

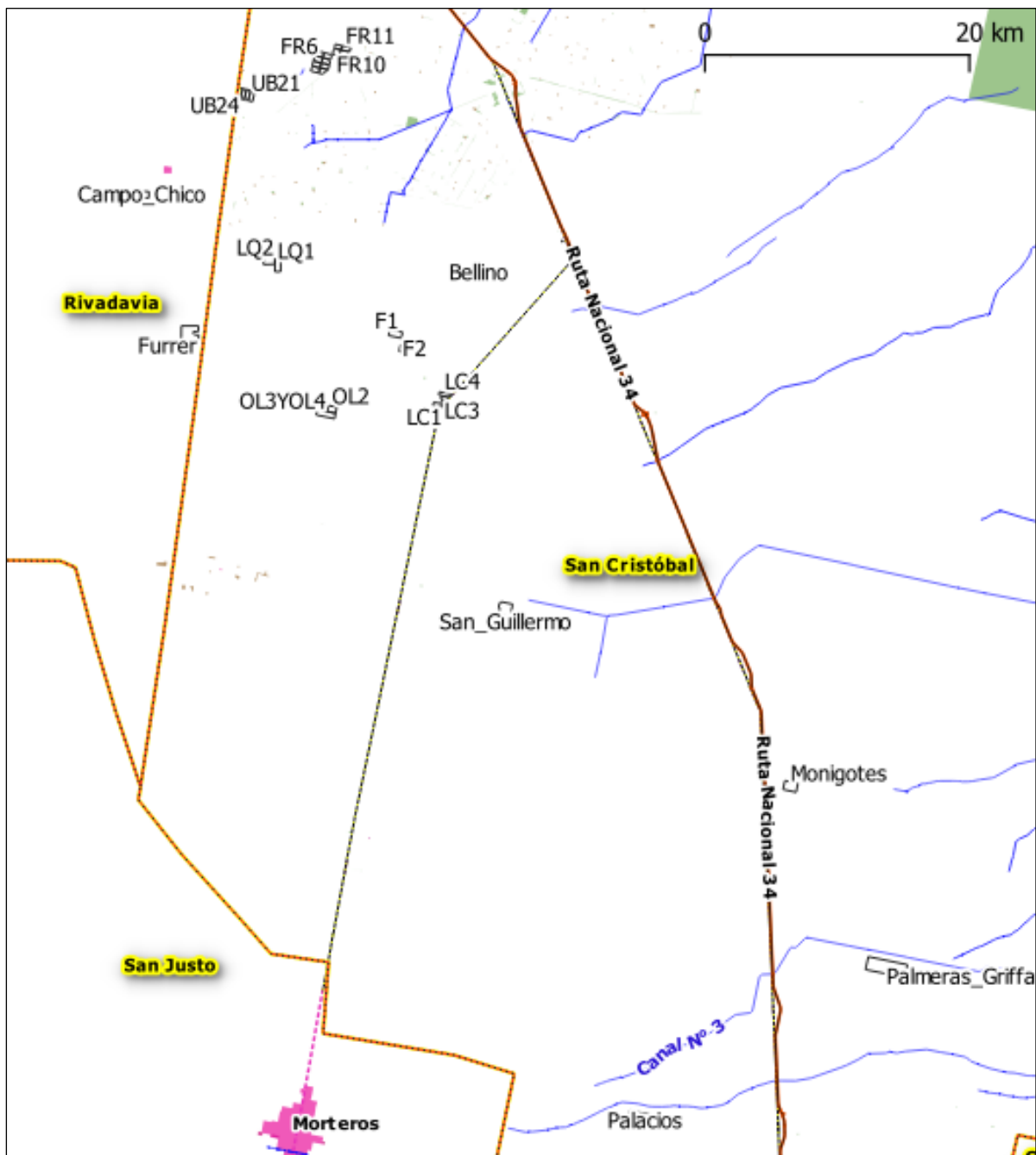
Predicción de rendimiento basado en ESVI en la provincia de Santa Fe Argentina

Área de observación: Se obtuvieron datos de rendimiento de diferentes establecimientos y lotes, los que se tomaron de balanza de campo. Estos datos parecen ser más confiables que los datos de mapas de rendimiento de las cosechadoras, los cuales tienen que ser limpiados y normalizados. Los datos obtenidos son para trigo, maíz, sorgo, girasol y soja.

Además aplicamos estadística zonal para cada lote y cada adquisición de datos SAR Sentinel-1.

Seninel-1 mide la estructura y humedad de la vegetación sobre la superficie. Puede ser visto como un proxy para biomasa fresca. Transformamos las dos polarizaciones VV y VH en un índice de vegetación (ESVI) el cual puede ser transformado directamente en una predicción de rendimiento.

A continuación se presenta un mapa general con una distribución de los lotes.

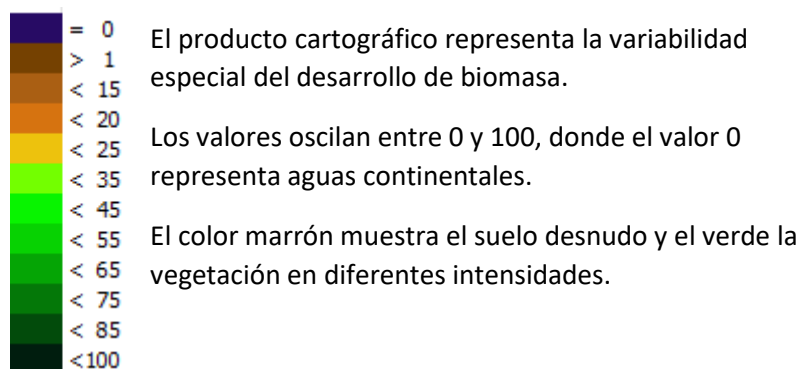
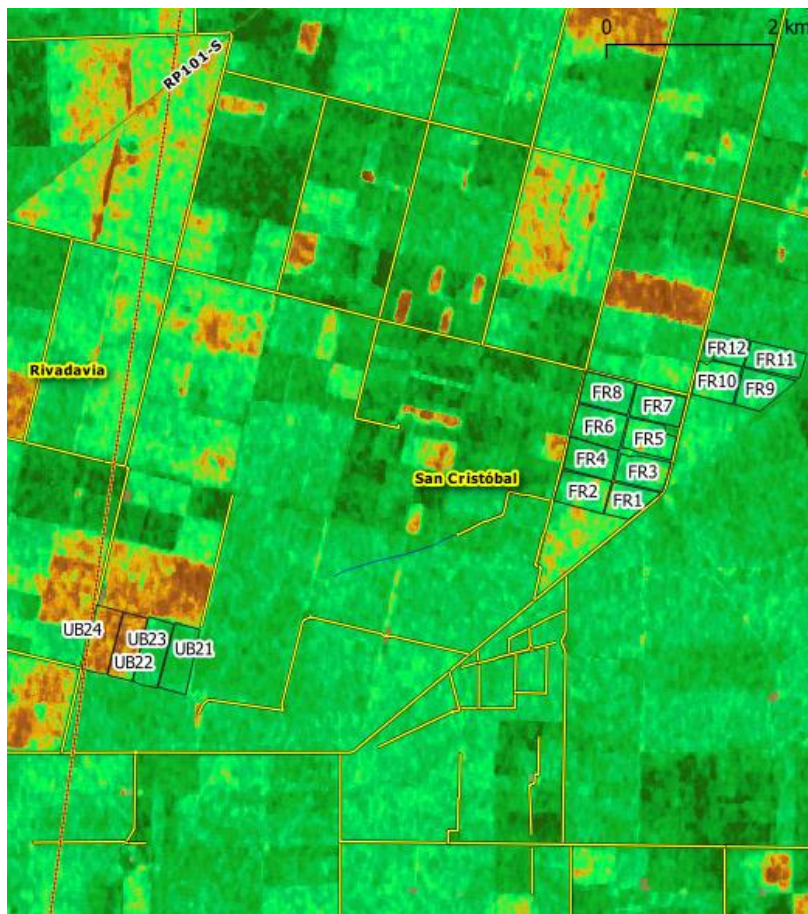


Siembra de cultivos: La siembra de cultivos se realiza durante todo el año. El maíz se cosechó en 2020 en dos lotes en verano (maíz de 1ª) y en un lote en invierno (maíz de 2ª). (ver tabla a la derecha) La cosecha de trigo se lleva Adelante en Noviembre. Sorgo y soja se cosechan en Abril y Mayo.

El Girasol se cosecho en Febrero.

El período de cultivo puede alternar de un potrero a otro y de una temporada a otra. Esto parece ser un desafío para el modelado de rendimiento.

La siguiente imagen muestra ESVI del 15 de Feb de 2021.



Soja

El ejemplo siguiente muestra el resultado sobre todos los lotes de soja, los cuales fueron cosechados entre principios de Mayo y

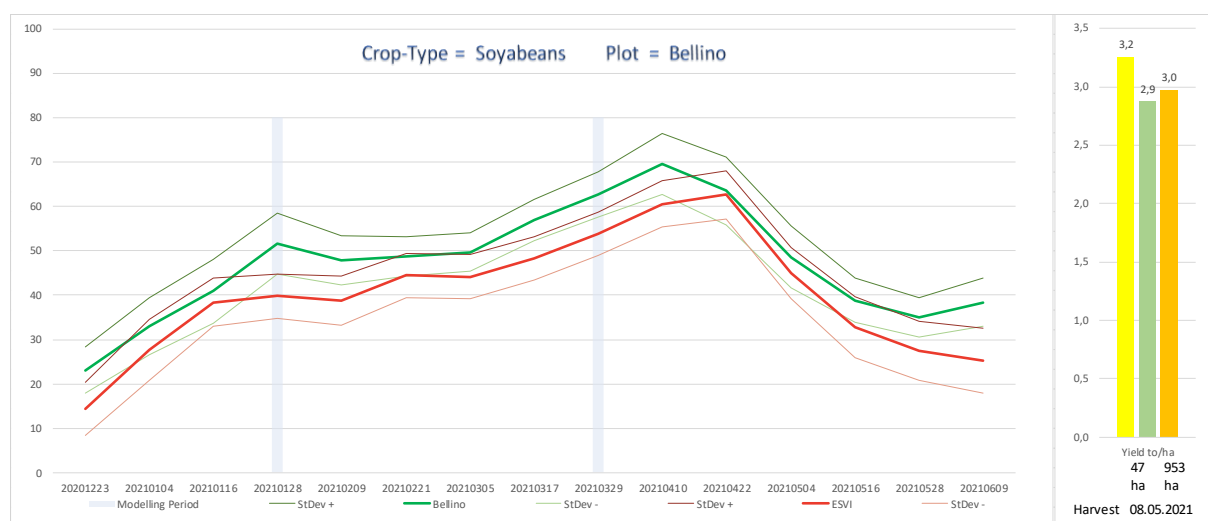
Plot	Date harvest	Crop type	ha
Bellino	27.02.2020	Corn	48
F2	13.03.2020	Corn	24
LC4	12.08.2020	Corn	24
OL2	14.04.2021	Sorghum	30
FR10	21.04.2021	Sorghum	42
Palacios	03.05.2021	Soybeans	267
Monigotes	06.05.2021	Soybeans	68
LC3	07.05.2021	Soybeans	13
LC4	07.05.2021	Soybeans	24
Bellino	08.05.2021	Soybeans	47
LC1	08.05.2021	Soybeans	18
LC2	08.05.2021	Soybeans	7
San_Guillermo	10.05.2021	Soybeans	134
Furrer	10.05.2021	Soybeans	134
F2	12.05.2021	Soybeans	24
Campo_Chico	18.05.2021	Soybeans	52
UB24	24.05.2021	Soybeans	25
UB23	25.05.2021	Soybeans	25
FR10	26.05.2021	Soybeans	12
FR12	26.05.2021	Soybeans	17
FR9	27.05.2021	Soybeans	18
FR1	28.05.2021	Soybeans	19
FR5	28.05.2021	Soybeans	22
FR6	28.05.2021	Soybeans	18
FR7	28.05.2021	Soybeans	12
FR8	28.05.2021	Soybeans	24
LQ1	18.06.2021	Sorghum	50
F1	30.07.2021	Corn	48
UB22	02.08.2021	Corn	24
UB21	04.08.2021	Corn	24
San_Guillermo	09.11.2021	Wheat	94
Palacios	02.02.2022	Sunflower	267
Palmeras_Griffa	09.02.2022	Sunflower	300
Monigotes	11.02.2022	Sunflower	68
FR10	01.05.2022	Soybeans	12
FR2	01.05.2022	Soybeans	24
FR4	01.05.2022	Soybeans	21
FR6	01.05.2022	Soybeans	5
FR7	01.05.2022	Soybeans	10
FR9	01.05.2022	Soybeans	6
LC4	05.05.2022	Soybeans	24
UB21	08.05.2022	Soybeans	25
UB22	08.05.2022	Soybeans	25
F1	10.05.2022	Soybeans	47
F2	10.05.2022	Soybeans	24
OL3YOL4	13.05.2022	Soybeans	35
San_Guillermo	18.05.2022	Soybeans	94
LQ2	18.05.2022	Soybeans	50
FR11	03.06.2022	Soybeans	24
OL2	15.06.2022	Soybeans	30
FR10	07.06.2022	Sorghum	12
FR12	08.06.2022	Sorghum	17
FR5	11.06.2022	Sorghum	22
FR6	11.06.2022	Sorghum	18
FR1	13.06.2022	Sorghum	18
FR9	15.06.2022	Sorghum	18
UB23	16.06.2022	Sorghum	25
UB24	17.06.2022	Sorghum	25
San_Guillermo	25.07.2022	Corn	134
Furrer	25.07.2022	Corn	134
Bellino	31.07.2022	Corn	47
Campo_Chico	01.08.2022	Corn	53
FR3	06.08.2022	Corn	24
FR7	06.08.2022	Corn	12
FR8	06.08.2022	Corn	24
Palacios	17.11.2022	Wheat	267
Monigotes	19.11.2022	Wheat	68
Palmeras_Griffa	23.11.2022	Wheat	300

mediados de Junio de 2021. La curva roja gruesa representa los valores promedio de ESVI sobre todos los potreros de soja. Por encima y por debajo las líneas rojas más finas representan la desviación standard simple +/- el valor promedio. Las curvas verdes representan una sola parcela, que aquí es "Bellino".

Las dos barras grises indican el período de 5 adquisiciones Sentinel-1 sucesivas las cuales fueron utilizadas para modelar la predicción de rendimiento.

En el lado derecho se pueden ver tres columnas: la columna de la izquierda muestra el rendimiento promedio/ha el cual fue en este caso 3.2 toneladas para el lote Bellino. El rendimiento promedio para todas las parcelas de soja, se ve en la columna de la derecha. Se encuentra en alrededor de 3,0 toneladas.

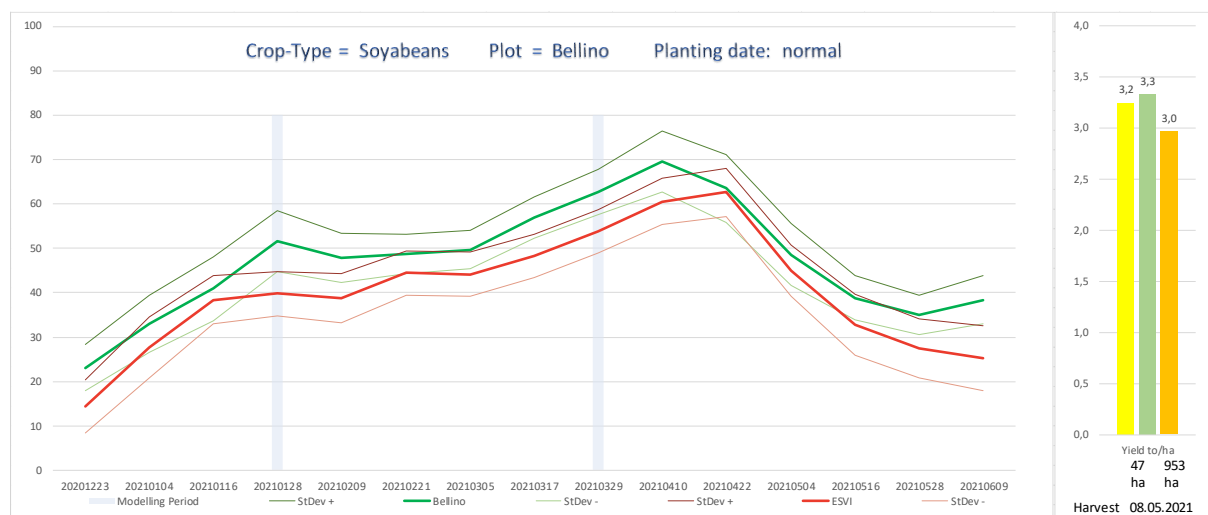
La columna central muestra el rendimiento modelizado, aquí para todos los lotes de soja. El valor es 2.9 ton.



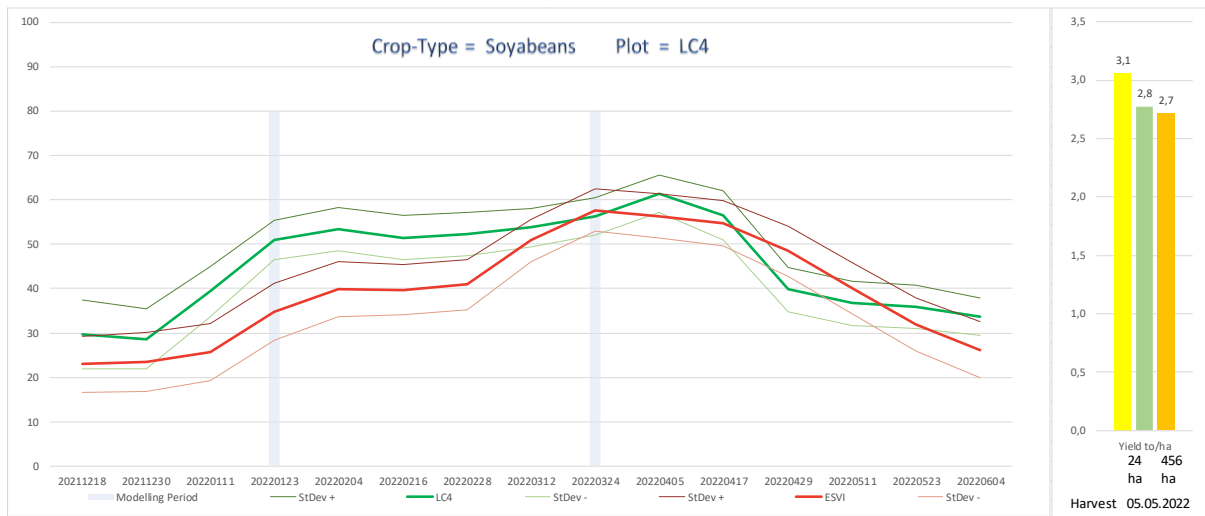
La segunda imagen básicamente muestra el mismo gráfico pero el rendimiento modelizado es para un potrero solo.

El lote individual "Bellino" muestra una curva ESVI ligeramente más alta y fue estimado con un rendimiento más alto.

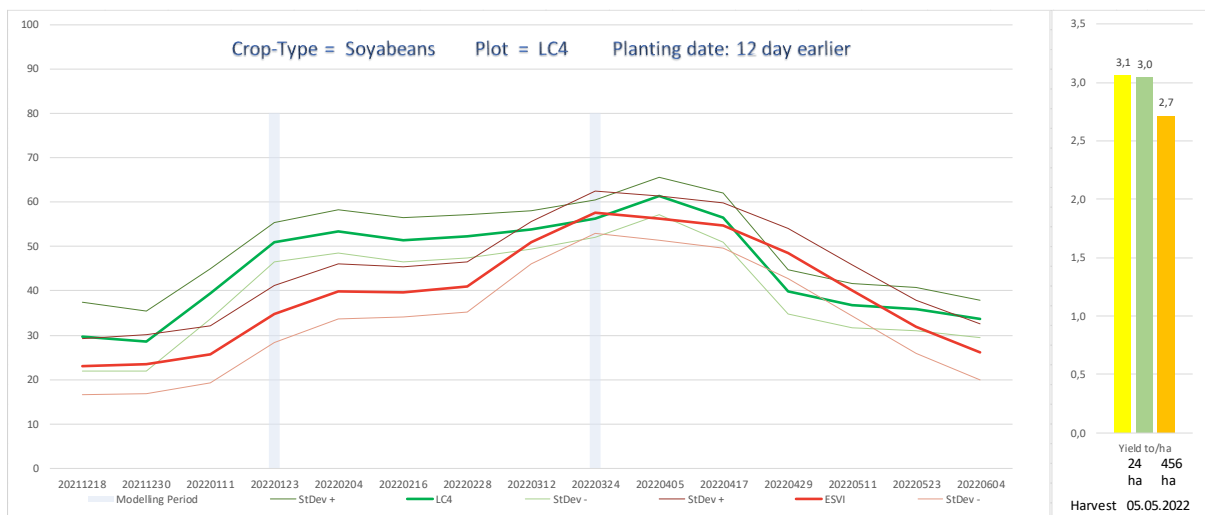
El valor sobre estimó el rendimiento medido en 2.6 %.



Los siguientes dos ejemplos representan datos del año siguiente 2022. El período para la estimación del rendimiento es más o menos el mismo. La fórmula para el modelo es idéntica. El rendimiento medido y el rendimiento modelado muestran una estrecha coincidencia.

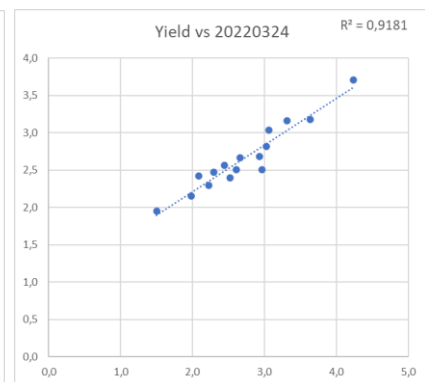
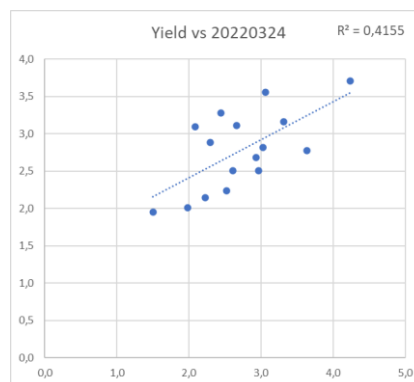


En este caso se asumió que el potrero fue sembrado 12 días más temprano, ya que la curva, que representa el crecimiento de la vegetación, se incrementa un poco más temprano.



El comienzo de la estación es una información relevante para la modelización de rendimientos Si aplicamos la misma fórmula y la misma tabla de peso en todas las parcelas del mismo tipo de cultivo, tenemos que considerar las fechas de siembra.

El gráfico de correlación de la izquierda muestra la correlación entre el rendimiento medido y la predicción del rendimiento sin la normalización de la fecha de siembra. En el gráfico a la derecha las fechas de siembra fueron normalizadas.



Las dos tablas muestran la desviación de los rendimientos estimados vs los rendimientos medidos. La primera tabla muestra los resultados para todos los lotes de soja en 2021. La línea superior muestra la fecha en la cual el modelo calculó el rendimiento. En la segunda línea se ve el resultado promedio sobre todos los potreros de soja de esta estación. Un valor de 98 (promedio el 17 de Marzo de 2021) significa que el modelo subestimó el rendimiento en un 2 %.

Deviation	20210209	20210221	20210305	20210317	20210329	20210410	20210422	20210504	20210516	20210528	20210609
Average	100	112	105	98	99	100	100	103	98	92	84
Palacios	125	114	108	104	109	108	104	104	102	101	99
Monigotes	123	132	124	115	119	118	119	118	109	99	81
LC3	129	123	106	102	98	96	92	91	85	80	74
LC4	105	109	96	90	87	81	81	85	80	74	66
Bellino	143	146	131	124	117	112	113	116	106	98	87
LC1	137	136	114	111	111	108	103	102	95	92	88
LC2	111	114	100	97	97	93	88	87	84	81	77
San_Guillermo	143	148	122	94	77	77	80	82	74	63	53
Furrer	98	118	109	103	102	95	93	97	97	96	92
F2	98	110	109	105	100	98	91	88	81	75	68
Campo_Chico	89	110	107	92	90	87	85	90	86	79	64
UB24	73	76	78	63	98	130	135	148	143	128	110
UB23	69	74	74	51	83	113	118	132	128	113	94
FR10	82	111	107	100	99	98	100	104	98	97	95
FR12	97	124	116	108	105	104	107	113	110	112	110
FR9	57	92	97	97	98	99	102	108	103	101	97
FR1	19	70	93	103	115	124	136	148	141	132	124
FR5	17	64	85	92	99	111	123	135	128	124	116
FR6	15	58	76	85	94	98	104	112	107	104	99
FR7	9	36	48	55	60	63	66	71	69	67	64

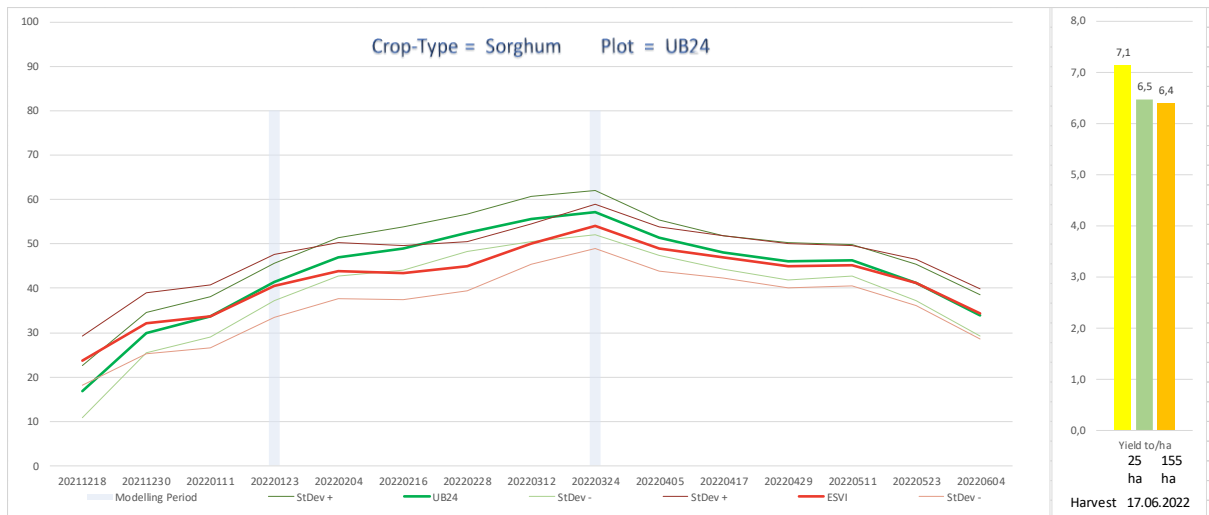
En 2022 utilizamos el mismo modelo y tabla de pesos para diferentes potreros y obtuvimos resultados comparables.

Deviation	20220204	20220216	20220228	20220312	20220324	20220405	20220417	20220429	20220511	20220523	20220604
Average	89	89	87	92	98	98	103	109	101	92	89
FR10	91	95	89	88	92	91	93	96	88	81	84
FR2	168	113	91	91	109	130	151	172	163	151	144
FR4	163	131	108	114	130	146	169	198	187	170	162
FR6	97	105	99	104	108	106	110	113	103	93	92
FR7	102	87	80	88	103	118	137	151	140	131	134
FR9	114	113	99	96	93	88	88	88	80	74	78
LC4	79	90	95	99	99	94	93	92	84	77	71
UB21	31	36	46	68	85	90	97	104	93	76	58
UB22	44	49	57	78	96	101	107	113	102	84	66
F1	89	94	93	93	88	79	77	78	74	72	71
F2	53	71	84	103	116	119	124	130	119	106	98
OL3YOL4	93	84	82	86	87	82	83	88	84	80	77
San_Guillermo	87	102	99	101	105	104	108	111	105	100	99
LQ2	80	102	100	102	100	96	98	98	87	78	77
FR11	96	82	78	86	95	99	110	123	118	114	119
OL2	91	96	96	97	95	89	88	89	85	80	77

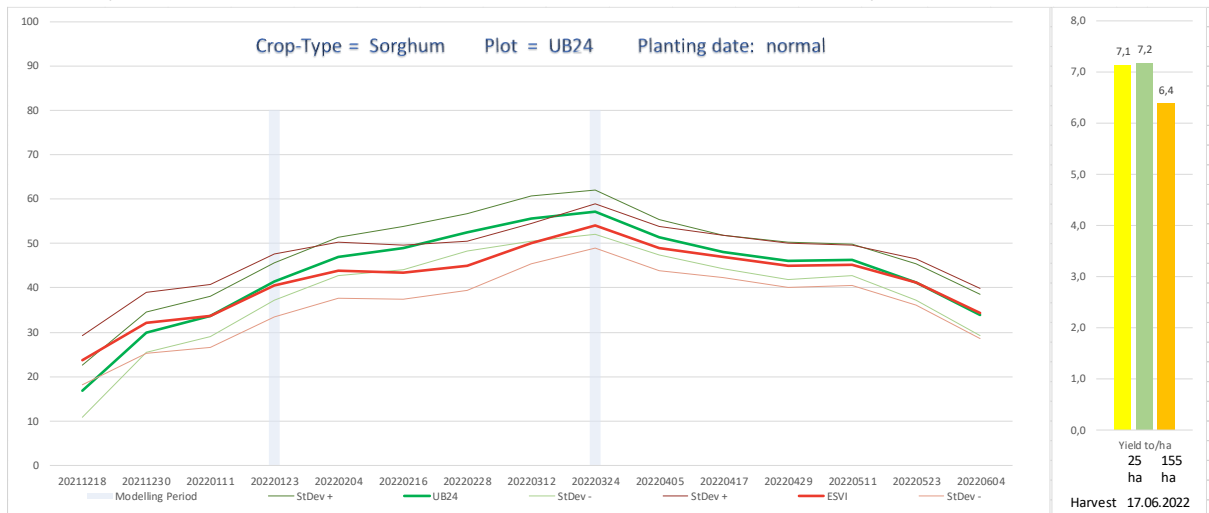
Sorgo

El siguiente ejemplo muestra el resultado para los potreros de sorgo en 2022. Las curvas rojas representan nuevamente el promedio +/- una desviación standard para todos los potreros de sorgo.

Las curvas verdes representan un solo potrero. El rendimiento modelizado para todos los potreros de sorgo está cerca del rendimiento medido y está cerca de las 6.5 ton/ha.



El lote individual, representado por la líneas verdes, es el lote “UB24”. Las curvas ESVI muestran valores ligeramente más altos y por lo tanto hay más biomasa. El modelo calcula un rendimiento más alto, el cual esta también cercano al rendimiento medido de 7.2 ton/ha.

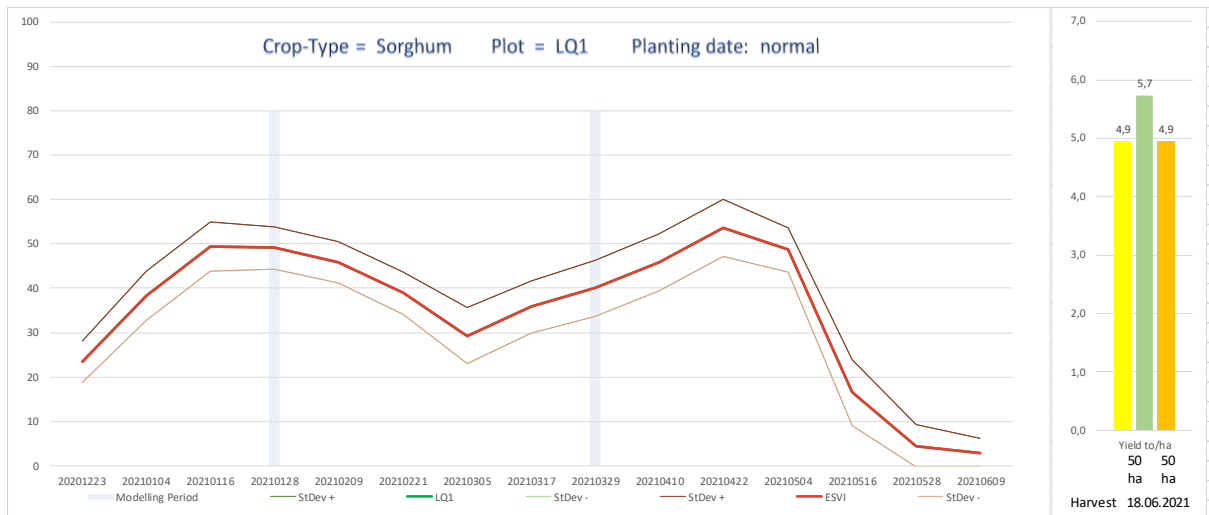


La desviación del rendimiento medido frente al modelado en todos los potreros y toda la temporada.

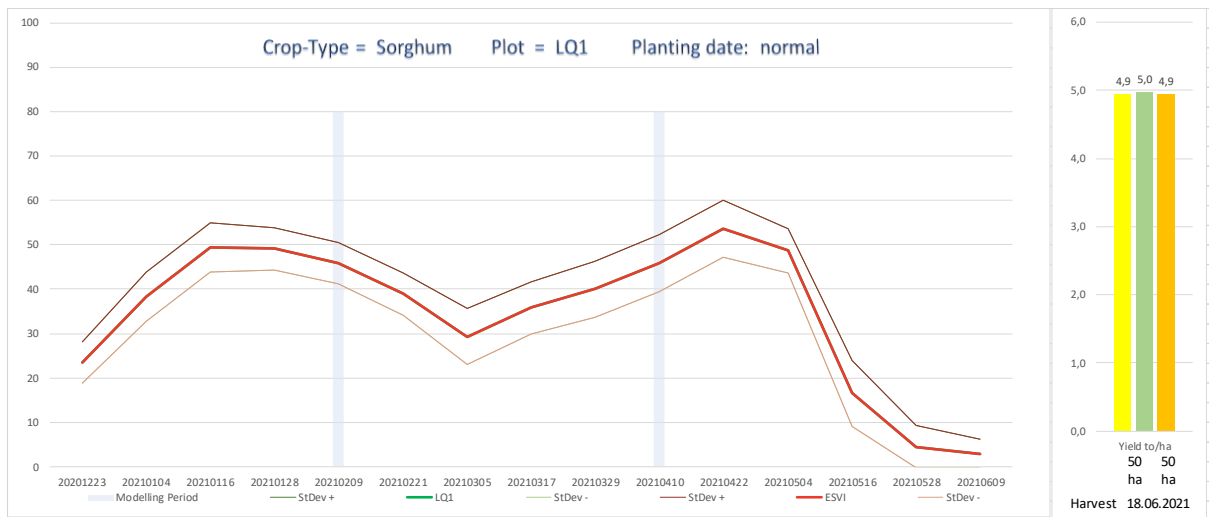
Deviation	20220204	20220216	20220228	20220312	20220324	20220405	20220417	20220429	20220511	20220523	20220604
Average	100	101	100	101	101	101	103	103	100	100	102
FR10	101	99	101	101	102	104	108	114	113	114	116
FR12	112	110	106	106	105	104	103	100	96	96	99
FR5	105	106	103	103	101	101	103	103	100	100	102
FR6	116	105	100	102	100	99	103	107	104	101	99
FR1	106	108	107	108	105	104	106	107	106	108	111
FR9	108	105	102	101	97	95	97	100	98	100	104
UB23	75	86	90	96	100	102	101	98	94	92	92
UB24	80	90	93	98	101	102	103	99	94	92	93

Para el año previo 2021 tuvimos solamente un potrero de Sorgo cosechado en Junio. La curva de crecimiento muestra una disminución significativa en valores.

Si utilizamos el mismo período para la estimación de rendimiento el resultado será sobreestimado cerca del 16 %.



Si cambiamos el período de estimación del rendimiento en 12 días, el resultado casi coincide con el rendimiento medido.

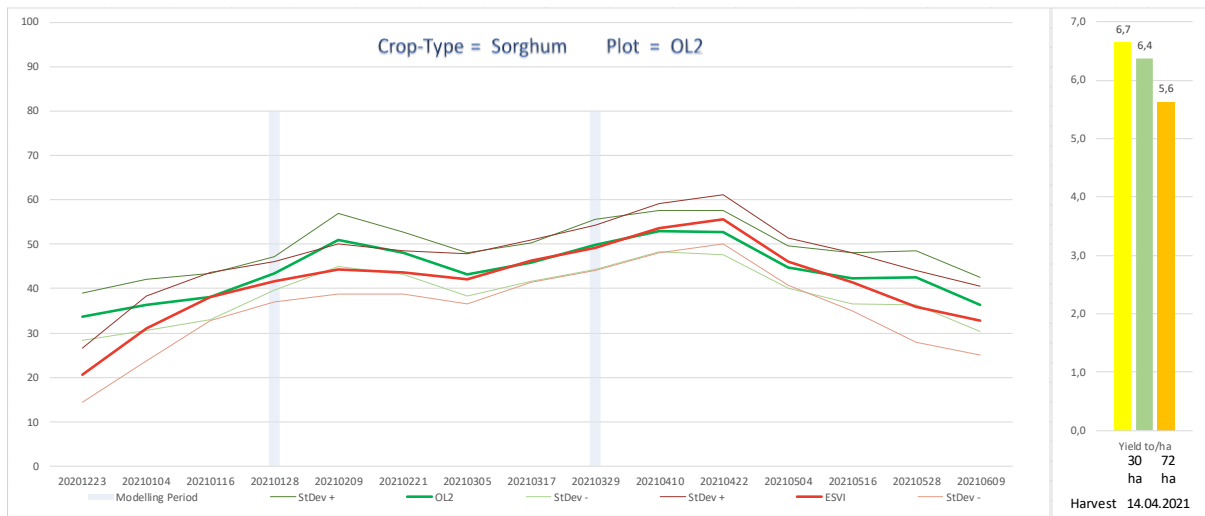


Debido a la depresión en la curva, no fue posible una predicción valiosa del rendimiento durante la temporada.

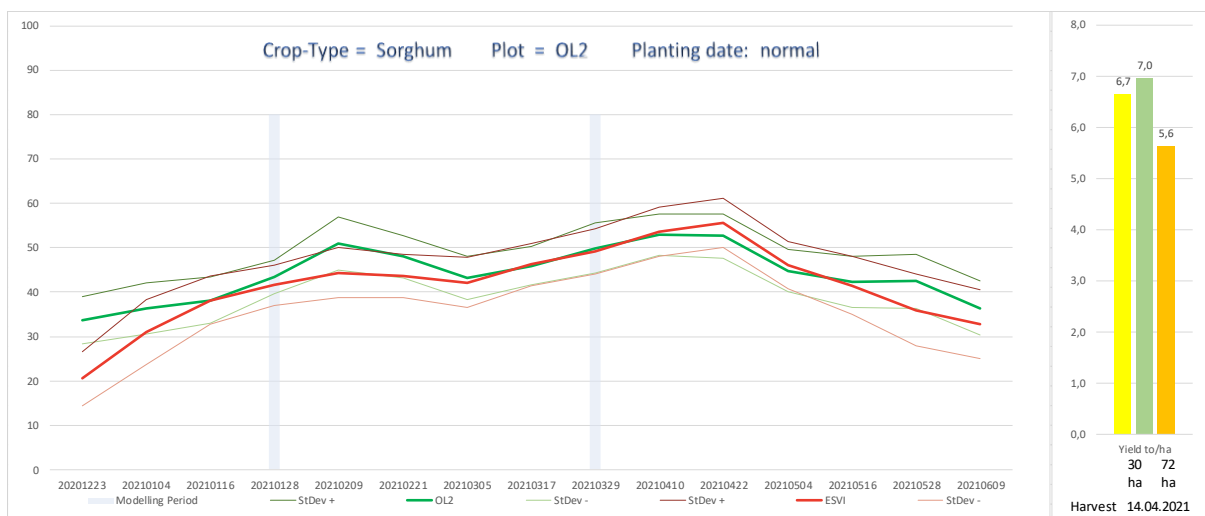
Deviation	20210209	20210221	20210305	20210317	20210329	20210410	20210422	20210504	20210516	20210528	20210609
Average	156	165	159	136	116	101	96	108	117	125	115
LQ1	156	165	159	136	116	101	96	108	117	125	115

Dos lotes más de sorgo fueron cosechados en Abril de 2021.

El rendimiento previsto para el valor medio se encuentra aproximadamente un 13 % por encima del rendimiento medido.



Para un potrero individual, casi igualamos el valor de rendimiento medido. La curva de este potrero se encuentra ligeramente por encima del promedio, lo que se refleja en la predicción de rendimiento. La estimación del rendimiento se encuentra aproximadamente un 4% por encima del rendimiento medido.

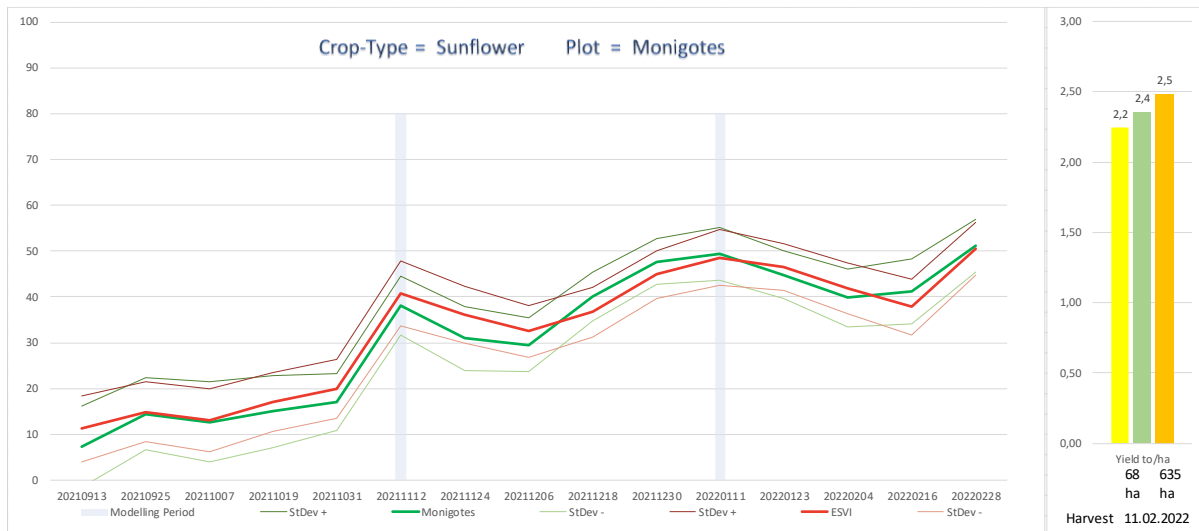


Deviation	20210209	20210221	20210305	20210317	20210329	20210410	20210422	20210504	20210516	20210528	20210609
Average	112	119	120	116	113	110	110	114	117	123	121
OL2	118	109	107	107	105	98	94	96	98	102	101
FR10	104	132	138	130	125	128	133	141	144	155	150

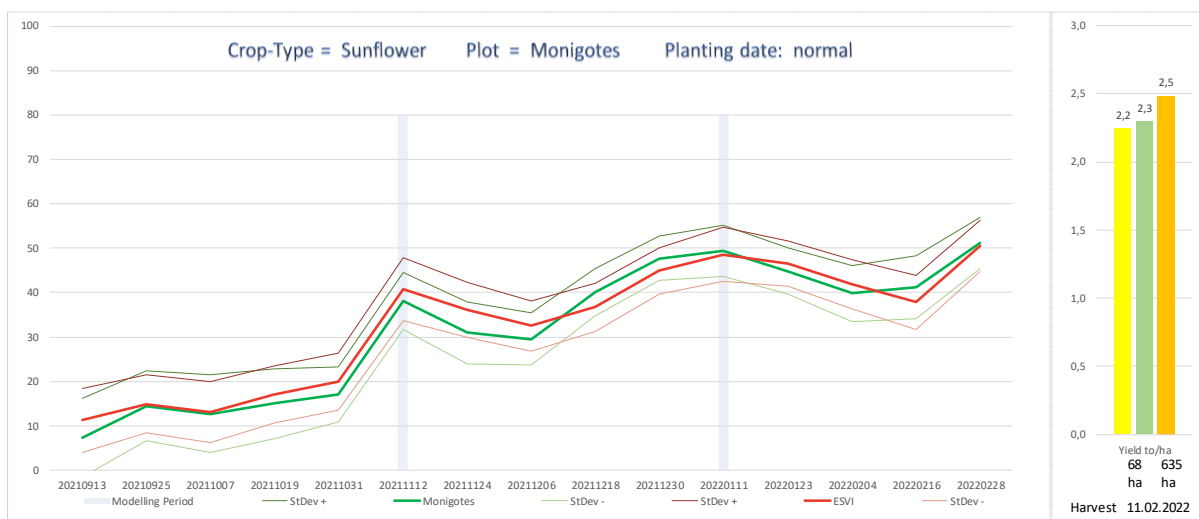
Sunflower

El próximo ejemplo es Girasol, cosechado en Febrero 2022.

El modelo subestima el promedio levemente con 2.4 ton/ha. El rendimiento medio medido fue de 2.5 ton/ha.



El lote “Monigotes” fue levemente sobreestimado.

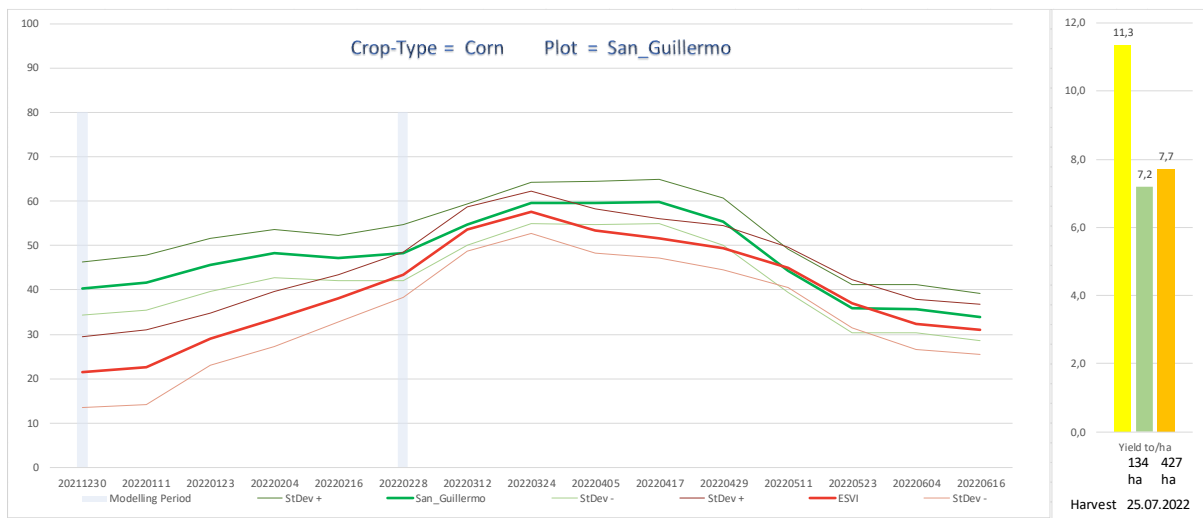


Deviation	20211031	20211112	20211124	20211206	20211218	20211230	20220111	20220123	20220204	20220216	20220228
Average	113	113	121	132	122	119	97	102	110	106	100
Palacios	99	99	107	115	102	100	80	82	91	90	87
Palmeras_Griffa	140	127	139	158	152	142	116	117	118	113	107
Monigotes	108	117	123	131	122	122	102	115	129	120	111

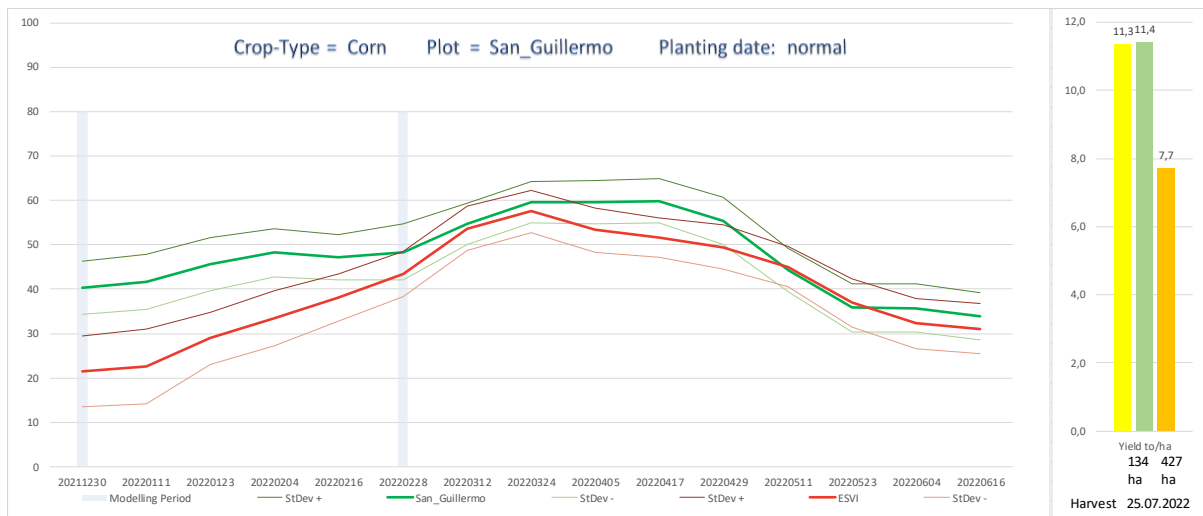
For sunflower we didn't have reference data from 2021.

Maíz

El maíz fue cosechado en Julio, que es invierno en Argentina. El rendimiento promedio fue subestimado por el modelo cerca del 7% .



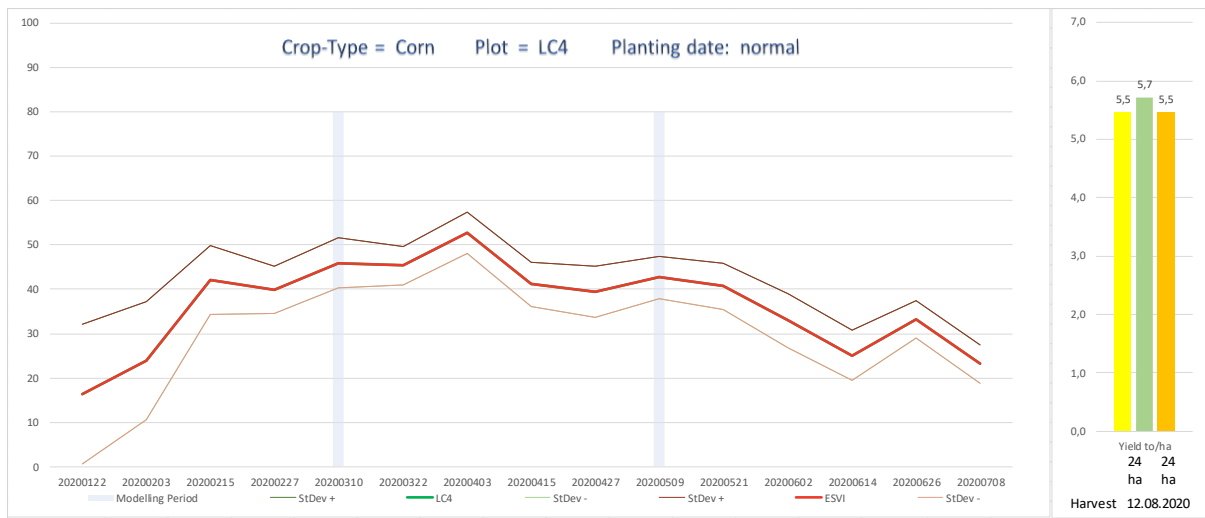
Un potrero individual fue estimado muy bien en el mismo período. El resultado aquí es de 11.4 ton/ha.



El potrero Bellino tuvo un rendimiento medido de 2.8 ton/ha solamente, lo cual es dudoso. O bien el rendimiento fue medido erróneamente o el cultivo tuvo o el cultivo tenía mucha biomasa y un bajo rendimiento comparable, por cualquier motivo.

Deviation	20220216	20220228	20220312	20220324	20220405	20220417	20220429	20220511	20220523	20220604	20220616
Average	83	93	91	79	75	81	83	83	80	84	78
San_Guillermo	99	101	87	67	57	59	60	62	61	63	56
Furrer	33	53	65	57	51	53	53	53	50	51	47
Bellino	382	355	297	242	219	229	227	220	211	236	239
Campo_Chico	61	78	81	75	75	82	83	84	79	79	71
FR3	87	96	97	86	83	91	93	91	87	91	86
FR7	68	77	78	72	73	87	98	102	100	107	100
FR8	60	74	81	76	77	86	90	87	81	85	78

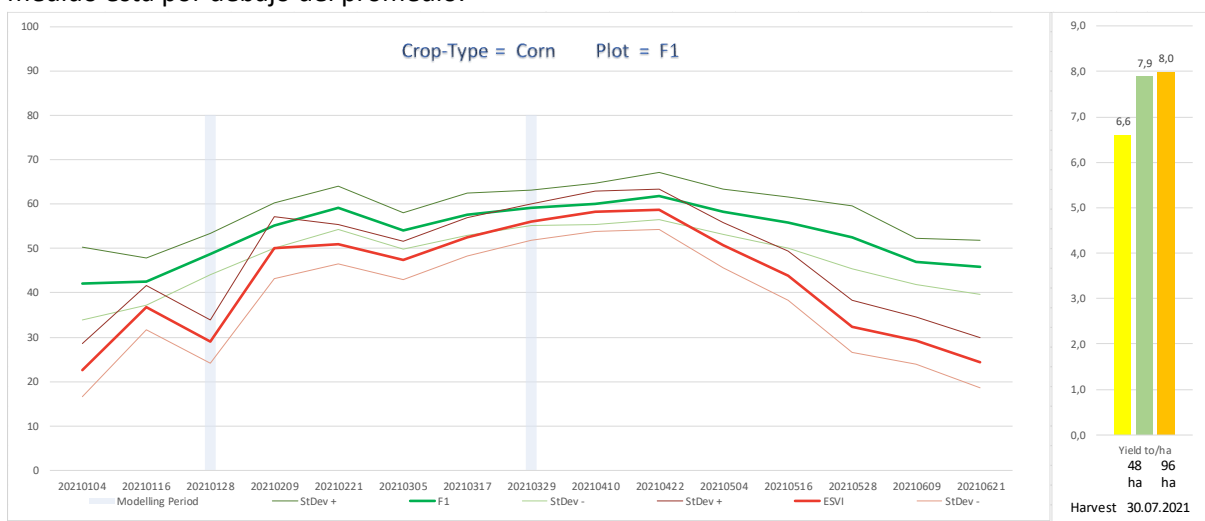
En 2020 tuvimos solamente un potrero para Maíz.



Y en 2021 tuvimos 3 potreros con maíz, pero los valores son un poco extraños.

La predicción de rendimiento coincide bastante bien con el rendimiento medido en todas los potreros.

La curva para el potrero individual se encuentra por encima del promedio, pero el rendimiento medido está por debajo del promedio.

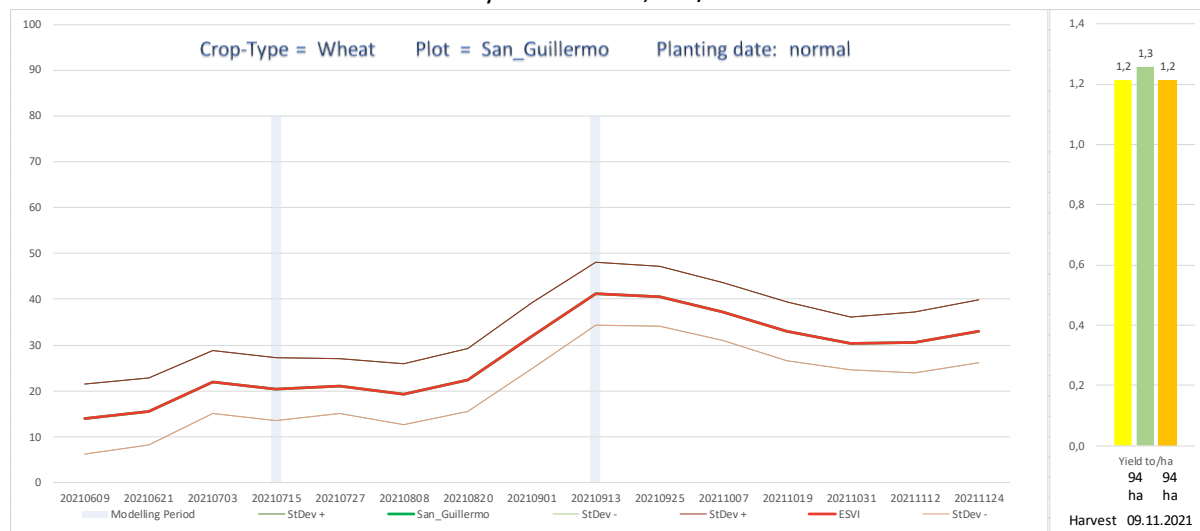


Deviation	20210221	20210305	20210317	20210329	20210410	20210422	20210504	20210516	20210528	20210609	20210621
Average	101	123	109	99	81	80	81	84	83	85	73
F1	178	187	169	134	111	106	105	107	108	119	114
UB22	74	100	86	87	72	72	75	78	76	73	56
UB21	70	96	86	84	68	68	69	73	72	71	59

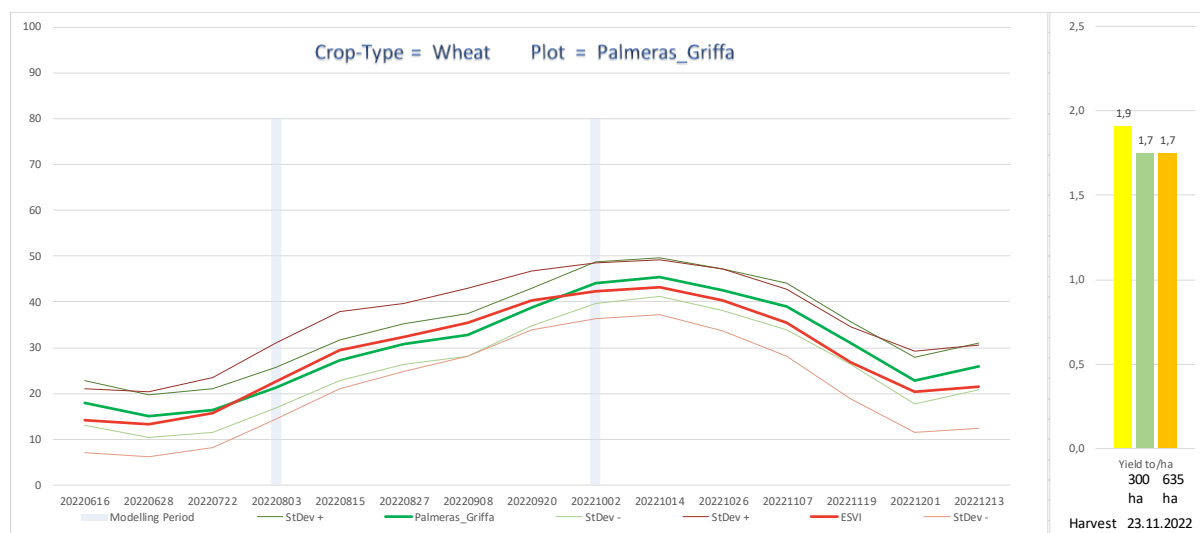
Trigo

El trigo se fue cosechado en Noviembre. Para la temporada 2021 analizamos un solo potrero. Por lo tanto, la curva roja que representa el promedio se encuentra por encima de la curva verde, que representa el potrero individual.

El rendimiento se estimó bastante bien y es de sólo 1,3 to/ha.



Un año más tarde, en 2022, tenemos 4 potreros de trigo. El valor promedio fue 1.7 ton/ha y el modelo coincide exactamente con este valor.

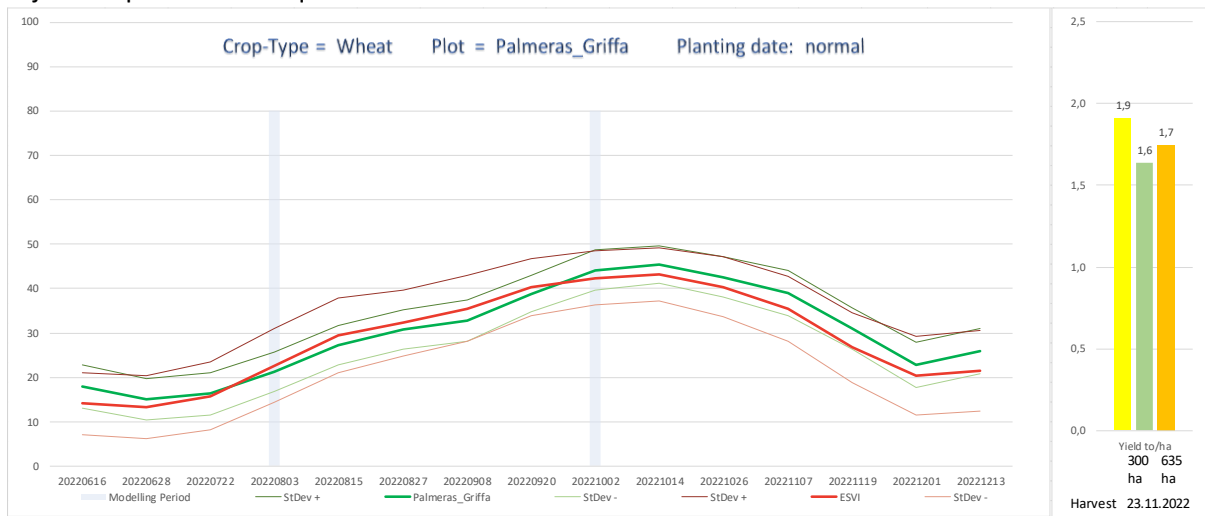


El rendimiento medido para el lote Palacios se encuentra aproximadamente un 30% por debajo de las otras dos parcelas. La curva del ESVI está por encima de la media. Por lo tanto, el rendimiento modelado se sobreestimó significativamente.

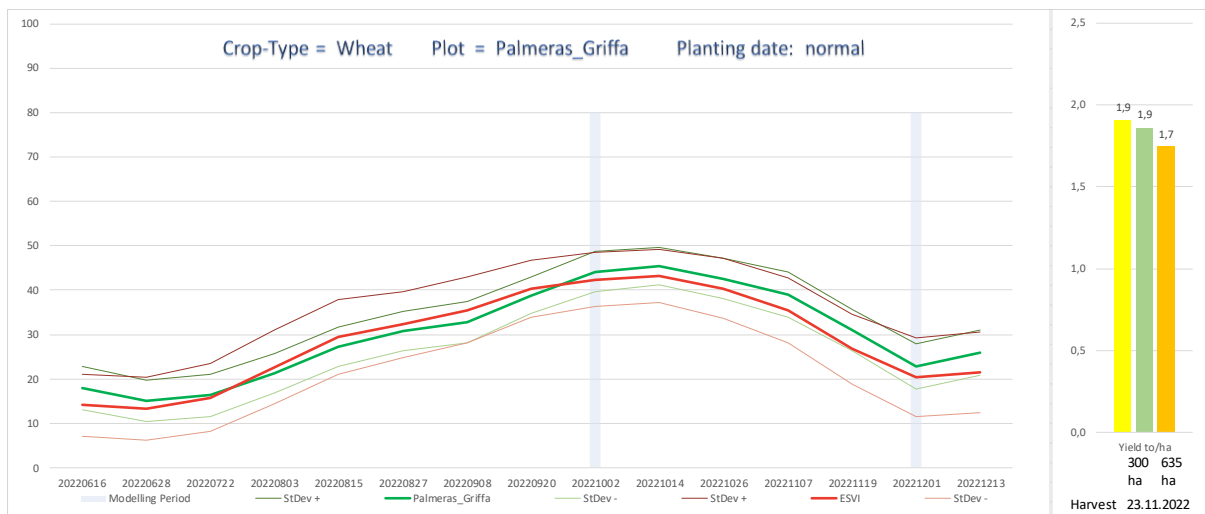
Deviation	20220815	20220827	20220908	20220920	20221002	20221014	20221026	20221107	20221119	20221201	20221213
Average	103	103	101	102	102	102	102	104	101	102	102
Palacios	123	139	137	138	133	126	122	119	116	123	130
Monigotes	76	77	80	85	89	93	94	95	90	85	77
Palmeras_Griffa	114	103	95	93	93	94	96	101	102	105	106

Para el potrero individual vemos una subestimación del rendimiento previsto.

La curva verde, que representa el potrero individual, se encuentra un poco por debajo de la curva roja en el período en el que modelamos el rendimiento.



En una etapa posterior de la temporada, la curva verde se encuentra ligeramente por encima del promedio, lo que también se refleja en la predicción de rendimiento. En este período la estimación del rendimiento fue correcta.



Se puede concluir que solo ESVI es adecuado para predecir el rendimiento de los cultivos herbáceos con una fórmula y una tabla de pesaje para cada tipo de cultivo. No se necesitan datos adicionales como datos meteorológicos o datos del suelo.

Hay que tener en cuenta la estacionalidad. Esto significa que en la temporada en curso necesitamos detectar el inicio de la temporada para los tipos de cultivos, lo cual es posible ya que necesitamos 5 ESVI sucesivos donde podamos observar un aumento estable en el valor.