

Sistema de alerta temprana de daños y estrés hídrico en choperas empleando sensores ecofisiológicos, IoT y modelos de transferencia radiativa con imágenes Sentinel 2



Joaquín Garnica López, Sergio Fernández
Bosques y Ríos

Isabel Cristina Grisales Sánchez, Alexey Valero Jorge, Flor Álvarez Taboada
Escuela de Ing. Agraria y Forestal. Universidad de León

Carlos Álvarez Cuevas
GARNICA Valencia de Don Juan

Rodrigo Arthus Bacovich
IDAF SL

Carlos Luis Camino González
*European Commission
Joint Research Centre*



Internet de las Cosas en la gestión de los recursos naturales y la biodiversidad.

- 📍 Aula del Amogable (Navaleno, Soria)
- 📅 28-29 septiembre 2023
- 🚩 Más info: www.pfcyl.es













universidad
de león



DRACONES research group
Documentation, reconstruction and analysis of
complex objects and natural environments



Bosques & Ríos
PLANTAMOS FUTURO

garnica

Challenge the ordinary





Bosques & Ríos
PLANTAMOS FUTURO

Sistema que permita
el seguimiento remoto del estado sanitario de las choperas,
y que pueda actuar como sistema de alerta temprana ante la
aparición de **daños**







PROD. NO.
SCENE

TAKE
1

TIME

DATE

DIRECTOR

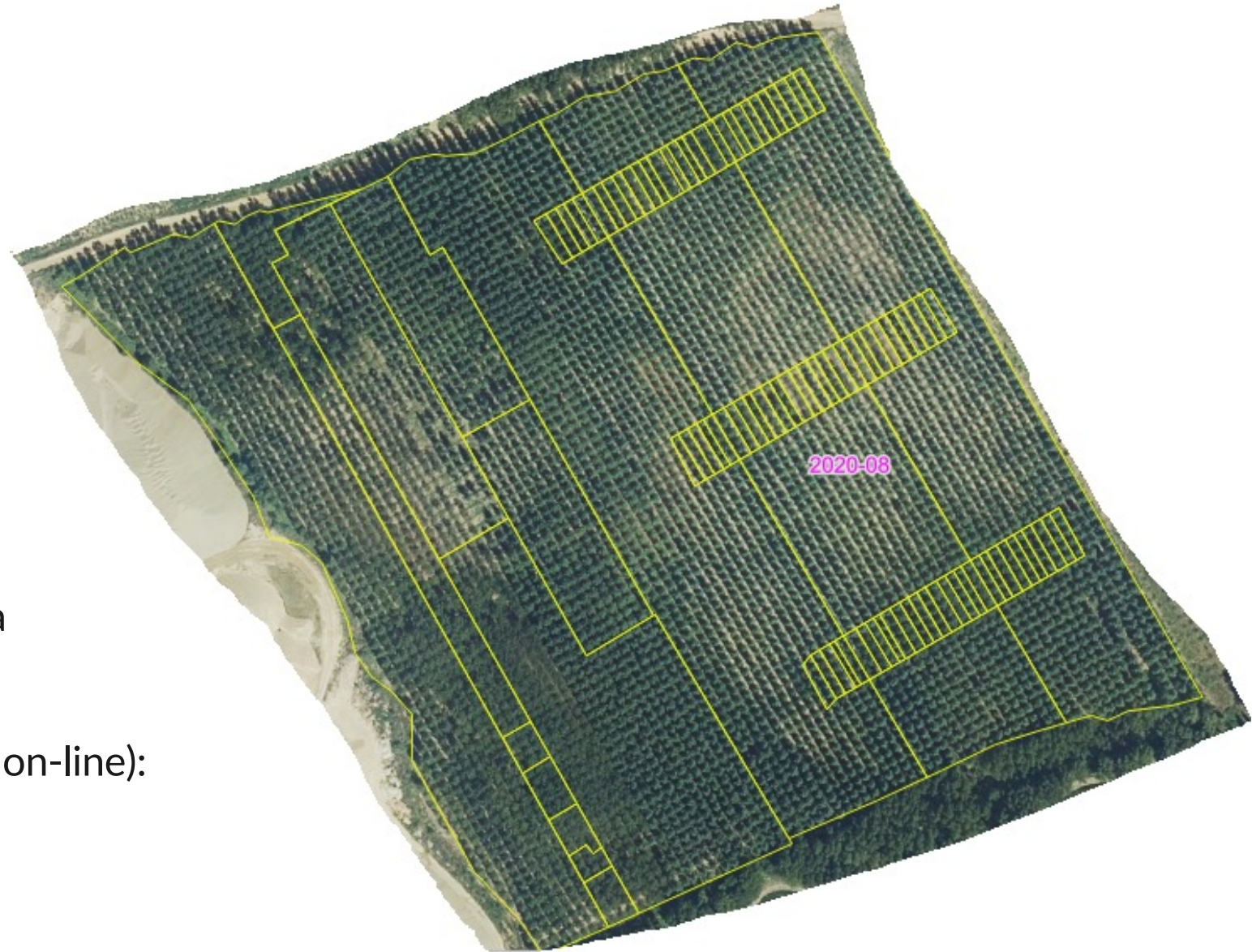
PRODUCED BY

Calibrado y testado en:

2 parcelas
20 ha, + 20 clones
5000 pies
Estrés hídrico años previos
2021-2022

Series temporales Sentinel 2 L2A
Valores umbral GNDVI
BFASTMonitor: detección automática

Integrado en ChopoAlert (plataforma on-line):
GEE + Python





Language: English

Poplar Alert visualizer

Start Date: 06/06/2020

End Date: 08/10/2020

To obtain the health status of your plantation:

1. Draw a polygon
2. Press: 'Health status of plantation'

✓ Health Status

To obtain the changes of a point in your plantation:

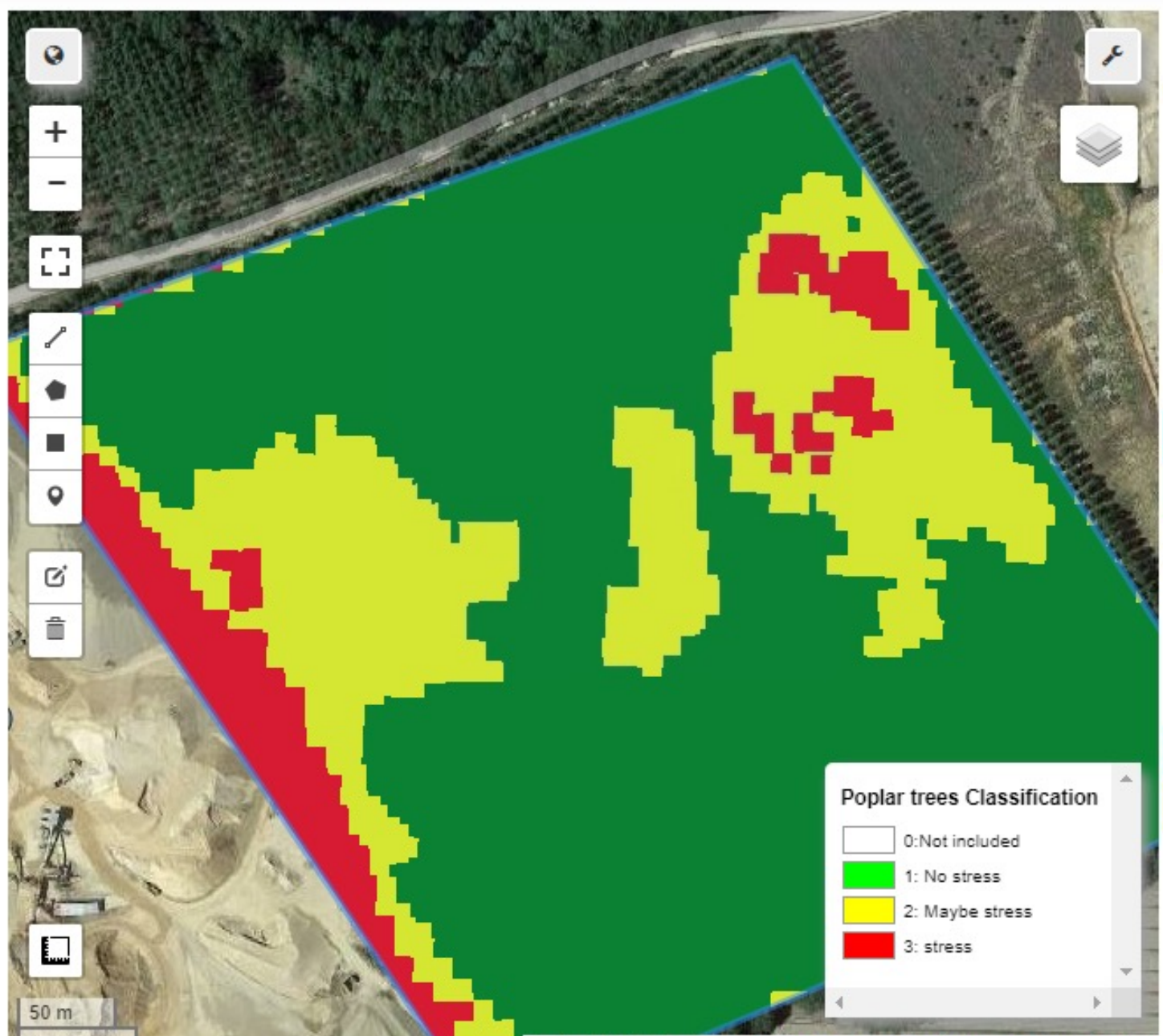
1. Press: 'Health Changes of a point in your plantation'

✓ Health Changes

2. Click on the toolbar then the plotting button with the mouse
3. Choose the time series Layer and click on the point of your interest

✓ Reset

ChopoAlert v2.0 (2022)



Language: English

Poplar Alert visualizer

Start Date: 06/06/2021

End Date: 31/08/2021

To obtain the health status of your plantation:

1. Draw a polygon
2. Press: 'Health status of plantation'

Health Status

Get_vector_data

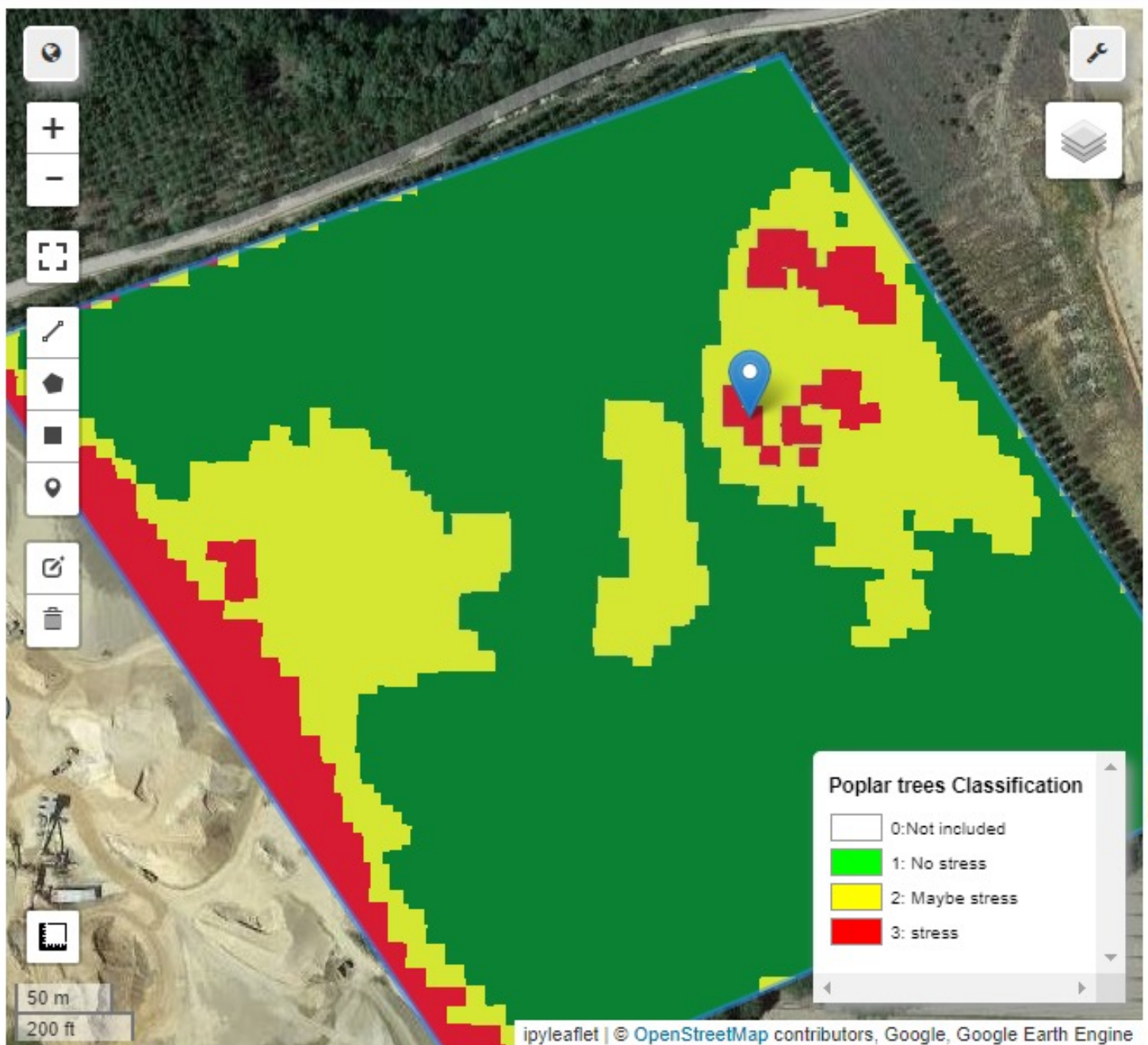
Get_raster_data

To obtain the changes of a point in your plantation:

1. choose a point of interest in the map
2. Press: 'Health Changes of a point in your plantation'

Health Changes

Reset



Language: English

Poplar Alert visualizer

Start Date: 06/06/2021

End Date: 31/08/2021

To obtain the health status of your plantation:

1. Draw a polygon
2. Press: 'Health status of plantation'

✓ Health Status

↓ Get_vector_data

↓ Get_raster_data

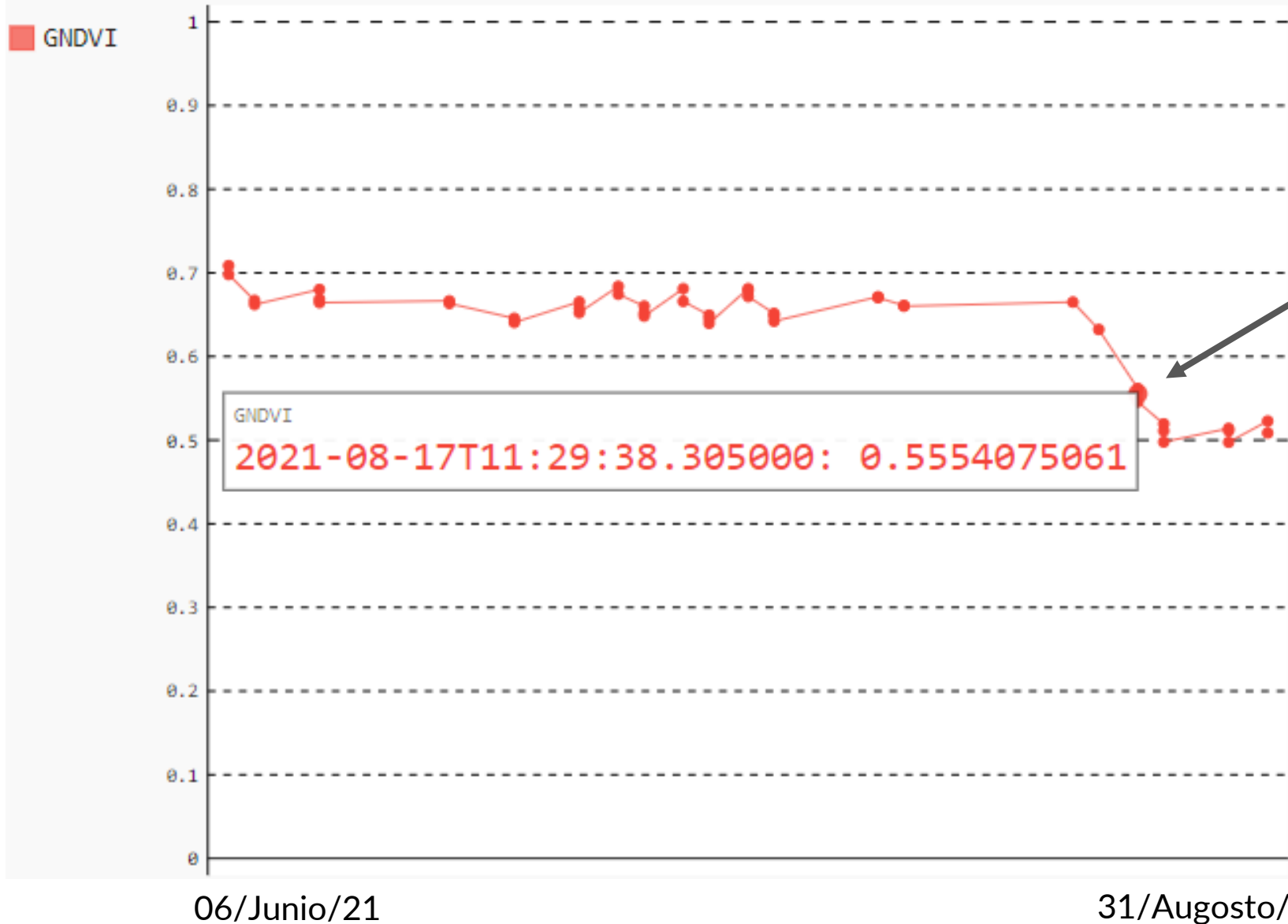
To obtain the changes of a point in your plantation:

1. choose a point of interest in the map
2. Press: 'Health Changes of a point in your plantation'

✓ Health Changes

↻ Reset

Gndvi values for a period of time



Problema detectado el 17 de agosto de 2021

Es una zona sin árboles?

Ha ocurrido otros años?





ALERTA TEMPRANA





PROD. NO.
SCENE

TAKE
2

TIME

DATE

DIRECTOR

PRODUCED BY

Desarrollar un sistema **near-real-time** (tiempo casi real) para el seguimiento de estrés hídrico en plantaciones clonales de chopo



Determinar la idoneidad de la **densidad de flujo de savia** medida por el sensor ecofisiológico como un indicador del daño por estrés hídrico

Material



2022: 5 TT+ en 5 clones (Raspalje, Beaupre, I-214, USA 184/411)

Desde 23 marzo 2022 al 1 de marzo 2023

2023: 12 TT+ en Raspalje, Beaupre, I-214, AF8

Crecimiento en diámetro normal (semanal/árbol)

Estado sanitario evaluado semanalmente (hoja, corteza, tronco) (a escala de árbol)



Pies con acceso a la capa freática y sin estrés hídrico



Pies afectados por estrés hídrico
(pérdida de hojas y sin crecimiento en diámetro)



Tree talkers

Sensores ecofisiológicos

Tiempo casi real (1 h)

Densidad de flujo de savia

%Humedad en el tronco

Cantidad de luz

43 variables

Internet de las cosas

Internet of Things (IoT)

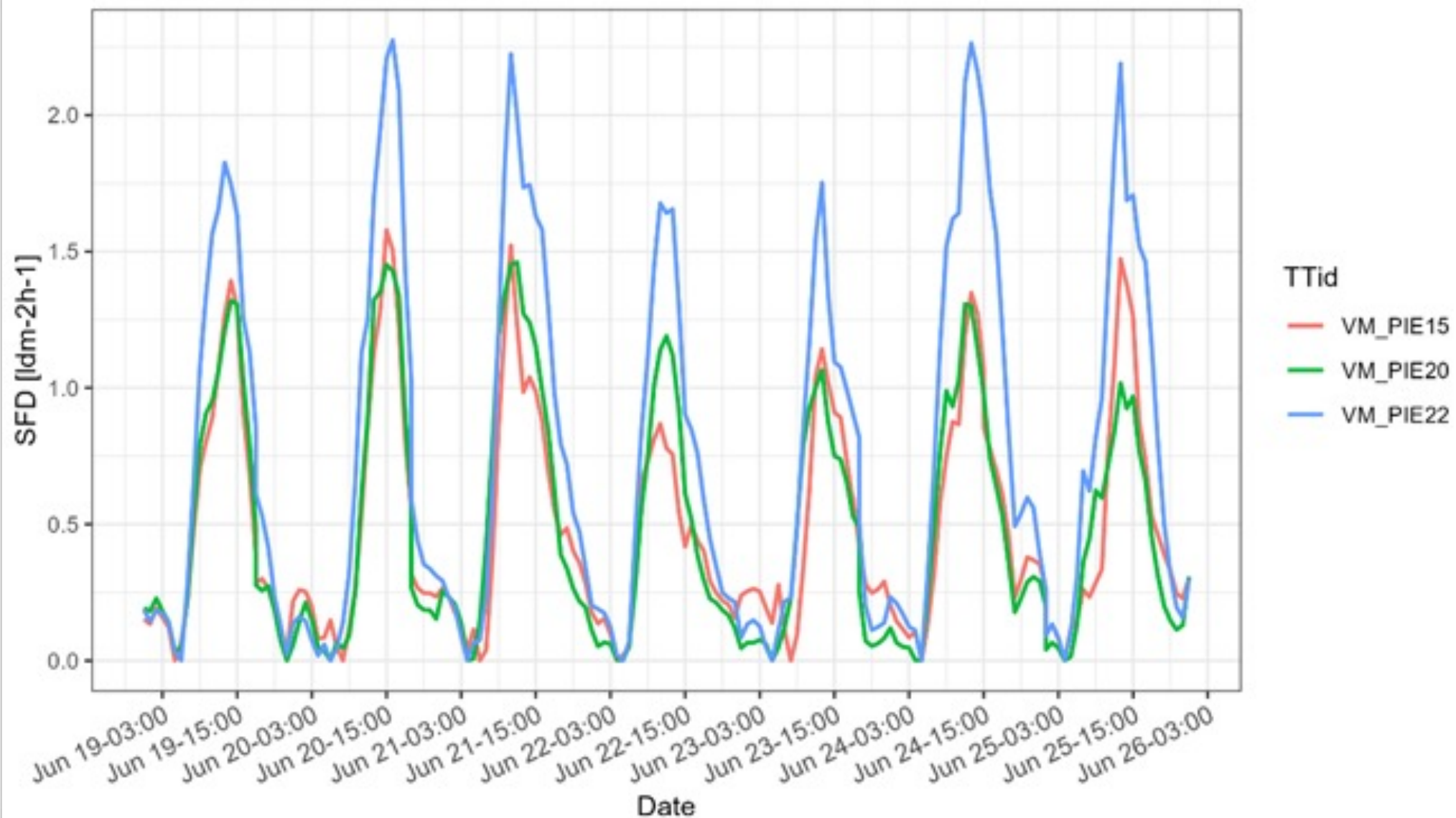
5 TT+ 3.3. (2022)

12 TT+ 3.3. (2023)

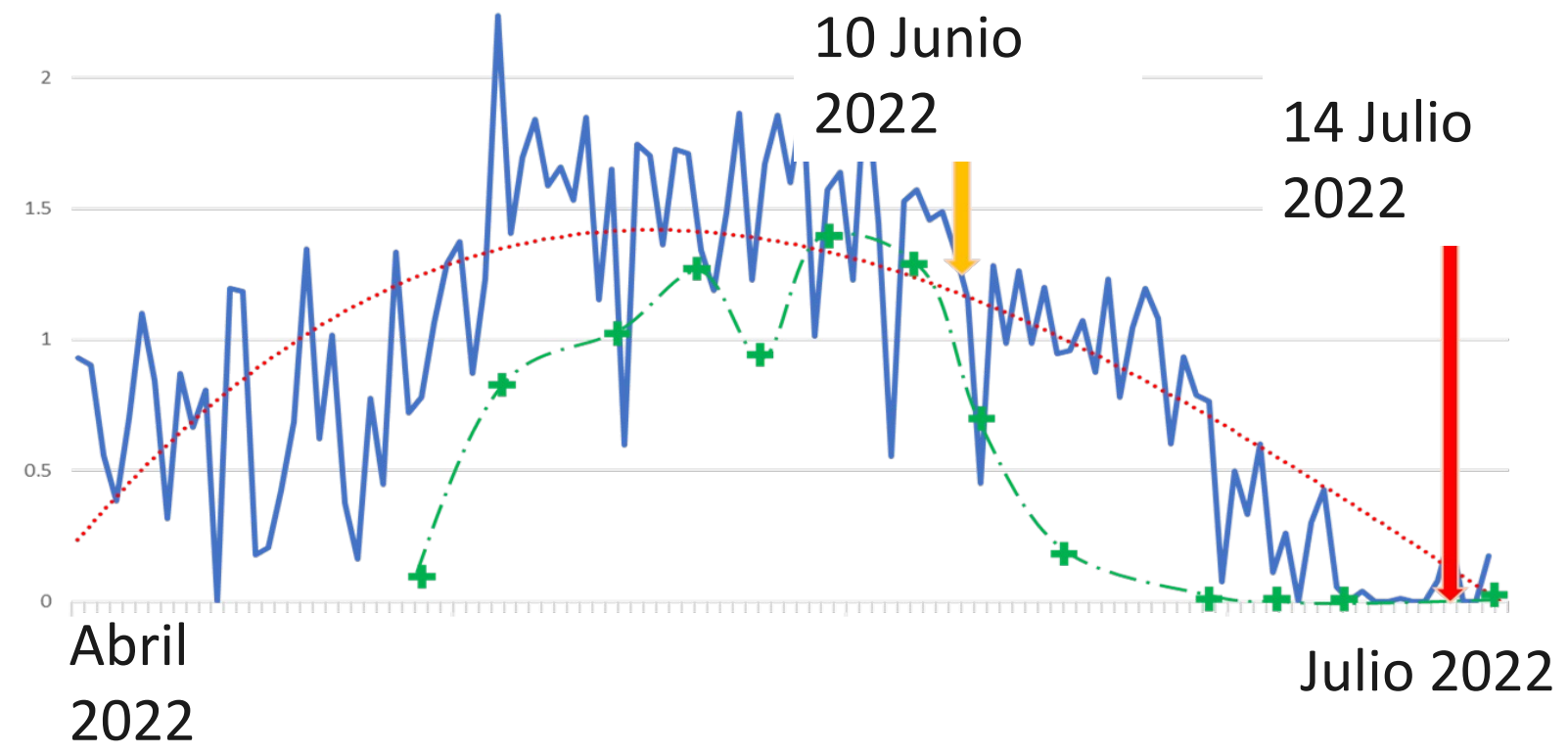


Sap Flux Density

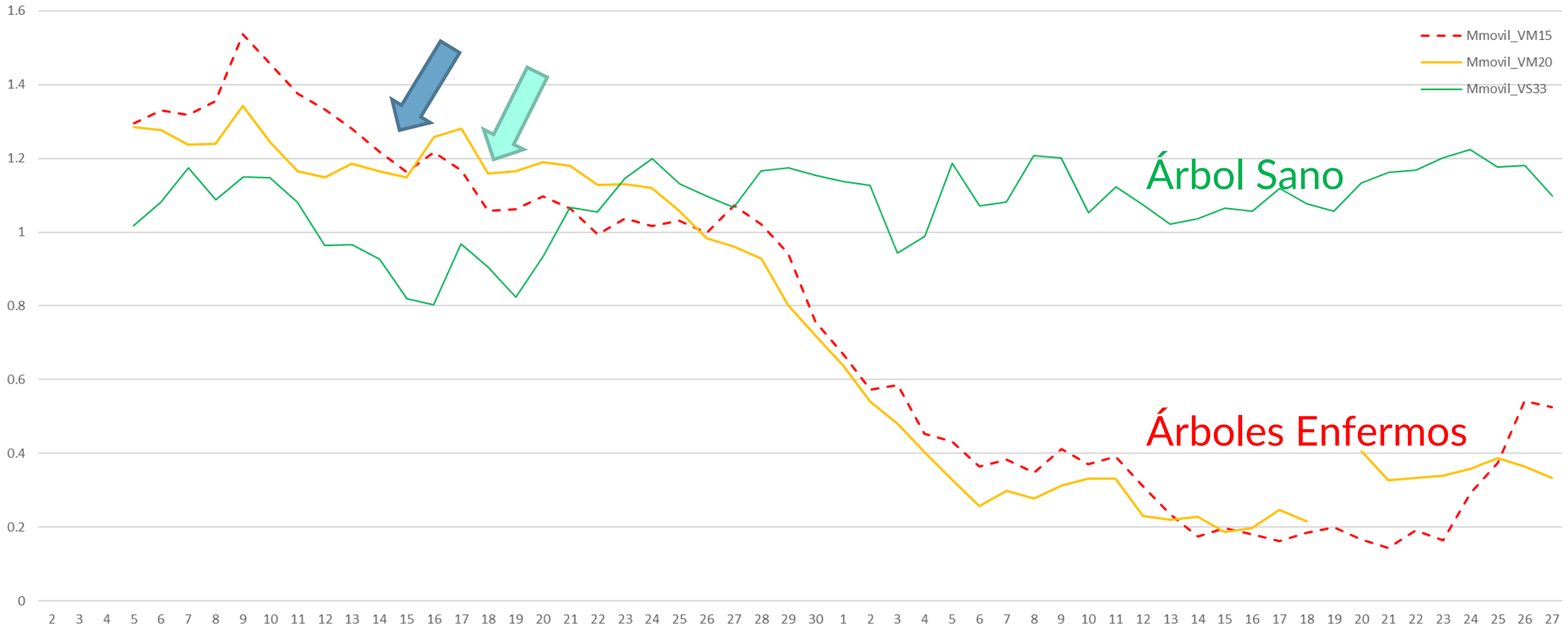
From: 2022-06-19 to 2022-06-25



— Flujo savia
- - - Crecimiento diámetro

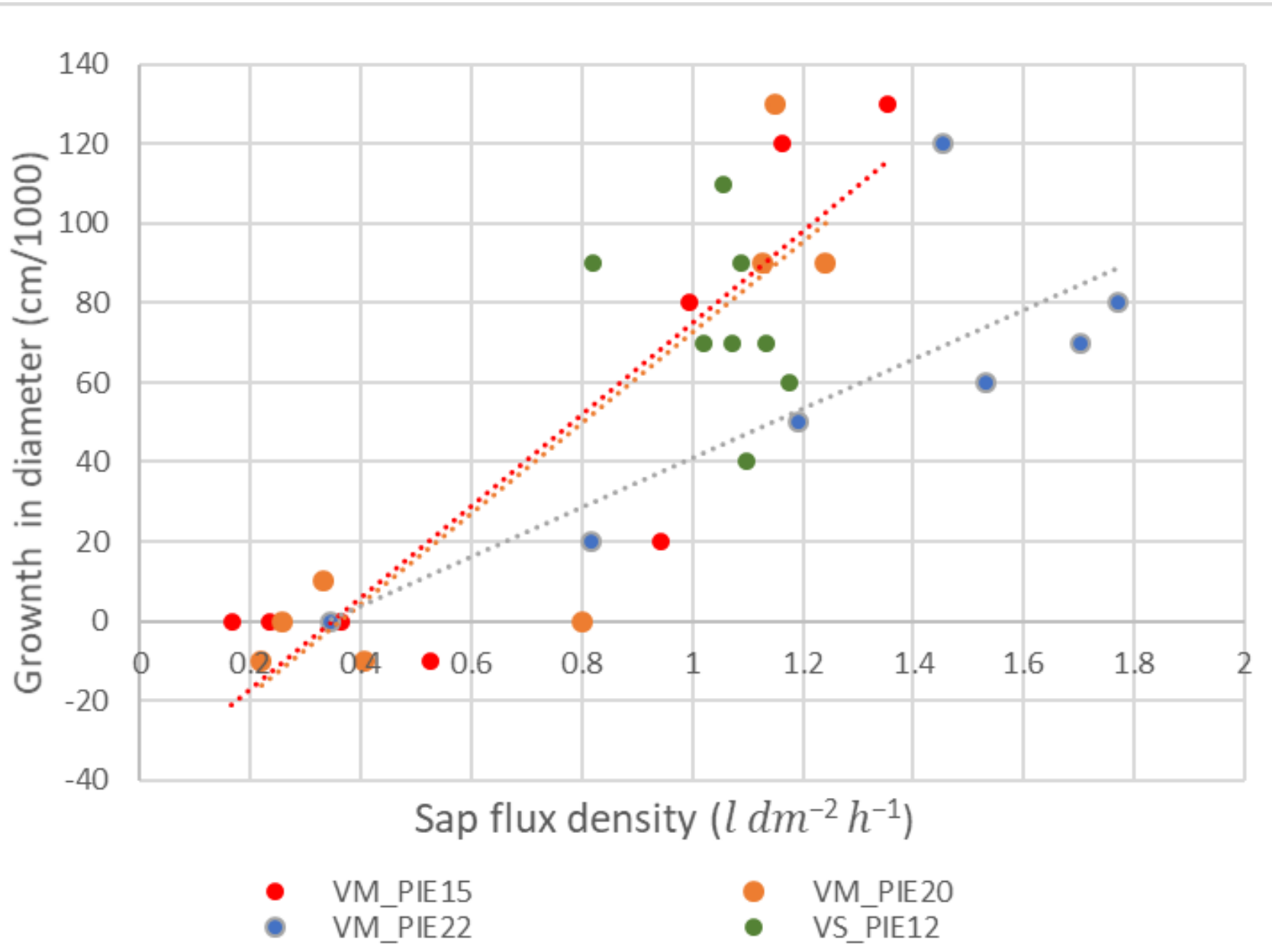


Flujo de savia (12:00-15:00)



Junio 2022

Julio 2022



¿Densidad de flujo de savia como indicador del daño por estrés hídrico?

Correlación de Pearson (95% c.l):
 0,81-0,89 (VM) ($p < 0,01$)
 -0,40 (VS) ($p = 0,30$)

Umbral de flujo de savia para alerta temprana por estrés hídrico: 0,7-0,8



¿Y qué hacemos con todo esto?

Generación automática de un PDF con alertas:

Flujo de savia < valor umbral
% humedad < valor umbral

¿Cuándo?
¿Dónde?



TreeTalkers Check ULE

Isabel Grisales

2022-09-04

1. Summary of TT Alerts

This information is showing the alerts coming from the TreeTalkers data. Note: The meaning of "YYYYww" is the year and week of the year from every week.

The number of battery issues are 4

Table 1: Issues related with batteries (n

TTid	timeStamp	battery
TV_TT95	2022-07-15 18:00:00	
VM_TT92	2022-07-20 17:00:00	
VM_TT93	2022-07-17 18:00:00	
VM_TT94	2022-07-19 19:00:00	

The number of sap flux density issues are 7

Table 2: Issues related with sap flux density (l

TTid	YYYYww	sapFluxDensity	timeS
TV_TT98	202212	0.0000	2022-0
VM_TT96	202212	0.0550	2022-0
VM_TT92	202227	0.6327	2022-0
VM_TT92	202228	0.7803	2022-0
TV_TT98	202229	0.7331	2022-0
VM_TT93	202229	0.7697	2022-0
VM_TT93	202230	0.8637	2022-0

The number of weekly radial growth issues are 52

Table 3: Issues related with the weekly radial gr

TTid	YYYYww	dendrometer	delt
TV_TT95	202216	0.05	
TV_TT95	202217	0.00	
TV_TT95	202218	0.00	
TV_TT95	202225	4.45	
TV_TT95	202226	4.46	
TV_TT95	202229	6.11	
TV_TT95	202230	6.11	

Table 4: Issues related with the tree angles (°)

TTid	timeStamp	TreeAngle
TV_TT95	2022-03-30 20:00:00	89
TV_TT98	1970-01-01 02:03:05	47
VM_TT92	1970-01-01 02:04:14	65
VM_TT93	2022-03-22 11:00:01	66
VM_TT94	2022-03-22 10:00:00	81
VM_TT96	2022-03-21 18:00:00	54

2. Summary of TTCloud Alerts

This information is showing the alerts coming from the TreeTalkers data. Note: Column "issue" reports how many and which sensors are affected.

The number of TTCloud issues are 24

Table 5: Issues related with TTClouds

tipology	issue	cloudId	timeStamp	Location.x
sensorSignal	1;3	C0210043	2022-09-03 00:00:00	VM
sensorSignal	1;3	C0210043	2022-09-03 01:00:00	VM
sensorSignal	1;3	C0210043	2022-09-03 02:00:00	VM
sensorSignal	1;3	C0210043	2022-09-03 03:00:00	VM
sensorSignal	1;3	C0210043	2022-09-03 04:00:00	VM
sensorSignal	1;3	C0210043	2022-09-03 05:00:00	VM
sensorSignal	1;3	C0210043	2022-09-03 06:00:00	VM
sensorSignal	1;3	C0210043	2022-09-03 07:00:00	VM
sensorSignal	1;3	C0210043	2022-09-03 08:00:00	VM
sensorSignal	1;3	C0210043	2022-09-03 09:00:00	VM
sensorSignal	1;3	C0210043	2022-09-03 10:00:00	VM
sensorSignal	1;3	C0210043	2022-09-03 11:00:00	VM
sensorSignal	1;3	C0210043	2022-09-03 12:00:00	VM
sensorSignal	1;3	C0210043	2022-09-03 13:00:00	VM
sensorSignal	1;3	C0210043	2022-09-03 14:00:00	VM
sensorSignal	1;3	C0210043	2022-09-03 15:00:00	VM
sensorSignal	1;3	C0210043	2022-09-03 16:00:00	VM
sensorSignal	1;3	C0210043	2022-09-03 17:00:00	VM
sensorSignal	1;3	C0210043	2022-09-03 18:00:00	VM
sensorSignal	1;3	C0210043	2022-09-03 19:00:00	VM
sensorSignal	1;3	C0210043	2022-09-03 20:00:00	VM
sensorSignal	1;3	C0210043	2022-09-03 21:00:00	VM
sensorSignal	1;3	C0210043	2022-09-03 22:00:00	VM
sensorSignal	1;3	C0210043	2022-09-03 23:00:00	VM

Tree Talkers UniLeon

Select CSV File

Browse... 2023-07-26_TTBD.csv

Upload complete

Process your data

Date Range

2023-07-19 to 2023-07-26

Variable

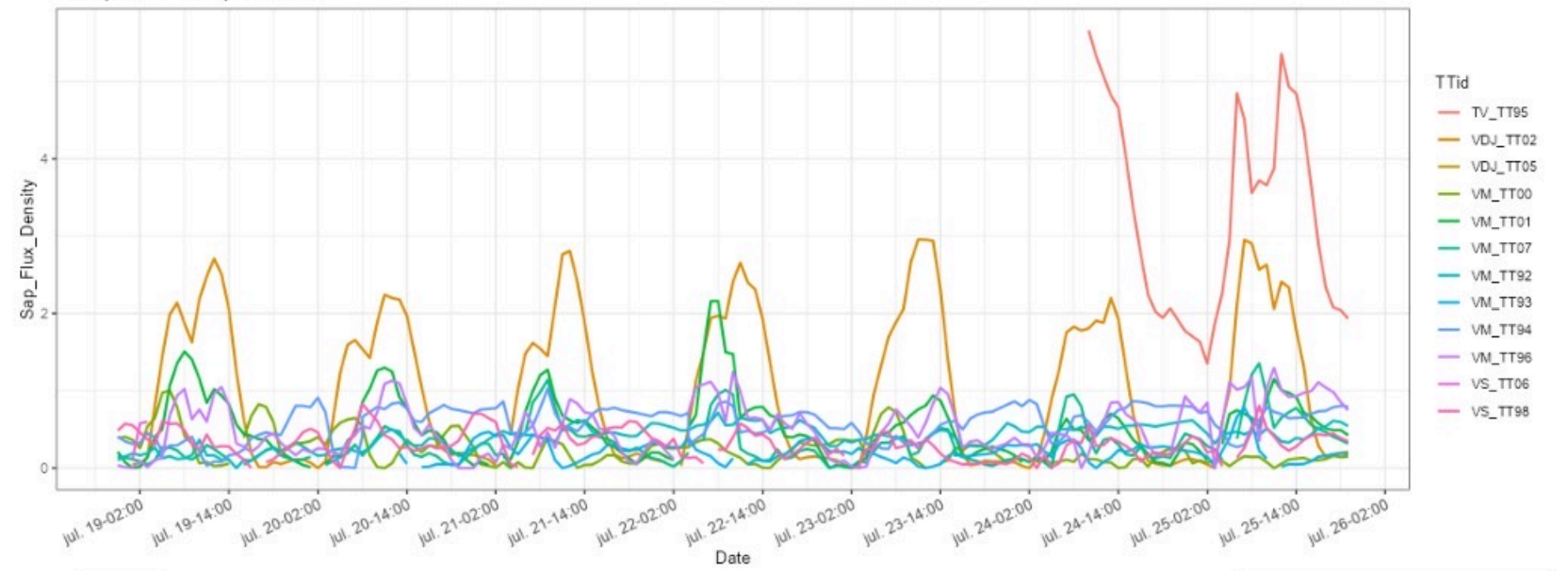
- Battery_Voltage
- Sap_Flux_Density
- Radial_Growth
- Relative_Stem_Saturation

Generate Plot

Select the location

- All TT+
- Villamañán
- Villasabariego
- Valencia de Don Juan
- Toral de los Vados

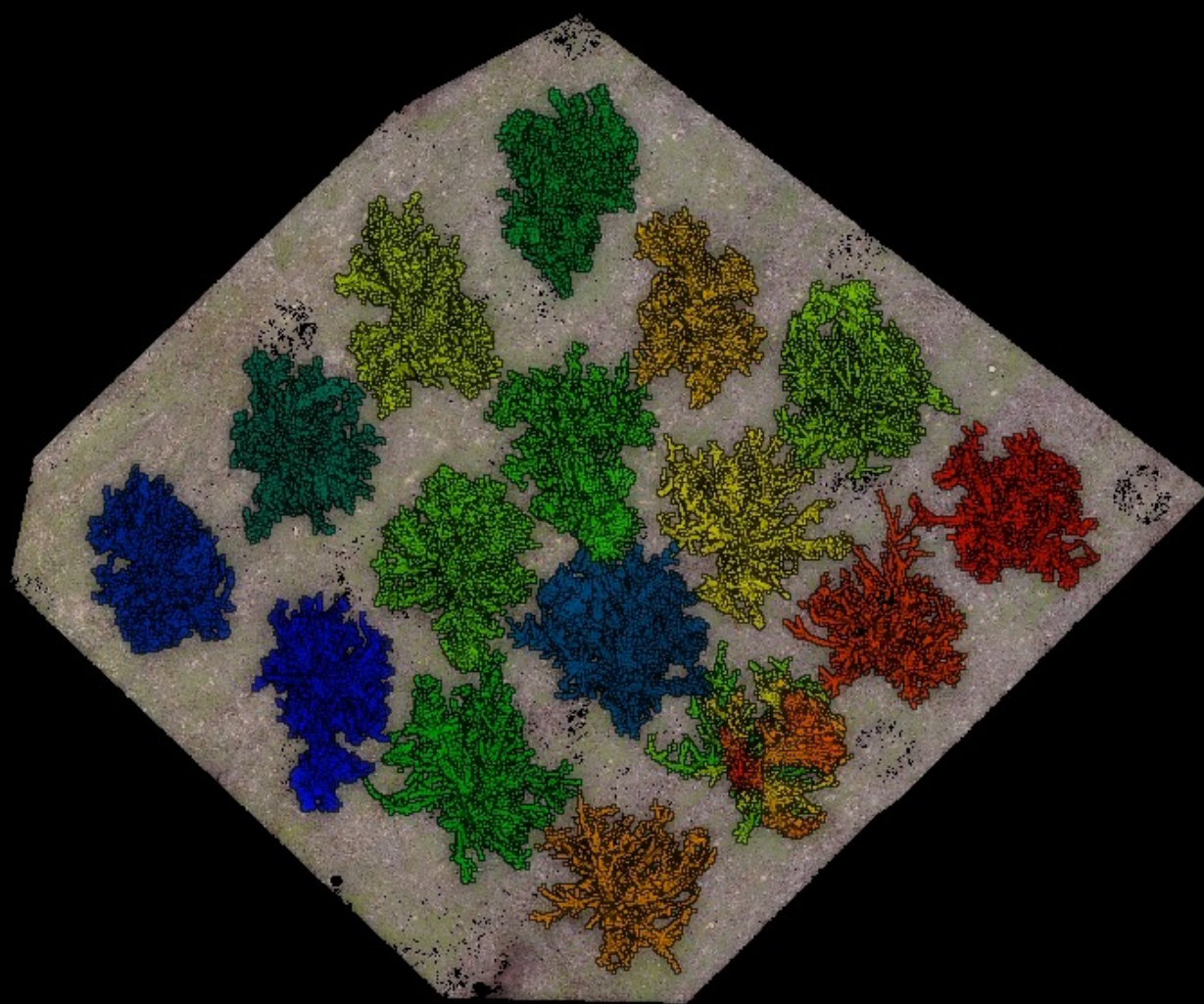
Tree Talkers UniLeon - Sap_Flux_Density
From: jul. 19-00:00 to jul. 26-00:00



Show 10 entries

Search:

	TTid	TTsn	timeStamp	Location	Air_Humidity	Air_Temperature	Battery_Voltage	Sap_Flux_Density
1681	VS_TT98	721B0398	2023-07-25T21:00:00Z	Villasabariego	63	17	4.02	0.346061579214178
1682	VS_TT98	721B0398	2023-07-					





Gemelo digital

Reconstrucción 3D con información continua de su estado (e.g. fisiológica)

Réplica que puede usarse para simulaciones



PROD. NO.
SCENE

TAKE
3

TIME

DATE

DIRECTOR

PRODUCED BY

La investigación forestal de la ULE se acopla al servicio científico de la UE

◆ El alcance de la labor desarrollada en Ponferrada se amplía con un trabajo copilotado desde Italia

MARÍA CARRO | PONFERRADA

Alexey Valero llegó al Bierzo en septiembre del año pasado para cursar el Máster de Geoinformática para la Gestión de los Recursos Naturales que se imparte en el Campus de Ponferrada de la Universidad de León (ULE) y a él se le encomendó un trabajo que se ha convertido en un nexo fundamental entre las investigaciones que lleva a cabo la Escuela de Ingeniería Agraria Forestal (Eiaf) para mejorar la gestión y el desarrollo económico de la popicultura y el Centro Común de Investigación (Joint Research Centre) de la Comisión Europea.

Graduado en Ingeniería Hidrográfica y Geodésica y especialista en el estudio de fenómenos extremos asociados al cambio climático, este ingeniero cubano (Ciego de Ávila) trabajaba en el Instituto de Meteorología de Cuba antes de embarcarse en una aventura académica que le ha unido al equipo de investigación de la Eiaf y al investigador Carlos Camino, que trabaja en la sede que el Joint Research Centre tiene en Ispra (Italia). 'Detección y seguimiento de daños bióticos y abióticos en plantaciones de *Populus spp* empleando modelos de transferencia radiativa, imágenes Sentinel y PlanetScope' es el tema del proyecto que desarrolla, «el primero donde se aplican modelos de transferencia radiativa y sensores remotos como herramientas para detectar el estrés en plantaciones de chopos», explica.

Que uno de los miembros del JRC de la Comisión Europea tutorice su Trabajo de Fin de Máster (TFM), de la mano de la profesora e investigadora del Campus de Ponferrada Flor Álvarez Taboada, acerca la labor en el Campus de Ponferrada a la Universidad de León al organismo encargado de proporcionar asesoramiento científico y técnico a la Unión Europea. «El proyecto establece un convenio de investigación entre la Eiaf y el JRC y abre la puerta a que otros estados miembros apliquen los resultados», subrayó Alexey Valero. «Es una oportunidad más para aumentar el radio de acción del trabajo que se desarrolla en la Escuela de Ingeniería Agraria y Forestal respecto a la popicultura», añadió.

LOS OBJETIVOS

Los daños bióticos (producidos por seres vivos) y abióticos (debidos a factores ambientales) en plantaciones de chopos provocan una disminución de su crecimiento, impactando de mane-



El ingeniero cubano y estudiante del Máster de Geoinformática del Campus, Alexey Valero. L. DE LA MATA



Trabajo de campo en una plantación de chopos. D.

Popicultura

El trabajo perfila el uso de herramientas matemáticas para prevenir y atajar daños en las choperas

ra negativa no solo sobre el valor económico de las plantaciones, sino también en los servicios ecosistémicos que proveen los chopos. Por ello, resulta fundamental desarrollar un sistema que permita evaluar el grado de afección y actuar como sistema de alerta temprana y prevención para evitar su evolución o propa-

la propuesta del investigador del JRC en Italia aplica estas herramientas al análisis de las hojas y la estructura tridimensional de la vegetación de las choperas.

«Será posible detectar de manera oportuna afecciones por estrés biótico o abiótico en plantaciones de chopos. Además, si se logra enlazar estos resultados con los que ya se tienen de los trabajos realizados con los TreeTalkers (sensores telemétricos), se creará un sistema de seguimiento de daños sumamente robusto. Una de las principales ventajas a la hora de emplear modelos de transferencia radiativa es que los resultados se podrán extrapolar a otras regiones y a diferentes escalas, cosa que no se podría hacer con otras técnicas», subrayó Alexey Valero, antes de poner en valor el trabajo de investigación que desarrolla la Eiaf en materia de popicultura.

«En el campo de la Geoinformática, es sabido incluso desde Cuba que España es una referencia internacional. Conozco los del alto potencial y del trabajo que se lleva a cabo aquí. En ese contexto, la que realiza la Escuela de Ingeniería Agraria y Forestal del Campus de Ponferrada es un ejemplo no solo a nivel nacional o europeo, sino que los resultados se conocen también en Latinoamérica», destacó Alexey Valero.



ESCUELA DE INGENIERÍA AGRARIA Y FORESTAL

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

MÁSTER UNIVERSITARIO EN GEOINFORMÁTICA PARA LA GESTIÓN DE RECURSOS NATURALES

Detección y seguimiento de daños bióticos y abióticos en plantaciones de *Populus spp.* empleando modelos de transferencia radiativa, imágenes

Sentinel-2 y PlanetScope.

Detection and monitoring of biotic and abiotic damage in *Populus spp.* plantations using radiative transfer models, Sentinel-2 and PlanetScope images.

Estudiante:

Alexey Valero Jorge

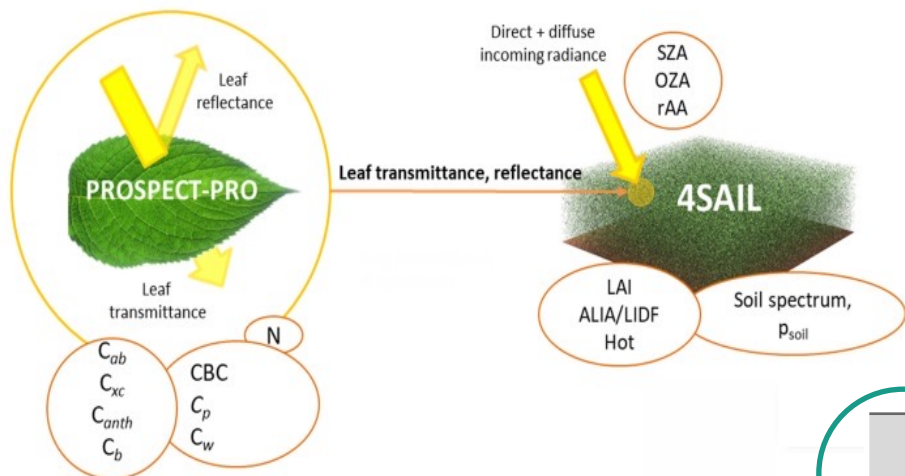
Tutores:

Flor Álvarez Taboada

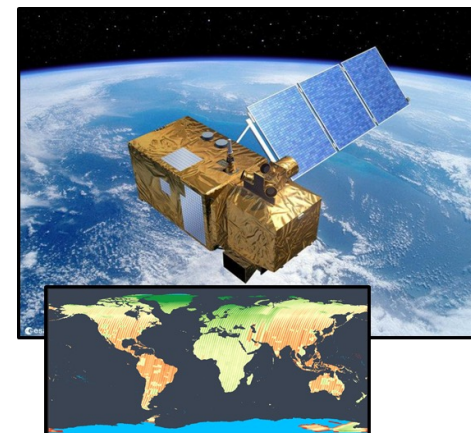
Carlos Camino González

Universidad de León – Campus de Ponferrada

Convocatoria de Septiembre, 2023



Modelo PROSAIL-PRO



S2A bandas	Longitud de onda central (nm)		Ancho de banda (nm)	Resolución espacial (m)
	S2A/S2B	S2A	S2B	S2A/S2B
B1 (Aerosol costero)		442,7	442,2	21 / 60
B2 (Azul)		492,4	492,1	66 / 10
B3 (Verde)		559,8	559,0	36 / 10
B4 (Rojo)		664,6	664,9	31 / 10
B5 (Borde rojo)		704,1	703,8	15 / 16 / 20
B6 (Borde rojo)		740,5	739,1	15 / 20
B7 (Borde rojo)		782,8	779,7	20/22 / 20
B8 (NIR)		832,8	832,9	106 / 10
B8a (NIR)		864,7	864,0	21 / 20
B9 (Vapor de agua)		945,1	943,2	20 / 60
B10 (Cirros)		1373,5	1376,9	31/30 / 60
B11 SWIR		1613,7	1610,4	91/94 / 20
B12 SWIR		2202,4	2185,7	175/185 / 20

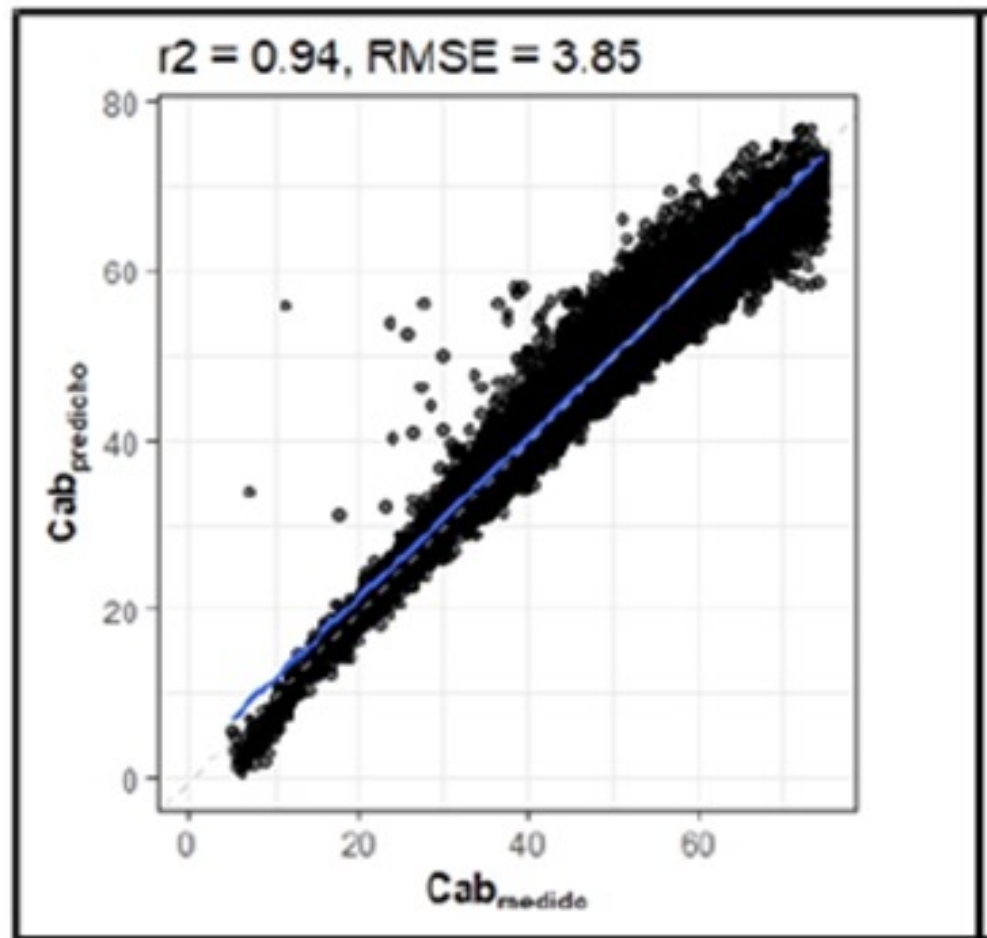
Sentinel-2

- ❖ Se emplearon 437 imágenes
- ❖ Nivel de procesamiento 2A
- ❖ Excluir bandas 1 y 10
- ❖ 63 índices espectrales



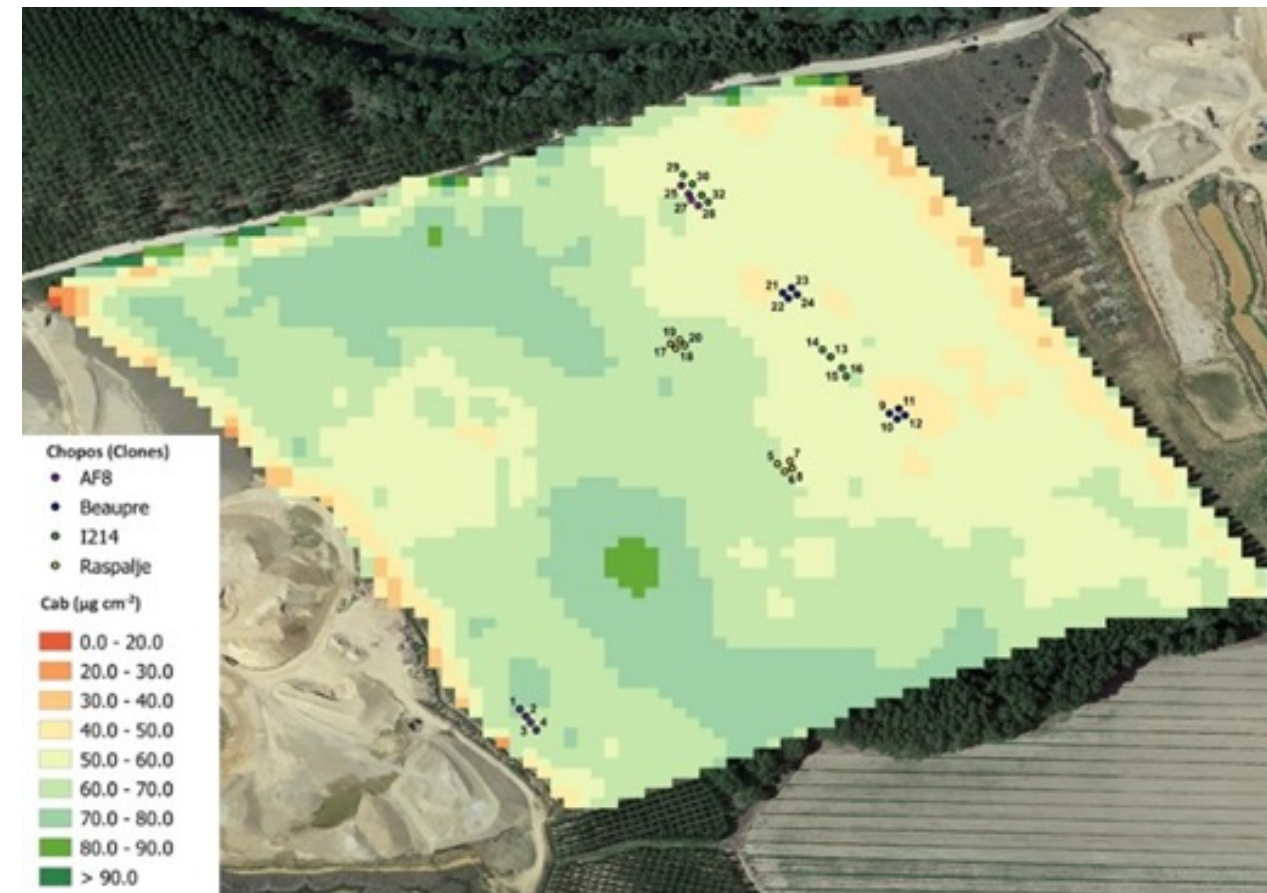
Mapa de clasificación de escena (S2)

- ❖ Eliminar los píxeles sin vegetación

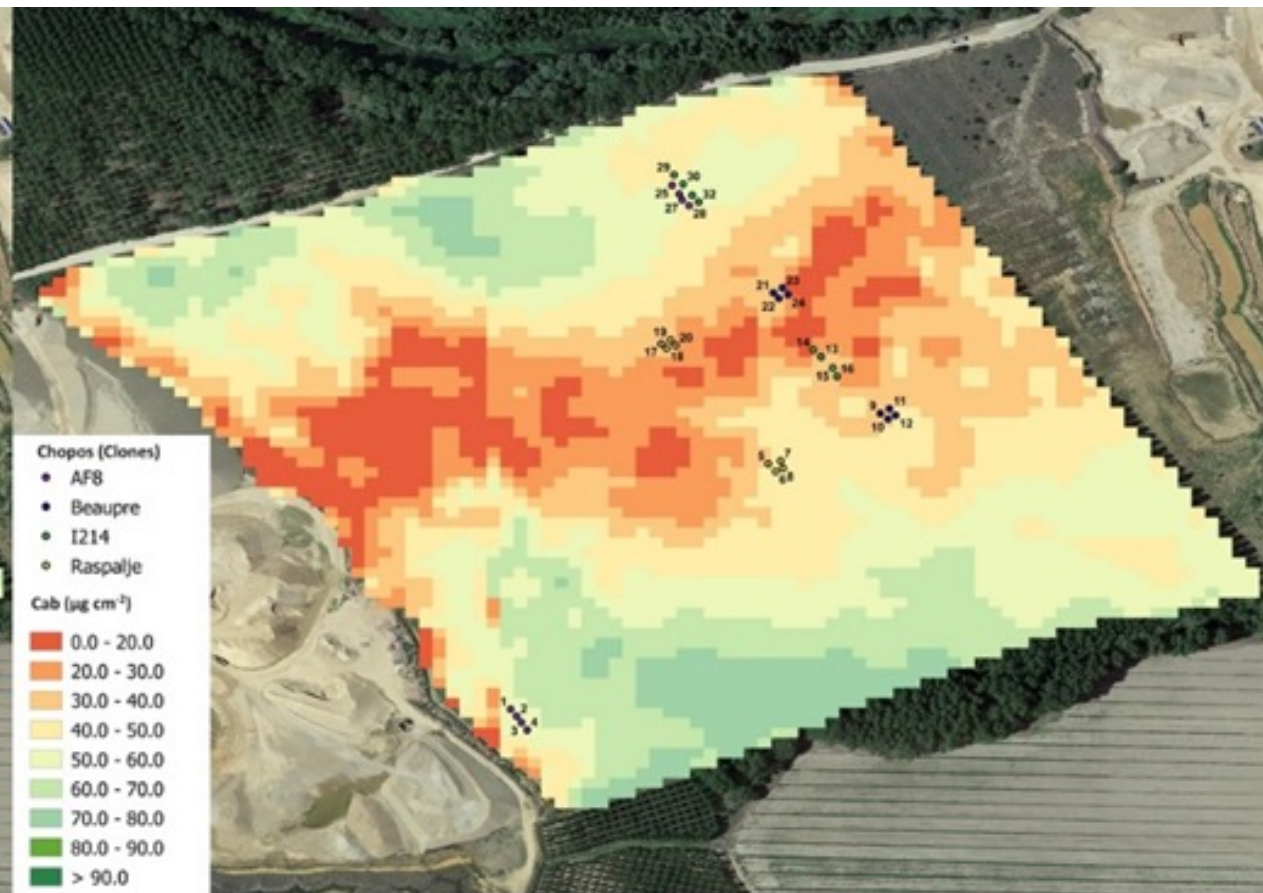


Rasgos/Algoritmos	r^2	RMSE	MAE
Cab ($\mu\text{g cm}^{-2}$)			
SVM	0,94	3,85	2,91
RF	0,71	5,02	3,68
NN	0,66	6,01	4,22
Car ($\mu\text{g cm}^{-2}$)			
SVM	0,91	1,01	0,78
RF	0,85	1,94	1,22
NN	0,79	2,54	2,02
Anth ($\mu\text{g cm}^{-2}$)			
SVM	0,95	0,48	0,36
RF	0,74	2,36	2,01
NN	0,86	1,02	0,92
EWT (mg cm^{-1})			
SVM	0,84	0,45	0,32
RF	0,54	2,01	1,92
NN	0,50	2,54	2,16
LAI ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$)			
SVM	0,97	0,14	0,11
RF	0,70	0,64	0,48
NN	0,54	0,88	0,74

Contenido en clorofila (PROSAIL-PRO + Sentinel 2)

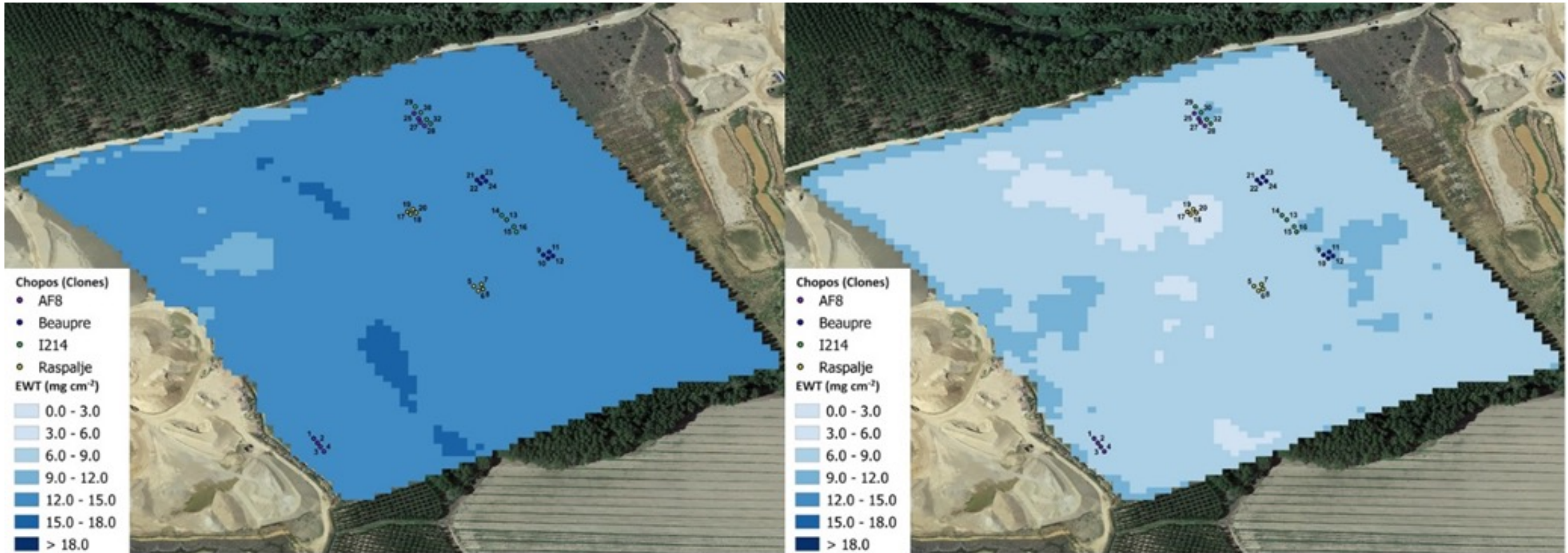


13 de junio de 2022



27 de agosto de 2022

Contenido en agua de las hojas (PROSAIL-PRO + Sentinel 2)



13 de junio de 2022

27 de agosto de 2022



PROD. NO.
SCENE

TAKE
4

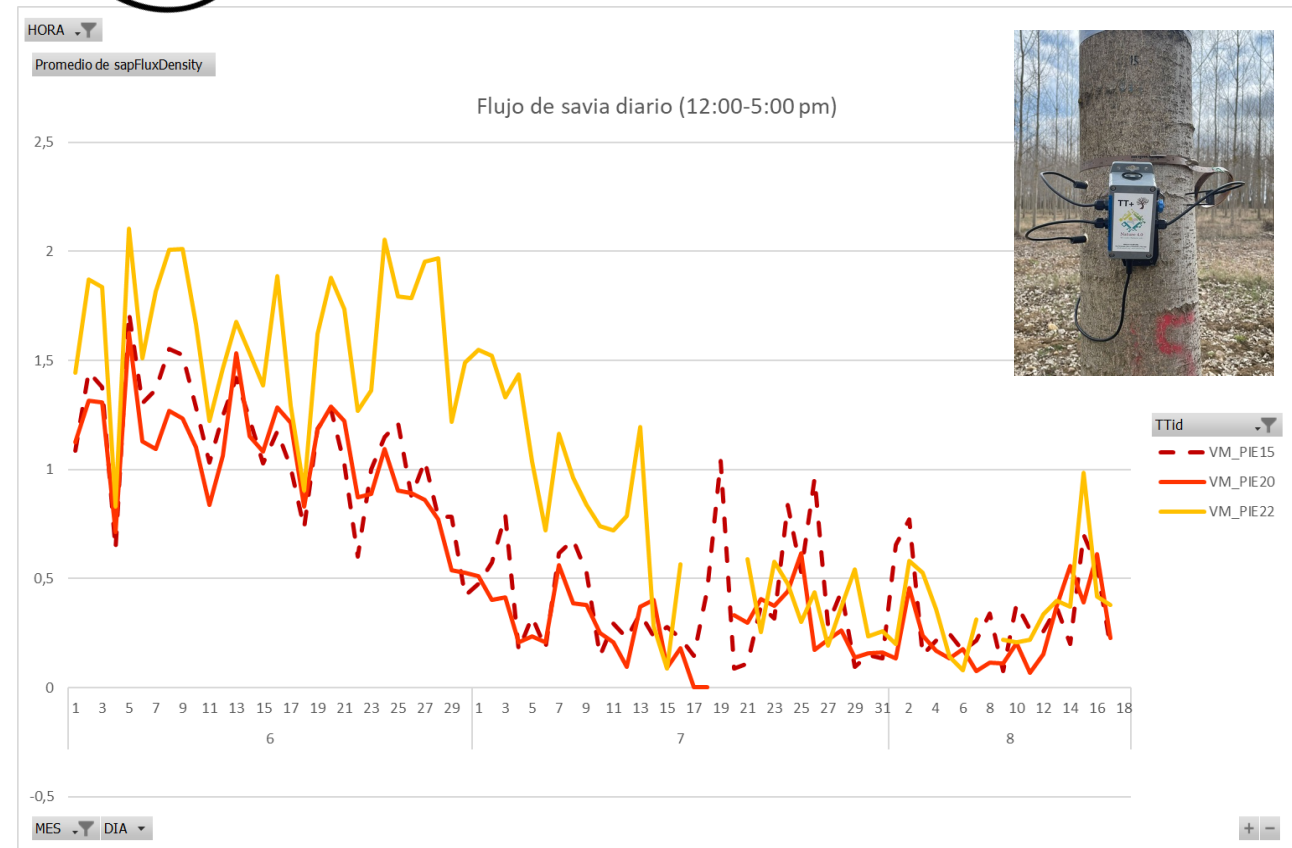
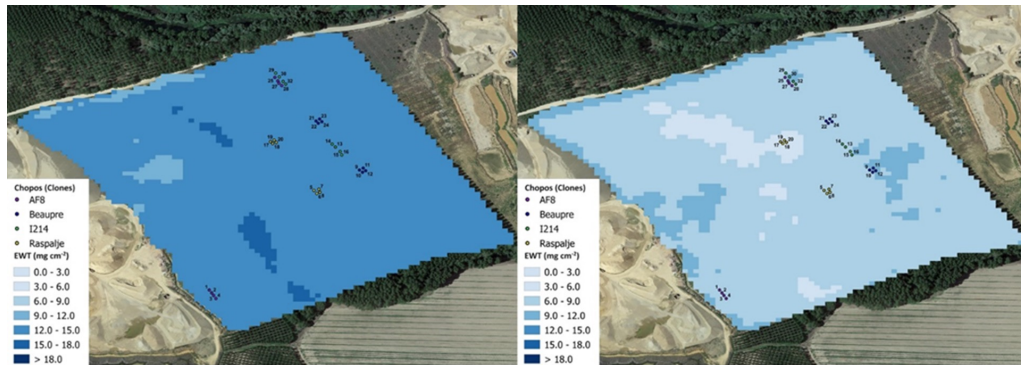
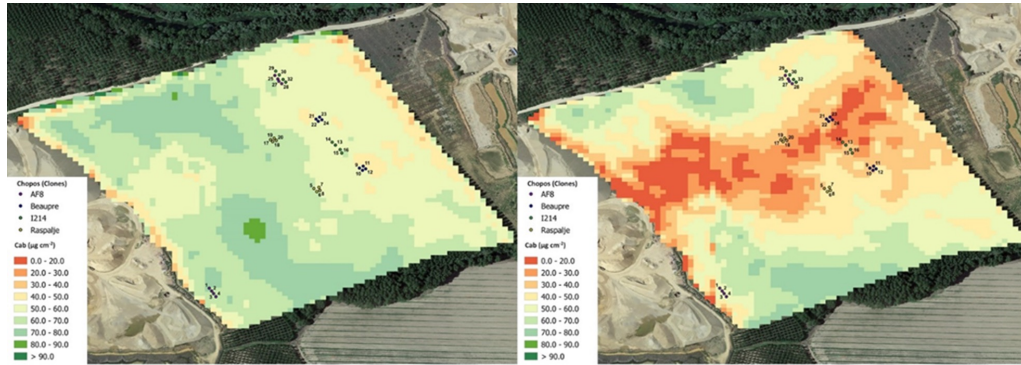
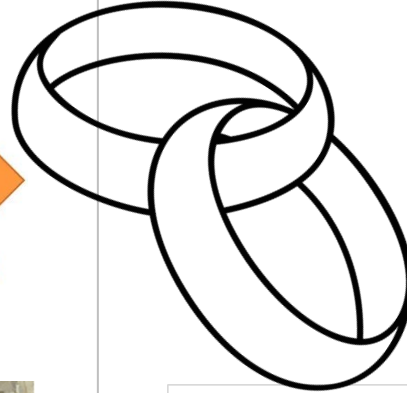
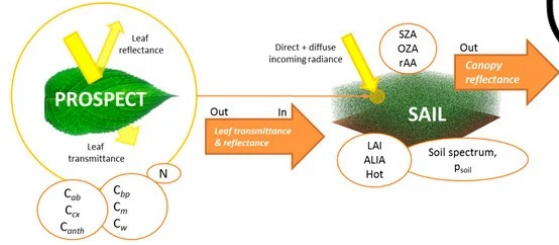
TIME

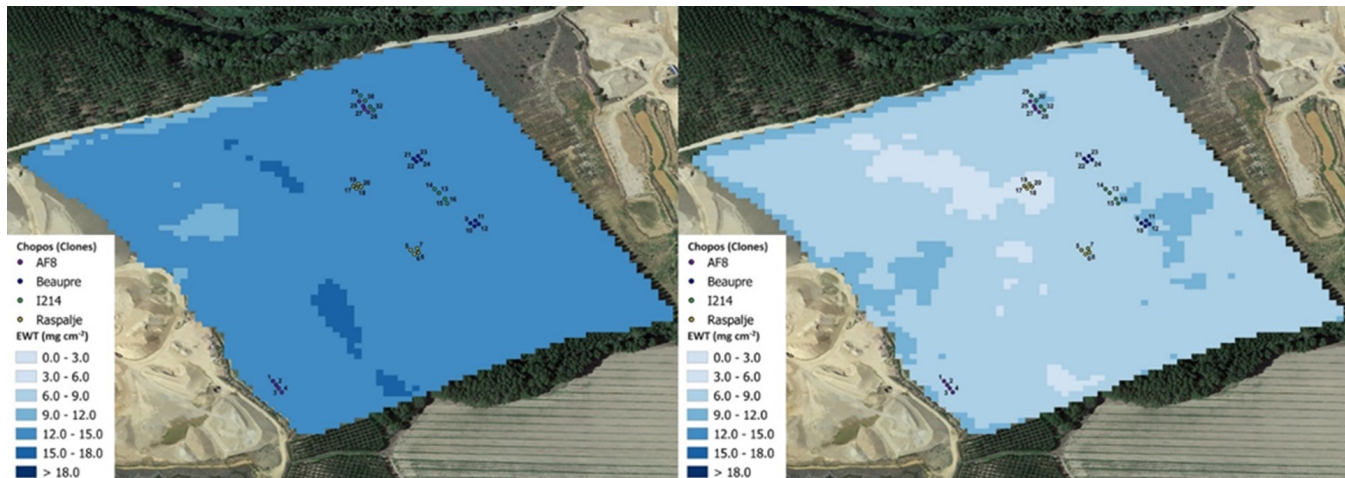
DATE

DIRECTOR

PRODUCED BY







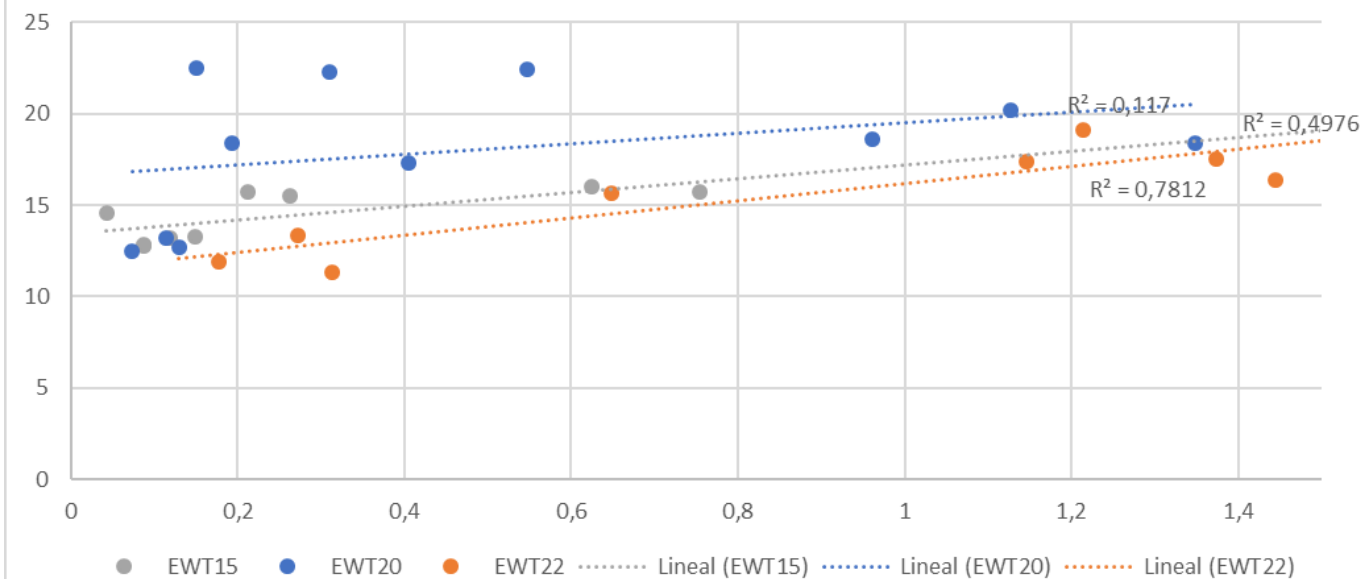
13 de junio de 2022

27 de agosto de 2022

Contenido de agua en hojas (PROSAIL-PRO + Sentinel 2) VS Flujo de savia

Para todos los pies juntos (n = 29)
Coeficiente de correlación $r = 0,45$

Flujo de Savia vs EWT



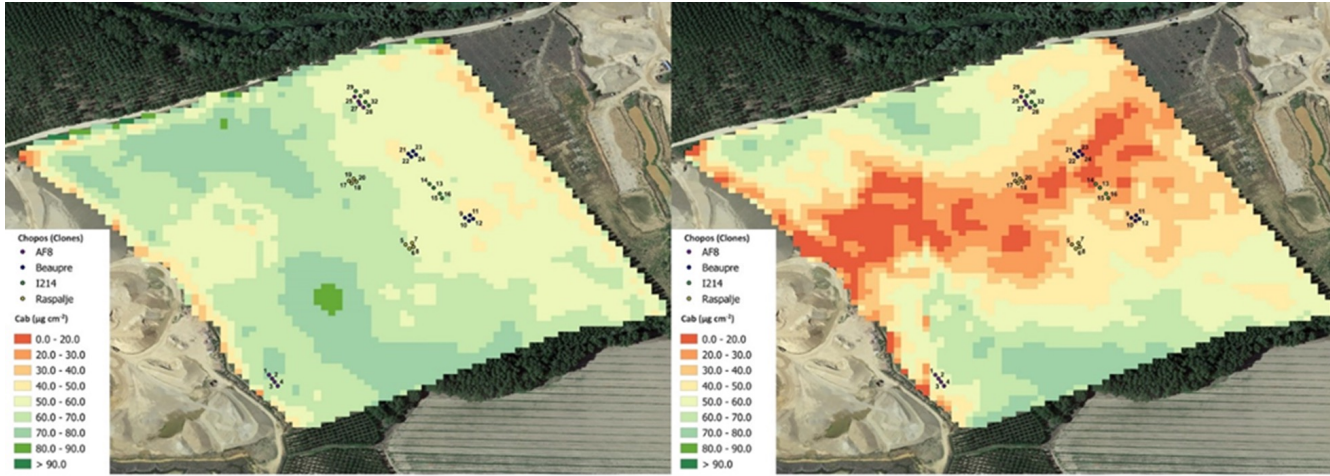
Separando cada uno de los pies:

Pie	VM_PIE15	VM_PIE20	VM_PIE22
r	0,71	0,34	0,88
n	9	11	9

Pie 15 (I-124), Pie 20 (Raspalje), Pie 22 (Beaupre)

Pies 15 y 20 más estrés hídrico que pie 22
(según medidas de crecimiento)

Pie 15 defoliación antes que pie 20

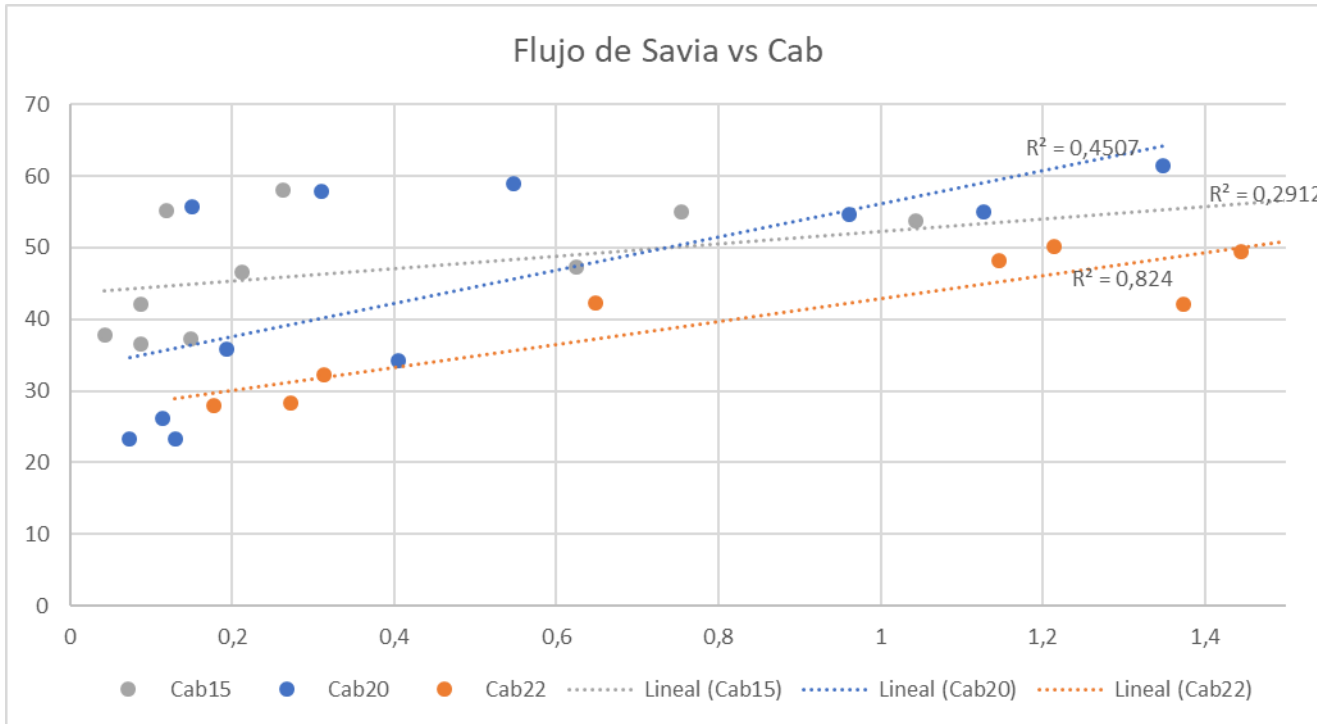


13 de junio de 2022

27 de agosto de 2022

Contenido en clorofila (PROSAIL-PRO + Sentinel 2) vs Flujo de savia

Para todos los pies juntos (n = 31)
Coeficiente de correlación $r = 0,52$



Separando cada uno de los pies:

Pie	VM_PIE15	VM_PIE20	VM_PIE22
r	0,54	0,67	0,91
n	11	11	9




Pie 15 (I-124), Pie 20 (Raspalje), Pie 22 (Beaupre)

Pies 15 y 20 más estrés hídrico que pie 22
(según medidas de crecimiento)

Pie 15 defoliación antes que pie 20



Mensajes para llevarse a casa...

-  A falta de ampliar la muestra con datos de 2023 (10 Tree Talkers durante junio, julio, agosto), parece posible establecer una relación entre el flujo de savia medido a escala de árbol cada hora, con las variables ecofisiológicas contenido de agua (EWT) y contenido de Clorofila (Cab) obtenidas de imágenes Sentinel-2 empleando el modelo de transferencia radiativa PROSAIL-PRO.
-  Existe una correspondencia entre estas variables (obtenidas a diferente escala), siendo más robusta (r^2) cuando se analizan pies de diferentes clones por separado. Parece que la correspondencia es mayor en aquellos pies con menos estrés hídrico.
-  Ambas aproximaciones ((i) imágenes de Sentinel 2 + modelos de transferencia radiativa y (ii) Tree Talkers) son complementarias y adecuadas para el seguimiento de estrés hídrico a diferentes escalas.

Sistema de alerta temprana de daños y estrés hídrico choperas empleando sensores ecofisiológicos, IoT y modelos de transferencia radiativa con imágenes Sentinel 2



Joaquín Garnica López, Sergio Fernández
Bosques y Ríos

Isabel Cristina Grisales Sánchez, Alexey Valero Jorge, Flor Álvarez Taboada
Escuela de Ing. Agraria y Forestal. Universidad de León

Carlos Álvarez Cuevas
GARNICA Valencia de Don Juan

Rodrigo Arthus Bacovich
IDAF SL

Carlos Luis Camino González
*European Commission
Joint Research Centre*

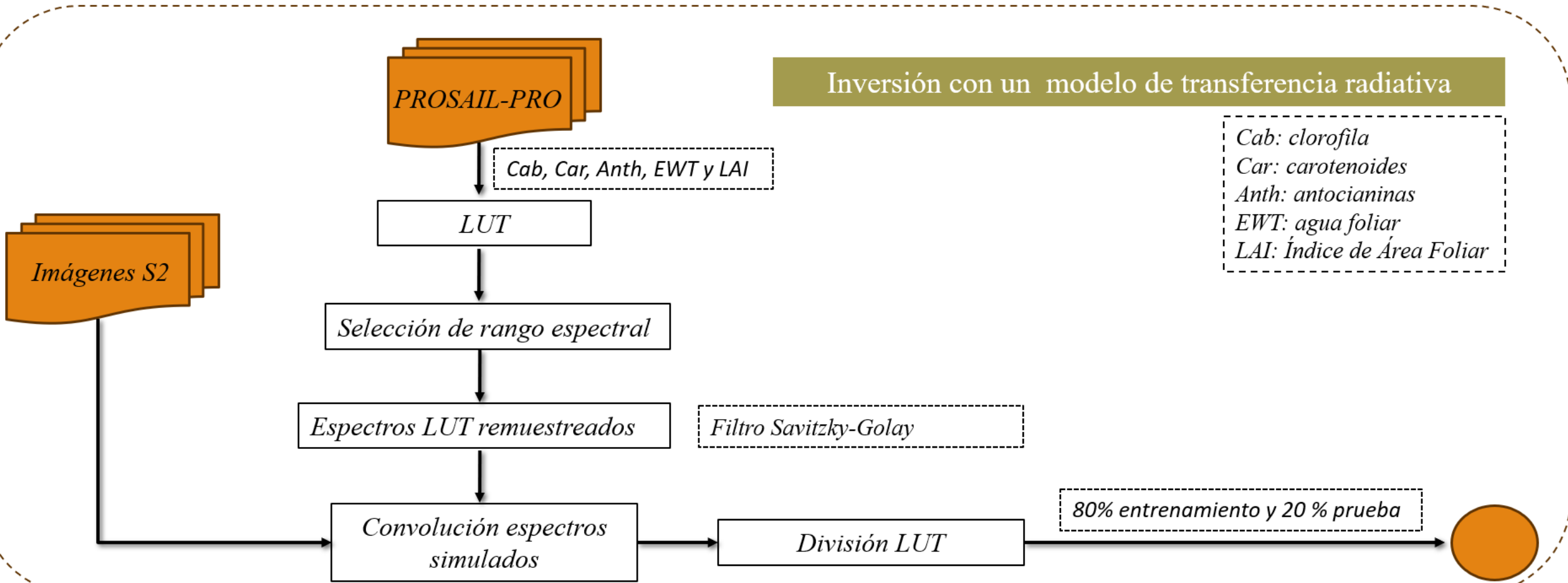


Internet de las Cosas en la gestión de los recursos naturales y la biodiversidad.

- 📍 Aula del Amogable (Navaleno, Soria)
- 📅 28-29 septiembre 2023
- 🚩 Más info: www.pfcyl.es



Recuperación de rasgos de plantas (I)



Recuperación de rasgos de plantas (II)

