

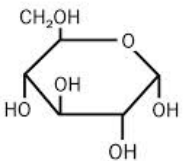


Uso de gemelos digitales para el control y optimización de la fermentación en bodegas

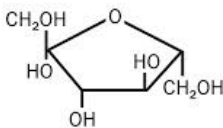
Fermentación vínica



Glucose



Fructose



Saccharomyces cerevisiae



CABERNET SAUVIGNON

GARNACHA

SYRAH

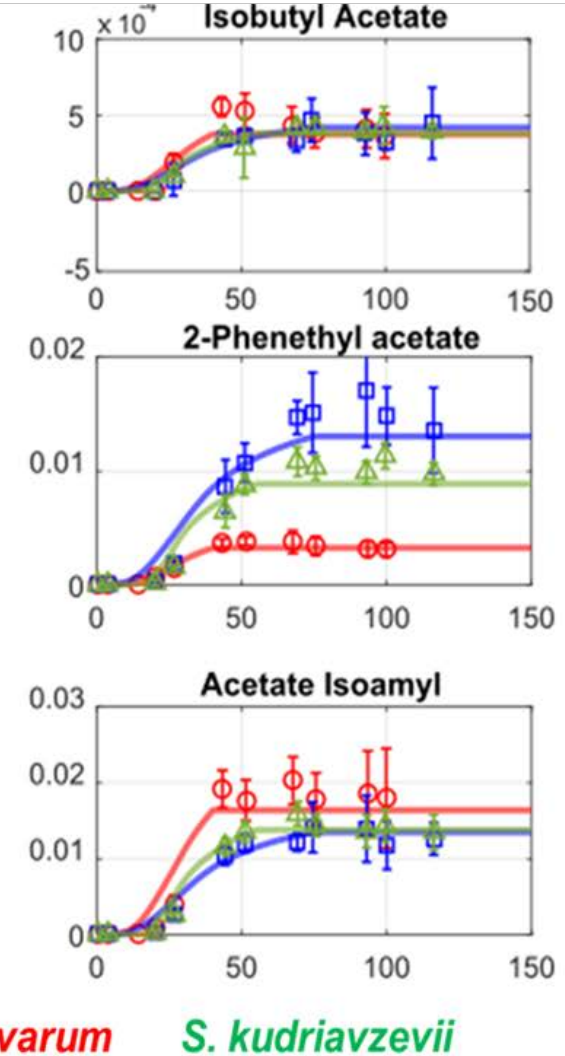
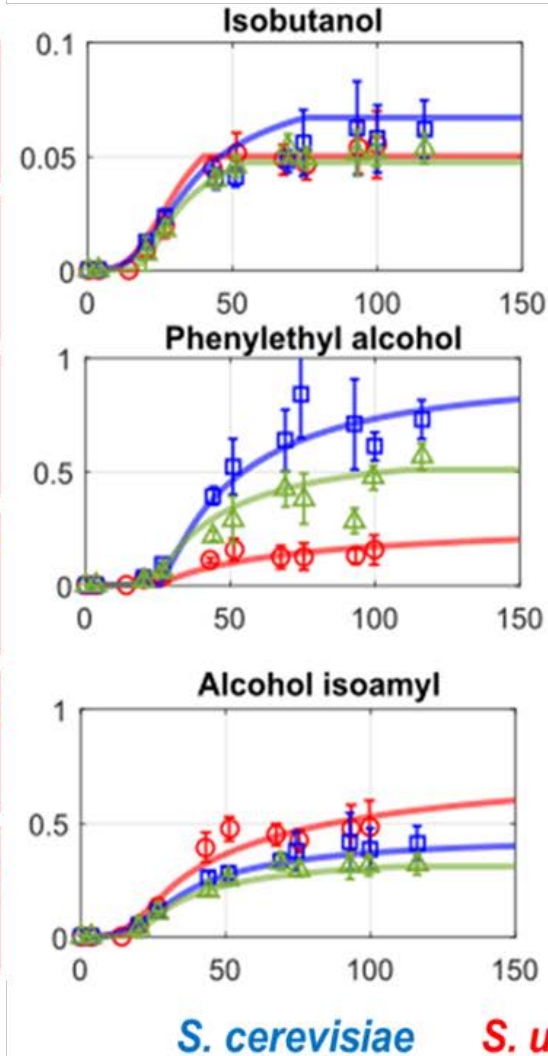
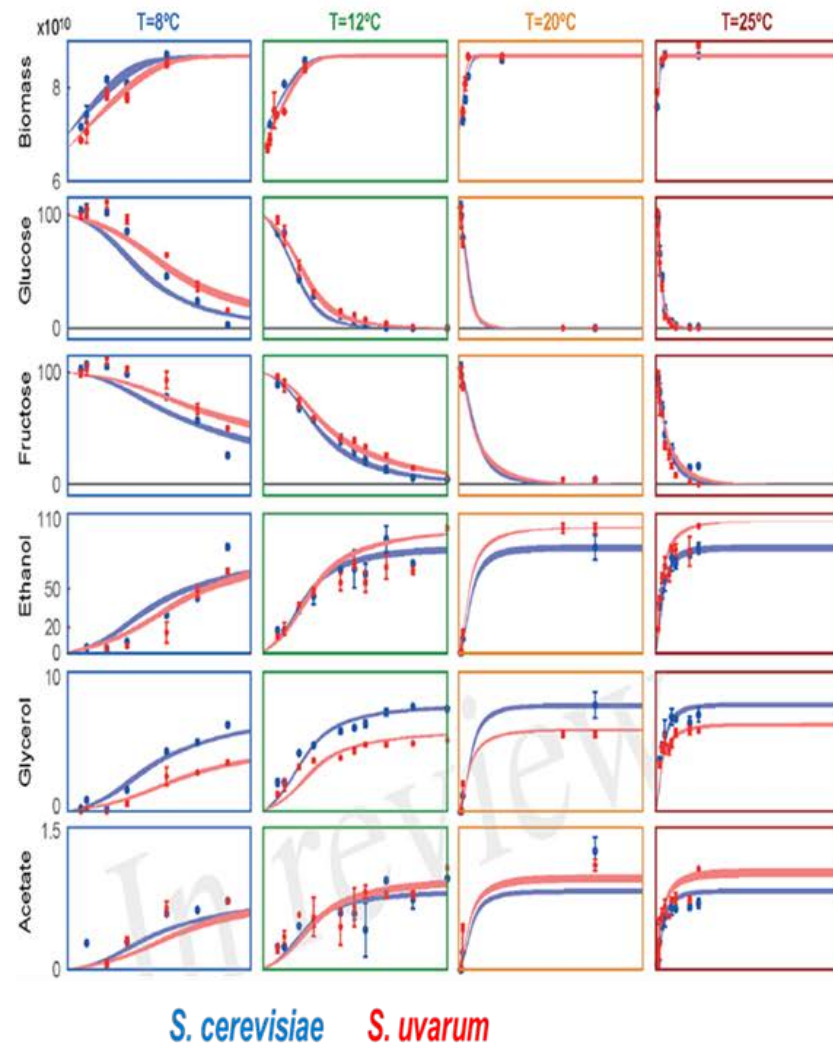
TEMPRANILLO



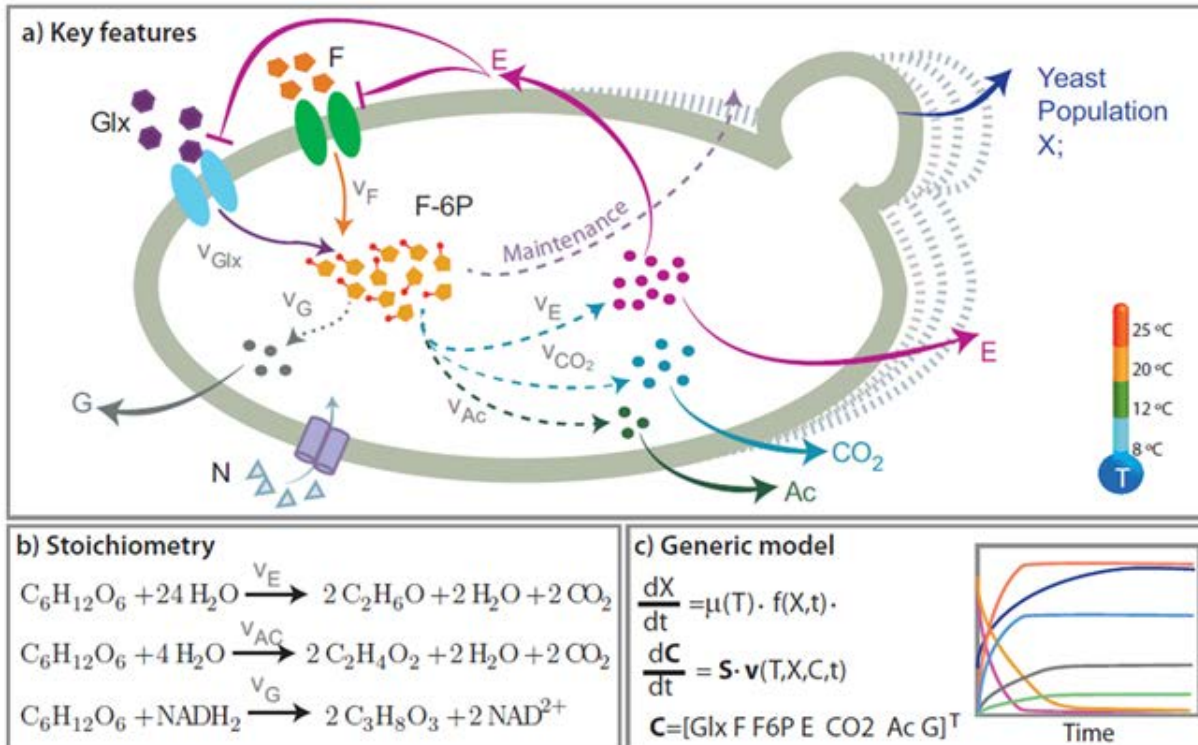
VERDEJO

Levadurómica
YEASTOMICS

Antecedentes: Flujos metabólicos durante la fermentación



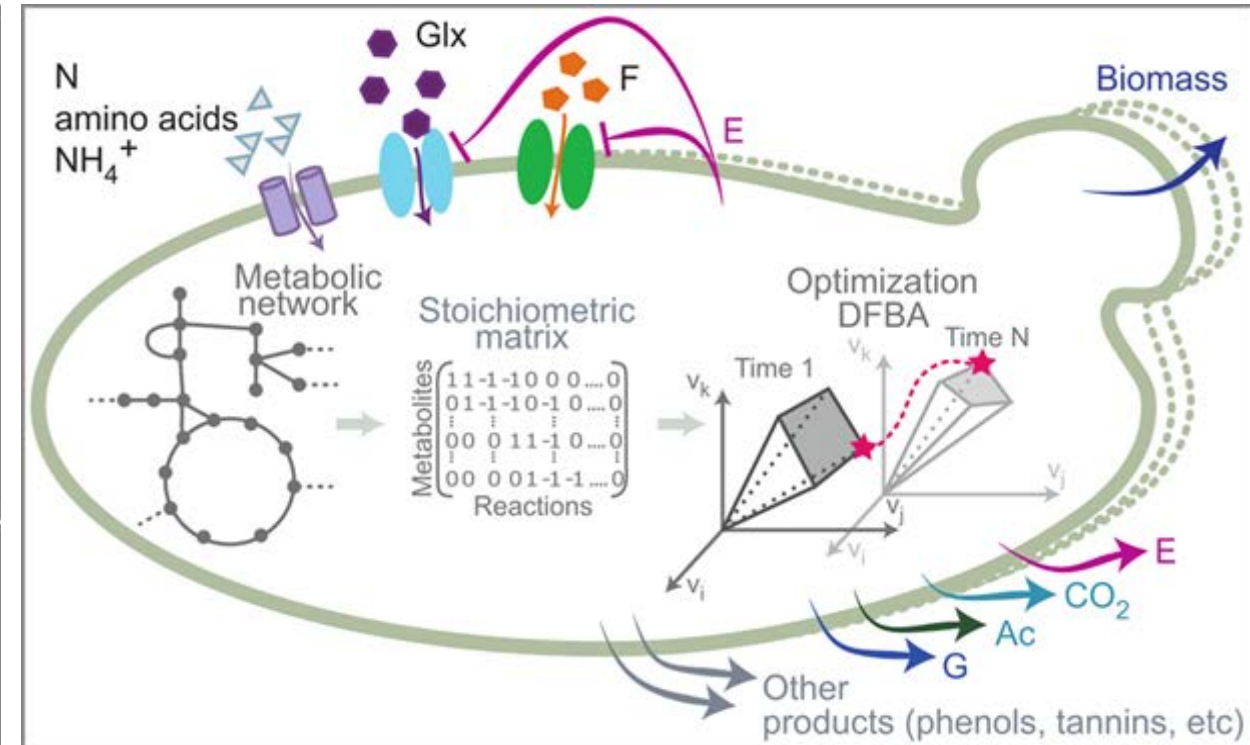
Antecedentes



Modelos cinéticos

Henriques et al., (2018) Front Microbiol

Basa-Canto et al. (2020) Front Bioeng Biotechnol



Modelos a escala genómica

Henriques et al., (2021) mSystems

Henriques et al., (2023). Microbiol Spectrum

Moimenta et al., (2023). Microb Biotechnol

¿Quiénes participan?



Instituto de Agroquímica
y Tecnología de Alimentos

Fermentaciones vnicas
Laboratorio y planta piloto
Analítica de vinos



Amparo Querol



Rosana Lisa



RAMÓN BILBAO

Usuario final
Bodega

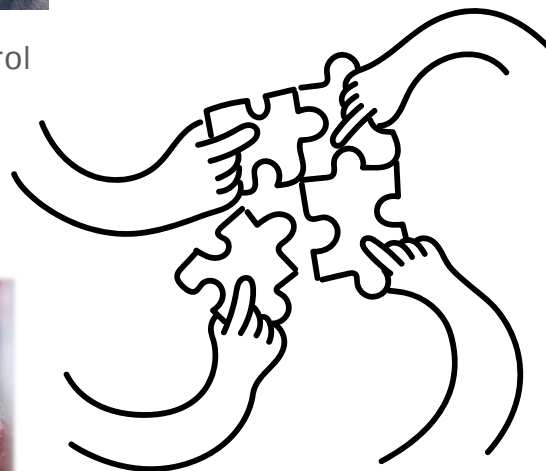


BIOSYSTEMS & BIOPROCESS ENGINEERING

Modelos
predictivos,
optimización,
control predictivo



Eva Balsa-Canto



artica

Gestión
Comunicación



Antonio Aguirre

INCONEF
INSTALACIÓN Y CONTROL DE ENERGÍA Y FLUIDOS

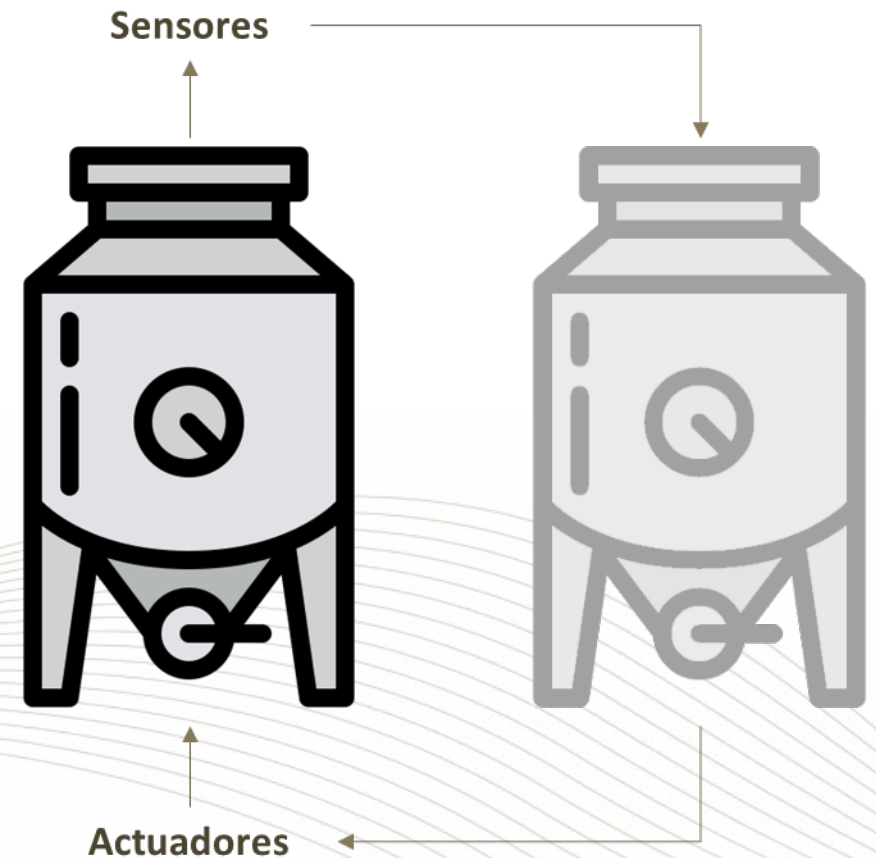
Sensórica
GUI



¿Qué es un gemelo digital?

“Una **réplica virtual** de un proceso real, que **interacciona** con el mundo real a través de **sensores**, **herramientas analíticas avanzadas** y **actuadores**”

- Núcleo: **modelo predictivo**
- Comunicación real/virtual: **sensores / actuadores**





Ventajas de un gemelo digital para una mayor en la **industria agroalimentaria**



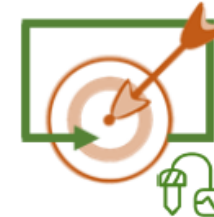
Mejora del
conocimiento de los
procesos



Simulación y
visualización:
Experimentos “*in silico*”
(en el ordenador)



Diseño de proceso
y optimización



Monitorización del
proceso y
toma de decisiones
óptimas automatizada
(en tiempo real)

1. Adquisición de datos experimentales multi-escala

Nueve cepas de LSA habitualmente usadas en R.B. para la elaboración de rosados y blancos



RAMÓN BILBAO



La Rioja



Rueda

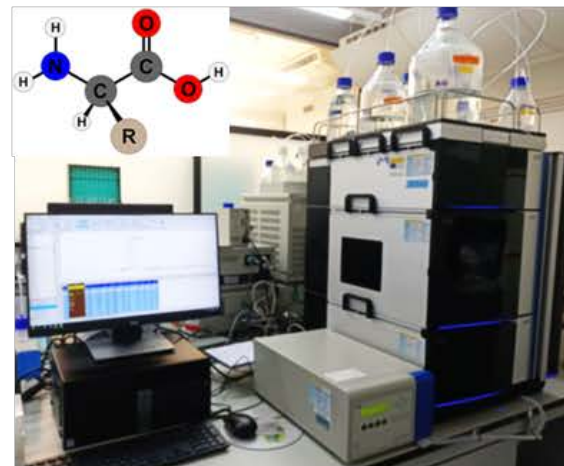
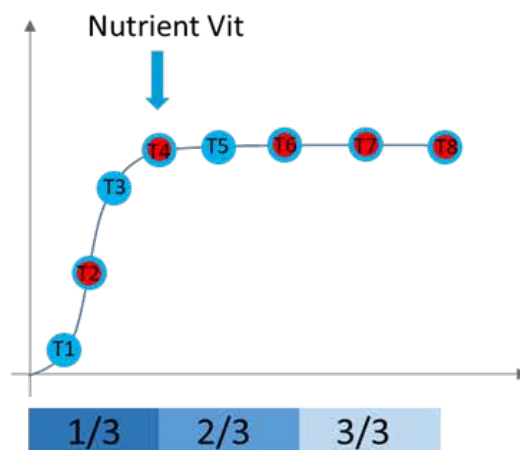


Rías Baixas

3240 muestras para analizar

Parámetros a medir:

- Alcoholes superiores y esteres (GC)



9 cepas
triplicados
2 mostos
3 T°C

162 FAs

Parámetros medidos



Biomasa
Azúcares
Ácidos orgánicos
Nitrógeno



Aromas

Parámetros a medir:

- Biomasa, viabilidad y tamaño celular

3240 muestras por 33
metabolitos
TOTAL 106.920

3240 muestras por 24
aromas
TOTAL 77.760

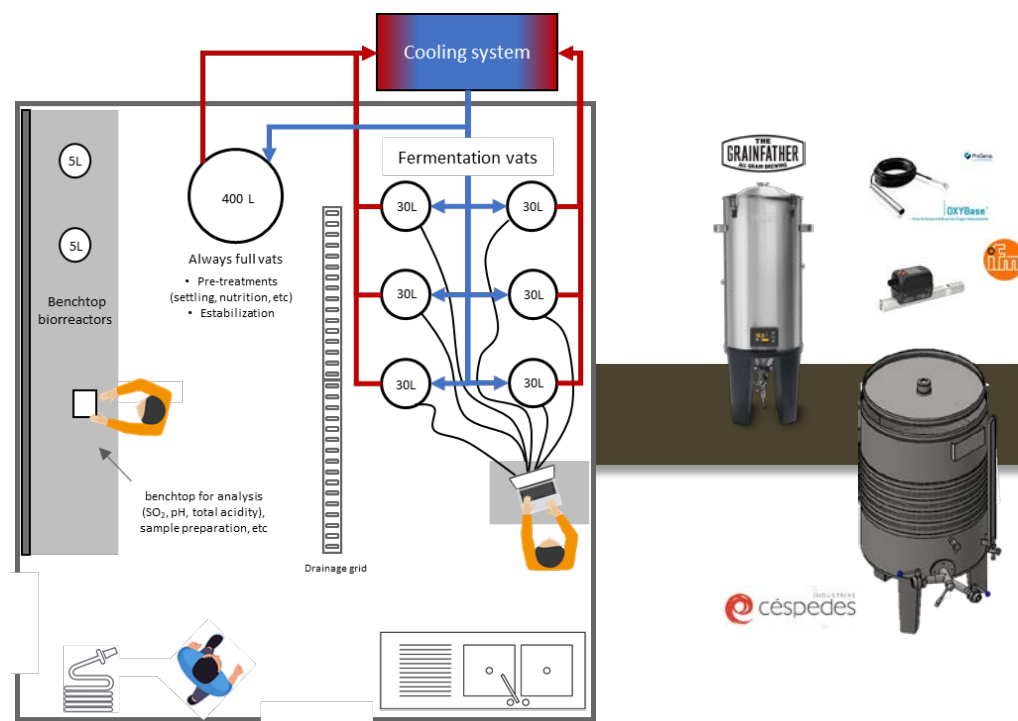
$$106.920 + 77.760 = 184.680$$

Parámetros a medir:

- Metabolitos extracelulares relevantes (HPLC)

1. Adquisición de datos experimentales multi-escala

Diseño y montaje de la planta piloto

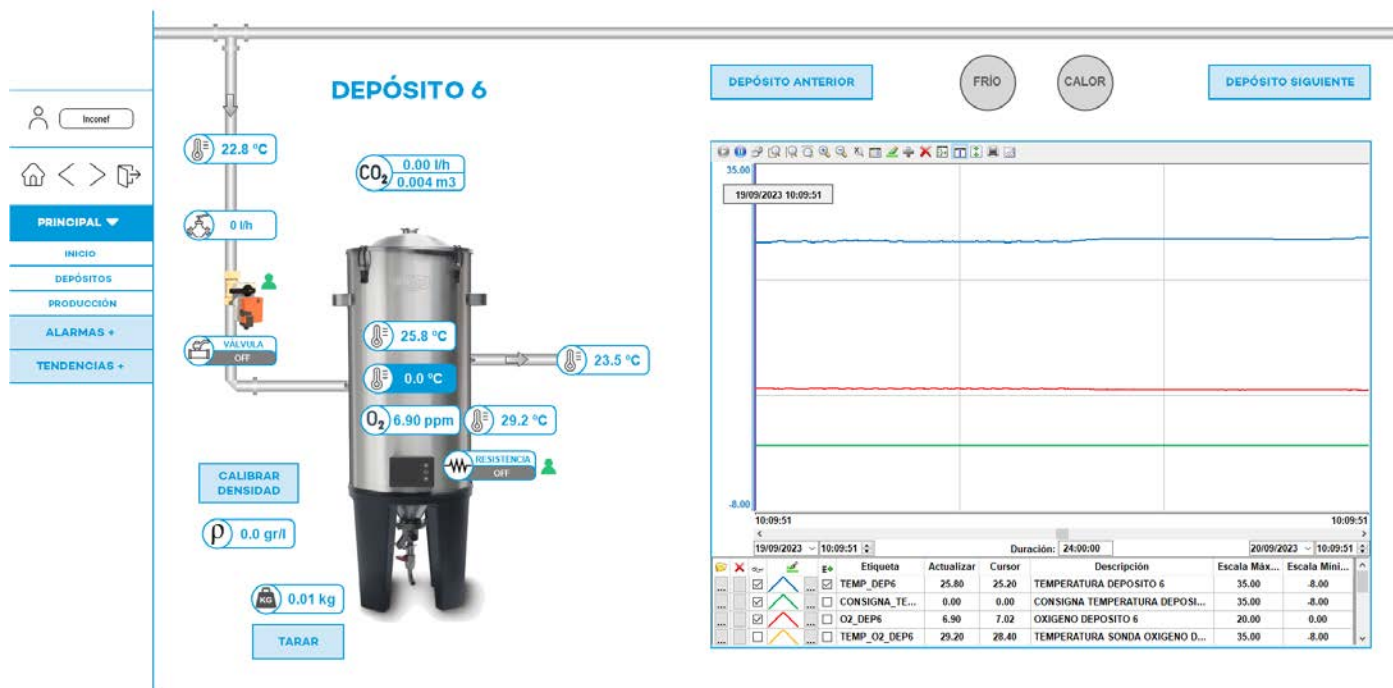


Depósitos de 30 L sensorizados

1. Adquisición de datos experimentales multi-escala

Diseño y montaje de la planta piloto

Interfaz actual de registro de los datos monitorizados en línea



INCOF
INSTALACIÓN Y CONTROL DE ENERGÍA Y FLUIDOS

Sensores

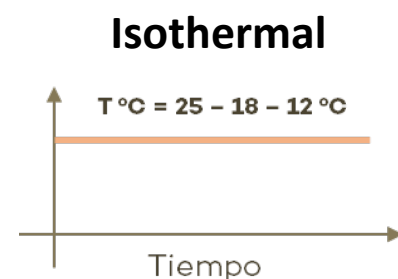
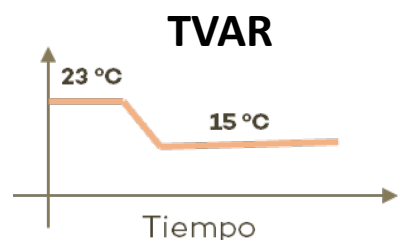
- ☐ Pérdida de peso
- ☐ Densidad
- ☐ Temperatura de entrada líquido de refrigeración
- ☐ Caudal de líquido de refrigeración
- ☐ Temperatura de salida del líquido de refrigeración
- ☐ Temperatura interna del depósito
- ☐ Oxígeno disuelto

Actuadores

- ☐ Resistencia
- ☐ Bomba de frío y calor
- ☐ Electroválvulas

1. Adquisición de datos experimentales multi-escala

Beneficios del empleo de programas de temperatura variable (estudio a escala de laboratorio y validado en planta piloto)

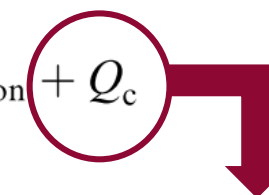


Minebois *et. al* (2026) – *Food Frontiers*

Modelo de la transferencia de calor en depósitos de fermentación

$$P_{\text{accumulation}} = P_{\text{fermentation}} + P_{\text{wall}} + P_{\text{evaporation}} + Q_c$$

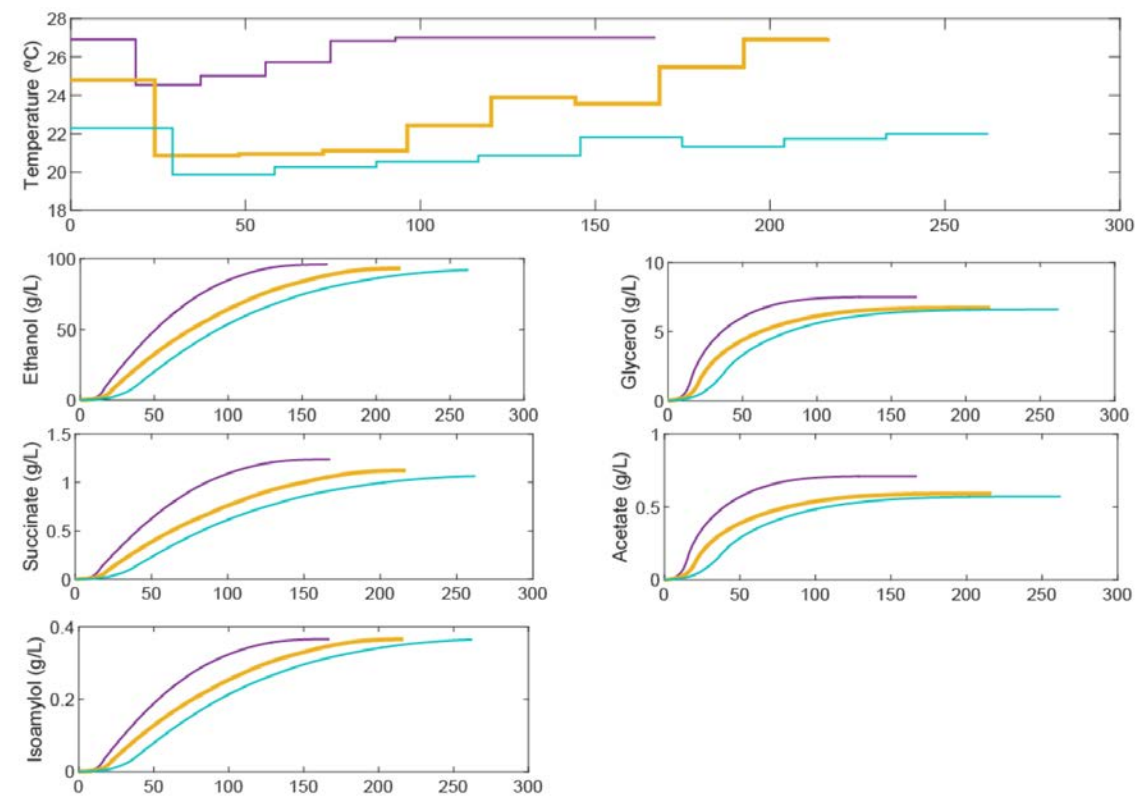
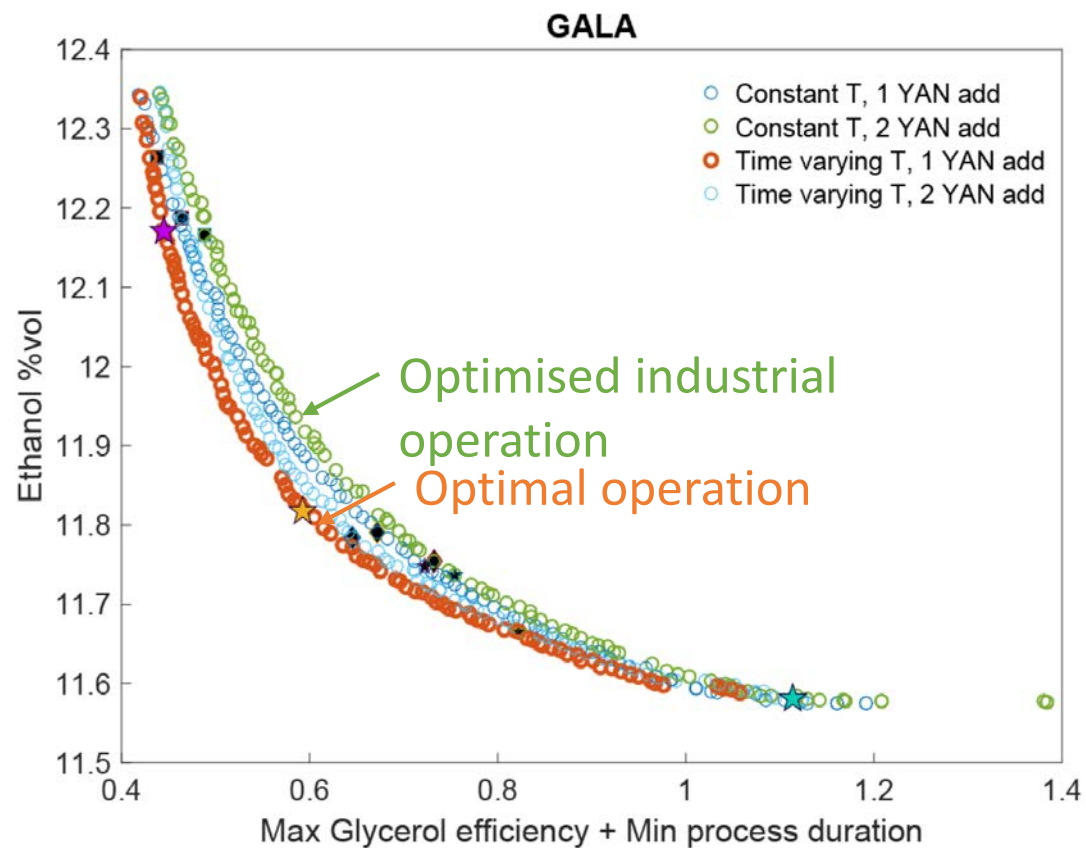
Colombié *et. al* (2007) – *Food Control*



	Electric bill (€)		Bill variation VS TVAR (%)	
T°C	210	250	210	250
12	0,549	0,699	21,9	21,1
18	0,673	0,800	36,2	31,0
25	0,611	0,754	29,8	26,8
TVAR	0,429	0,552	0,0	0,0

Reducción del gasto energético (> 21%) frente a perfiles de temperatura estática

- ⇒ Los perfiles de temperatura que varían en el tiempo son mejores que la práctica industrial estándar
- ⇒ Una adición de nitrógeno funciona mejor que dos adiciones (práctica industrial)



SEMSWINE: sensores inteligentes y predictivos para la monitorización rápida de la calidad del vino



Metodología: levaduras y condiciones de fermentación

Nombre comercial	Especie
QA23	<i>S. cerevisiae</i>
IONYS	<i>S. cerevisiae</i>
SAUVY	<i>S. cerevisiae</i>
Velluto Evolution	<i>S. cerevisiae</i> x <i>S. uvarum</i>
DP1	<i>S. cerevisiae</i> x <i>S. kudriavzevii</i>
DP4	<i>S. cerevisiae</i> x <i>S. kudriavzevii</i>



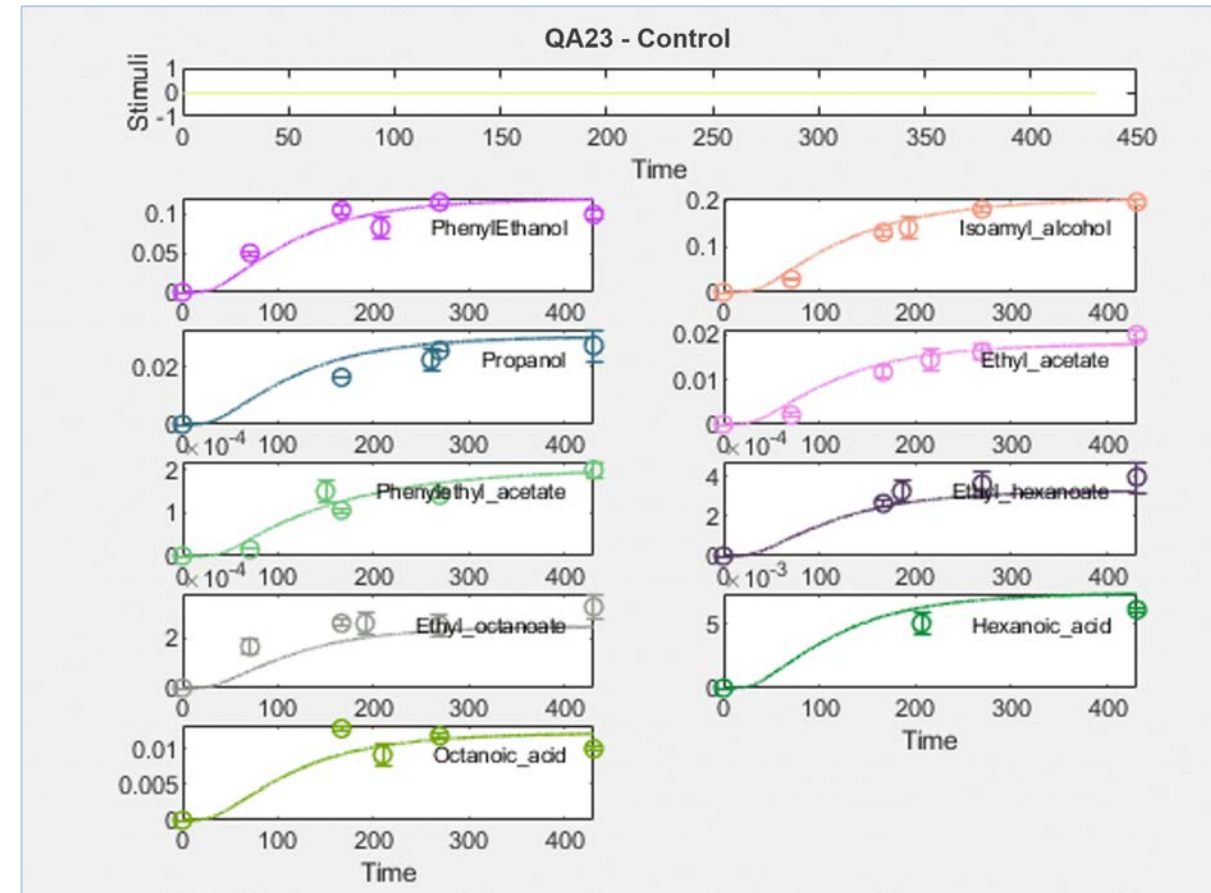
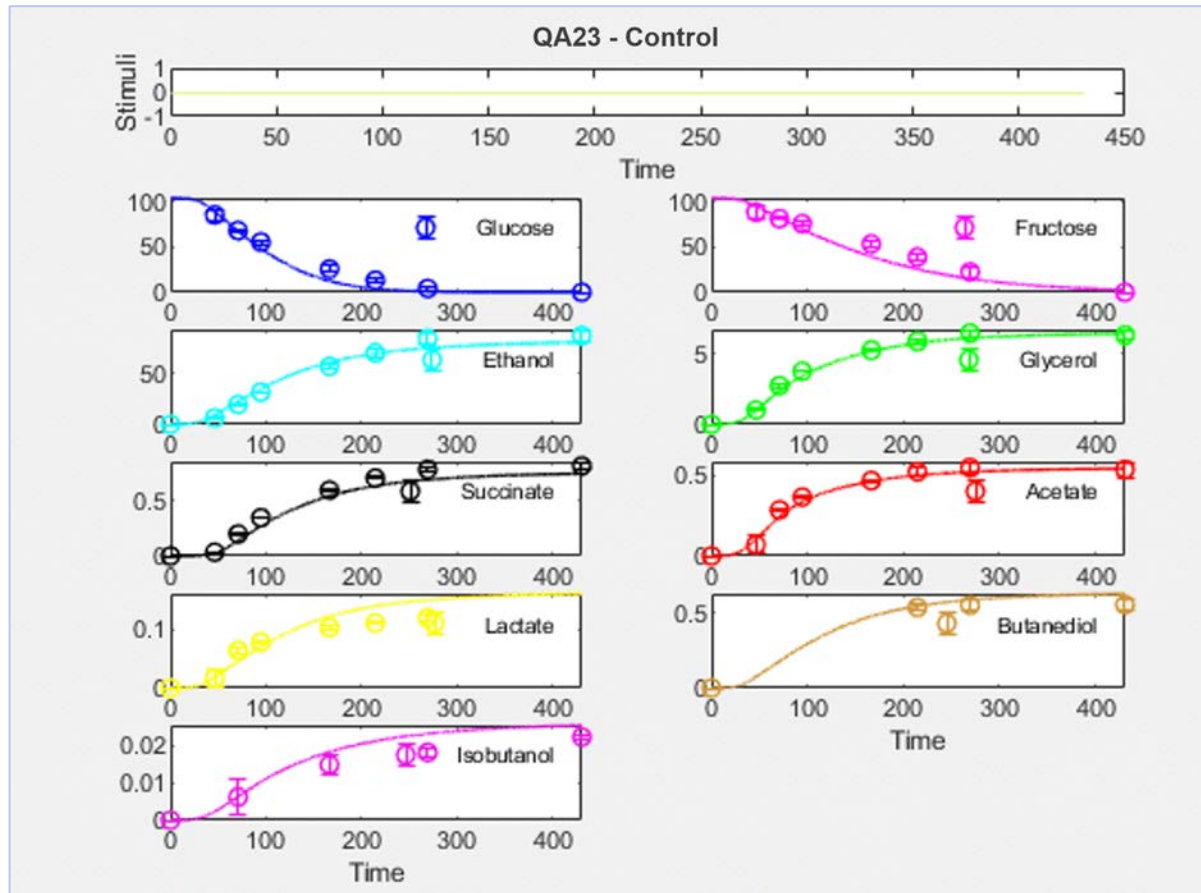
Meseguera
Moscatel
Sauvignon
blanc



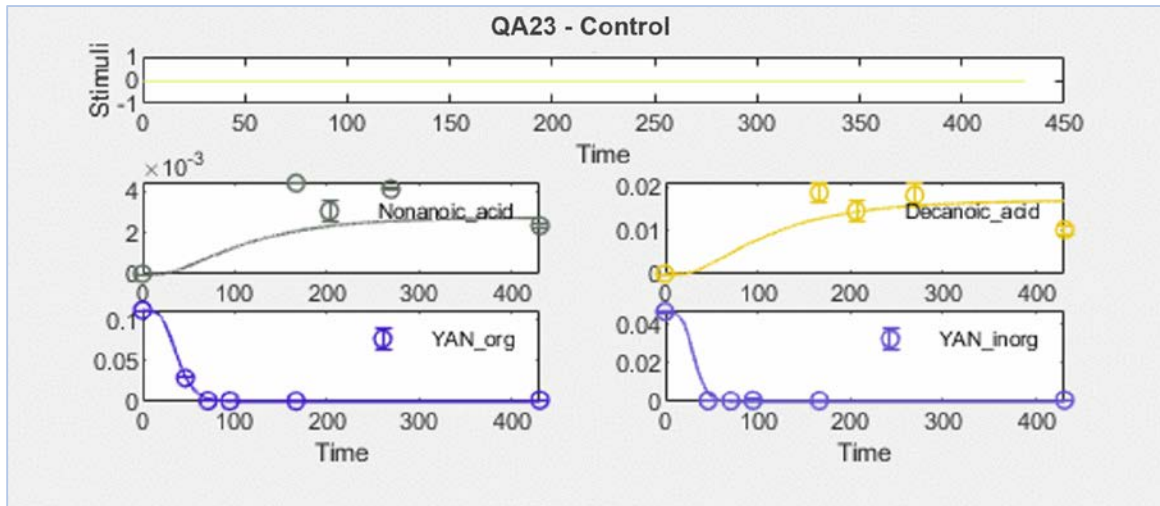
Bobal
Monastrell

Resultados obtenidos

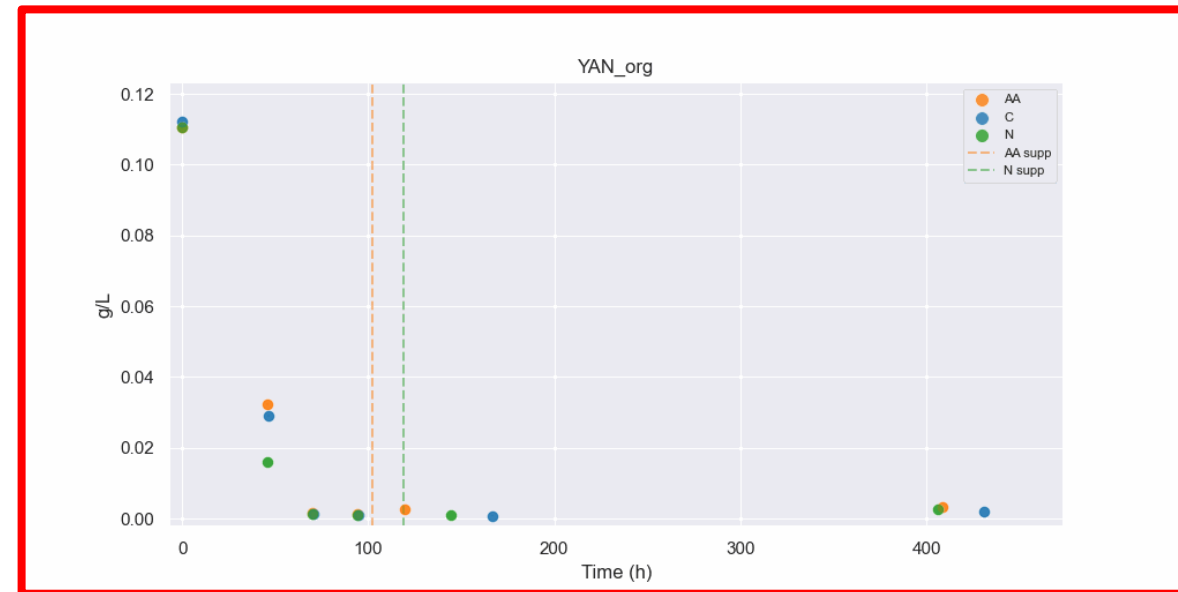
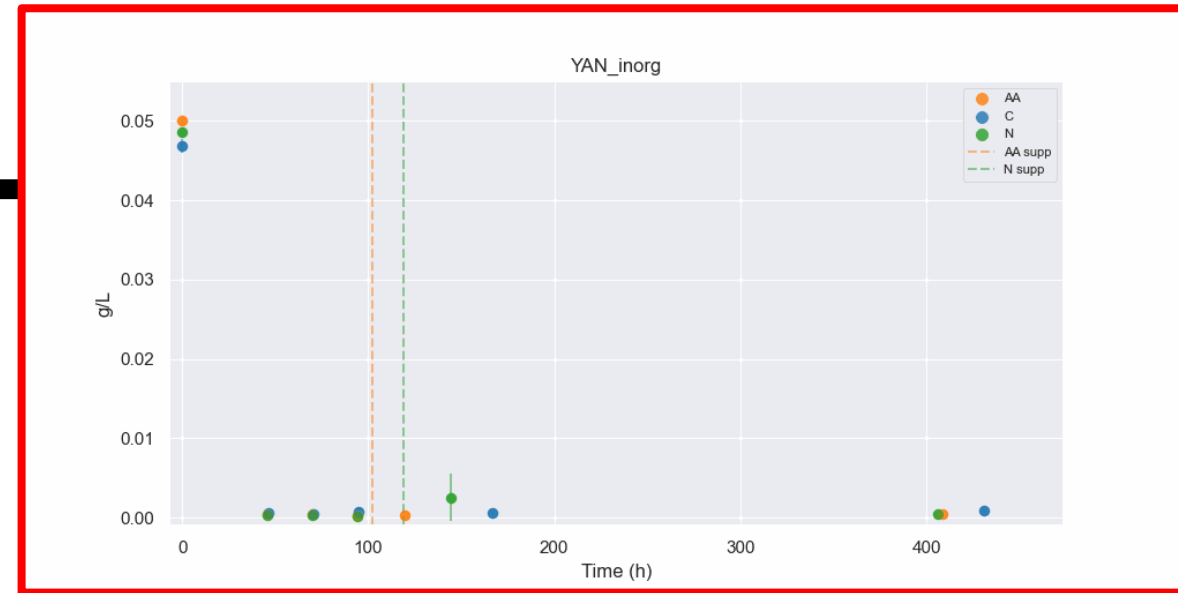
Ejemplo ilustrativo, Modelo vs datos experimentales de *S. cerevisiae* QA23



Resultados obtenidos



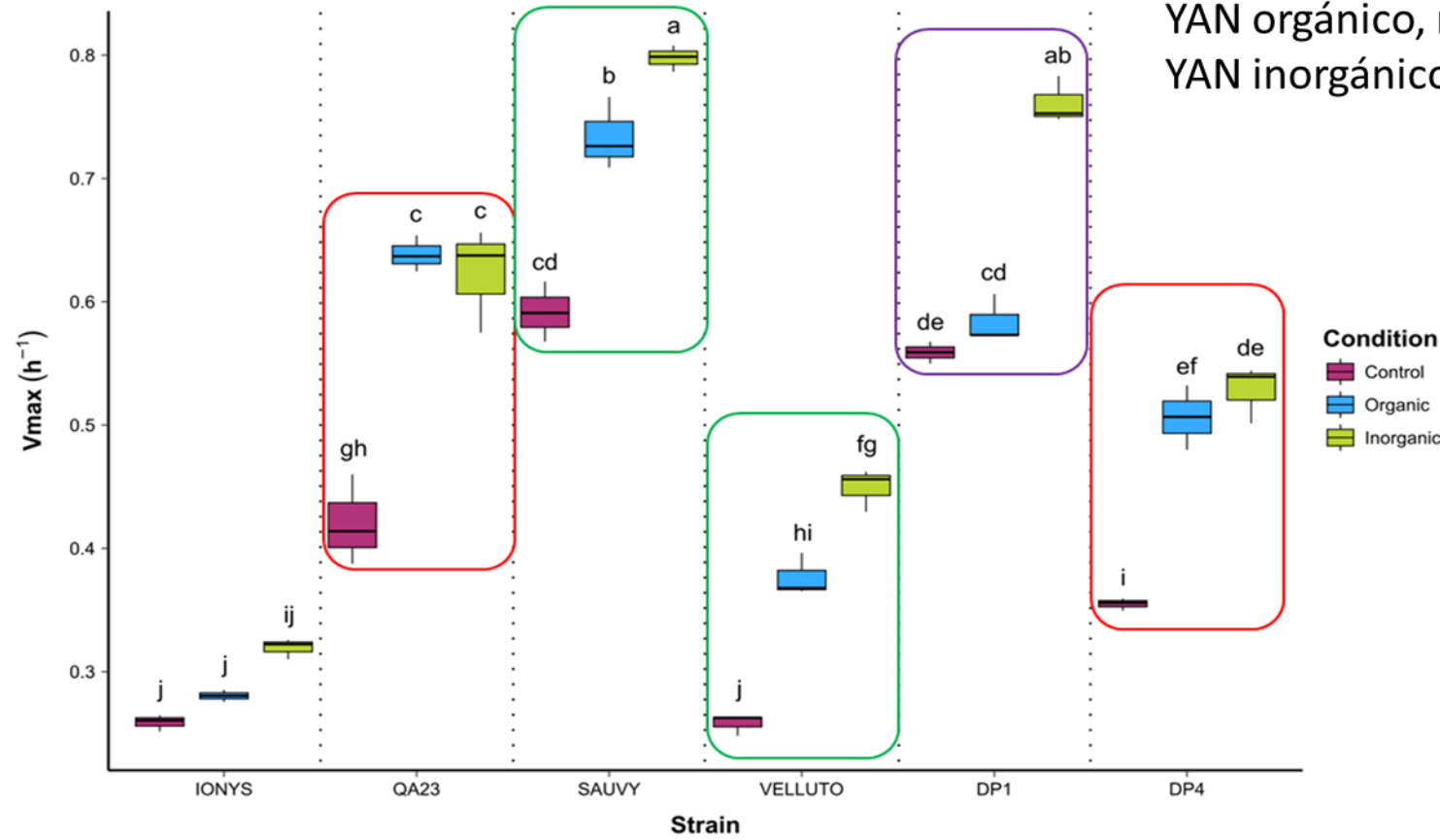
Una vez que se valida el modelo, dadas las condiciones iniciales, podemos predecir lo que sucederá en el futuro. (Ejemplo: absorción de nitrógeno)



Resultados obtenidos

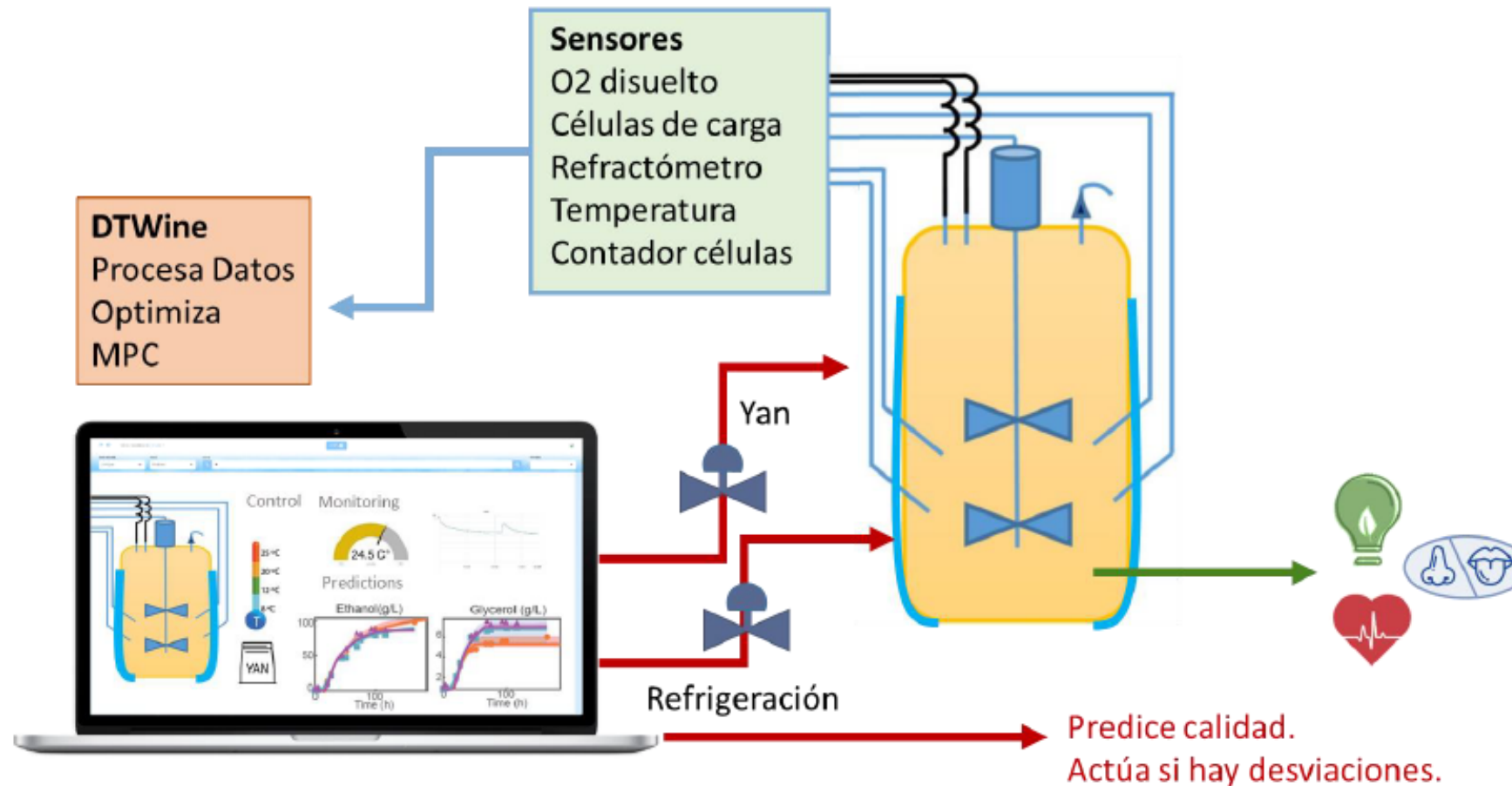
Resultados usando diferentes condiciones de nitrógeno

- Efecto significativo de INORG e ORG vs Control y $C < \text{ORG} < \text{INORG}$
- Efecto significativo de INORG vs Control y $C = \text{ORG} < \text{INORG}$
- Efecto significativo de INORG y ORG vs Control y $C < \text{ORG} = \text{INORG}$



2.4 Implementar una interfaz amigable

Visualización de resultados, simulación y ayuda a la toma de decisiones



AGROALNEXT


bio²eng
BIOSYSTEMS & BIOPROCESS ENGINEERING

INCONEF
INSTALACIÓN Y CONTROL DE ENERGÍA Y FLUIDOS



VENTAJAS ESPERADAS

Selección automática del inóculo/cepa



Perfil óptimo de temperatura



Diseño nutrición (nitrogenada)



Optimización en tiempo real



Eficiencia energética



Reducción contenido etanol

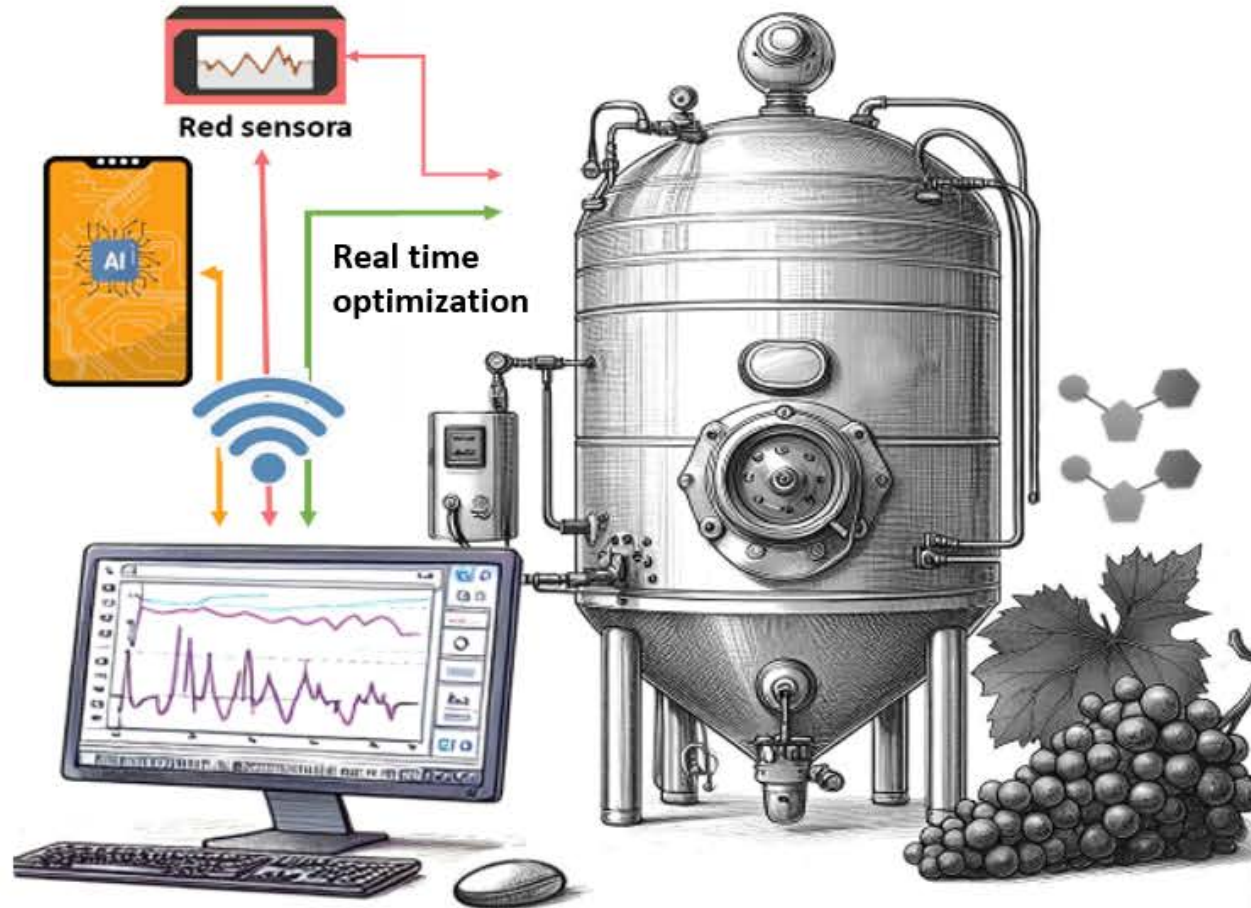


Apoyo a la decisión;
automatización



Mejor perfil aromático

VINPRECISE



Gemelo Digital VINPRECISE

Diseño de vinos con perfiles aromáticos “a la carta”

- Estudio experimental del metabolismo de aromas
- Modelo computacional híbrido: mecanismos + IA, para la predicción y optimización de la calidad sensorial en tiempo real.

Red sensora inteligente

- Diseño de una red sensora inteligente: variables clásicas y aromas
- No intrusiva, con capacidad en tiempo real y de bajo coste

Gemelo Digital Industrial

- Gemelo digital operativo a escala semi- e industrial
- Foco en la reducción del consumo energético y el contenido alcohólico del vino y mejora de la calidad.





Instituto de Agroquímica
y Tecnología de Alimentos

Fermentaciones, planta piloto,
analítica y sensorica



Amparo Querol



RAMÓN BILBAO

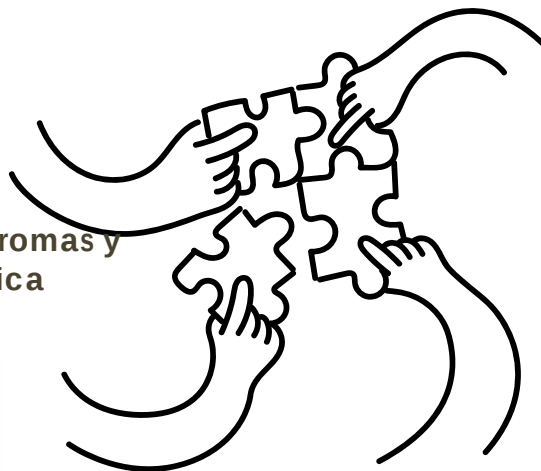
Usuario final
Bodega



Usuario final
Bodega



Analítica, aromas y
sensorica



Planta piloto, y
datos



bio²eng

BIOSYSTEMS & BIOPROCESS ENGINEERING

Modelos
predictivos,
optimización,
control predictivo



Eva Balsa-Canto

artica

Gestión
Comunicación



INCONEF
INSTALACIÓN Y CONTROL DE ENERGÍA Y FLUIDOS

Sensorica
GUI

AGRADECIMIENTOS



OPTIWINE VINPRECISE TAILORED



PROYECTOS PROMETEO

