

Aplicación de la Inteligencia Artificial para la predicción de demanda diaria de agua en una Comunidad de Regantes

- 1. Introducción**
- 2. Variables de entrada**
- 3. Modelos predictivos a escala de Red de Distribución de agua**
- 4. Modelos predictivos a escala de parcela**
- 5. Conclusiones**

- 1. Introducción**
2. Variables de entrada
3. Modelos predictivos a escala de Red de Distribución de agua
4. Modelos predictivos a escala de parcela
5. Conclusiones

Plan Nacional de Regadíos

Modernización de las Infraestructuras hidráulicas

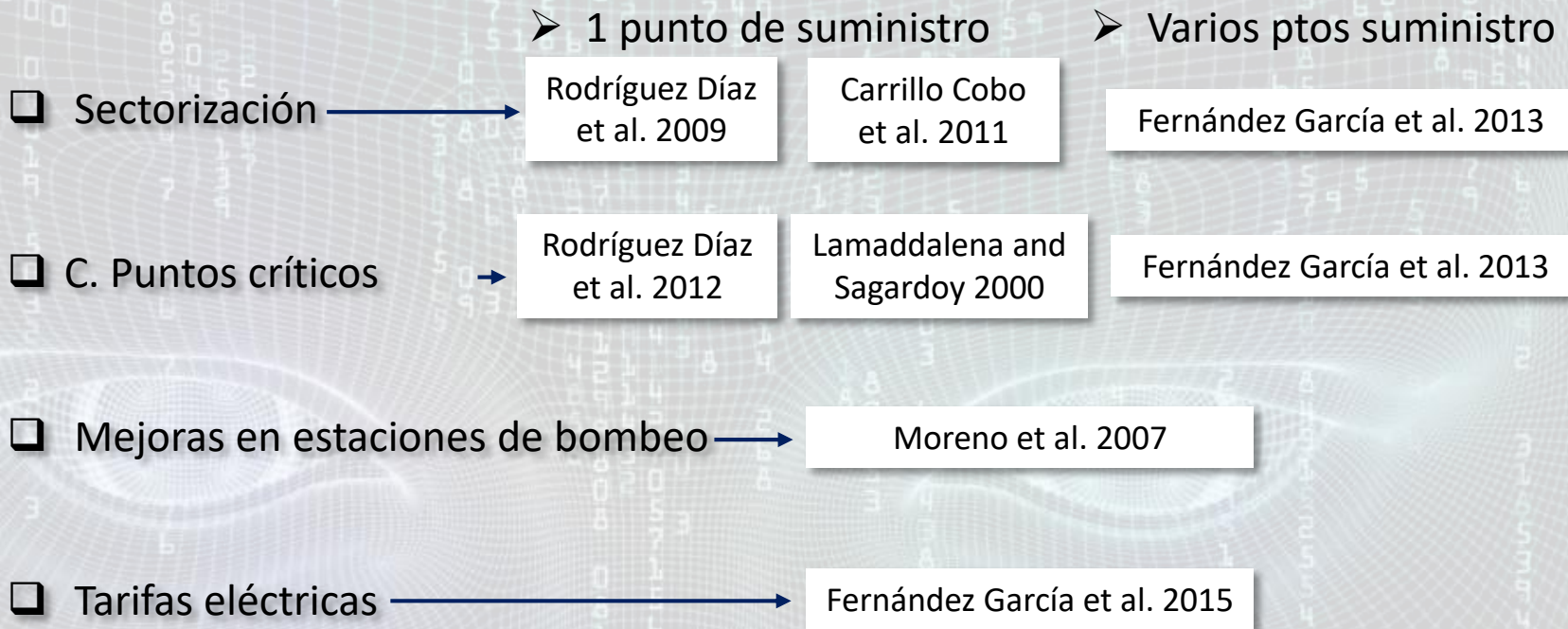
Redes a presión

(Fernández García et al. 2014)

- ❑ Reducción del uso de agua de riego: 23 %
- ❑ Cultivos intensivos y superficie regada.
- ❑ Incremento del coste de la energía: 149 %
- ❑ Aumento de los costes del agua: 52 %

Alta dependencia Energética

Medidas para mejorar la eficiencia energética en redes de riego a presión



Red de distribución de agua



Parcela



Agriculture 4.0



Inteligencia Artificial

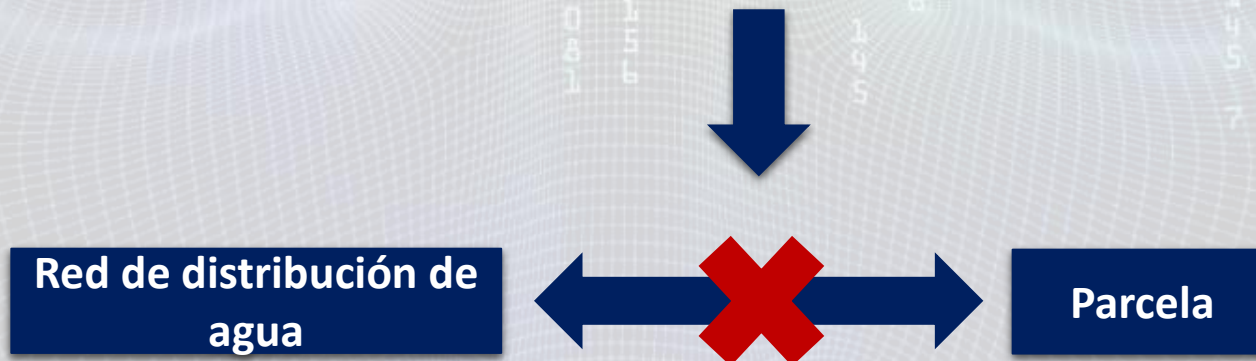
- Redes Neuronales Artificiales
- Lógica Difusa
- Algoritmos Genéticos



**Redes de distribución
de agua INTELIGENTES**

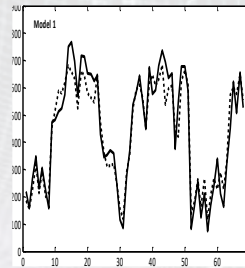
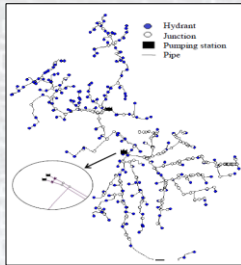
La inteligencia artificial como herramienta para la gestión y planificación de los recursos hídricos

- ❑ Modelización de procesos de escorrentía → Agarwal et al. 2006
- ❑ Optimización de patrones de cultivo → Rezaei et al. 2017
- ❑ Predicción de demanda de agua de riego → Pulido-Calvo and Gutiérrez-Estrada, 2009
 $R^2 = 0.89$; SEP = 20.27%



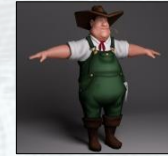
2 ESCALAS

Red de distribución de agua



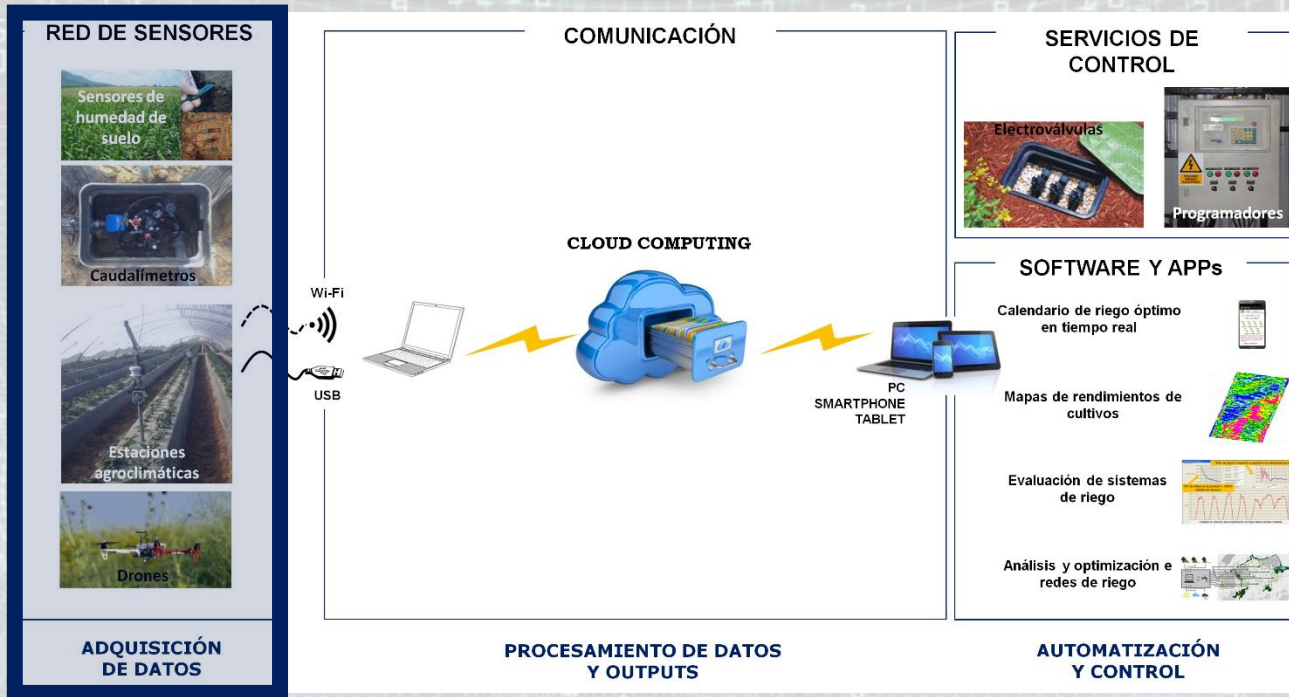
Parcela

Modelización del comportamiento del agricultor



- 1. Introducción**
- 2. Variables de entrada**
- 3. Modelos predictivos a escala de Red de Distribución de agua**
- 4. Modelos predictivos a escala de parcela**
- 5. Conclusiones**

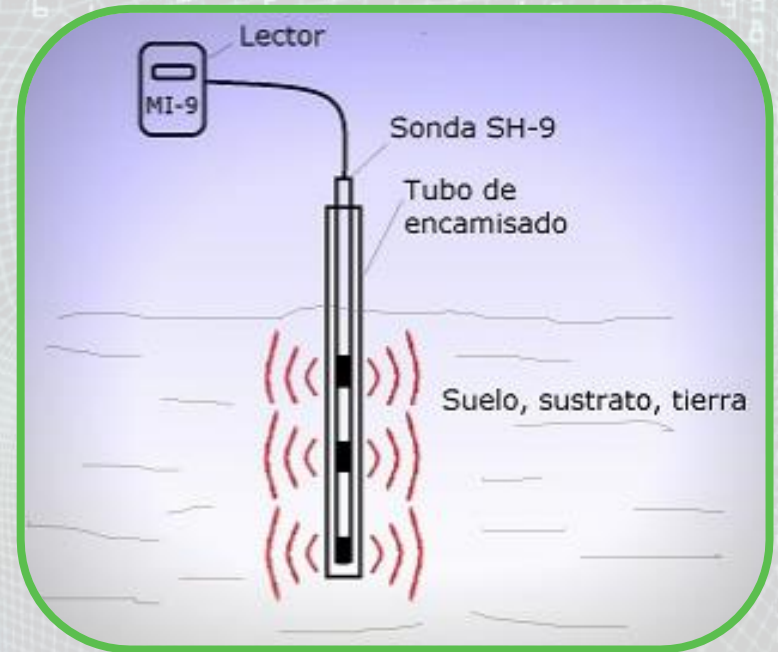
RIEGO INTELIGENTE



SONDAS DE HUMEDAD



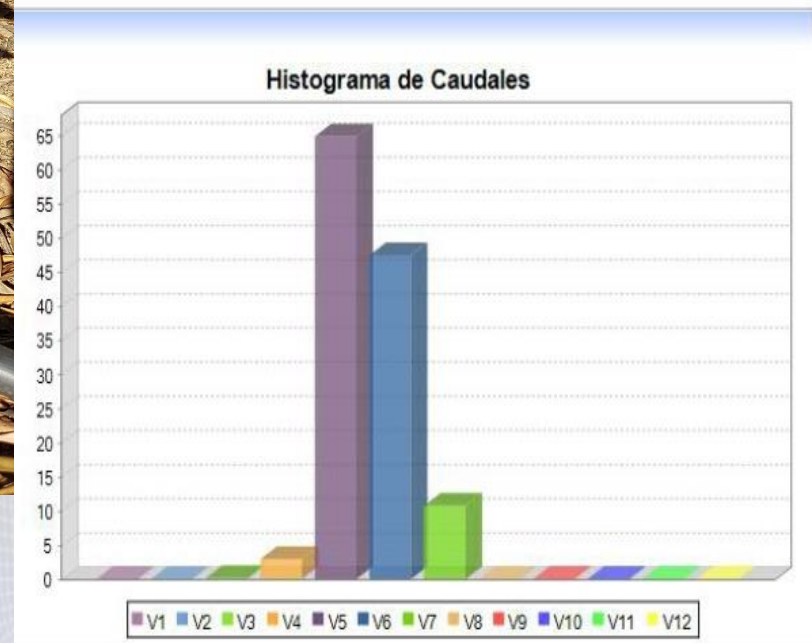
SONDAS DE HUMEDAD



CONTADORES/CAUDALÍMETROS



```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
- <OutputFile>
  <IDFile>xxxxxxx</IDFile>
- <Reading>
  <ReadingID>xxxxxxx</ReadingID>
  <ReadDate>10/03/2014</ReadDate>
  <ReadTime>09:50:44</ReadTime>
  <DecimalPoint>1</DecimalPoint>
- <Report>
  <ProgVersion>3.1.2.4</ProgVersion>
  <Environment>2</Environment>
- <BusRead Num="0">
  <BasicRead>1</BasicRead>
  <VersionRead>1</VersionRead>
  <ExtendedRead>1</ExtendedRead>
  <ExtendedARead>1</ExtendedARead>
  <FactCleared>1</FactCleared>
  <SetRtc>1</SetRtc>
  <FH3Programmed>1</FH3Programmed>
</BusRead>
</Report>
```



VARIABLES CLIMÁTICAS

- ✓ Radiación
- ✓ Humedad Relativa
- ✓ Velocidad del viento
- ✓ Temperatura
- ✓ ETo...



BBDD-AGROCLIMÁTICAS



Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera
CONSEJERÍA DE AGRICULTURA, PESCA Y DESARROLLO RURAL

Estaciones Agroclimáticas

Introducción

Almería

Cádiz

Córdoba

Granada

Huelva

Jaén

Málaga

Sevilla

ESTACIONES AGROCLIMÁTICAS



Proyecto co-financiado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional

La estimación de las necesidades de agua de los cultivos precisa de una información meteorológica de calidad y que abarque la mayor parte de la superficie regada de Andalucía.

Esta información es hoy fácil de obtener con la ayuda de las estaciones meteorológicas automáticas (EMAs), que cuentan con un adecuado plan de mantenimiento "in situ", así como con una exhaustiva revisión de los registros que suministran los sensores.

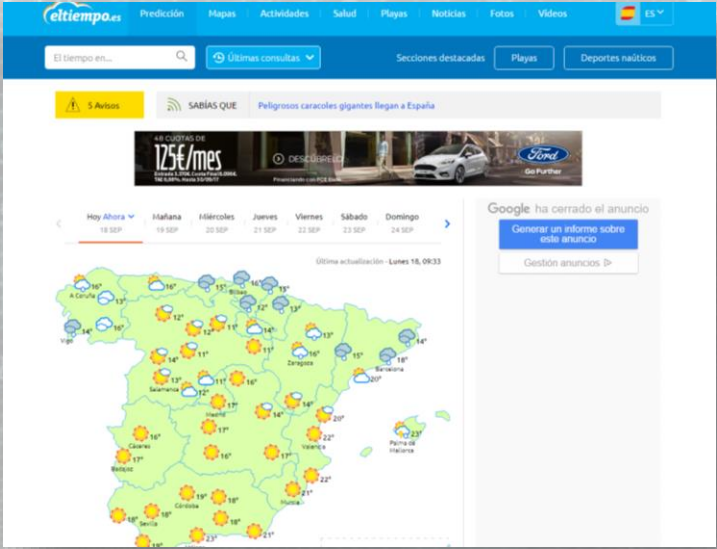
El Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, con fondos procedentes de la Unión Europea, ha instalado en la Comunidad Andaluza una red de estaciones meteorológicas automáticas y un Centro Regional de Explotación de Datos (Centro Zonal), que permitirá disponer de información agrometeorológica para el conjunto de los regadíos de Andalucía, así como para otras aplicaciones. La red pasará a ser propiedad de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía una vez terminados los trabajos de implantación de la misma. La CAP se ocupa ya de las labores de explotación y mantenimiento de la citada red, a la vez que se encarga de la difusión de la información registrada por las estaciones meteorológicas...

La red es una herramienta fundamental en las labores de asistencia técnica al regante que, a través de sus comunidades de regantes y asociaciones, está desarrollando la Consejería de Agricultura y Pesca desde hace varios años. Su consolidación supondrá un avance cualitativo en la labor de mejora de la gestión del agua en los regadíos por parte tanto de las administraciones públicas como de los regantes.



■ SUPERFICIE REGADA

PROVINCIA	ID EST	ESTACIÓN	ACTIVA	VISIBLE
Almería	10	Adra	S	S
Almería	2	Almería	S	S
Almería	8	Cuevas de Almanzora	S	S
Almería	5	Fiñana	S	S
Almería	7	Huércal-Overa	S	S
Almería	1	La Mojonera	S	S



The screenshot shows the homepage of ctiempo.es. At the top, there are navigation links for Predicción, Mapas, Actividades, Salud, Playas, Noticias, Fotos, and Vídeos. A search bar is present with the text "El tiempo en...". Below the search bar, there are buttons for "Últimas consultas" and "Secciones destacadas". A main banner features a weather forecast for "Hoy Ahora" (18 SEP) through "Domingo" (24 SEP). A map of Spain displays weather icons and temperatures for various regions. On the right side, there is a Google advertisement for "Generar un informe sobre este anuncio".



The screenshot shows the Aemet website. At the top, there is a search bar and navigation links for "El tiempo", "Servicios climáticos", "Cambios", "Conocer más", "Emprego público y becas", "Datos abiertos", and "Sede electrónica". Below the navigation bar, there is a weather forecast for Córdoba showing a temperature of 32°C. A row of icons represents different services: "Mi web", "Atención al ciudadano", "Redes sociales", "Emergencias", "App", "Datos y estadísticas", "Centro de documentación", and "Por sectores". The main content area features a "MeteoAlerta" section with a map of Spain and a "Municipios españoles" section with a search bar and a list of cities with their weather forecasts. A "El tiempo: Predicción España" section shows a forecast for Monday, 18 September 2017 (00-12h).

BBDD-AGROCLIMÁTICAS

Eltiempo

Predicción de datos Meteorológicos

Fuentes de datos:

Aemet
Agencia Estatal de Meteorología

eltiempo.es

INICIAR SERVICIO FINALIZAR SERVICIO

VOLCADO DE LA BASE DE DATOS

Datos descargados:

- Temperatura (°C)
- Viento (m/s)
- Racha Viento (m/s)
- Precipitación (mm)
- Humedad Relativa (%)
- Nubosidad (%)*
- Sensación Térmica (°C)

* Estos datos sólo están disponibles en

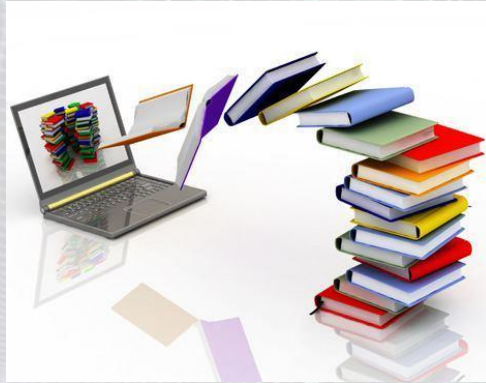
DatosAEMET_21-12-2016: Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

Municipio;Fecha;Hora;Temperatura (°C);Viento (km/h);RachaViento (km/h);Precipitacion (mm)

cordoba;2016-11-09;0;6;5;9;0.0;67;6;
 cordoba;2016-11-09;1;6;5;9;0.0;68;6;
 cordoba;2016-11-09;2;6;5;9;0.0;70;6;
 cordoba;2016-11-09;3;6;4;7;0.0;70;6;
 cordoba;2016-11-09;4;6;4;7;0.01;72;6;
 cordoba;2016-11-09;5;6;6;10;0.0;75;6;
 cordoba;2016-11-09;6;5;4;7;0.0;79;5;
 cordoba;2016-11-09;7;7;1;1;0.0;74;7;
 cordoba;2016-11-09;8;8;4;7;0.0;68;8;
 cordoba;2016-11-09;9;9;5;11;0.0;67;9;
 cordoba;2016-11-09;10;11;8;20;0.01;63;11;
 cordoba;2016-11-09;11;12;11;23;0.01;64;12;
 cordoba;2016-11-09;12;14;11;25;0.0;60;14;
 cordoba;2016-11-09;13;15;14;31;0.2;69;15;
 cordoba;2016-11-09;14;16;14;29;0.3;72;16;
 cordoba;2016-11-09;15;17;12;25;0.4;71;17;
 cordoba;2016-11-09;16;16;11;23;0.3;77;16;
 cordoba;2016-11-09;17;15;10;20;0.2;83;15;
 cordoba;2016-11-09;18;15;9;17;0.1;87;15;
 cordoba;2016-11-09;19;14;7;14;0.1;90;14;
 cordoba;2016-11-09;20;14;6;13;0.0;93;14;
 cordoba;2016-11-09;21;14;6;12;0.0;94;14;
 cordoba;2016-11-09;22;13;5;9;0.0;95;13;
 cordoba;2016-11-09;23;12;4;7;0.0;95;12;
 Lora;2016-11-09;0;7;6;11;0.0;69;7;
 Lora;2016-11-09;1;7;6;10;0.0;69;7;

TIPOS DE DATOS-No Estructurados



1. Introducción
2. Variables de entrada
- 3. Modelos predictivos a escala de Red de Distribución de agua**
4. Modelos predictivos a escala de parcela
5. Conclusiones

Objetivo

Desarrollar una metodología que permita la predicción a corto plazo de la demanda diaria de agua de riego a escala de Comunidad de Regantes usando Algoritmos Genéticos y Redes Neuronales Artificiales




Planteamiento del problema

$F1 = \text{Máx. representatividad}$

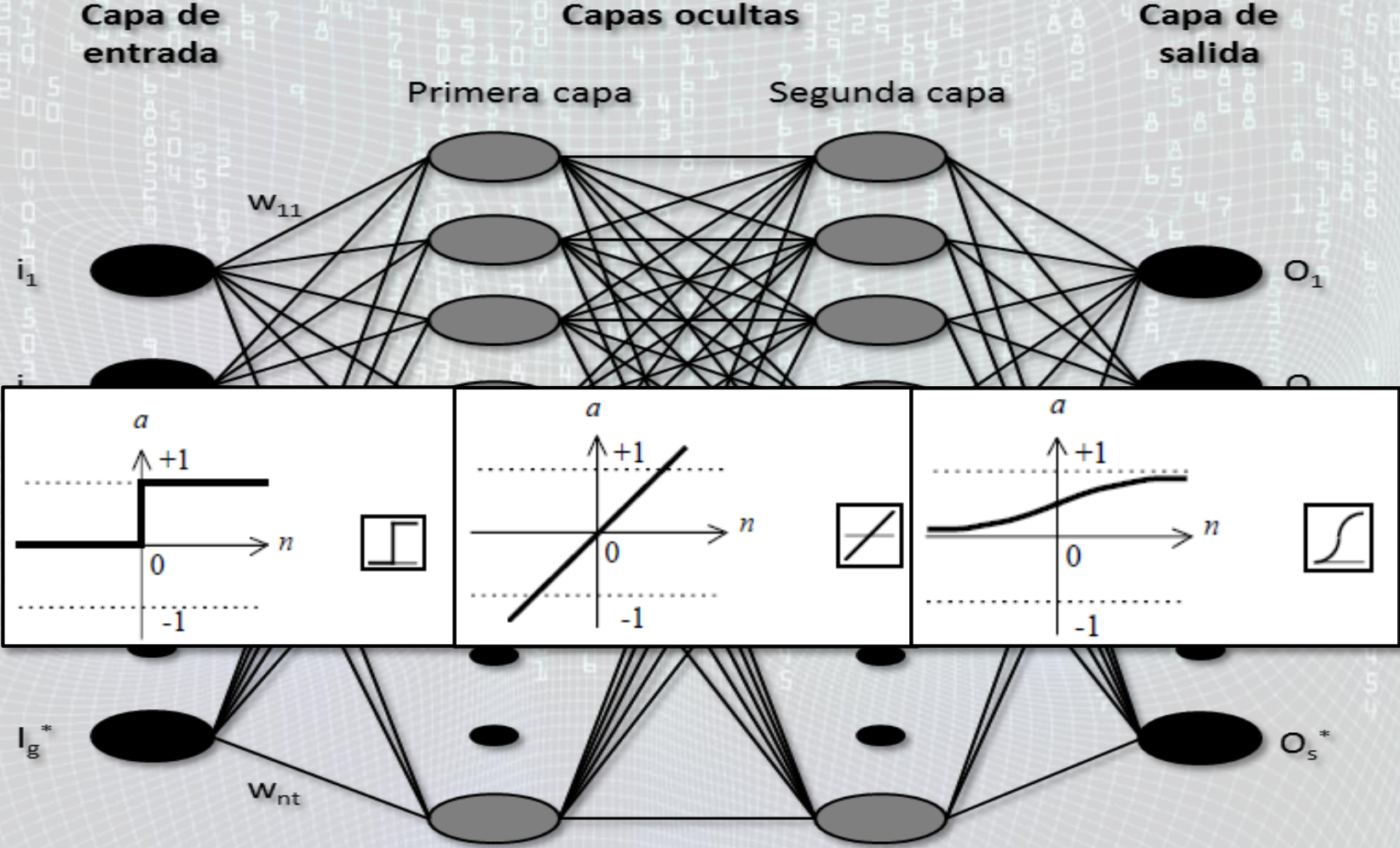


Evitar fase de memoria

$F2 = \text{Error mínimo de predicción} = RMSE$

 $SEP = \frac{100}{Q_v} \cdot RMSE$

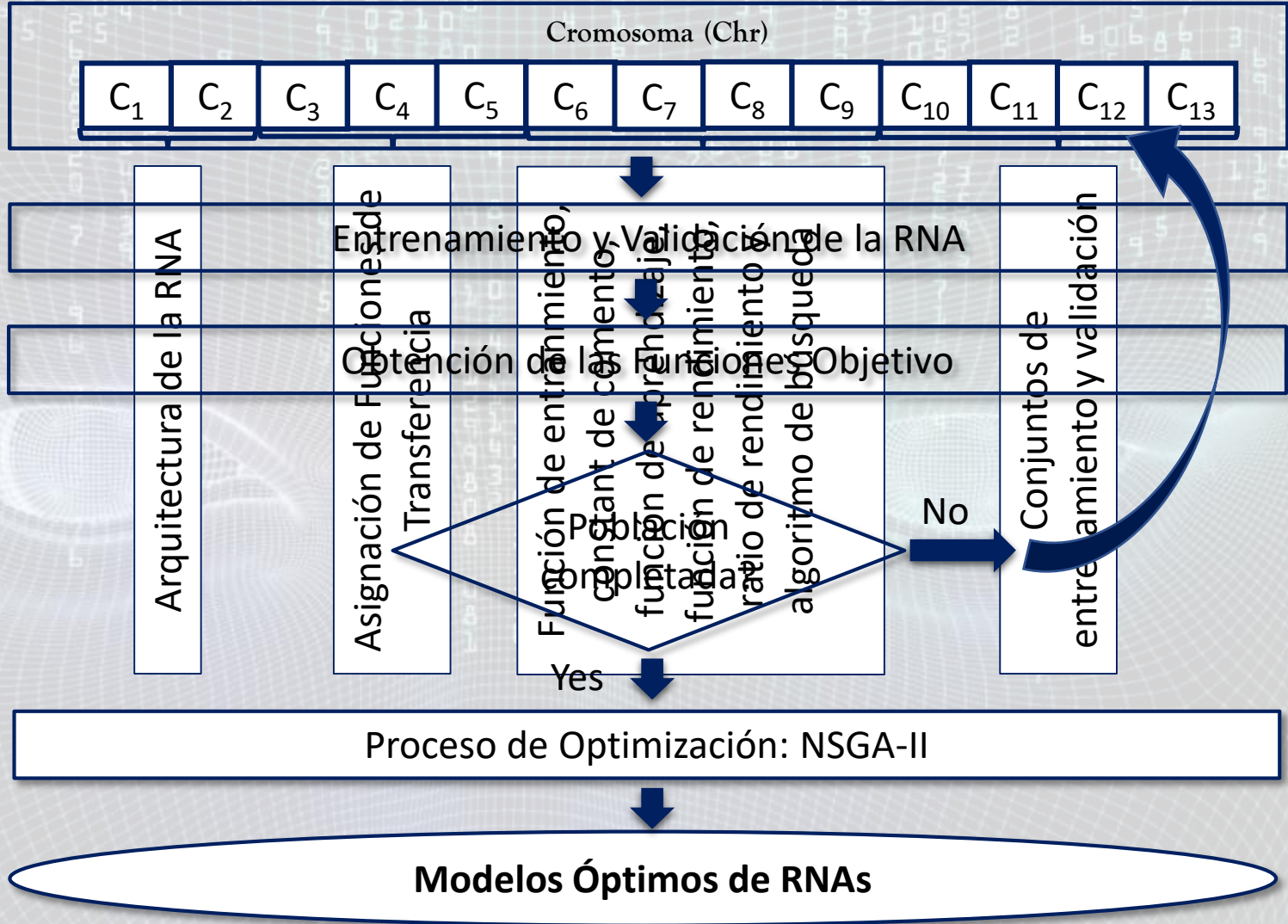
Redes Neuronales Artificiales (RNA)



RNA (g, n, m, s)

Algoritmo Genético Multiobjetivo: NSGA-II

Población Inicial, GEN = 0



Comunidad de Regantes: Bembézar Márgen Derecha. Sector VII

Caso de Estudio



- Sistema de telemetría
- Datos de demanda de agua: diarios
- Campañas de riego: 2010, 2012 y 2013
- Datos climáticos: Estación Agroclimática más cercana

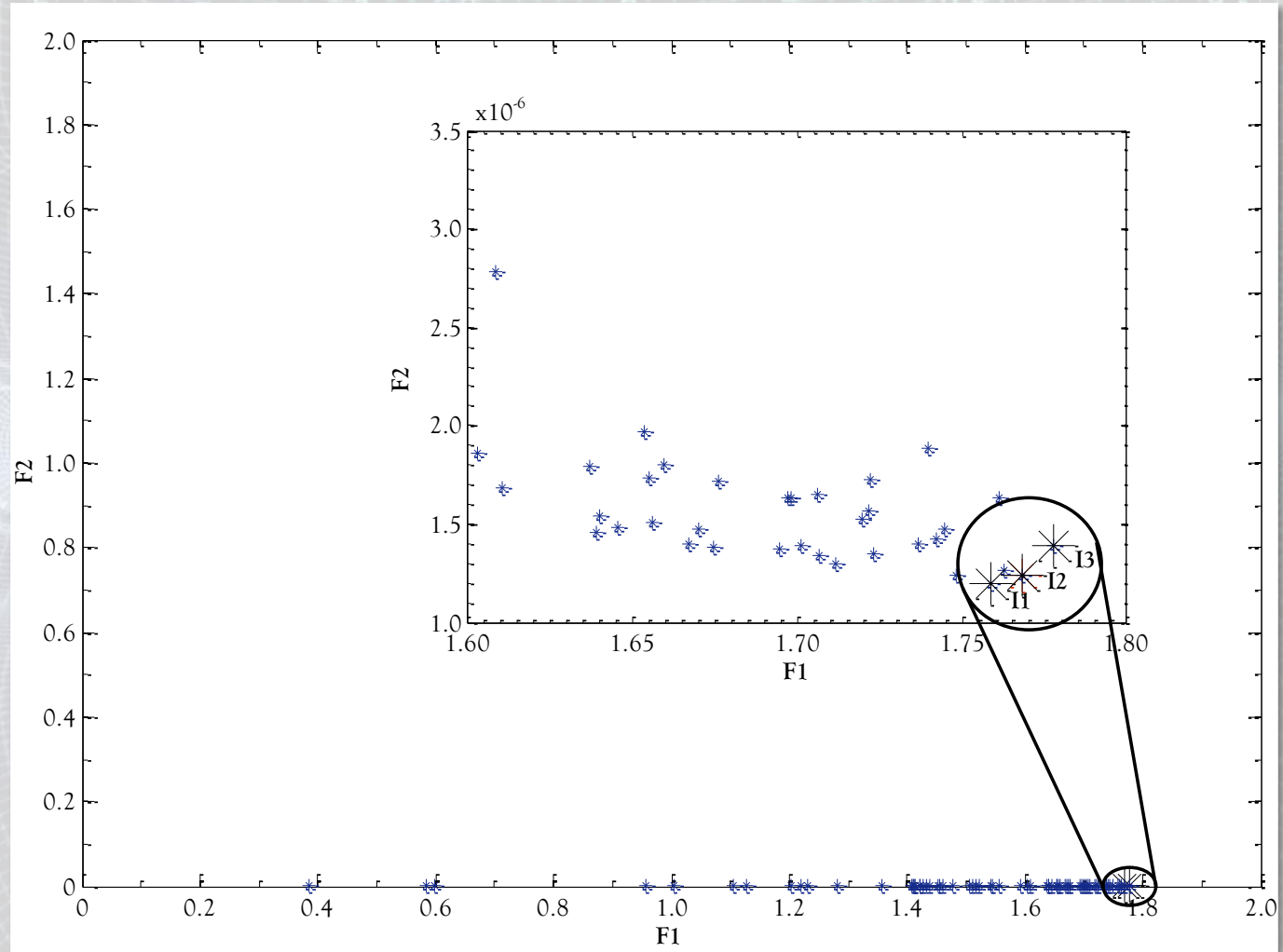
Variables de Entrada

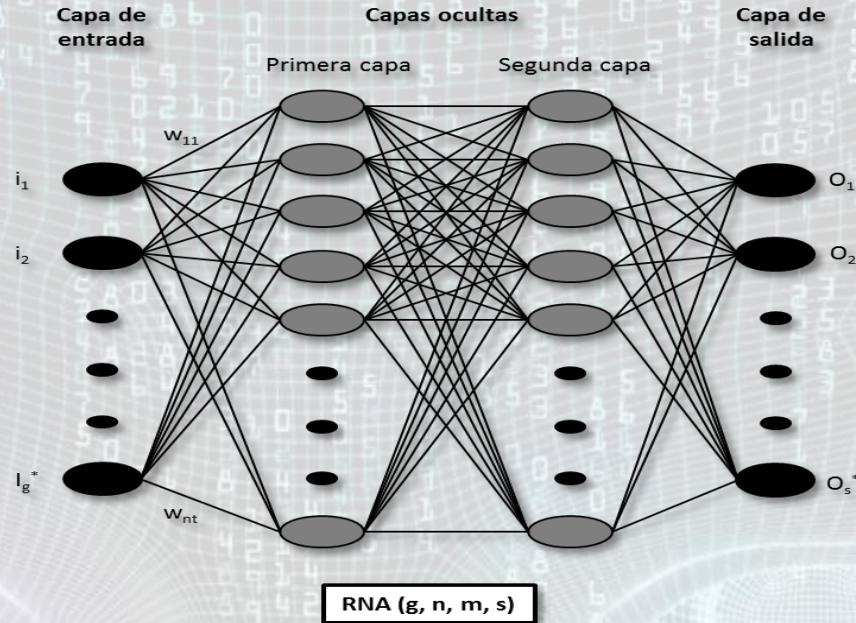
- Demanda de agua del día anterior ($L s^{-1}$)
- Demanda de agua de dos días anteriores ($L s^{-1}$)
- Temperatura media del día a predecir ($^{\circ}C$)
- Radiación solar del día a predecir ($MJ m^{-2}$)
- Radiación solar del día anterior ($MJ m^{-2}$)
- ETo del día a predecir (mm)
- ETo del día anterior (mm)



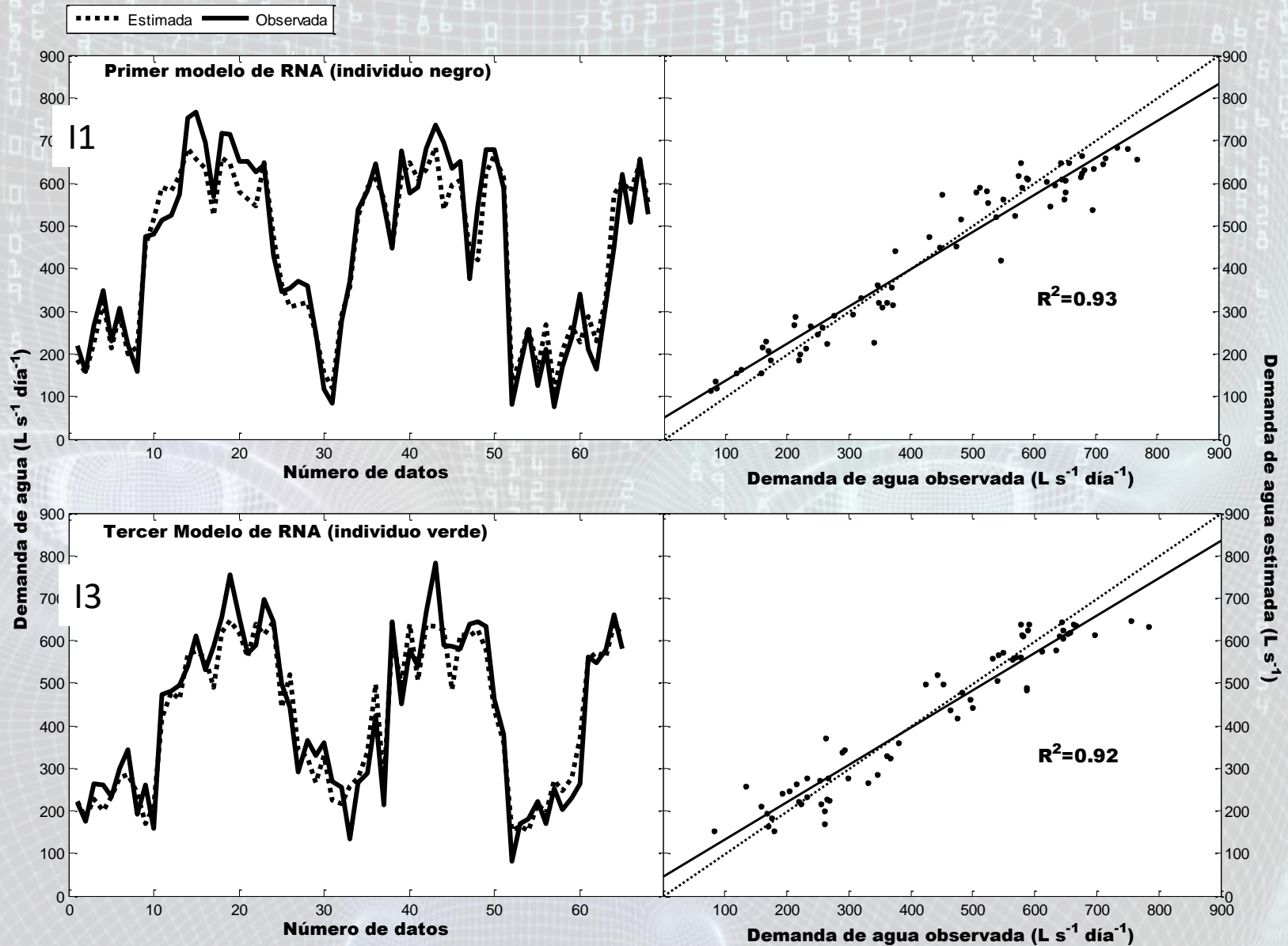
RNA(7,n,m,1)

Frente de Pareto



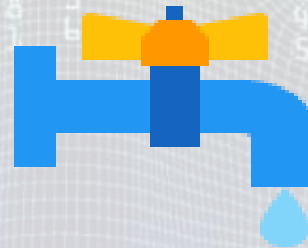


		I1	I2	I3
Nº Neuronas de la 1ª capa oculta		22	3	29
Nº Neuronas de la 2ª capa oculta		14	23	16
Conjunto de entrenamiento (%)		81	75	80
Periodo de validación	R^2	0.92	0.90	0.93
	RMSE ($L s^{-1}$)	53.42	58.10	55.18
	SEP (%)	12.72	13.48	12.63



1. Introducción
2. Variables de entrada
3. Modelos predictivos a escala de Red de Distribución de agua
- 4. Modelos predictivos a escala de parcela**
5. Conclusiones

Modelización del comportamiento del agricultor



Objetivo

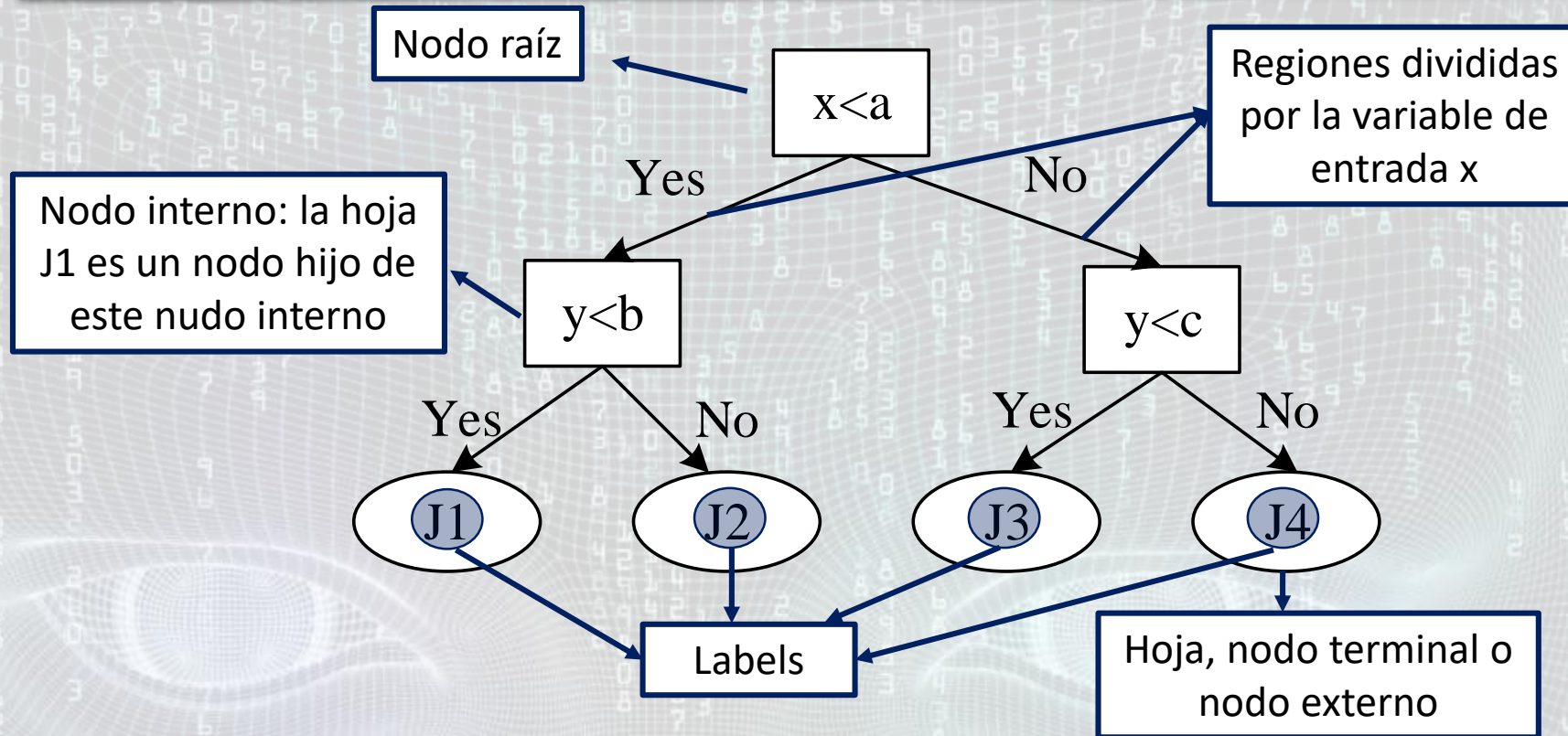
Desarrollar una nueva metodología combinando Árboles de decisión y Algoritmos Genéticos para modelizar el comportamiento del agricultor y predecir los eventos de riego



Planteamiento del problema

$F1 = \text{Máx. número eventos bien clasificados}$

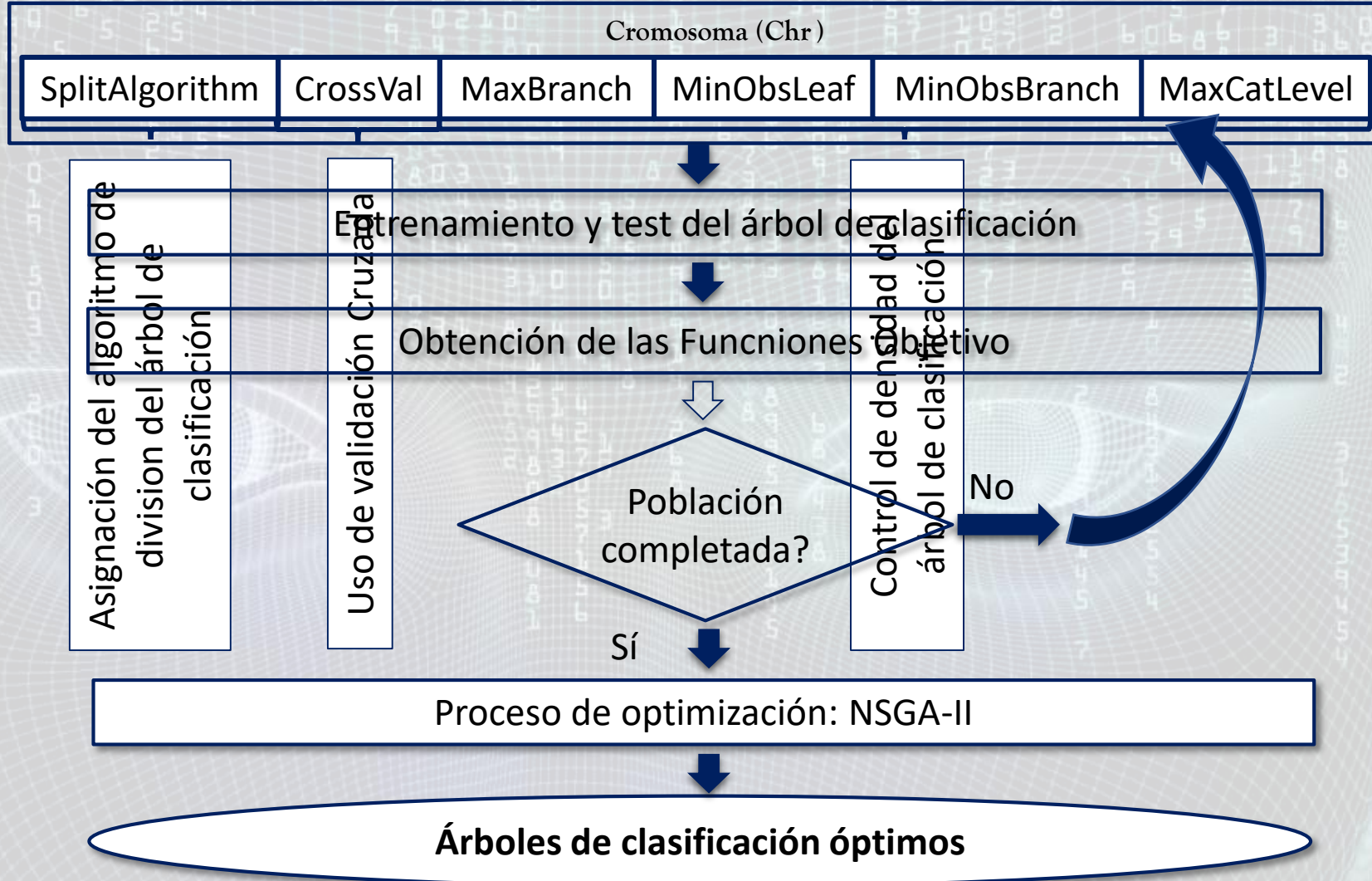
$F2 = \text{número de nodos del árbol} = \text{densidad}$



Control de densidad

- Max. Number of Branch node splits per tree
- Minimum number of Observations per Leaf
- Minimum number of Observations per Branch node
- Maximum Categories or levels of the classification tree

Población Inicial, GEN = 0



Comunidad de Regantes: Canal del Zújar. Sector II

Caso de Estudio

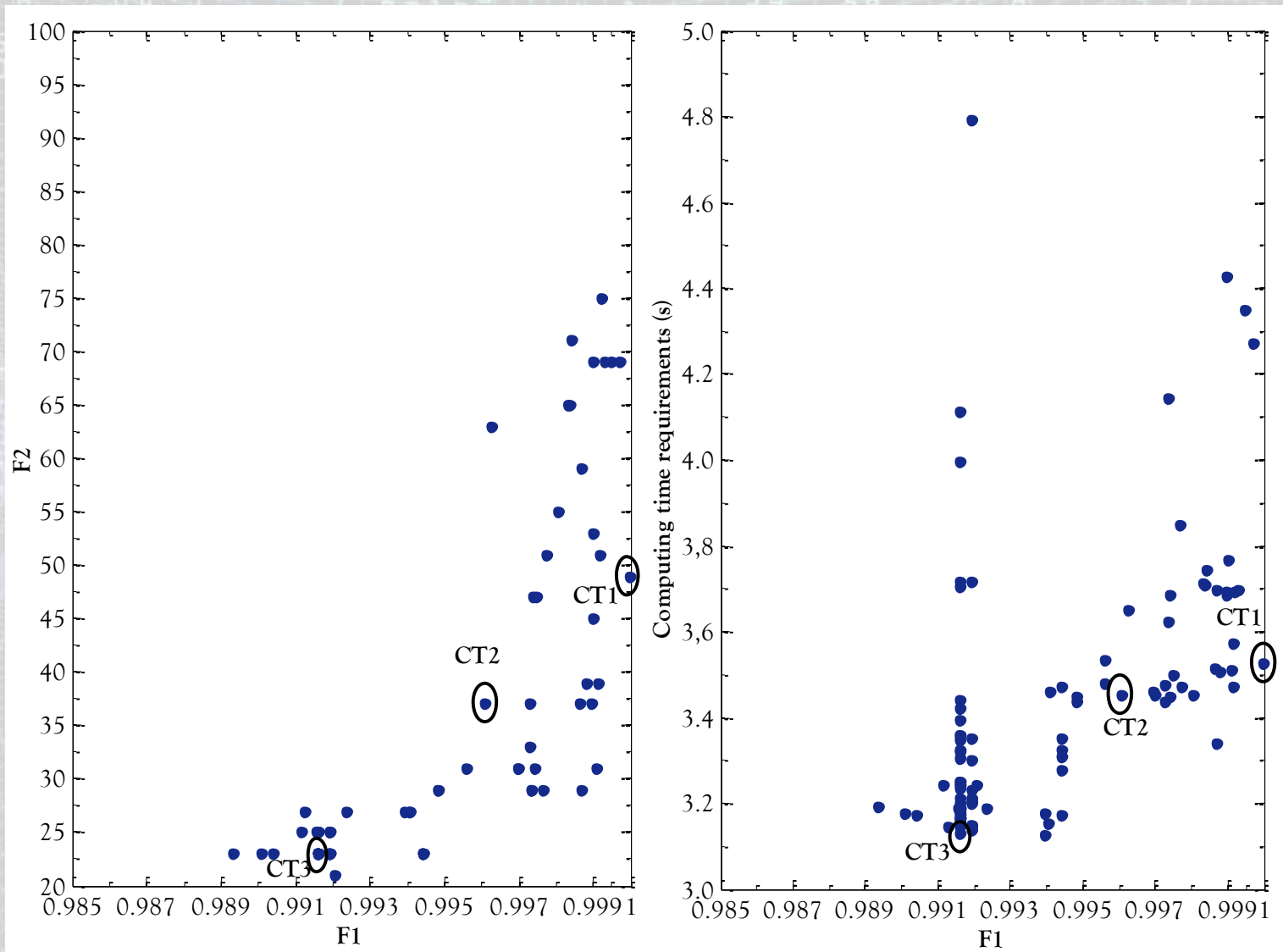


- Localización: Suroeste de España
- Superficie regada: 2,691 ha
- Sistema de riego: - Goteo (Tomate y maíz)
- Inundación (arroz)
- Sistema de telemetría: consumo horario de agua a escala de hidrante
- Estación de riego: 2015
- Número de hidrantes: 649 → 627
- Conjuntos de entrenamiento/test: 80/20

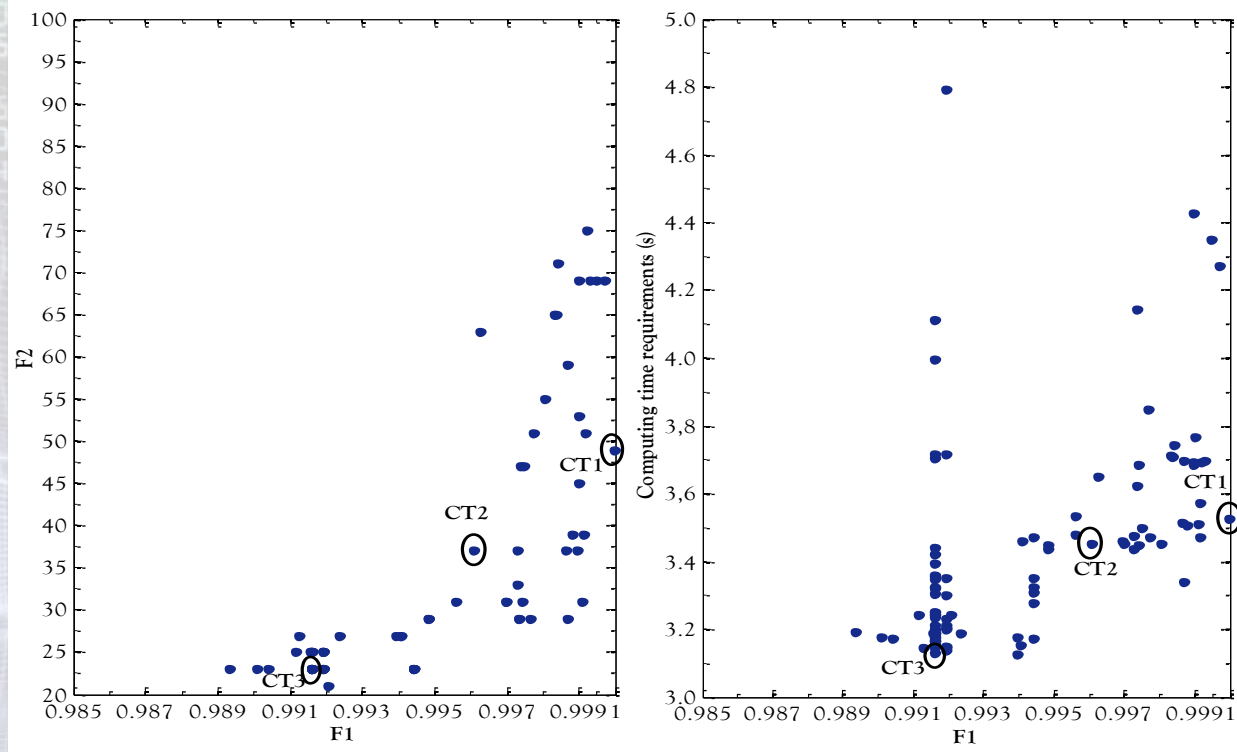
Variables de Entrada

Input	Descripción
I_1	Cultivo.
I_2	Día Juliano.
I_3	Festivos (false or true).
I_4	Día de la semana.
I_5	Temperatura máxima diaria(°C).
I_6	Temperatura media diaria(°C).
I_7	Humedad relativa media diaria(%).
I_8	Precipitación (false or true).

Frente de Pareto



Árboles seleccionados



	CT1	CT2	CT3
Validación Cruzada	yes	yes	yes
F1	1	0.9961	0.9916
F2	49	37	23

4. Escala de parcela

Resultados: Matriz de confusión

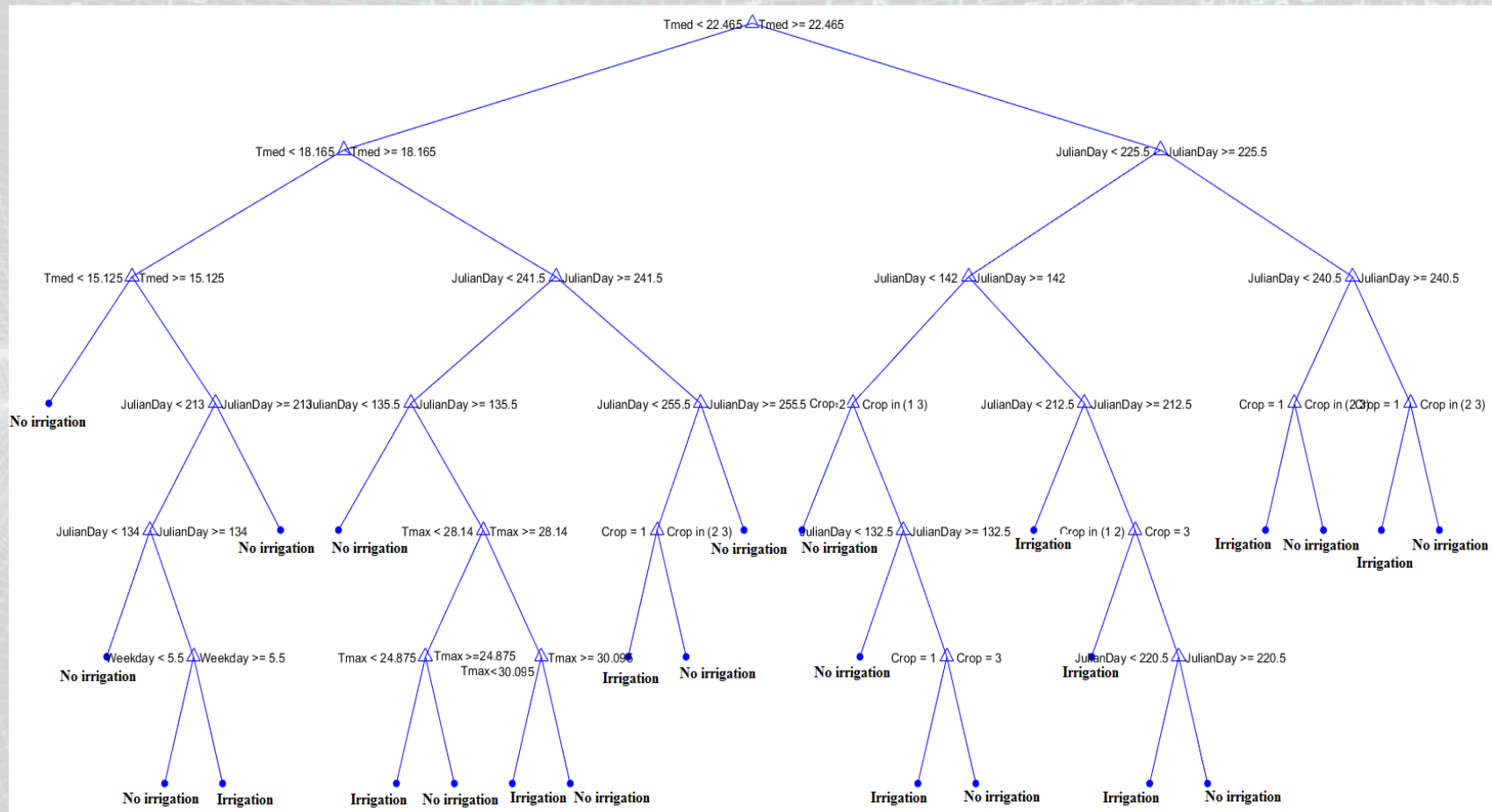
CT1		Valores pred.		Precisión	
		Riego	No Riego	Positive (Riego)	Negative (No Riego)
Valores obs.	Riego	9,250	0	100 %	100 %
	No Riego	0	36,521		

CT2		Valores pred.		Precisión	
		Riego	No Irrigation	Positive (Riego)	Negative (No Irrigation)
Valores obs.	Riego	6,706	2,544	73 %	93 %
	No Riego	2,689	33,823		

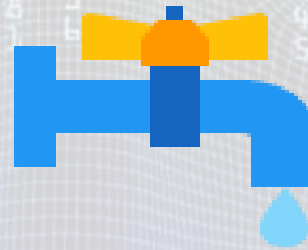
CT3		Valores pred.		Precisión	
		Riego	No Irrigation	Positivo (Riego)	Negativo (No Riego)
Valores obs.	Riego	6,329	2,921	68 %	93 %
	No Riego	2,537	33,984		

CT1

Resultados



Modelización del comportamiento del agricultor



Objetivo

Desarrollar una metodología híbrida combinando Algoritmos genéticos y Sistemas Neurodifusos para la predicción de la lámina de riego diaria aplicada por cada agricultor



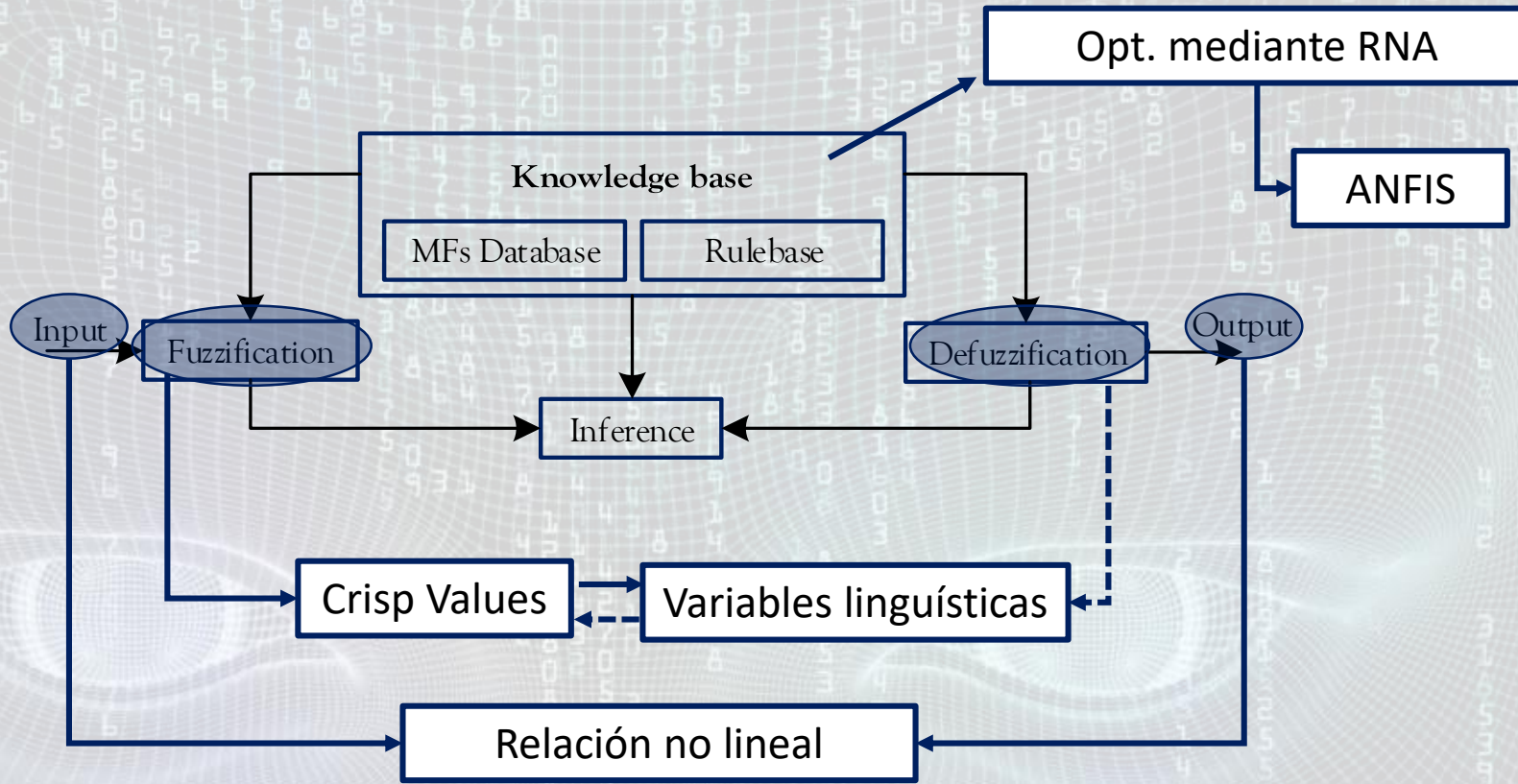
Planteamiento del problema

$F1 = \text{Máx. representatividad}$

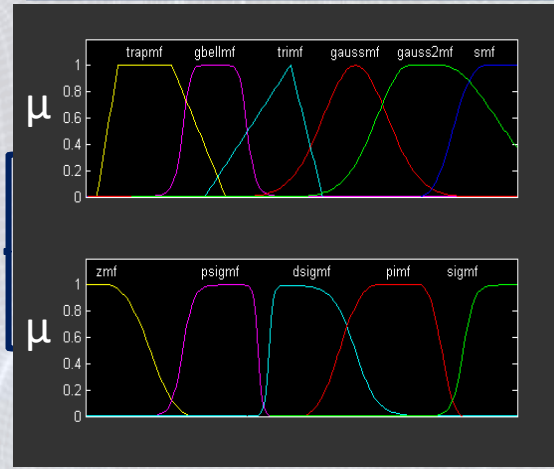
$F2 = \text{Error mínimo de predicción} = RMSE$

$$\rightarrow SEP = \frac{100}{Q_v} \cdot RMSE$$

Sistemas de Inferencia Difusa (FIS)



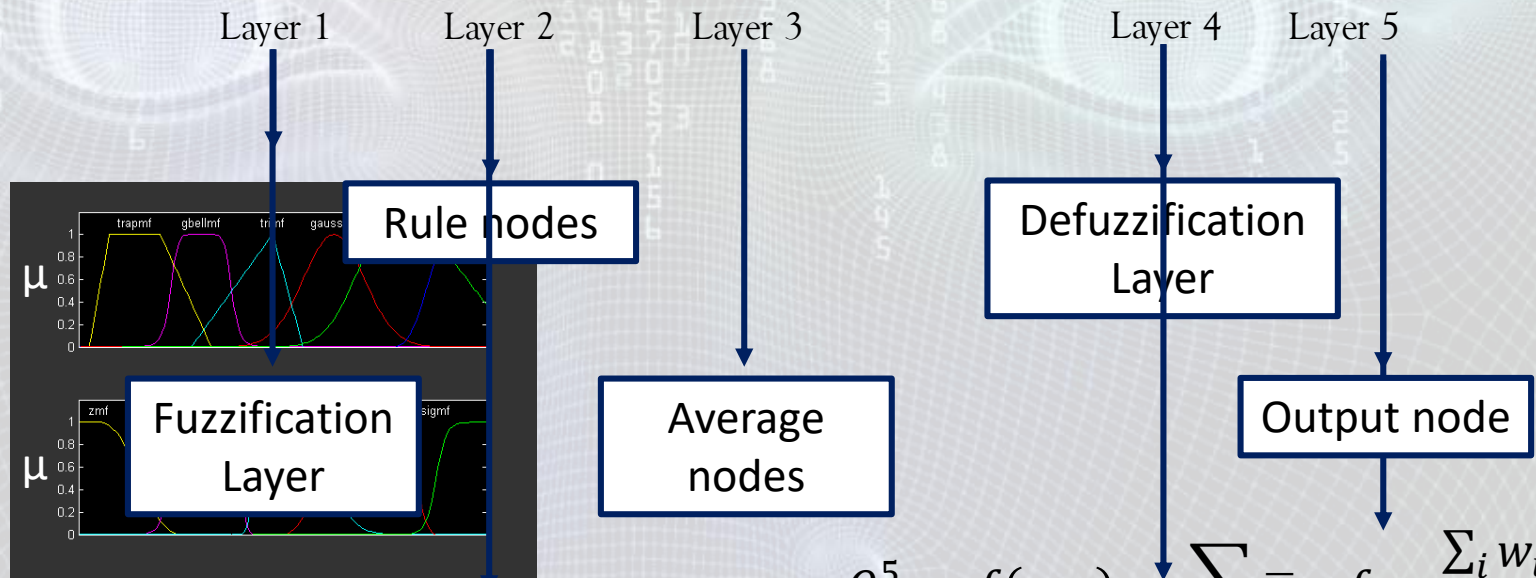
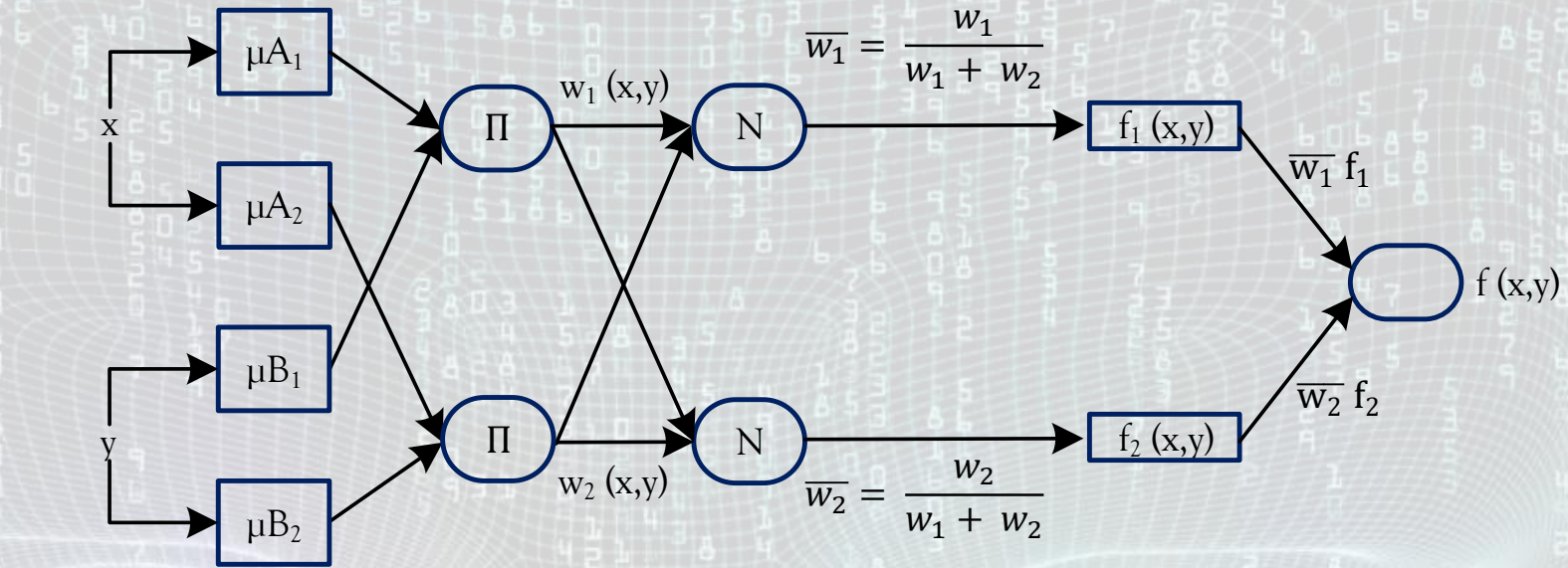
Sugeno-Takagi (TS) FIS



$$1 \text{ Then } f_1 = p_1 \cdot x + q_1 \cdot y + r_1$$

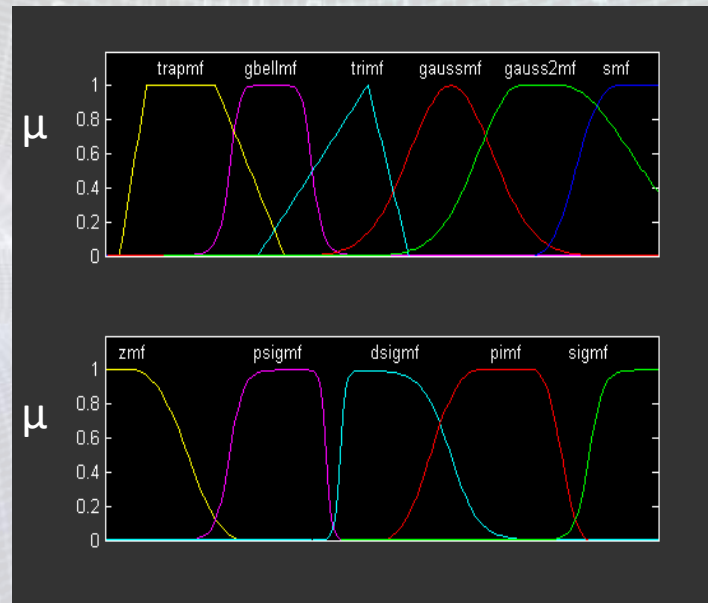
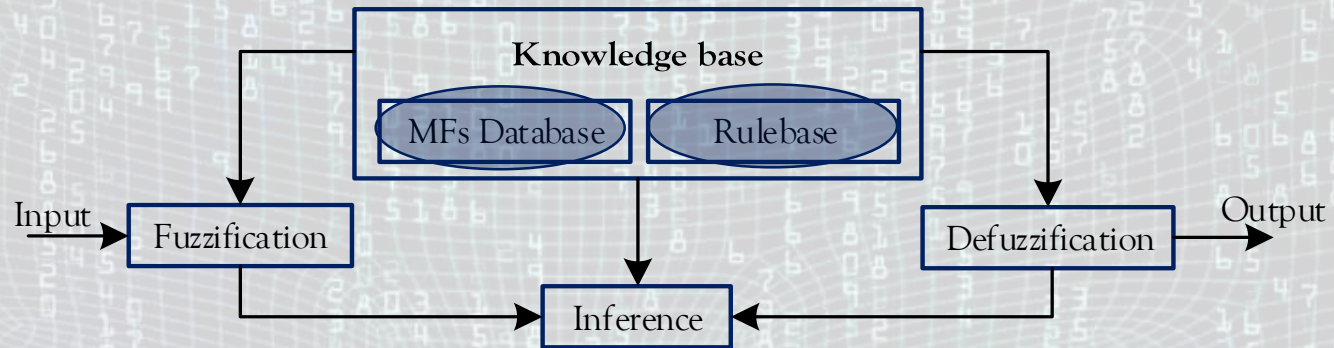
$$2 \text{ Then } f_2 = p_2 \cdot x + q_2 \cdot y + r_2$$

Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)



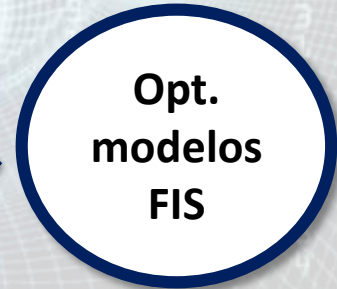
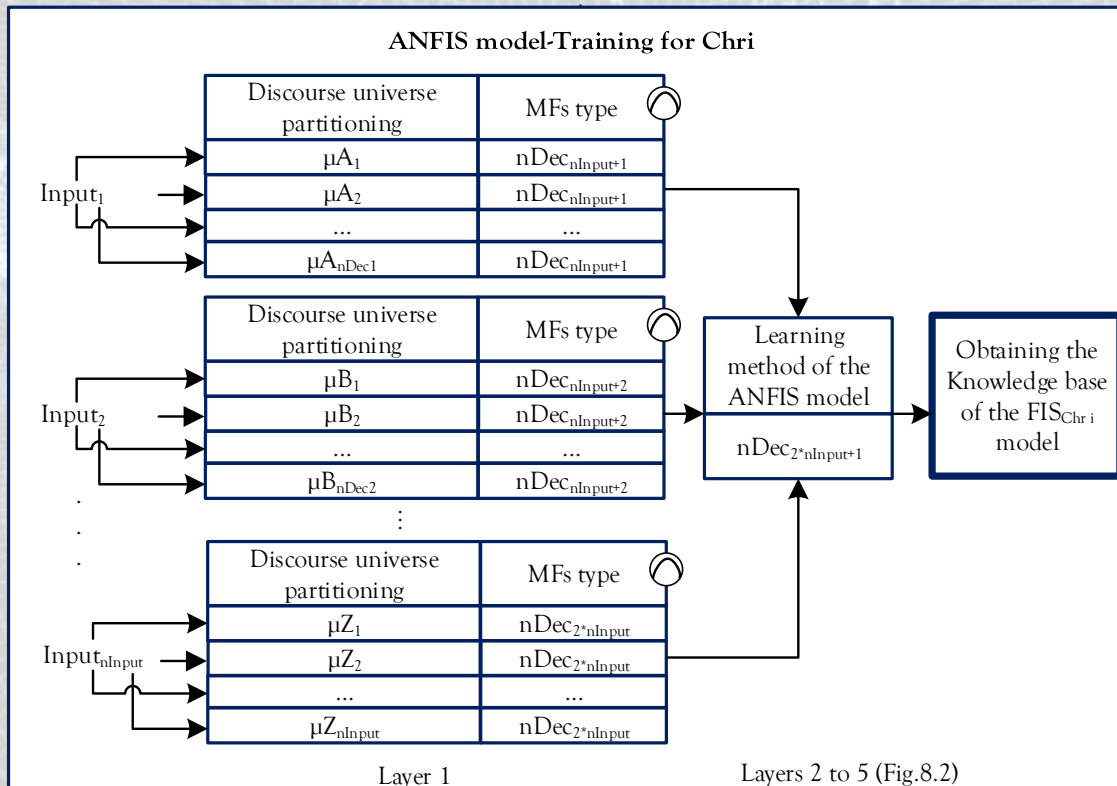
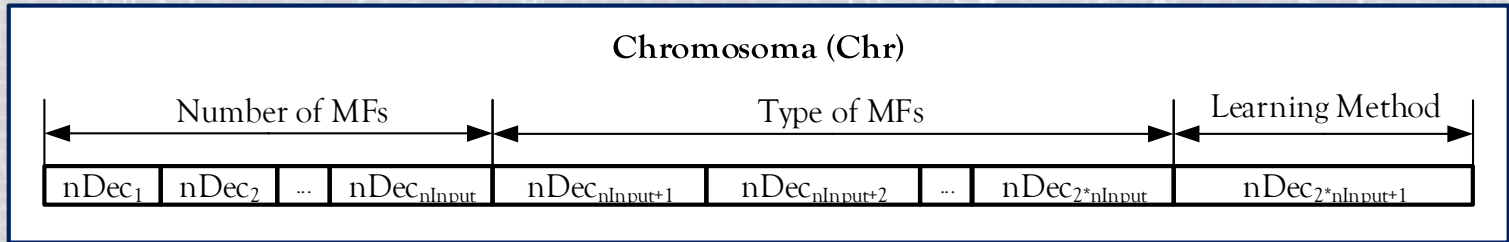
$$O_i^2 = w_i = \mu_{A_i}(x) \cdot \mu_{B_i}(y)$$

$$O_i^5 = f(x,y) = \bar{w}_i \sum_i \bar{w}_i \cdot f_i = \frac{\sum_i w_i \cdot f_i}{\sum_i w_i}$$



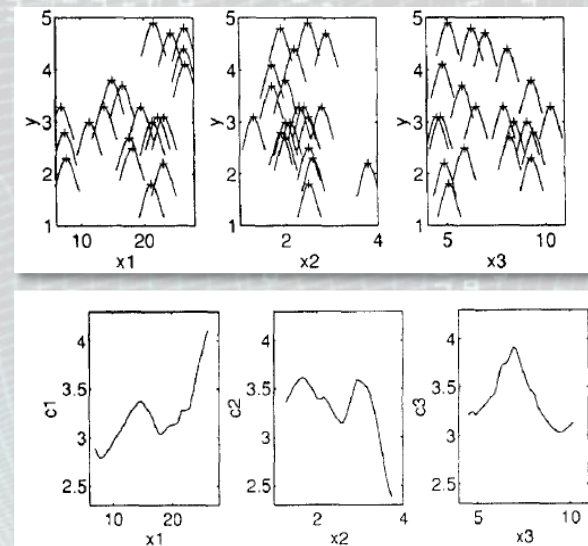
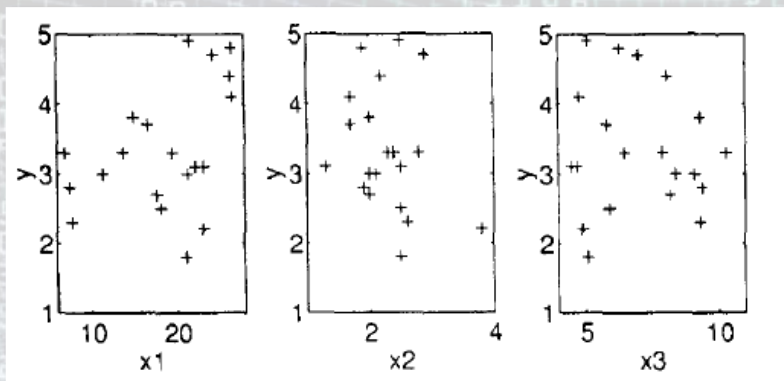
Algoritmo Genético: NSGA-II

Población Inicial, GEN = 0



Variables de Entrada

Fuzzy Curves and Fuzzy Surfaces



Resultados

Input	Description
PI_{17}	Lámina de riego aplicada en el día anterior, mm.
PI_{18}	Lámina de riego aplicada dos días anteriores, mm.
PI_{13}	Día Juliano.
PI_6	Humedad relativa máxima diaria, %.
PI_4	Temperatura media diaria, °C.

Frente de Pareto

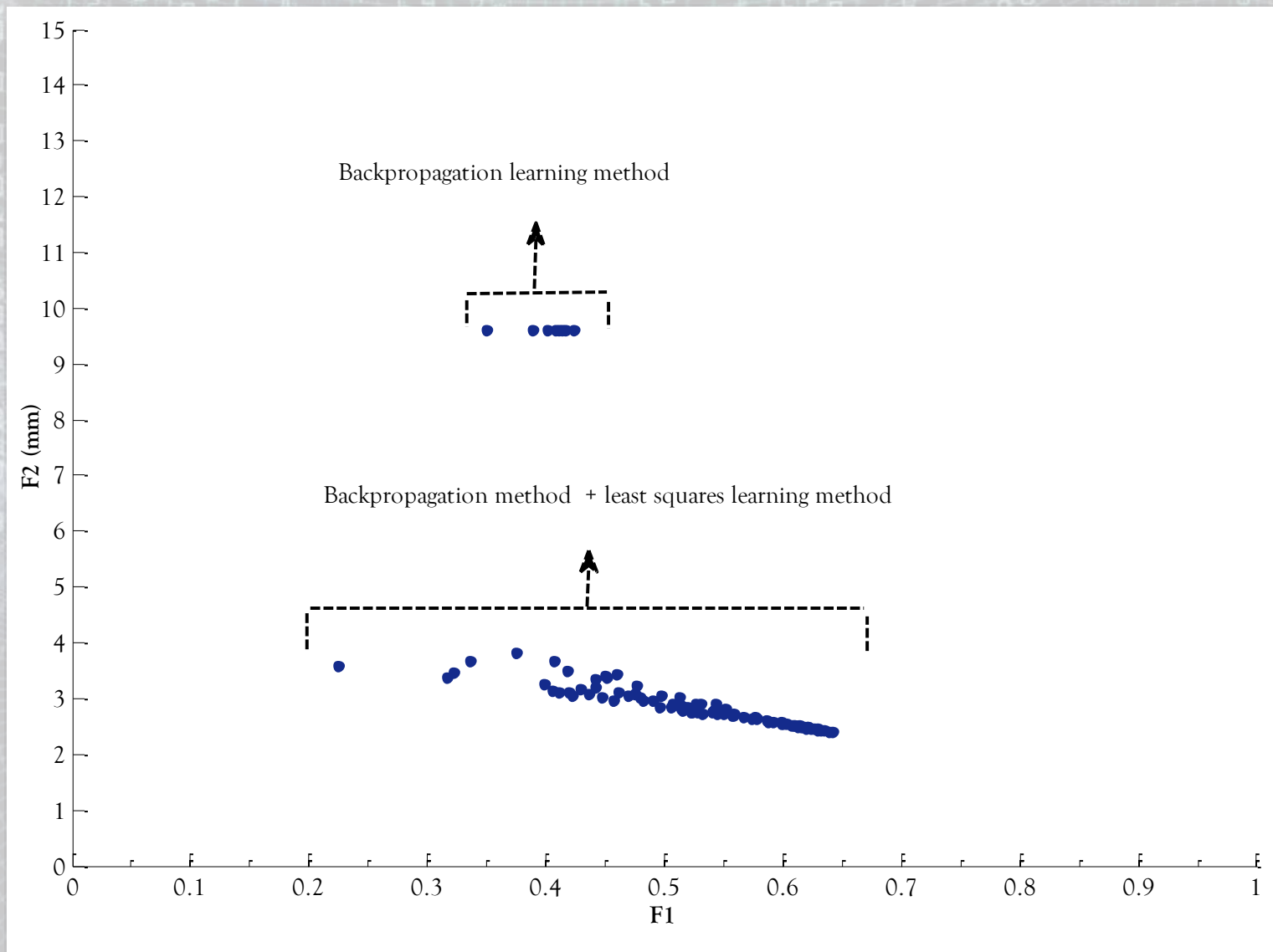
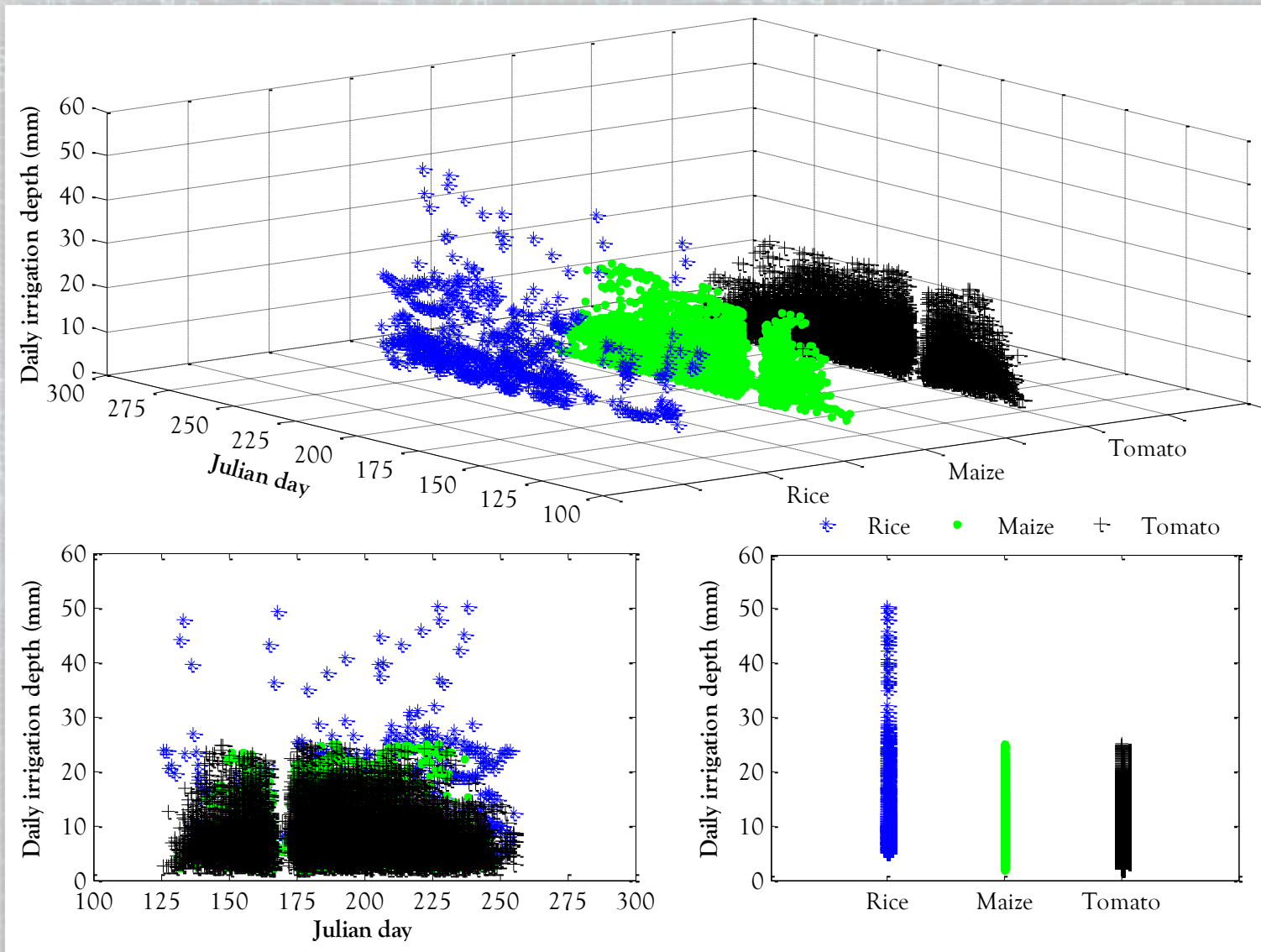
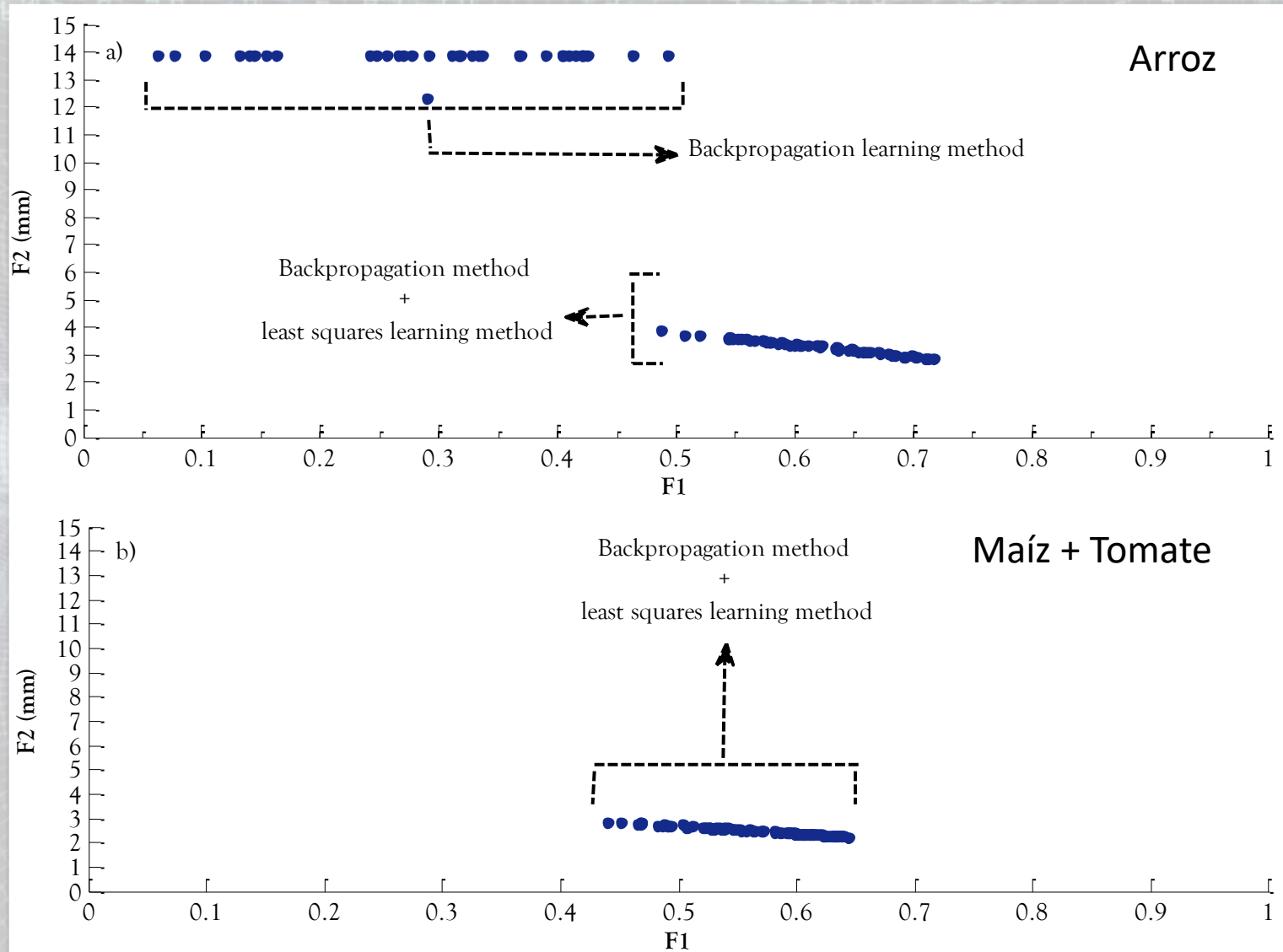


Lámina de riego diaria

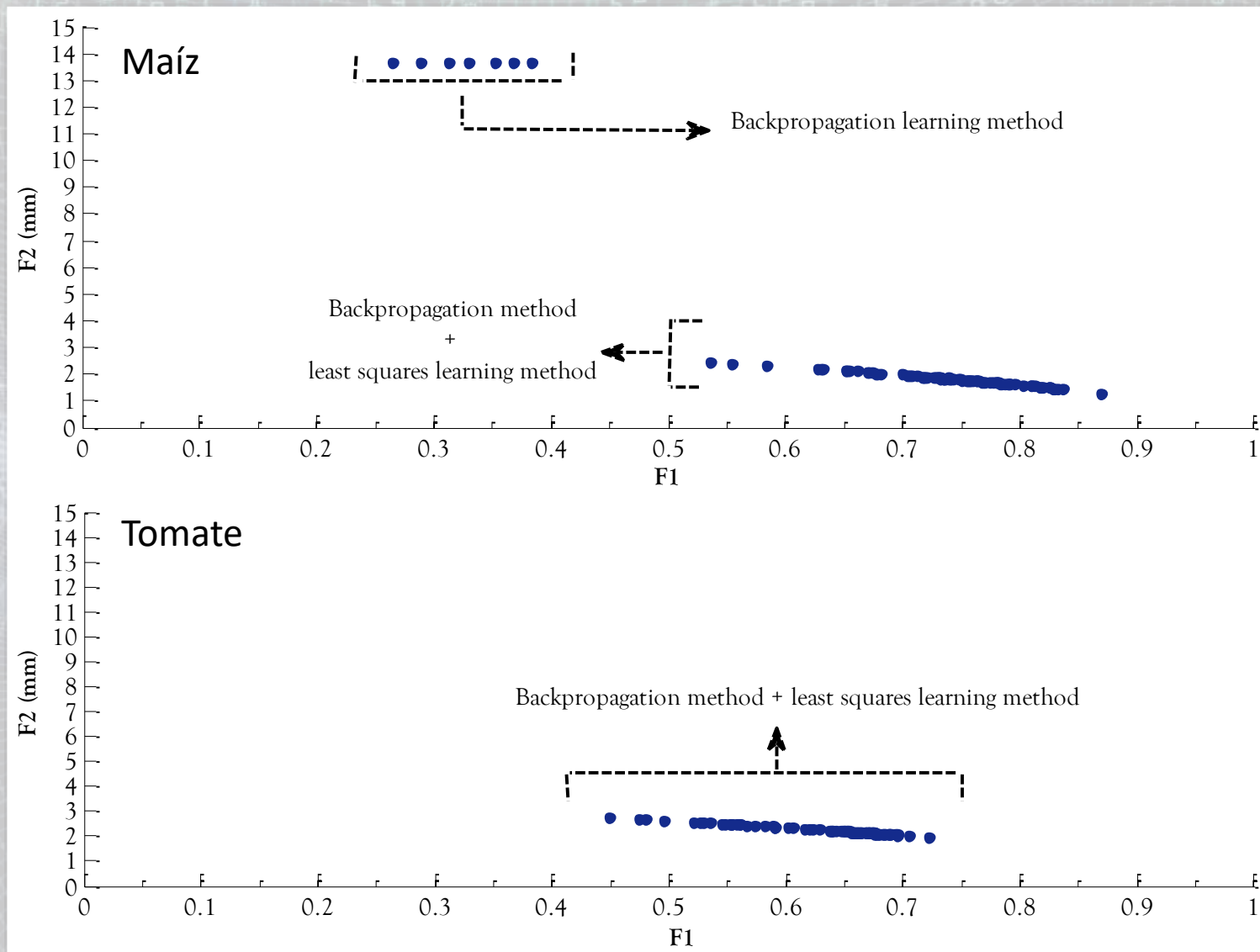


Frente de Pareto



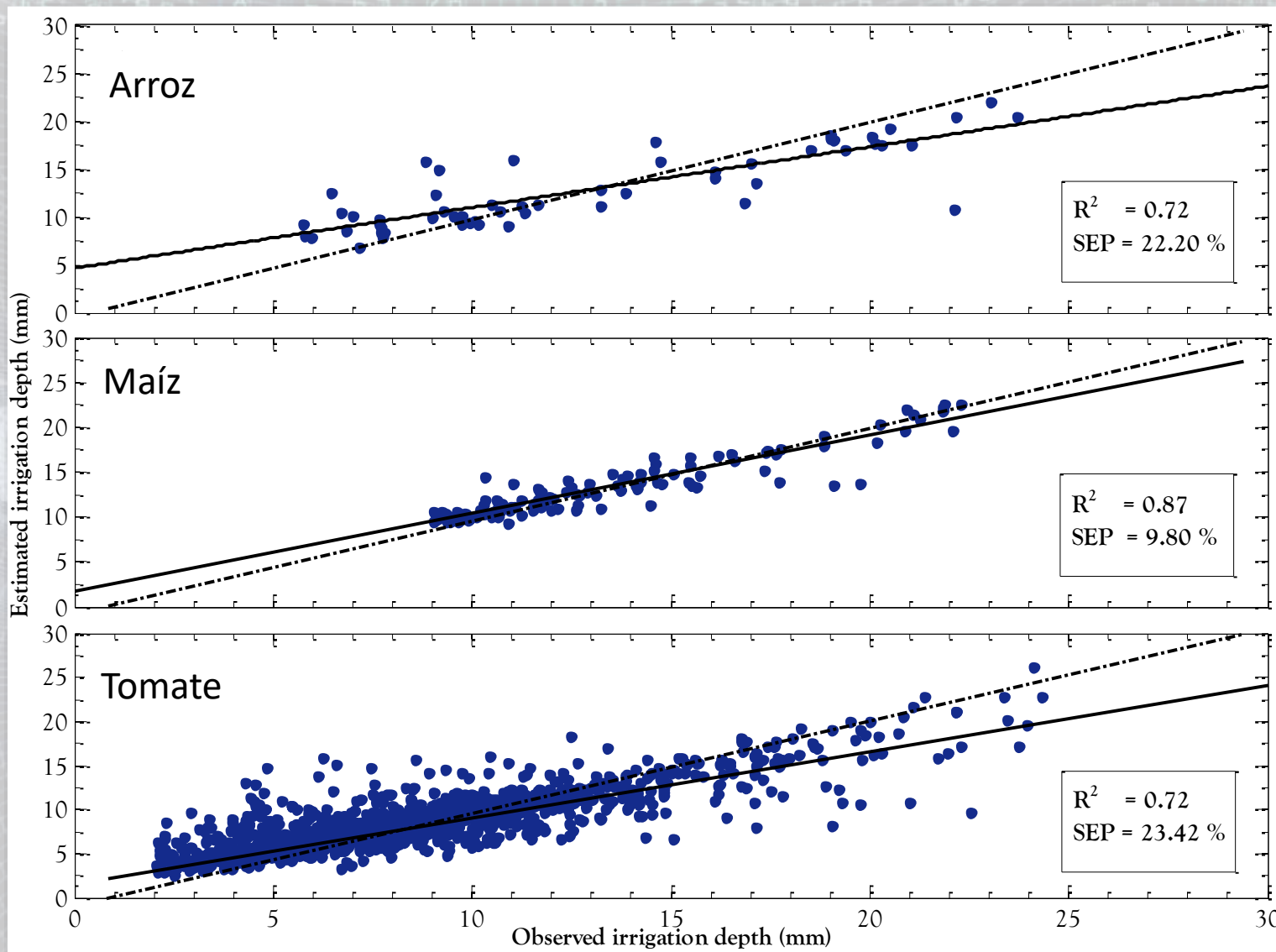
Frente de Pareto

Resultados

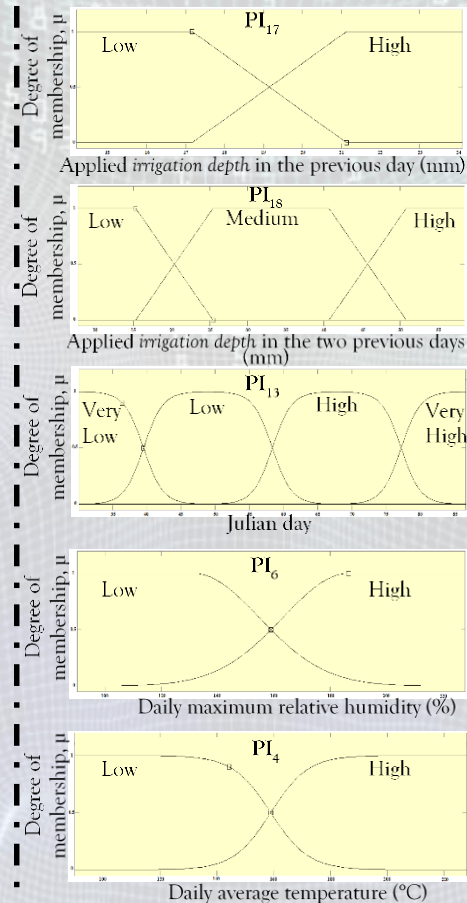
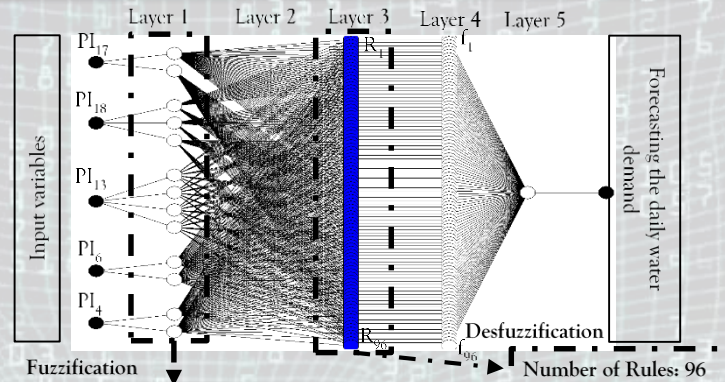


Modelos óptimos

Resultados



ANFIS Example



R27: If Applied irrigation depth in the previous day is **LOW and Applied irrigation depth in the two previous days is **MEDIUM** and Julian day is **HIGH** and the Daily maximum relative humidity is **HIGH** and Daily average temperature is **LOW**,**

THEN

$$f_{27} = 11.48 \cdot PI_{17} + 54.28 \cdot PI_{18} - 3.83 \cdot PI_{13} - 9.17 \cdot PI_6 + 26.06 \cdot PI_4 - 5400$$

1. Introducción
2. Variables de entrada
3. Modelos predictivos a escala de Red de Distribución de agua
4. Modelos predictivos a escala de parcela
- 5. Conclusiones**

La incorporación de la Inteligencia Artificial a la gestión de las Comunidades de Regantes permite reducir la incertidumbre ocasionada por los riegos organizados a la demanda y proporciona herramientas a los gestores tanto para la contratación de la energía eléctrica como para la gestión y petición de aguas.

La mejora del conocimiento y la integración de todos los elementos que componen las Redes de distribución de agua de riego permiten reducir la dependencia energética de las CC.RR. y por tanto de los agricultores.

Aplicación de la Inteligencia Artificial para la predicción de demanda diaria de agua en una Comunidad de Regantes