R, Forster RL. 2005. *Compendium of bean diseases* (2nd Ed.2). American Phytopathological Society (APS Press). Saint Paul, USA.
- Segovia L, Peter J, Young W, Martínez-Romero E. 1993. Reclassification of American *Rhizobium leguminosarum* biovar phaseoli type i strains as *Rhizobium etli* sp. nov. *International Journal of Systematic Bacteriology* 43(2): 374-377.
- Serraj R, Roy G, Drevon JJ. 1994. Salt stress induces a decrease in the oxygen uptake of soybean nodules and in their permeability to oxygen diffusion. *Plant Physiology* 91: 161-168.
- Shoresh M, Harman GE, Mastouri F. 2010. Induced systemic resistance and plant responses to fungal biocontrol agents. *Annual Review of Phytopathology* 48:21-43.
- Shao J, Miao Y, Liu K. 2021. Rhizosphere microbiome assembly involves seed-borne bacteria in compensatory phosphate solubilization. *Soil Biol Biochem* 159:108273.
- Shoresh M, Harman GE, Mastouri F. 2010. Induced systemic resistance and plant responses to fungal biocontrol agents. *Annu Rev Phytopathol* 48:21-43.
- Sievert C. 2020. Interactive web-based data visualization with R, plotly, and shiny. Chapman and Hall/CRC Florida.
- Silbernagel MJ, Janssen W, Davis JHC, Montes de Oca G. 1991. Snap bean production in the tropics: implications for genetic improvement. In: von Schoonhoven A, Voysest O (eds) *Common beans: research for crop improvement*: 835-857. CAB International - CIAT. Cali, Colombia / Wallingford, United Kingdom.
- Sims GK, Ellsworth TR, Mulvaney RL. 1995. Microscale determination of inorganic nitrogen in water and soil extracts. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 26: 303-316.
- Singh SP (Ed.). 1999. *Common bean improvement in the Twenty-first Century*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. 405 pp.
- Singh SP, Gepts P, Debouck DG. 1991a. Races of common bean (*Phaseolus vulgaris* L., Fabaceae). *Economic Botany* 45: 379-396.

- Singh SP, Gutiérrez JA, Molina A, Urrea C, Gepts P. 1991b. Genetic diversity in cultivated common bean. II. Marker-based analysis of morphological and agronomic traits. *Crop Science* 31: 23–29.
- Singh SP, Nodari R, Gepts P. 1991c. Genetic diversity in cultivated common bean. I. Allozymes. *Crop Science* 31: 19–23.
- Singh SP. 1989. Patterns of variation in cultivated common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae). *Economic Botany* 43: 39-57.
- Slattery JF, Pearce DJ, Slattery WJ. 2004. Effects of resident rhizobia communities and soil type on the effective nodulation of leguminous legumes. *Soil Biology and Biochemistry* 36: 1339–1346.
- Smith KA, Mosier AR, Crutzen PJ, Winiwarter W. 2012. The role of N₂O derived from crop-based biofuels, and from agriculture in general, in Earth's climate. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 367: 1169-1174.
- Smith ME, Zobel RW. 2015. Plant genetic interactions in alternative cropping systems: Considerations for breeding methods. *Sustainable Agriculture* 18: 57-81.
- Sousanna JF, Hartwig UA. 1996. The effects of elevated CO₂ on symbiotic N₂ fixation: a link between the carbon and nitrogen cycles in grassland ecosystems. *Plant and Soil* 187: 321-332.
- Talbi C, Delgado MJ, Girard L, Ramírez-Trujillo A, Caballero-Mellado J, Bedmar EJ. 2010. *Burkholderia phymatum* strains capable of nodulating *Phaseolus vulgaris* are present in Moroccan soils. *Applied and Environmental Microbiology* 76(13): 4587-4591.
- spp. de la MBG – CSIC. *Actas de la Asociación Española de Leguminosas* 2: 121-123.
- Srivastava M, Kumar V, Shahid M, Pandey S, Singh A. 2016. *Trichoderma*—Un biofungicida potencial y eficaz y fuente alternativa contra fitopatógenos notables: Una revisión. *Afr. J. Agric. Res.* 11: 310–316.
- Stanley D. 1992. Frijoles duros: un problema para los productores, procesadores y consumidores. *HortTechnology* 2(3): 370–378.
- Starkey T, Enebak SA. 2012. Rhizoctonia blight of southern pines. En: Cram MM, Frank MS, Mallams KM (Eds.) *For. Nurs. Pests. USDA Forest Service. Agriculture Handbook*, 63–65.
- Suárez JC, Anzola JA, Contreras AT, Salas DL, Vanegas JI, Urban MO, Beebe SE, Rao IM. 2022. Influence of simultaneous intercropping of maize-bean with input of inorganic or organic fertilizer on growth, development, and dry matter partitioning to yield components of two lines of common bean. *Agronomy* 12: 1216.
- Taiwo KA, Akanbi CT and Ajibola OO. 1998. Regression relationships for the soaking and cooking properties of two cowpea varieties. *J. Food Eng.* 37:331–344.
- Tang C, Thomson BD. 1996. Effects of solution pH and bicarbonate on the growth and nodulation of a range of grain legumes. *Plant and Soil* 186: 321-330.
- Thompson MD, Brick MA, McGinley JN, Thompson HJ. 2009. Chemical composition and mammary cancer inhibitory activity of dry bean. *Crop Science* 49: 179–186.
- Thuijsman ES. 2017. Light and nutrient capture by common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and maize (*Zea mays* L.) in the northern highlands of Tanzania. MSc Thesis. Plant Production Systems (PPS) Wageningen University and Research. The Netherlands.
- Trenbat BR. 1993. Intercropping for the management of pests and diseases. *Field Crops Research* 34: 381-405.
- Tsubo M, Walker S. 2004. Shade effects on *Phaseolus vulgaris* L. intercropped with *Zea mays* under L. under well-watered conditions. *J. Agron. Crop Sci.* 190(3):168-176.
- Urrea CA, Yonts CD, Lyon DJ, Koehler AE. 2009. Selection for drought tolerance in dry bean derived from the Mesoamerican gene pool in western Nebraska. *Crop Science* 49:2005-2010.
- Walinga I, van der Lee JJ, Houba VJG, van Vark W, Novozamsky I. 1995. *Plant analysis manual*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. 40 pp.
- Valenciano JB, Casquero PA. 2001. Influencia de la técnica de siembra en los daños producidos por la mosca de los sembrados (*Delia platura* (Meigen)) en la alubia (*Phaseolus vulgaris*

- L.) Bol. San. Veg. Plagas 27: 291-297.
- Vandamme P, Eberl L. 2018. Burkholderia. In: Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria: 1-45. John Wiley & Sons Inc. in Association with Bergey's Manual Trust.
- Vandamme P, Henry D, Coenye T, Nzula S, Vancanneyt M, Lipuma JJ, Speert DP, Govan JR. 2002. *Burkholderia anthina* sp. nov. *Burkholderia pyrrocinia*, two additional *Burkholderia cepacia* complex bacteria, may confound results of new molecular diagnostic tools. FEMS Immunology & Medical Microbiology 33: 143-149.
- Vassileva V, Milanov G, Ignatov G, Nikolov B. 1997. Effect of low pH on nitrogen fixation of common bean grown at various calcium and nitrate levels. Journal of Plant Nutrition 20: 279-294.
- Vélez LD, Clavijo J, Ligarreto GA. 2007. Ecophysiological analysis of corn (*Zea mays* L.) climbing common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) intercropping. Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín 60(2): 3965-3984.
- Voisin AS, Bourion V, Duc G, Salon C. 2007. Using an ecophysiological analysis to dissect genetic variability and to propose an ideotype for Nitrogen nutrition in pea. Ann Bot 100: 1525-1536.
- Walker R, Agapakis CM, Watkin E, Ann M, Hirsch AM. 2015. Symbiotic nitrogen fixation in legumes: perspectives on the diversity and evolution of nodulation by *Rhizobium* and *Burkholderia* species. En: de Bruijij FJ (Ed.) Biological Nitrogen fixation, chapter 89. John Wiley & Sons, Inc.
- Walsh KB. 1990. Vascular transport and soybean nodule function. III: Implications of a continual phloem supply of carbon and water. Plant, Cell and Environment 13: 893-901.
- Wang ET, Tian CF, Chen WF, Young JPW, Chen WX. 2019. Diversity and evolution of rhizobial symbiosis genes. In: Wang ET, Tian CF, Chen WF, Young JPW, Chen WX (eds.). Ecology and evolution of rhizobia: Principles and Applications. Springer. Singapore. ISBN 978-981-32-9554-4.
- Wickham H. 2016. ggplot2: Elegant graphics for data analysis. Springer-Verlag, New York.
- Willey RW. 1979. Intercropping-Its importance and research needs. Part 1. Competition and yield advantages. Field Crop Abstracts 32 (1): 1-10.
- Woolley J, Davis JHC. 1991. The agronomy of intercropping with beans. In: Schoonhoven A, Voysest O (eds) Common Beans: Research for Crop Improvement. CAB International. Cali, Colombia. 980 págs.
- Wright AT. 1990. Yield effects of pulses on subsequent cereal crops in the northern prairies. Canadian Journal of Plant Science 70: 1023-1032.
- Wright SI, Bi IV, Schroeder SG, Yamasaki M, Doebley JF, McMullen MD, Gaut BS. 2005. The effects of artificial selection on the maize genome. Science 308: 1310-1314.
- Xue R, Wu J, Zhu Z, Wang L, Wang X, Wang S, Blair MW. 2015. Differentially expressed genes in resistant and susceptible common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes in response to *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli*. PLOS ONE 10(6): e0127698.
- Yang L, Danzberger J, Schöler A. 2017. Dominant groups of potentially active bacteria shared by barley seeds become less abundant in root associated microbiome. Front Plant Science 8:1005.
- Zarabi M, Jalali M. 2012. Leaching of nitrogen from calcareous soils in western Iran: a soil leaching column study. Environmental Monitoring and Assessment 184: 7607-7622.
- Zhang X, Blair MW, Wang S. 2008. Genetic diversity of Chinese common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces assessed with simple sequence repeat markers. Theoretical and Applied Genetics 117: 629-640.
- Zhaohui L, Xiaozong S, Lihua J, Haitao L, Yu X, Xinhao G, Fuli Z, Deshui T, Mei W, Jing S, Yuwen S. 2012. Strategies for managing soil nitrogen to prevent nitrate-n leaching in intensive agriculture system. ResearchGate 10.5772/29419.



La judía común (*Phaseolus vulgaris* L.) constituye un alimento global relevante como fuente de proteínas. Los objetivos de la Tesis son:

1. Determinar las características agromorfológicas y de calidad de grano de variedades mejoradas de judía en monocultivo y cultivo asociado con maíz.
2. Analizar el sistema simbiótico rizobia–judía en variedades mejoradas de judía, con diferentes tratamientos del suelo (inoculación con microbiota, abonado, diferente pH), en monocultivo y cultivo asociado con maíz.
3. Analizar el sistema interactivo judía-microbiota en las variedades Galaica (España) y Matterhorn (internacional) en combinación con tratamientos químicos y biológicos: fertilizante nitrogenado, *Burkholderia alba* y *Trichoderma harzianum*.
4. Diagnosticar y valorar las principales plagas y enfermedades presentes en diferentes variedades, en campos de producción de judía en Pontevedra y de la variedad Galaica en Lugo.
5. Estudiar las características agromorfológicas y de calidad de grano de la variedad Galaica, en campos de producción en Lugo.