

Informe de optimización del cultivo de soja



NOTA ACLARATORIA

El informe de optimización del cultivo de soja que aquí se presenta se ha realizado dentro de las acciones llevadas a cabo durante la ejecución del proyecto **SOJA INNOVA** en el que se ha añadido la soja como 2º cultivo en una rotación con gramíneas. Lo aquí expuesto muestra los resultados obtenidos en una zona concreta de Navarra, y la información que contiene puede servir como guía de partida para la implementación del cultivo de soja en una rotación de cultivos en otra zona.

ÍNDICE

Diseño general de los ensayos.....	4
Ensayos 1ª campaña de ejecución.....	6
Ensayos de campo.....	6
Variedades seleccionadas	6
Diseño experimental de las parcelas.....	7
Ensayos en invernadero.....	8
Resultados obtenidos	8
Variedades 1: Avril	9
Variedades 2: Amma	9
Variedades 3: Castelis	10
Variedades 4: Chaki.....	10
Variedades 5: Annette.....	11
Variedades 6: Luna	11
Caracterización terrestre de los cultivos.....	12
Caracterización satelital de las parcelas.....	12
Analítica edáfica	13
Medidas fisiológicas	13
Conclusiones tras la 1ª campaña	14
Ensayos 2ª campaña de ejecución.....	14
Diseño de experimental de las parcelas	15
Equipos instalados para la optimización del riego y la fertilización	15
Resultados obtenidos	16
Variedades LUNA.....	16
Variedades CASTELIS	17
Variedades SHAMA	17
Régimen de riego	18
Monitorización del suelo.....	18
Conclusiones generales	19

El proyecto **SOJA INNOVA** ha tenido como objetivo principal el desarrollo de un modelo de producción optimizado de rotación de cultivos herbáceos en el que se incluye la soja como 2º cultivo. La incursión de la soja en el sistema de rotación se ha realizado durante dos campañas consecutivas. Los pasos seguidos a lo largo del proyecto y los resultados obtenidos han desencadenado en la redacción del presente informe de optimización del cultivo.

Diseño general de los ensayos

En la ejecución del presente proyecto se han realizado simultáneamente la 1ª campaña del cultivo de soja en campo y los ensayos de estrés hídrico en invernadero. La integración y análisis de los resultados obtenidos han permitido la realización de los ensayos de la 2ª campaña los cuales han permitido la optimización final de la gestión del riego, y así crear un protocolo de gestión optimizada del cultivo de soja específico para la rotación propuesta (entregable **SOJA INNOVA**).

A lo largo de todo el proyecto se monitorizó el estado nutricional e hídrico del suelo mediante la instalación de sondas NPK y de humedad que fueron conectadas a equipos *datalogger* con conectividad WiFi, y dotados de batería y paneles solares para asegurar su constante funcionamiento. Los datos recogidos por estos equipos se almacenaron en la nube, estando de esta forma disponibles para la gestión de los datos mediante una aplicación web para el control del riego; así como para saber las necesidades del cultivo en relación a la fertilización.

Se tomaron muestras de material vegetal y se analizaron fotos satelitales con el fin de determinar el estado fisiológico a nivel molecular, fotosintético e hídrico de los cultivos y así determinar el estado general e identificar la variedad mejor adaptada a las condiciones determinadas. También se tomaron muestras de suelo periódicamente para determinar la evolución nutricional y de materia orgánica del suelo para ver cómo fue afectado por el cultivo de soja.

Cabe señalar que también se ha realizado el estudio del impacto que todas las actividades realizadas han tenido en la huella de carbono y así poder determinar el beneficio aportado medioambientalmente la sustitución del maíz por la soja en la rotación de cultivos (entregable **SOJA INNOVA**).

Periodo de cultivo

La inclusión de la soja como 2º cultivo en el sistema de rotación propuesto se realizó tras la cosecha del cereal de invierno y su siembra para la siguiente campaña, en este caso cebada. El tiempo que transcurre entre campañas de cereal es aproximadamente de 6 meses, y el período de cultivo de soja va desde su siembra a principios de julio hasta su cosecha a principios de noviembre. De esta manera, el uso de variedades de soja de ciclo corto resulta idóneo para

Localización de las parcelas

Los ensayos de campo se han realizado en parcelas pertenecientes a la Cooperativa Figueras en la localidad de Tudela (Navarra). A continuación, la Figura 1 muestra su localización donde se puede observar también la orientación de las parcelas.

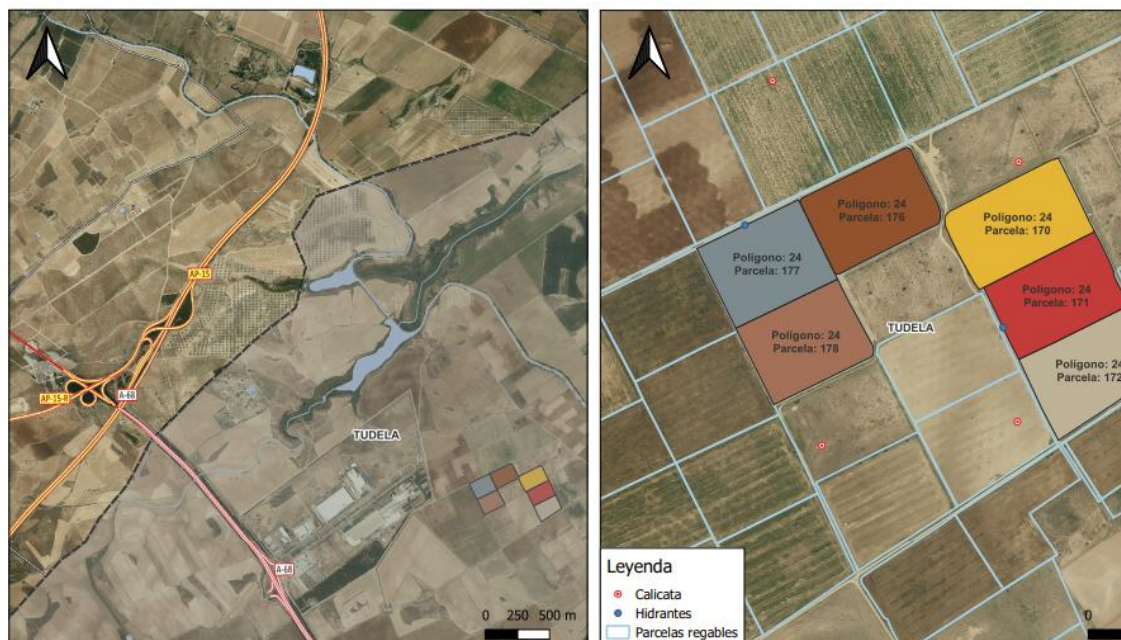


Figura 1. Localización de las parcelas en las que se va a implantar la soja como 2º cultivo de rotación.

Las características concretas de cada parcela se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Características de las parcelas de soja del proyecto SOJA INNOVA

Municipio	Polígono	Parcela	Ha
Tudela	24	170	2,52
		171	2,45
		172	2,46
		176	2,51
		177	2,46
		178	2,37

Ensayos 1ª campaña de ejecución

Ensayos de campo

En el año 2022 se incluyó el cultivo de soja dentro del sistema de rotación tras el cultivo de cebada en parcelas de la Cooperativa Figueras. En esta primera campaña se realizó el cultivo de las variedades de soja seleccionadas ensayando dos tipos de siembra a tres dosis diferentes con el objeto de desarrollar un protocolo de siembra eficiente. Para ello, tras la cosecha se determinó la adecuación del cultivo a la cosechadora utilizada y la producción de cada variedad. Adicionalmente, a lo largo del cultivo se tomaron muestras de material vegetal y de suelo, se analizaron imágenes satelitales y se tomaron medidas fisiológicas *in situ*, todo ello con el fin de determinar las variedades mejor adaptadas a la incursión de la soja como 2º cultivo en el sistema de rotación planteado, y poder optimizar la aplicación de riego y fertilizantes para la 2ª campaña.

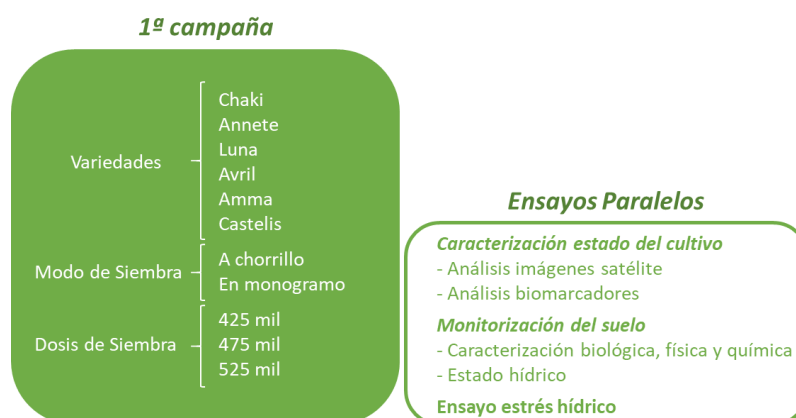


Figura 2. Características estudiadas en la 1ª campaña y relación de ensayos realizados para determinar la 2ª campaña.

Variedades seleccionadas

En la primera campaña de cultivo de soja se usaron 6 variedades que fueron elegidas por tener un ciclo corto de producción y estar potencialmente adaptadas a las condiciones agroclimáticas de la zona, basándonos en estudios previos realizados por la red Arax. Así, tal y como se muestra en la Figura 2, las variedades de soja utilizadas fueron: Chaki, Annette, Luna, Avril, Amma y Castelis.

Diseño experimental de las parcelas

Las Figuras 3, 4 y 5 muestran la asignación de variedades por parcela y el diseño de los ensayos realizados en cada parcela haciendo referencia a la variedad y el sistema de siembra utilizados en cada situación.

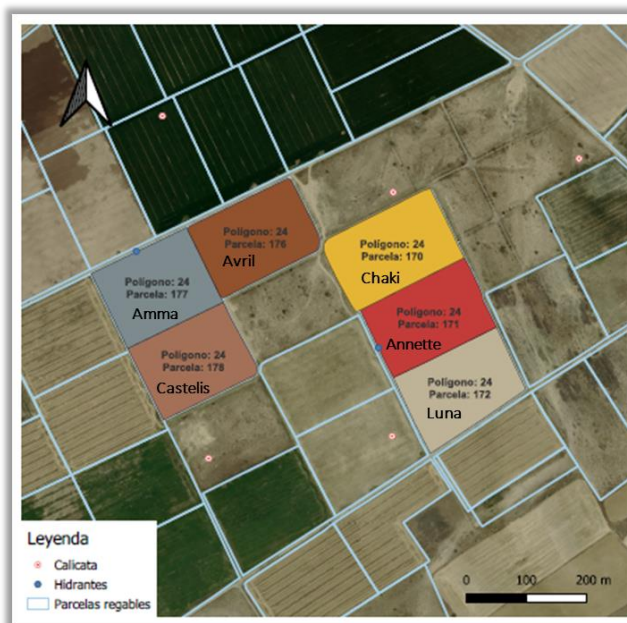


Figura 3. Asignación de variedades por parcela para el cultivo de soja en la 1ª campaña.

		24/178		
			ORILLO MONOGRANO	
			Variedad 3: chorrillo 525M	
			Variedad 3: chorrillo 475M	
			Variedad 3: chorrillo 425M	
			Testigo Monograno	
			Variedad 3: monograno 525M	
			Variedad 3: monograno 475M	
			Variedad 3: monograno 425M	
			ORILLO MONOGRANO	
O R I L L O	O R I L L O		ORILLO MONOGRANO	O R I L L O
			Variedad 1: chorrillo 525M	
			Variedad 1: chorrillo 475M	
			Variedad 1: chorrillo 425M	
			Testigo Monograno	
			Variedad 1: monograno 525M	
			Variedad 1: monograno 475M	
			Variedad 1: monograno 425M	
			ORILLO MONOGRANO	
		24/176		
			ORILLO MONOGRANO	
			Variedad 2: chorrillo 525M	
			Variedad 2: chorrillo 475M	
			Variedad 2: chorrillo 425M	
			Testigo Monograno	
			Variedad 2: monograno 525M	
			Variedad 2: monograno 475M	
			Variedad 2: monograno 425M	
			ORILLO MONOGRANO	
		24/177 Hidrante		
M O N O G R A N O	M O N O G R A N O		ORILLO MONOGRANO	M O N O G R A N O

Figura 4. Diseño de los ensayos referentes a las variedades 1) Avril, 2) Amma y 3) Castelis.

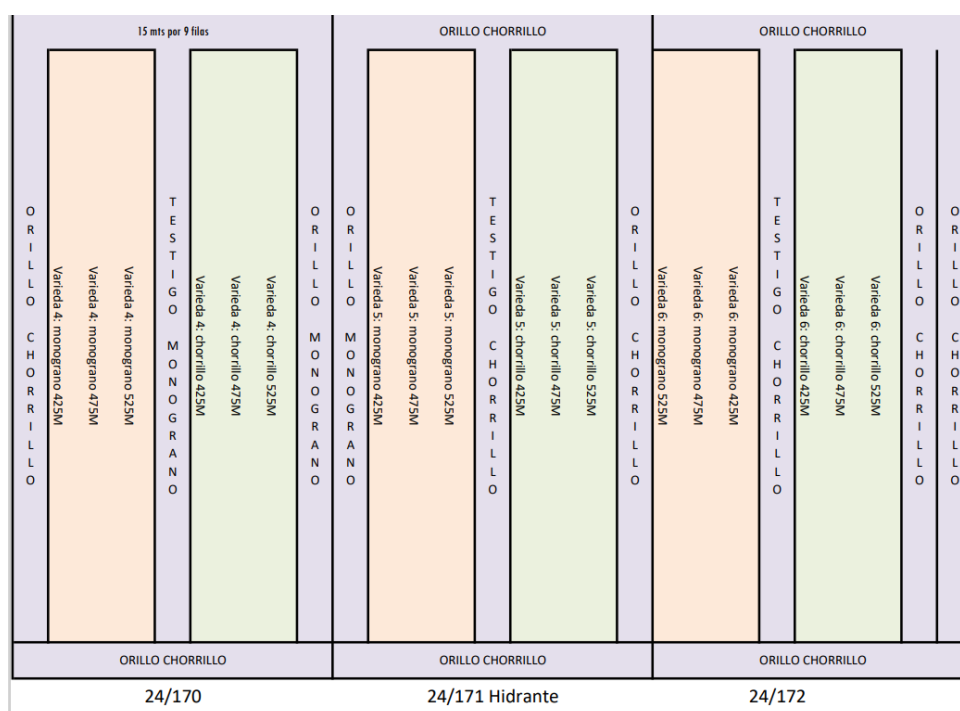


Figura 5. Diseño de los ensayos referentes a las variedades 4) Chaki, 5) Annette y 6) Luna.

Ensayos en invernadero

Paralelamente a los ensayos de campo se realizó un estudio de estrés hídrico en soja cultivada en invernadero. Concretamente el experimento se llevó a cabo con plantas de soja de la variedad PR91M10 que fueron crecidas en el invernadero del Instituto de Agrobiotecnología (Mutilva). Tras la germinación, las plántulas fueron trasplantadas cuidadosamente a macetas de 10 litros llenas con una mezcla de turba, vermiculita y perlita. Cuando las plantas tenían 60 días de edad, la mitad de las plantas fueron expuestas a condiciones de sequía (con retención de agua para mantener el 30% de la capacidad de campo), mientras que las otras se mantuvieron en condiciones óptimas de disponibilidad de agua (mantenidas al nivel de capacidad de campo).

Resultados obtenidos

A continuación se muestran las **fichas de cultivo de cada variedad** donde se puede observar todas las labores realizadas y los datos obtenidos tras su cosecha.

Variedades 1: Avril

Labores preparatorias:	Cultivador Molón - Grada Molón	
Fecha de siembra:	5-jul.-22	
Labores de siembra:	Sembradora Sóla Prosem 11-F monograno	
Superficie aprox. de cada ensayo:	0,277 Has.	
Dosis de siembra:	Calle A: 425.000 semillas/ha.	602 kilos totales
	Calle B: 475.000 semillas/ha.	656 kilos totales
	Calle C: 525.000 semillas/ha.	677 kilos totales
Labores de siembra:	Sembradora John Deere 750-A chorrillo	
Dosis de siembra:	Calle A: 425.000 semillas/ha.	389 kilos totales
	Calle B: 475.000 semillas/ha.	423 kilos totales
	Calle C: 525.000 semillas/ha.	490 kilos totales
Dosis de inóculo:	Legume fix: 400 gr / 100Kg semilla (500.000 unds.)	
Variedad:	AVRIL	Casa comercial: Agrusa
Abonado:	9-23-30	
Otras intervenciones	Herbicida preemergencia:	Fecha de aplicación: 11-jul.-22
	COMMAND CS 0,406 ltrs/ha.	Clomazona 36%
	SILBOS 1,693 ltrs/ha.	Pendimetalina 45,5%
	DADORA WG 500grs. 0,169 grs/ha.	Metribucina 70%
	Herbicida prost emergencia:	Fecha de aplicación: 22-jul.-22
	GALIBER 2 ltrs/ha.	Quilazafop-P-Etil 5%
	Insecticidas:	Fecha de aplicación: 6-sep.-22
	GUIMAR 0,1 ltrs/ha.	Lambda Cihalotrin 10%

Variedades 2: Amma

Labores preparatorias:	Cultivador Molón - Grada Molón	
Fecha de siembra:	5-jul.-22	
Labores de siembra:	Sembradora Sóla Prosem 11-F monograno	
Superficie aprox. de cada ensayo:	0,277 Has.	
Dosis de siembra:	Calle A: 425.000 semillas/ha.	387 kilos totales
	Calle B: 475.000 semillas/ha.	402 kilos totales
	Calle C: 525.000 semillas/ha.	375 kilos totales
Labores de siembra:	Sembradora John Deere 750-A chorrillo	
Dosis de siembra:	Calle A: 425.000 semillas/ha.	303 kilos totales
	Calle B: 475.000 semillas/ha.	318 kilos totales
	Calle C: 525.000 semillas/ha.	368 kilos totales
Dosis de inóculo:	Legume fix: 400 gr / 100Kg semilla (500.000 unds.)	
Variedad:	AMMA	Casa comercial: Hernanvilla
Abonado:	9-23-30	
Otras intervenciones	Herbicida preemergencia:	Fecha de aplicación: 11-jul.-22
	COMMAND CS 0,406 ltrs/ha.	Clomazona 36%
	SILBOS 1,693 ltrs/ha.	Pendimetalina 45,5%
	DADORA WG 500grs. 0,169 grs/ha.	Metribucina 70%
	Herbicida prost emergencia:	Fecha de aplicación: 22-jul.-22
	GALIBER 2 ltrs/ha.	Quilazafop-P-Etil 5%
	Insecticidas:	Fecha de aplicación: 6-sep.-22
	GUIMAR 0,1 ltrs/ha.	Lambda Cihalotrin 10%

Variedades 3: Castelis

Labores preparatorias:	Cultivador Molón - Grada Molón	
Fecha de siembra:	5-jul.-22	
Labores de siembra:	Sembradora Sóla Prosem 11-F monograno	
Superficie aprox. de cada ensayo:	0,277 Has.	
Dosis de siembra:	Calle A: 425.000 semillas/ha.	502 kilos totales
	Calle B: 475.000 semillas/ha.	522 kilos totales
	Calle C: 525.000 semillas/ha.	487 kilos totales
Labores de siembra:	Sembradora John Deere 750-A chorrillo	
Dosis de siembra:	Calle A: 425.000 semillas/ha.	393 kilos totales
	Calle B: 475.000 semillas/ha.	412 kilos totales
	Calle C: 525.000 semillas/ha.	477 kilos totales
Dosis de inóculo:	Legume fix: 400 gr / 100Kg semilla (500.000 unds.)	
Variedad:	CASTELIS	Casa comercial: Hernanvilla
Abonado:		
Otras intervenciones	Herbicida preemergencia:	Fecha de aplicación: 11-jul.-22
	COMMAND CS 0,406 ltrs/ha.	Clomazona 36%
	SILBOS 1,693 ltrs/ha.	Pendimetalina 45,5%
	DADORA WG 500grs. 0,169 grs/ha.	Metribucina 70%
	Herbicida prost emergencia:	Fecha de aplicación: 22-jul.-22
	GALIBER 2 ltrs/ha.	Quilazafop-P-Etil 5%
	Insecticidas:	Fecha de aplicación: 6-sep.-22
	GUIMAR 0,1 ltrs/ha.	Lambda Cihalotrin 10%

Variedades 4: Chaki

Labores preparatorias:	Cultivador Molón - Grada Molón	
Fecha de siembra:	5-jul.-22	
Labores de siembra:	Sembradora Sóla Prosem 11-F monograno	
Superficie aprox. de cada ensayo:	0,277 Has.	
Dosis de siembra:	Calle A: 425.000 semillas/ha.	606 kilos totales
	Calle B: 475.000 semillas/ha.	629 kilos totales
	Calle C: 525.000 semillas/ha.	587 kilos totales
Labores de siembra:	Sembradora John Deere 750-A chorrillo	
Dosis de siembra:	Calle A: 425.000 semillas/ha.	410 kilos totales
	Calle B: 475.000 semillas/ha.	430 kilos totales
	Calle C: 525.000 semillas/ha.	498 kilos totales
Dosis de inóculo:	Legume fix: 400 gr / 100Kg semilla (500.000 unds.)	
Variedad:	CHAKI	Casa comercial: Hernanvilla
Abonado:		
Otras intervenciones	Herbicida preemergencia:	Fecha de aplicación: 11-jul.-22
	COMMAND CS 0,406 ltrs/ha.	Clomazona 36%
	SILBOS 1,693 ltrs/ha.	Pendimetalina 45,5%
	DADORA WG 500grs. 0,169 grs/ha.	Metribucina 70%
	Herbicida prost emergencia:	Fecha de aplicación: 22-jul.-22
	GALIBER 2 ltrs/ha.	Quilazafop-P-Etil 5%
	Insecticidas:	Fecha de aplicación: 6-sep.-22
	GUIMAR 0,1 ltrs/ha.	Lambda Cihalotrin 10%

Variedades 5: Annette

Labores preparatorias:	Cultivador Molón - Grada Molón	
Fecha de siembra:	5-jul.-22	
Labores de siembra:	Sembradora Sóla Prosem 11-F monograno	
Superficie aprox. de cada ensayo:	0,277 Has.	
Dosis de siembra:	Calle A: 425.000 semillas/ha. Calle B: 475.000 semillas/ha. Calle C: 525.000 semillas/ha.	
Labores de siembra:	Sembradora John Deere 750-A chorrillo	
Dosis de siembra:	Calle A: 425.000 semillas/ha. Calle B: 475.000 semillas/ha. Calle C: 525.000 semillas/ha.	
Dosis de inóculo:	Legume fix: 400 gr / 100Kg semilla (500.000 unds.)	
Variedad:	ANNETTE	Casa comercial: Agrusa
Abonado:		
Otras intervenciones	Herbicida preemergencia:	Fecha de aplicación: 11-jul.-22
	COMMAND CS 0,406 ltrs/ha.	Clomazona 36%
	SILBOS 1,693 ltrs/ha.	Pendimetalina 45,5%
	DADORA WG 500grs- 0,169 grs/ha.	Metribucina 70%
	Herbicida prost emergencia:	Fecha de aplicación: 22-jul.-22
	GALIBER 2 ltrs/ha.	Quilazafop-P-Etil 5%
	Insecticidas:	Fecha de aplicación: 6-sep.-22
	GUIMAR 0,1 ltrs/ha.	Lambda Cihalotrin 10%

Variedades 6: Luna

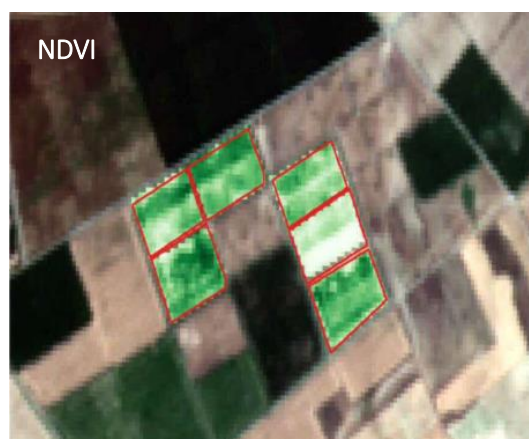
Labores preparatorias:	Cultivador Molón - Grada Molón	
Fecha de siembra:	5-jul.-22	
Labores de siembra:	Sembradora Sóla Prosem 11-F monograno	
Superficie aprox. de cada ensayo:	0,277 Has.	
Dosis de siembra:	Calle A: 525.000 semillas/ha.	781 kilos totales
	Calle B: 475.000 semillas/ha.	781 kilos totales
	Calle C: 425.000 semillas/ha.	664 kilos totales
Labores de siembra:	Sembradora John Deere 750-A chorrillo	
Dosis de siembra:	Calle A: 425.000 semillas/ha.	694 kilos totales
	Calle B: 475.000 semillas/ha.	713 kilos totales
	Calle C: 525.000 semillas/ha.	825 kilos totales
Dosis de inóculo:	Legume fix: 400 gr / 100Kg semilla (500.000 unds.)	
Variedad:	LUNA	Casa comercial: Battle
Abonado:		
Otras intervenciones	Herbicida preemergencia:	Fecha de aplicación: 11-jul.-22
	COMMAND CS 0,406 ltrs/ha.	Clomazona 36%
	SILBOS 1,693 ltrs/ha.	Pendimetalina 45,5%
	DADORA WG 500grs- 0,169 grs/ha.	Metribucina 70%
	Herbicida prost emergencia:	Fecha de aplicación: 22-jul.-22
	GALIBER 2 ltrs/ha.	Quilazafop-P-Etil 5%
	Insecticidas:	Fecha de aplicación: 6-sep.-22
	GUIMAR 0,1 ltrs/ha.	Lambda Cihalotrin 10%

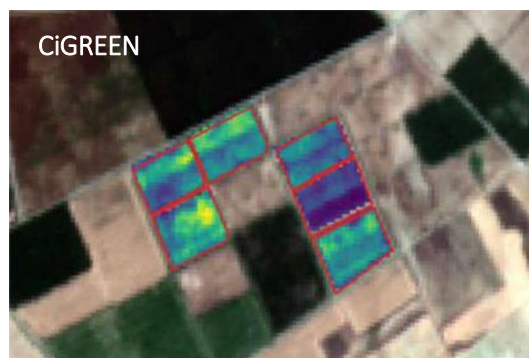
Caracterización terrestre de los cultivos

	Model	Palm grid				Clip			
		Trainset		Testset		Trainset		Testset	
		RMSE	R2	RMSE	R2	RMSE	R2	RMSE	R2
Chilo	Lasso	2.98	0.40	2.94	0.24	2.80	0.40	3.15	0.26
	E. net	2.93	0.41	2.96	0.23	2.78	0.40	3.13	0.26
	PLS	2.99	0.40	3.16	0.20	2.82	0.40	2.99	0.33
Flav	Lasso	0.15	0.45	0.13	0.52	0.15	0.37	0.16	0.39
	E. net	0.15	0.45	0.13	0.50	0.15	0.38	0.16	0.40
	PLS	0.16	0.41	0.14	0.47	0.16	0.31	0.16	0.36
Anth	Lasso	0.02	0.50	0.01	0.45	0.02	0.49	0.02	0.32
	E. net	0.02	0.49	0.01	0.44	0.02	0.48	0.02	0.32
	PLS	0.02	0.43	0.02	0.40	0.02	0.49	0.02	0.32
NBI	Lasso	3.14	0.57	3.15	0.48	3.27	0.48	3.22	0.47
	E. net	3.18	0.56	3.13	0.48	3.26	0.48	3.13	0.49
	PLS	3.54	0.48	3.41	0.41	3.42	0.46	3.38	0.42
Starch	Lasso	32.34	0.21	33.43	0.17	23.65	0.18	24.96	0.04
	E. net	31.36	0.07	32.81	0.07	23.56	0.18	24.87	0.04
	PLS	31.37	0.09	33.24	0.03	24.02	0.18	25.07	0.04
Glucose	Lasso	3.18	0.28	3.23	0.29	5.06	0.25	3.85	0.27
	E. net	3.17	0.29	3.07	0.37	5.03	0.26	3.83	0.28
	PLS	3.34	0.23	3.04	0.39	5.27	0.22	3.55	0.39
Fructose	Lasso	5.26	0.40	5.87	0.29	5.01	0.42	5.47	0.37
	E. net	5.24	0.40	5.80	0.31	4.96	0.44	5.40	0.38
	PLS	5.17	0.40	5.92	0.27	5.00	0.42	5.53	0.35
Sucrose	Lasso	7.36	0.36	7.12	0.38	7.07	0.38	7.74	0.29
	E. net	7.25	0.38	7.30	0.36	7.08	0.38	7.74	0.29
	PLS	7.33	0.40	8.05	0.27	7.20	0.39	7.09	0.41
Maltose	Lasso	1.67	0.27	2.01	0.00	2.26	0.17	1.88	0.11
	E. net	1.65	0.28	2.02	0.00	2.24	0.18	1.87	0.11
	PLS	1.73	0.25	1.81	0.01	2.28	0.17	1.83	0.18

Caracterización satelital de las parcelas

A continuación se muestra un ejemplo de las imágenes de satélite utilizadas para el cálculo de los parámetros NDVI, NDWI y CiGREEN.





Analítica edáfica

Variedad	Siembra	Densidad	Nitr.Amoniacal N-NH4+ mg/Kg	Nitr.Nitrico N-NO3- mg/Kg	PHA pH agua	MO Mat.Org. %
1	Chorrillo	525	5,9	7,4	8,55	3,04
1	Chorrillo	475	4,5	8,2	8,52	3,51
1	Chorrillo	425	3,5	8,9	8,49	3,24
1	Monograno	525	4,4	4,9	8,51	2,89
1	Monograno	475	4,6	5,2	8,50	3,14
1	Monograno	425	5,0	5,9	8,51	3,10
2	Chorrillo	525	5,5	5,7	8,53	3,34
2	Chorrillo	475	5,3	6,0	8,45	3,06
2	Chorrillo	425	5,5	4,6	8,54	2,97
2	Monograno	525	4,5	4,5	8,54	3,06
2	Monograno	475	4,9	8,8	8,51	3,22
2	Monograno	425	5,2	7,5	8,48	2,95
3	Chorrillo	525	4,5	5,0	8,47	3,29
3	Chorrillo	475	3,9	6,4	8,40	3,38
3	Chorrillo	425	5,2	5,4	8,49	3,00
3	Monograno	525	4,9	6,0	8,47	3,16
3	Monograno	475	6,2	9,4	8,45	3,34
3	Monograno	425	4,0	5,2	8,44	3,43
4	Chorrillo	525	6,0	4,8	8,53	3,50
4	Chorrillo	475	4,9	5,0	8,52	3,95
4	Chorrillo	425	8,3	5,2	8,50	3,71
4	Monograno	525	6,8	5,7	8,41	3,48
4	Monograno	475	10,3	5,7	8,48	3,21
4	Monograno	425	5,9	7,1	8,49	3,16
6	Chorrillo	525	7,8	4,8	8,50	3,21
6	Chorrillo	475	7,8	4,9	8,53	2,87
6	Chorrillo	425	8,0	4,6	8,51	3,60
6	Monograno	525	4,9	6,4	8,46	3,25
6	Monograno	475	7,6	5,8	8,48	3,61
6	Monograno	425	5,6	4,7	8,51	3,08

Medidas fisiológicas

Los parámetros fisiológicos medidos fueron los siguientes:

- Intercambio de gases
- Composición mineral en hoja y grano.

- Análisis de carbohidratos en hoja y grano.
- Identificación de biomarcadores implicados en la asimilación de CO₂ y en el transporte del agua y del metabolismo del nitrógeno.

En cuanto a los **ensayos de estrés hídrico** se determinó que la disminución del agua disponible al 30% de la capacidad de campo redujo la biomasa vegetal de las plantas pero apenas afectó a su rendimiento. Esta disminución de biomasa se debió a un efecto inhibitorio sobre el metabolismo fotosintético ya que, como estrategia de supervivencia, las plantas sometidas a sequía disminuyeron la apertura estomática (asociado a una menor transpiración) e incrementaron el contenido de compuestos osmoregulantes como la prolina y la alanina, lo que conllevó un aumento en su eficiencia en el uso del agua.

Conclusiones tras la 1ª campaña

Tras el análisis de los resultados de cosecha obtenidos y el análisis de las imágenes de satélite, las variedades LUNA, AVRIL Y CHAKI fueron las que mejores rendimientos presentaron y que potencialmente hacen un uso más eficiente del agua de riego. Para la segunda campaña se ha decidido realizar la siembra directa con sembradora monograno.

La integración de los datos de satélite, el análisis del suelo y de los biomarcadores analizados en las muestras de material vegetal ha determinado que LUNA fue la variedad mejor adaptada para incluir la soja en la rotación de cultivos bajo las condiciones concretas de estudio.

Ensayos 2ª campaña de ejecución

En el año 2023 se llevó a cabo la 2ª campaña de cultivo de soja aplicando las decisiones tomadas tras el análisis de la campaña del año 2022 tal y como se puede observar en las fichas de cultivo que se muestran más adelante. Como se ha citado anteriormente, se realizó siembra directa sobre rastrojo de cereal con sembradora monograno; pero las variedades sembradas fueron LUNA, CASTELIS Y CHAKI. El cambio en las variedades cultivadas se debió a un problema de abastecimiento en el mercado. La variedad CASTELIS se seleccionó por haber sido la más eficiente en el uso de agua, así como en base a sus datos de productividad y análisis de material vegetal, ya que fue la mejor variedad después de las seleccionadas originalmente.

2ª campaña

Variedades	Luna Shama Castelis
Modo de Siembra	en monograno
Dosis de Siembra	450 mil
Riego	Prescripción según sondas

Figura 6. Características mejoradas del cultivo de soja en la 2ª campaña.

Diseño de experimental de las parcelas



Figura 7. Asignación de variedades por parcela para el cultivo de soja en la 2ª campaña.

Equipos instalados para la optimización del riego y la fertilización

En esta segunda campaña además se instalaron sondas de humedad con el fin de realizar un uso más eficiente del agua de riego y poder realizar un riego diferenciado por sectores; y sondas NPK para optimizar la fertilización. La Figura 8 muestra los equipos necesarios para el monitoreo del suelo.



Figura 8. Conjunto de elementos para la toma de datos y decisiones.

Resultados obtenidos

A continuación se muestran las **fichas de cultivo de cada variedad** donde se puede observar todas las labores realizadas y los datos obtenidos tras su cosecha.

Variedades LUNA

Labores preparatorias:	Siembra directa sobre rastrojo de cereal	
Fecha de siembra:	5-jul.-23	
Labores de siembra:	Sembradora Vadēstad Tempo 11-F monograno	
Superficie aprox. de cada ensayo:	0,277 Has.	
Dosis de siembra:	Calle A: 450.000 semillas/ha.	
Dosis de inóculo:	Legume fix: 400 gr / 100Kg semilla (500.000 unds.)	
Variedad:	LUNA	Casa comercial: Batlle
Otras intervenciones	Herbicida preemergencia:	Fecha de aplicación: 6-jul.-23
	COMMAND CS 0,406 ltrs/ha.	Clomazona 36%
	SILBOS 2 ltrs/ha.	Pendimetalina 45,5%
	DADORA WG 500grs. 0,250 grs/ha.	Metribucina 70%
	Herbicida prost emergencia:	Fecha de aplicación:
	GALIBER 2 ltrs/ha.	Quilazafop-P-Etil 5%
	Insecticidas:	Fecha de aplicación:
	GUIMAR 0,1 ltrs/ha.	Lambda Cihalotrin 10%

Variedades CASTELIS

Labores preparatorias:	Siembra directa sobre rastrojo de cereal	
Fecha de siembra:	5-jul.-23	
Labores de siembra:	Sembradora Vadēstad Tempo 11-F monograno	
Superficie aprox. de cada ensayo:	0,277 Has.	
Dosis de siembra:	Calle A: 450.000 semillas/ha.	
Dosis de inóculo:	Legume fix: 400 gr / 100Kg semilla (500.000 unds.)	
Variedad:	CASTELIS	Casa comercial: Hernanvilla
Otras intervenciones	Herbicida preemergencia:	Fecha de aplicación: 6-jul.-23
	COMMAND CS 0,406 ltrs/ha.	Ciomezona 36%
	SILBOS 2 ltrs/ha.	Pendimetalina 45,5%
	DADORA WG 500grs: 0,250 grs/ha.	Metribucina 70%
	Herbicida prost emergencia:	Fecha de aplicación:
	GALIBER 2 ltrs/ha.	Quilazafop-P-Etil 5%
	Insecticidas:	Fecha de aplicación:
	GUMAR 0,1 ltrs/ha.	Lambda Cihalotrin 10%

Variedades SHAMA

Labores preparatorias:	Siembra directa sobre rastrojo de cereal	
Fecha de siembra:	5-jul.-23	
Labores de siembra:	Sembradora Vadēstad Tempo 11-F monograno	
Superficie aprox. de cada ensayo:	0,277 Has.	
Dosis de siembra:	Calle A: 450.000 semillas/ha.	
Dosis de inóculo:	Legume fix: 400 gr / 100Kg semilla (500.000 unds.)	
Variedad:	SHAMA	Casa comercial: RGA
Otras intervenciones	Herbicida preemergencia:	Fecha de aplicación: 6-jul.-23
	COMMAND CS 0,406 ltrs/ha.	Ciomezona 36%
	SILBOS 2 ltrs/ha.	Pendimetalina 45,5%
	DADORA WG 500grs: 0,250 grs/ha.	Metribucina 70%
	Herbicida prost emergencia:	Fecha de aplicación:
	GALIBER 2 ltrs/ha.	Quilazafop-P-Etil 5%
	Insecticidas:	Fecha de aplicación:
	GUMAR 0,1 ltrs/ha.	Lambda Cihalotrin 10%

Régimen de riego

El ensayo de estrés hídrico realizado en invernadero mostró que la reducción del riego para mantener el contenido hídrico al 30% de la capacidad de campo no afectó al rendimiento del cultivo gracias a que las plantas hacían un uso más eficiente del agua.

En esta 2ª campaña, la mitad de las plantas fueron regadas en función de las necesidades detectadas por el monitoreo del contenido en humedad del suelo, mientras que la otra mitad fue sometida a una restricción del riego moderada del 15%. No se observaron grandes diferencias entre ambos regímenes de riego debido a lo similares que fueron y, por consecuencia, no ha sido posible concluir nada claro en relación a la eficiencia del riego.

La gestión del riego fue realizada a través de la aplicación web desarrollada por Hydrotecna.

Monitorización del suelo

La monitorización del suelo se realizó continuamente y, la evolución tanto del estado hídrico como nutricional del suelo se pudo comprobar a lo largo del tiempo mediante gráficas como la que se muestra en la Figura 9.

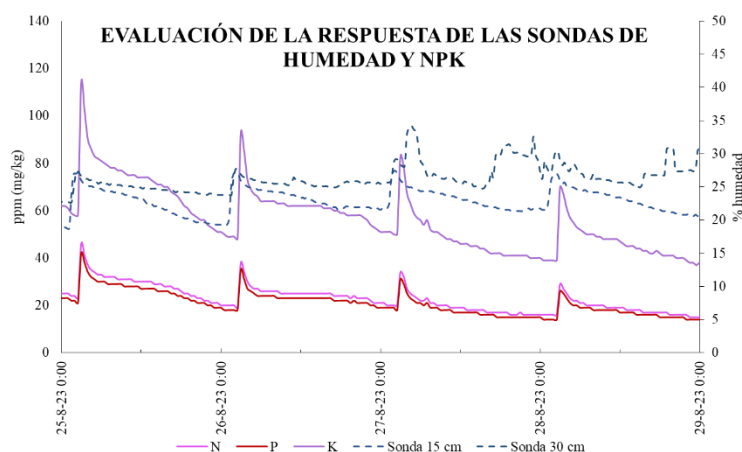


Figura 9. Monitoreo de humedad y estado NPK del suelo mediante sondas.

Las sondas de humedad funcionaron correctamente a lo largo de todo el ensayo mientras que, como se puede ver en la Figura 9, las sondas de NPK fueron muy sensibles a la variación de humedad del suelo y por ello sus datos no pudieron ser considerados a la hora de realizar la fertilización.

Otra manera de saber el contenido de nutrientes en el suelo es mediante el análisis de muestras del suelo tomadas en momentos clave del cultivo. De esta manera, se determinó el contenido en materia orgánica, nitrógeno total, amonio, nitrato y fósforo tal y como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Caracterización del contenido en materia orgánica, N y P del suelo en el cultivo de soja.

Parcela	Variedad	MO	NK	P Olsen	Amonio	Nitratos	Nitr.Amoniacal	Nitr.Nitrico
		Materia Orgánica %	itrógeno mg/Kg	Kjeldatósforo mg/Kg	Disponibl mg/Kg	NH4+ mg/Kg	NO3- mg/Kg	N-NH4+ mg/Kg
177	Shama	3,20	1713	22,4	4,2	63,1	3,3	14,2
171	Shama	2,99	1657	38,5	2,5	93,2	1,9	21,0
171	Shama	2,74	1571	32,6	3,3	78,0	2,6	17,6
176	Luna-Castellis	3,31	1665	31,9	6,1	95,0	4,7	21,4
170	Luna	3,85	2056	58,5	13,8	86,8	10,8	19,6
170	Luna	4,75	2290	42,2	7,5	118,6	5,9	26,8
172	Luna	3,88	1962	54,0	6,8	87,4	5,3	19,7
172	Luna	4,33	2220	67,5	14,4	106,0	11,2	23,9
178	Castellis	4,16	1944	20,9	12,7	109,7	9,9	24,8
178	Castellis	3,87	1945	19,7	4,5	112,0	3,5	25,3
178	Castellis	3,91	1939	15,6	4,3	81,7	3,3	18,4
178	Cstellis	3,57	1864	11,7	4,1	51,5	3,2	11,6

Conclusiones generales

La variedad que mejor se adaptó en general al cultivo de soja en las parcelas objeto de estudio para su implantación en el sistema de rotación de cultivos establecidos por Cooperativa Figueras fue **LUNA**. La gestión del riego mediante la aplicación web fue correcta aunque una mayor eficiencia del riego se podría haber logrado si se hubiese aplicado una restricción más rigurosa.

Mediante la realización de todas las actividades aquí descritas se ha conseguido optimizar el cultivo de soja de ciclo corto como 2º cultivo.

Como resultado final del presente proyecto se ha creado el **protocolo de gestión optimizada del cultivo** que se detalla en el entregable con el mismo nombre del proyecto **SOJA INNOVA**.