

**RESPUESTA AGRONÓMICA DEL ARROZAL AL  
ABONADO NITROGENADO EN LAS MARISMAS DEL  
GUADALQUIVIR. FERTILIZACIÓN Y HUELLA DE  
CARBONO PARCIAL.**



**Manuel Aguilar Portero**

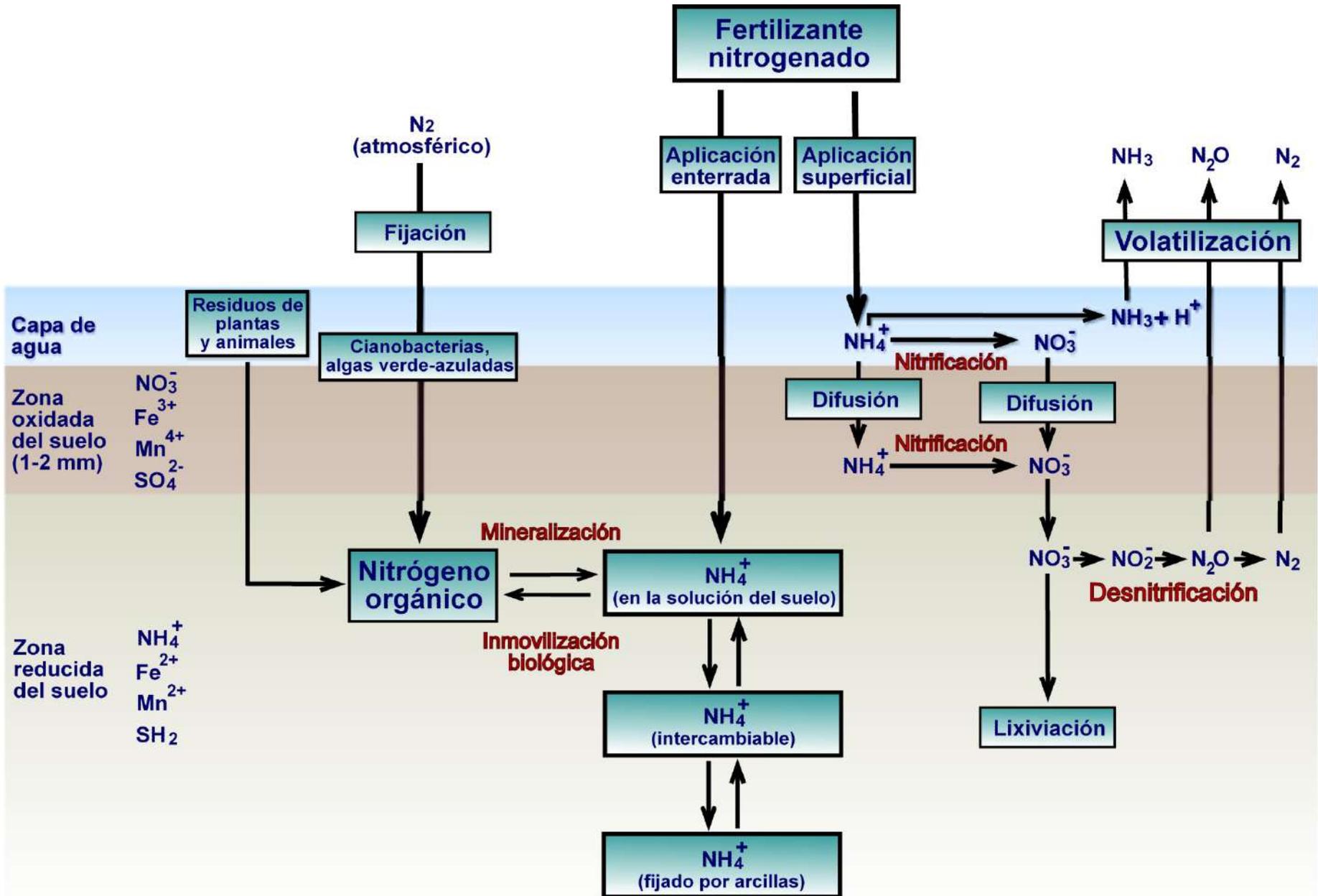
## Transformaciones del nitrógeno en el suelo del arrozal

La inundación provoca un incremento del suministro y disponibilidad del nitrógeno, la inestabilidad de los nitratos y la acumulación de nitrógeno en forma amónica. Ningún otro nutriente está sometido a tantas transformaciones químicas, en su mayoría llevados a cabo por los microorganismos del suelo.

Anualmente apenas un 2-4% de la materia orgánica se transforma en inorgánica (mineralización).

En un suelo inundado la ausencia de oxígeno hace que la mineralización se detenga en la forma amónica, que es la forma estable en condiciones reducidas. Las únicas zonas donde la forma nítrica (es decir los nitratos) es estable son la delgada capa aeróbica superior del suelo y la rizosfera.

# Transformaciones del nitrógeno en el suelo del arrozal



## Balance del nitrógeno en el arrozal

El nitrógeno puede llegar al suelo de cinco maneras diferentes: mineralización de la materia orgánica; aporte de fertilizantes; fijación biológica y posterior mineralización; disuelto en el agua de riego; y arrastrado por la lluvia.

Casi dos tercios del nitrógeno que absorbe la planta provienen de la mineralización de la materia orgánica

El agua de riego, según su procedencia, además de algo de materia orgánica en suspensión, puede llevar disueltas cantidades notables de nitrógeno mineral, mayormente nitratos y nitritos, pudiendo llegar a aportar hasta 60 kg/ha de nitrógeno a lo largo de la campaña. La lluvia arrastra diversos compuestos nitrogenados originados por la acción de los rayos o simplemente contaminantes atmosféricos, que se estiman en 5 -14 kg N/ha y año.

**Extracción media (paja + grano) de elementos químicos, expresada en Kg. por tonelada de arroz cáscara producido, según IRRI**

<b>Elemento</b>	<b>Paja</b>	<b>Grano</b>	<b>Total</b>
<b>N</b>	8	11	19

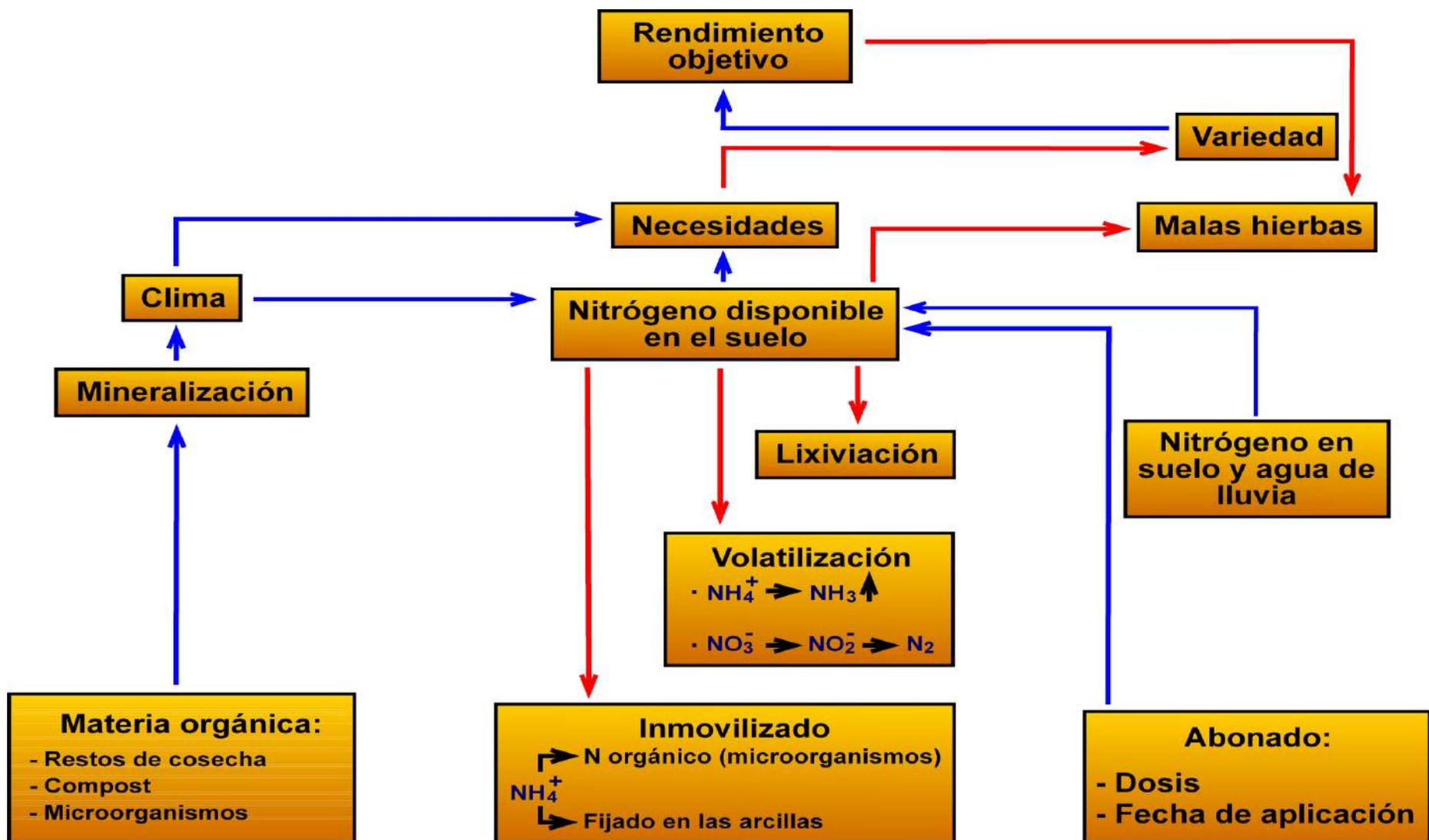
Existen diversos mecanismos de extracción de nitrógeno de la solución del suelo. El más importante es la absorción radicular realizada por el arroz y las malas hierbas.

Las pérdidas de nitrógeno en un suelo inundado son debidas a cuatro causas: percolación; arrastre superficial; nitrificación-desnitrificación; y volatilización del amoniaco. La percolación (infiltración profunda) es elevada en suelos de textura ligera y de baja CIC. Los suelos arcillosos o arcillo-limosos suelen ser impermeables, además de tener una alta CIC, siendo despreciables las pérdidas por percolación, permaneciendo la mayoría del nitrógeno en los primeros 20 cm.

La pérdida de nitrógeno más cuantiosa y frecuente es debida al paso de la forma amónica a gas amoniaco, que se volatiliza. Cuando se aplica en superficie, la urea se hidroliza formándose carbonato amónico, el cual se descompone produciendo amoniaco.

El arrastre superficial o lateral de nitrógeno puede llegar al 10-15% en caso de no incorporarse el abono, que abandona la parcela disuelto en el agua de riego. Parece ser que la planta aprovecha un 30-35% del nitrógeno aplicado con los abonos, un 20% queda temporalmente inmovilizado y el 45-50% restante se pierde.

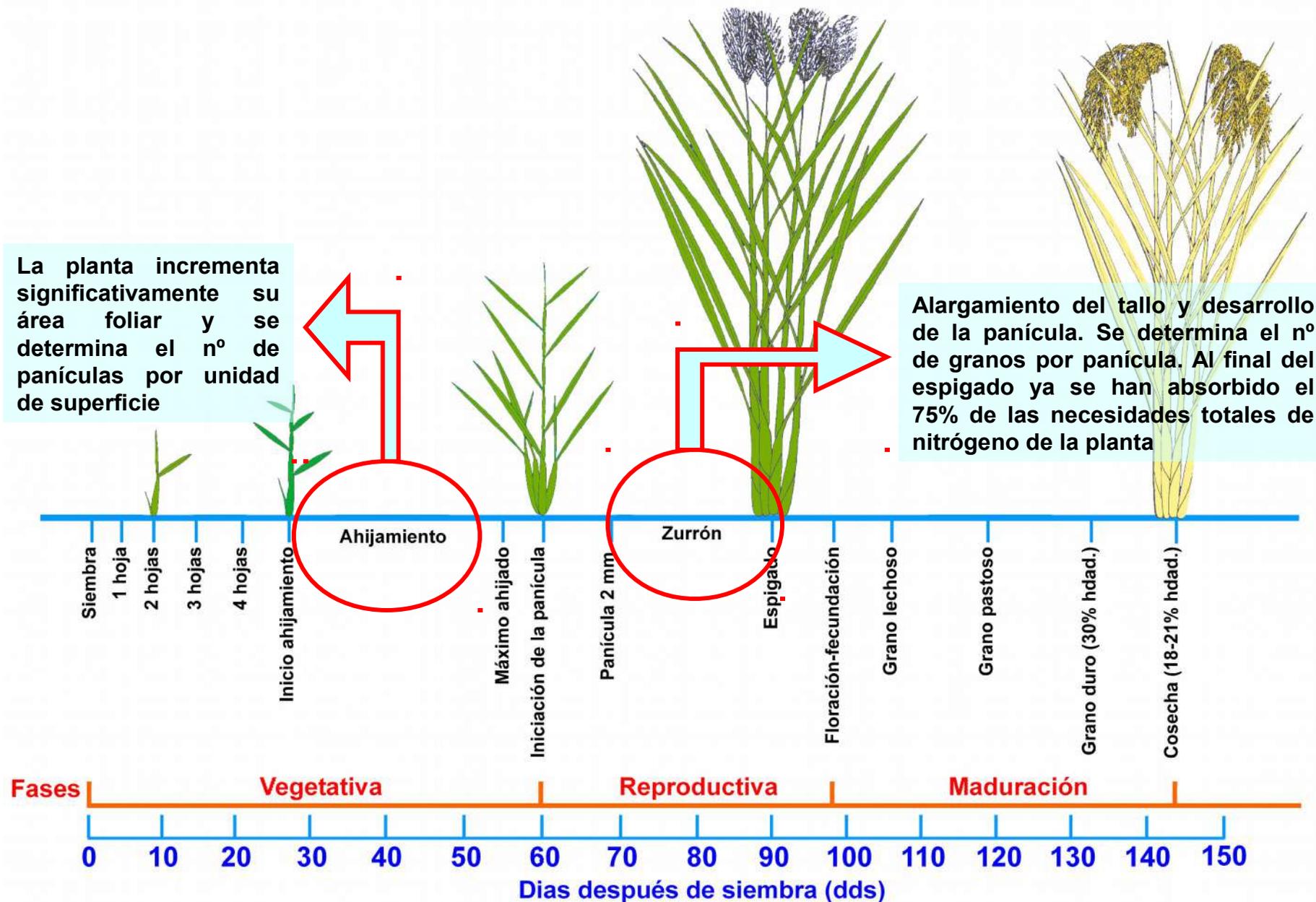
# Balance del nitrógeno en el arrozal



Para conocer el balance del nitrógeno en el suelo es conveniente analizar las distintas fuentes de suministro y extracción.

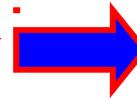
# Períodos de máximo requerimiento de nitrógeno en el cultivo del arroz

La planta incrementa significativamente su área foliar y se determina el nº de panículas por unidad de superficie



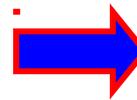
## **Nitrógeno**

- Se acumula principalmente en las hojas



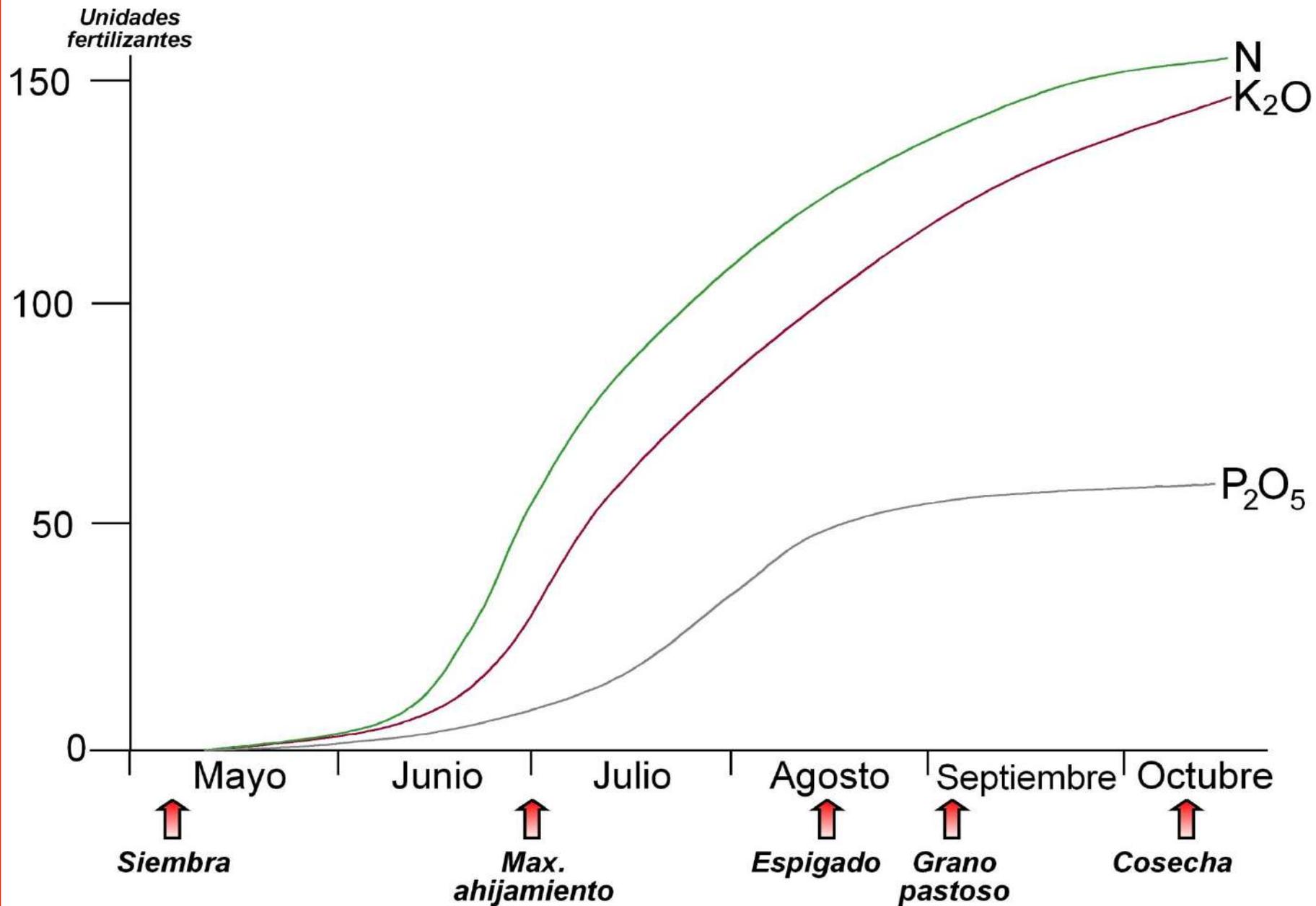
**En espigado  
ya se ha  
absorbido  
más del 75%  
de las  
necesidades  
totales de la  
planta**

- 2/3 partes del nitrógeno de las partes verdes de la planta se transloca al grano



**Fase de  
llenado y  
maduración**

## Evolución de la absorción de nutrientes en el arroz



La planta de arroz crece mejor y alcanza mayores rendimientos cuando es fertilizada con abonos amoniacales (urea, fosfato amónico, etc.) que con nitratos. En realidad las raíces pueden absorber por igual el nitrógeno en forma amónica que en forma nítrica, pero los nitratos en un suelo inundado sufren altas pérdidas por desnitrificación y percolación. Por ello, las aplicaciones de nitrógeno nítrico en cobertera, a veces necesarias, es mejor realizarlas cuando el sistema radicular ha alcanzado un desarrollo suficiente en superficie (normalmente a partir de las cinco o seis semanas después de la siembra) a fin de ser rápidamente absorbidas y disminuir las pérdidas de este nutriente.

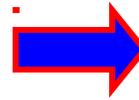
La incorporación del abono amoniacal (a unos 5-15 cm de profundidad) reduce las pérdidas de nitrógeno y lo hace menos disponible para las plántulas de malas hierbas que germinan cerca de la superficie del suelo.

En áreas cercanas a las entradas (piqueras) de agua de riego es frecuente que no sea necesaria la aplicación de abonado debido, principalmente, al nitrógeno aportado por el agua de riego, así como a su mayor oxigenación, que estimula la proliferación de microorganismos fijadores de nitrógeno atmosférico.

El contenido total de nitrógeno obtenido mediante análisis de suelo es una referencia insuficiente para determinar la dosis de abonado. El método más preciso es la realización de experimentos o ensayos de campo.

**Marismas del  
Guadalquivir**

**- Urea 46%  
principalmente**



**En menor proporción,  
fosfato biamónico a  
200 Kg./ha,  
completando con  
urea, o un blending  
con una riqueza de  
35-15-0**

## **Abonado de fondo**

- Soporte de un buen ahijamiento
- Provee el N necesario para alcanzar en número deseado de espiguillas
- Eleva el porcentaje de granos llenos
- Aumenta el peso del grano
  
- Aumenta el rendimiento en grano
- La investigación aconseja la aplicación en fondo como práctica básica y más económica del abonado nitrogenado, tal como se lleva a cabo habitualmente en Andalucía

## **Abonado de cobertura**

- Debe ser considerado como un suplemento o socorro, no como un sustituto de un correcto abonado de fondo.
- Sólo algunos agricultores reservan hasta 1/3 de N para aplicarlo en cobertura no más tarde de la diferenciación de la panícula
- Sirve para corregir deficiencias y mantener el crecimiento y rendimiento de la planta
- Las deficiencias se detectan visualmente, o mediante análisis foliar
- Deficiencias detectadas en la etapa crítica del ahijamiento deben corregirse lo antes posible

**Dosis de fertilizante  
nitrogenado**

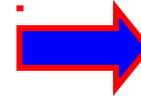
- **Fertilidad y tipo de suelo**
- **Clase y cantidad de los restos de cosecha**
- **Enmiendas orgánicas incorporadas**
- **Variedad**
- **Condiciones climáticas**
- **Experiencia de campañas precedentes**



**Momento de aplicación del abonado nitrogenado.**

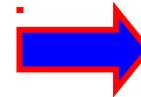
**Dosis de Nitrógeno  
según el REPIA**

**- Variedades  
tipo Índica**



**145 UN/ha**

**- Variedades  
Japónica**



**125 UN/ha**

**Dosis de N aplicadas en las  
Marismas suelen estar  
comprendidas entre 130 y 180  
UN/ha**

# Ensayo de respuesta a distintas dosis de Nitrógeno.

Análisis de suelo. Finca Casudis, Puebla del Río (Sevilla). Campaña 2011.

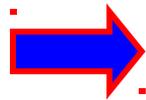


PARÁMETRO ANALIZADO	UNIDADES	RESULTADO ANÁLISIS
Capacidad de intercambio catiónico	meq/100g	23,2
Porcentaje de sodio intercambiable	%	15,1
Conductividad eléctrica. Ext. 1:5	mS/cm	2,2
pH	1/2.5	8,1
Materia orgánica oxidable	% P/P	2,12
Nitrógeno asimilable	ppm	16,4
Fósforo asimilable	ppm	25,6
Potasio asimilable	ppm	487
Arcilla	%	51,2
Limo	%	41,1
Arena	%	7,7
Clasificación Textura	ARCILLO-LIMOSO	

**Variedades ensayadas: tipo de grano y procedencia.**

<b>Variedad</b>	<b>Tipo de grano</b>	<b>Procedencia</b>	<b>Dosis de abonado nitrogenado (urea 46 % en fondo)</b>
Puntal	Largo	Hisparroz, S.A.	130, 145, 160 y 175 kg N / ha
Guadiagrán	Medio	Hisparroz, S.A.	110, 125, 140 y 155 kg N / ha

**- Diseño experimental**



**Bloques al azar con tres repeticiones (dos ensayos anuales, uno por variedad)**

## **Parametros a determinar (por parcela elemental).**

- Ciclo a espigado
- Altura de la planta
- Encamado
- Rendimiento en grano.
- Número de panículas por m<sup>2</sup>.
- Número de granos llenos por panícula.
- Peso de los 1000 granos.
- Rendimiento en enteros.
- Incidencia de plagas y enfermedades.
- Evolución del contenido de nitrógeno foliar en tres estados fenológicos (medio ahijado, diferenciación de la panícula y zurrón temprano).



**Cosechado del ensayo**

**Respuesta agrofisiológica, rendimiento en grano y rendimiento industrial de la variedad Puntal según distintas dosis de abonado nitrogenado. Puebla del Río (Sevilla). Medias campañas 2011 y 2012.**

Dosis de abonado nitrogenado (kg/ha)	Días a espigado	Altura planta (cm)	% de encamado	Componentes del rendimiento				Humedad en recolección (%)	Rendimiento industrial en enteros (%)	Rendimiento en grano (kg/ha al 14% de humedad)
				Paniculas / m <sup>2</sup>	Granos / panícula	Peso de 1000 granos (g)	% granos vacíos			
130	86 a*	98 a	3,7 a	431 a	88 a	22,5 a	5,0 a	20,0 a	63,8 a	8506 a
145	88 ab	99 a	4,5 a	444 b	91 a	23,5 a	4,9 a	20,1 a	64,0 a	9439 b
160	90 ab	101 a	5,3 a	454 c	94 a	24,1 a	4,7 a	20,4 a	64,6 a	10214 c
175	91 b	103 a	5,5 a	452 bc	95 a	24,1 a	4,7 a	20,5 a	64,8 a	10271 c
<b>Media</b>	89	100	4,8	445	92	23,5	4,8	20,2	64,3	9607
<b>MDS (95%)</b>	4,7	7,2	2,4	8,1	13,7	2,1	0,5	1,1	5,9	767
<b>CV (%)</b>	3,9	5,1	8,7	14,3	11,6	3,7	14,8	8,6	6,2	5,9

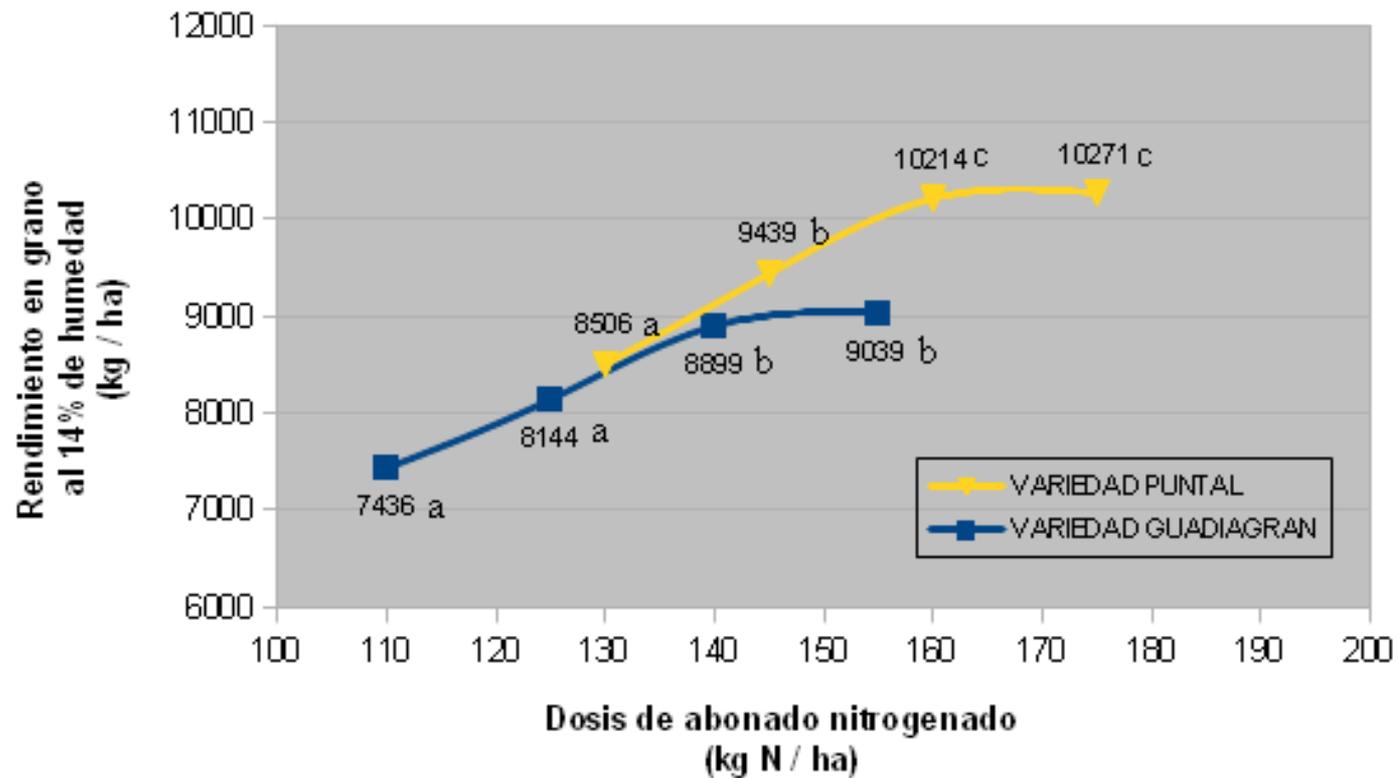
\*Letras distintas indican valores significativamente diferentes ( $P = 0,05$ ) entre datos.

**Respuesta agrofisiológica, rendimiento en grano y rendimiento industrial de la variedad Guadiagrán según distintas dosis de abonado nitrogenado. Puebla del Río (Sevilla). Medias campañas 2011 y 2012.**

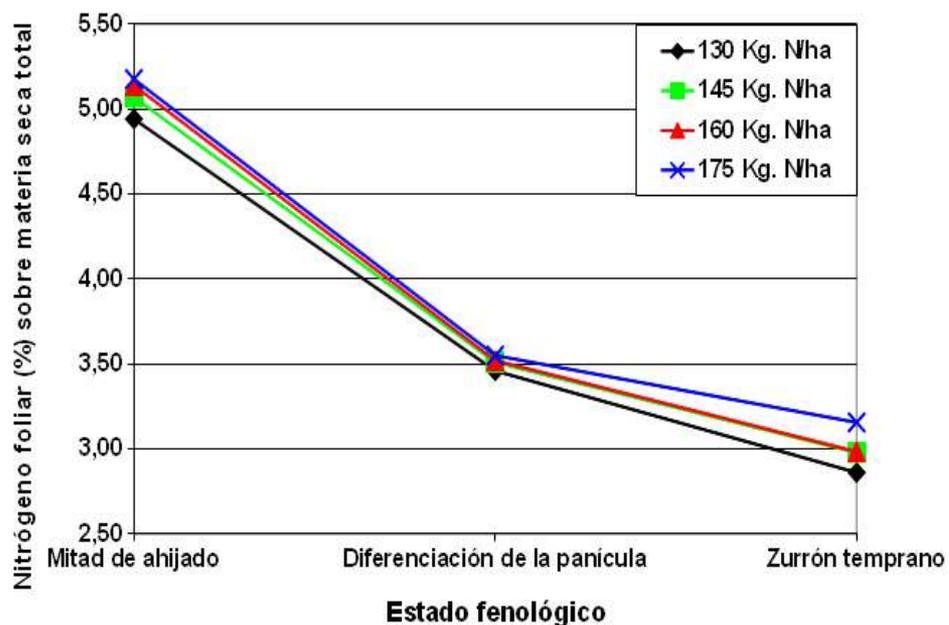
Dosis de abonado nitrogenado (kg/ha)	Días a espigado	Altura planta (cm)	% de encamado	Componentes del rendimiento				Humedad en recolección (%)	Rendimiento industrial en enteros (%)	Rendimiento en grano (kg/ha al 14% de humedad)
				Panículas / m <sup>2</sup>	Granos / panícula	Peso de 1000 granos (g)	% granos vacíos			
<b>110</b>	78 a*	93 a	19,0 a	462 a	62 a	26,1 a	12,0 a	20,1 a	61,7 a	7436 a
<b>125</b>	78 a	96 a	21,0 a	485 b	64 a	26,7 a	11,6 a	20,4 a	62,9 a	8144 a
<b>140</b>	81 a	98 a	25,0 a	494 c	66 a	27,5 a	11,8 a	21,4 a	63,1 a	8899 b
<b>155</b>	82 a	100 a	26,0 a	499 c	66 a	27,5 a	11,5 a	21,6 a	63,5 a	9039 b
<b>Media</b>	80	96	22,8	485	64	26,9	11,7	20,9	63,1	8379
<b>MDS (95%)</b>	6,8	7,9	8,1	8,6	12,9	3,1	8,2	3,6	5,8	709
<b>CV (%)</b>	6,2	5,3	15,4	14,4	12,8	4,2	15,9	8,6	7,2	5,4

\*Letras distintas indican valores significativamente diferentes ( $P = 0,05$ ) entre datos.

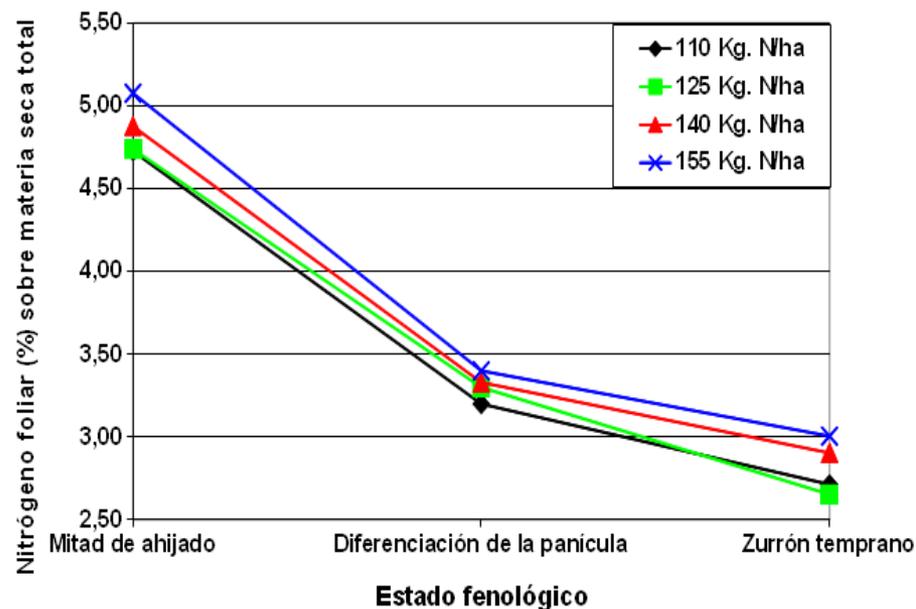
**Respuesta productiva de las variedades Puntal y Guadiagrán a diferentes dosis de abonado nitrogenado. Puebla del Río (Sevilla). Media campañas 2011 y 2012.**



**Evolución del porcentaje de nitrógeno foliar (limbo de la hoja-Y) según distintas dosis de abonado nitrogenado. Variedad Puntal. Puebla del Río (Sevilla). Media de las campañas 2011 y 2012.**



**Evolución del porcentaje de nitrógeno foliar (limbo de la hoja-Y) según distintas dosis de abonado nitrogenado. Variedad Guadiagrán. Puebla del Río (Sevilla). Media de las campañas 2011 y 2012.**



## Conclusiones

- En las condiciones ensayadas, la dosis adecuada de fertilizante nitrogenado para la variedad Puntal se situaría en 160 kg N / ha, 15 unidades de nitrógeno por encima de los 145 kg N / ha que permiten las Ayudas Agroambientales. En el caso de la variedad japónica Guadiagrán, la dosis de nitrógeno conveniente se sitúa en 140 kg N / ha, 15 unidades por encima de los 125 kg N / ha que contemplan las Ayudas Agroambientales.

- No se encontraron diferencias significativas en rendimiento en grano para dosis superiores a las mencionadas (160 y 145 kg N / ha para Puntal y Guadiagrán, respectivamente).

- En ambas variedades, el incremento de rendimiento afectó a los valores de sus tres componentes, aunque solamente el número de panículas por metro cuadrado lo fue de forma significativa.

- El incremento de la dosis de abonado alargó el ciclo a espigado de la variedad Puntal, mientras que en la variedad Guadiagrán aumentó su porcentaje de encamado. Los restantes parámetros agro-fisiológicos considerados no se vieron afectados significativamente por dicho incremento, en ninguna de las dos variedades.

- Las citadas dosis máximas permitidas (145 y 125 kg N / ha), frente a las dosis óptimas determinadas en las condiciones ensayadas (160 y 140 kg N / ha), suponen una pérdida en rendimiento en grano en torno al 8 – 8,5 %, con el correspondiente lucro cesante.

## Conclusiones

- Con respecto a la evolución del nitrógeno foliar, cabe resaltar una disminución significativa de dicho contenido en limbo, en ambas variedades, conforme avanza el ciclo vegetativo del arroz.

- A lo largo de dicho ciclo, se aprecian valores de nitrógeno foliar ligeramente superiores en la variedad tipo índica.

- Generalmente, a una mayor dosis de nitrógeno aplicado corresponde un mayor contenido de nitrógeno foliar, aunque no siempre ha ocurrido este hecho en las condiciones ensayadas.

- En ninguno de los tres estados fenológicos considerados (medio ahijado, diferenciación de la panícula y zurrón temprano) se han hallado diferencias significativas que permitan detectar incrementos significativos de nitrógeno foliar entre las cuatro dosis de abonado nitrogenado, en ambas variedades.

- Estimamos que la determinación del porcentaje del nitrógeno en hoja no es un método lo suficientemente preciso para evidenciar pequeñas diferencias o desviaciones en las dosis de nitrógeno aplicadas, como las empleadas en nuestros experimentos.

# FERTILIZACIÓN Y HUELLA DE CARBONO PARCIAL.



**1. Introducción**

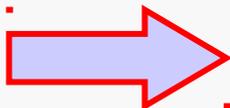
**2. Metodología**

**3. Resultados y discusión**

**4. Conclusiones**

## 1.- Introducción. Huella de carbono.

**Huella de  
carbono  
(HC)**



**«Totalidad de gases de efecto invernadero emitidos por efecto directo o indirecto de un individuo, organización, evento o producto»**

*(UK Carbon Trust, 2008)*

Unidad: masa de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>eq)

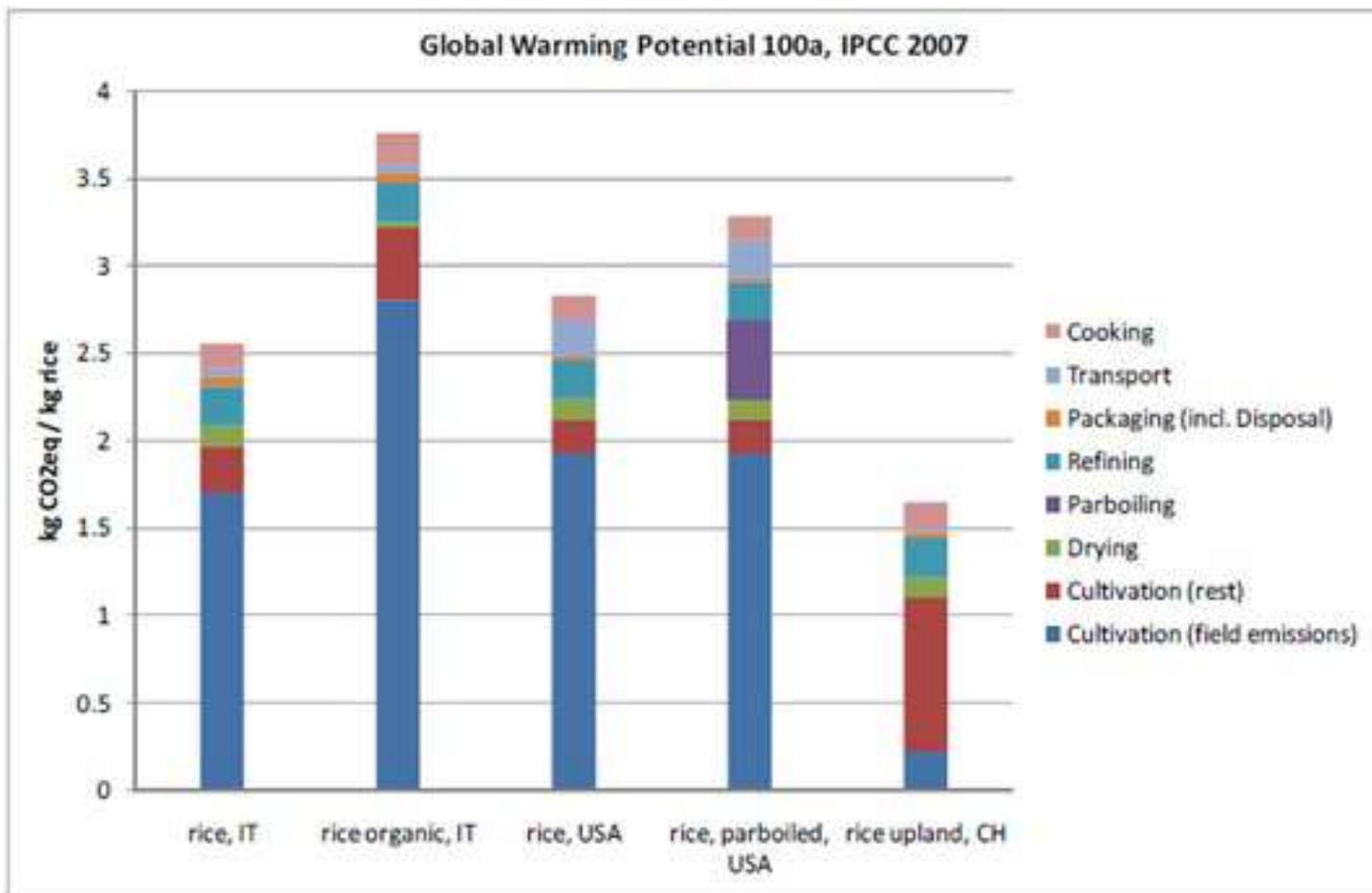
## 1.- Introducción. Gases de efecto invernadero y calentamiento global.

Gases de efecto invernadero (GEI) y otros	Concentración en la atmósfera (ppm)		
Dióxido de carbono			

- 1 g de  $\text{CH}_4$  es 23 veces más contaminante que 1 g de  $\text{CO}_2$ .
- 1 g de  $\text{N}_2\text{O}$  es 296 veces más contaminante que 1 g de  $\text{CO}_2$ .

Gases de efecto invernadero y su contribución al calentamiento global.

## 2.- Introducción. Huella de carbono en el cultivo del arroz.



La HC varía en función de la zona arrocera, las técnicas de cultivo y el tipo de producto de arroz que se pretende obtener.

**Figura 1.** Cuantificación de la huella de carbono total (producción y postproducción) para diversos productos de arroz y según diferentes tipos de cultivo. Kägi *et al*, 2010.

## 1.- Introducción. Huella de carbono en el cultivo del arroz.

Agricultura

Responsable de 1/3 del

Calentamiento global

### Huella de carbono total del cultivo del arroz

(kg CO<sub>2</sub>eq / ha)  
(kg CO<sub>2</sub>eq / kg arroz)

- Emisiones de GEI directas del terreno (sobre todo CH<sub>4</sub>).
- Proceso de cultivo en campo (labores y operaciones).
- Secado.

- Almacenamiento.
- Procesado del grano.
- Empaquetado.
- Transporte.
- Cocinado.

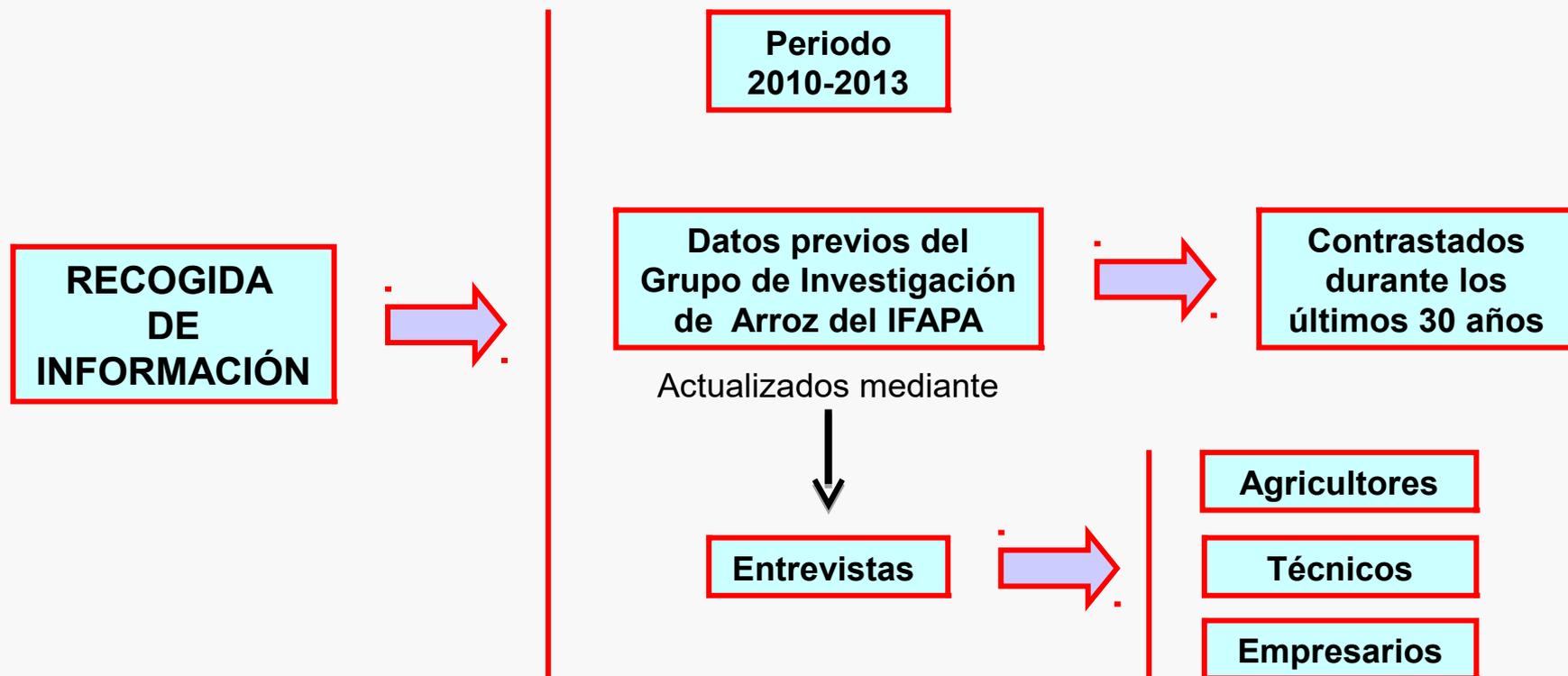
### Huella de carbono parcial del cultivo del arroz

(kg CO<sub>2</sub>eq / ha)  
(kg CO<sub>2</sub>eq / kg arroz)

- ~~Emisiones de GEI directas del terreno (sobre todo CH<sub>4</sub>).~~
- **Proceso de cultivo en campo (labores y operaciones).**
- **Secado.**
- **Almacenamiento.**
- ~~Procesado del grano.~~
- ~~Empaquetado.~~
- ~~Transporte.~~
- ~~Cocinado.~~

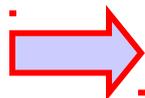
ESTUDIO

## 2.- Metodología. Recogida de datos.



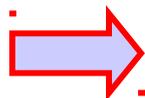
## 2.- Metodología. Consideraciones previas.

**Quema de rastrojo**



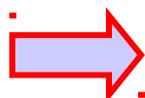
Emisiones no consideradas en el cálculo de la HCp

**Datos sobre labores y operaciones**



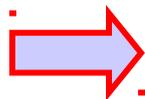
- Maquinaria (tractores, avionetas, cosechadoras...)
- Tipo de combustible maquinaria (gasóleo, gasolina, aceite...)
- Rendimiento maquinaria (superficie cubierta por unidad de tiempo)
- Inputs (fitosanitarios, fertilizantes, semillas, electricidad...)
- Dosis y consumos de inputs

**Factores de emisión (FE)**



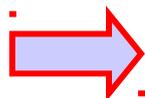
- Unidades de CO<sub>2</sub>eq asociadas al input
- Spanish GHG National Inventory 2011, EcoInvent database V2.2 – 2010, IDAE...)

**Superficie**



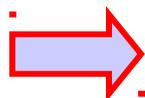
4500 ha aproximadamente

**Rendimiento en grano medio**



9300 kg/ha aproximadamente

**Variedad Puntal**



Muy representativa en la zona arrocerá de las Marismas del Guadalquivir. Aprox. 80% de la superficie.

## 2.- Metodología. Labores y operaciones.



**Descripción agronómica  
de las labores y  
operaciones de cultivo,  
por orden cronológico**



1. Desagüe de las tablas de cultivo.
2. Tratamiento de márgenes (lindes) y caminos con mochila pulverizadora.
3. Mantenimiento y conservación de infraestructuras de riego y desagüe.
4. Pase de cultivador de brazos flexibles o semichisel.
5. Pase de cultivador de brazos flexibles o grada de discos.
6. Preparación de almorrones, canales y filtraciones con pala hidráulica.
7. Nivelación láser.
8. Abonado de fondo con abonadora centrífuga de doble plato.
9. Pase de cultivador o semichisel para tapar abono.
10. Pase de cultivador de brazos flexibles o semichisel.
11. Abonado de fondo con abonadora centrífuga de doble plato a 12 m.
12. Tapar abono con pase de rastra + rulo desterronador.
13. Apertura de piqueras de entrada de agua y control de algas.
14. Limpieza de márgenes (residuos de "pasto" y raíces de la cosecha anterior).
15. Remojo y desinfección de semillas.
16. Siembra con tractor + abonadora centrífuga de doble plato.
17. Tratamiento de márgenes (lindes) con mochila pulverizadora.
18. Tratamiento aéreo contra larvas de Quironómidos y Efidridos.
19. Replanta.
20. Tratamiento aéreo contra Echinochloa.
21. Tratamiento terrestre contra Ciperáceas y hoja ancha.
22. Tratamiento contra pulgón.
23. Escarda manual de Echinochloa.
24. Tratamiento contra rosquilla o pudenta.
25. Tratamiento contra Pyricularia oryzae.
26. Riego.
27. Recolección (cosecha).
28. Transporte de la cosecha.
29. Labor de fangueo.
30. Secado y almacenamiento.

## 2.- Metodología. Labores y operaciones.

Las labores y operaciones de cultivo se agruparon según las siguientes **siete categorías operacionales** (o grupos homogéneos), establecidas siguiendo los criterios agronómicos del estudio agroeconómico de Aguilar *et al.*, 2007:

### Labores preparatorias del terreno

- Pases de cultivador (dos pases).
- Preparación de almorrones, canales y filtraciones.
- Nivelación láser.

### Abonado

- Abonado fosfórico de fondo.
- Abonado nitrogenado de fondo.
- Tapar abono (dos pases, uno para cada tipo de abonado).

### Siembra

- Producción de semilla.
- Siembra aérea.
- Replanta (sólo mano de obra).

## 2.- Metodología. Labores y operaciones.

### Riego

- Apertura de piqueras de entrada de agua (sólo mano de obra).
- Desagüe de las tablas de cultivo (sólo mano de obra).
- Limpieza de canales, mantenimiento de infraestructuras y tratamiento de canales de riego y carreteras.
- Bombeo de agua de riego.

### Tratamientos fitosanitarios

- Tratamiento herbicida de márgenes y caminos (dos pases).
- Control de algas.
- Remojo y desinfección de semilla.
- Tratamiento aéreo contra larvas de Quironómidos y Efídridos.
- Tratamiento aéreo contra *Echinochloa*.
- Tratamiento terrestre contra Ciperáceas y hoja ancha.
- Tratamiento aéreo contra Pulgón.
- Escarda manual de *Echinochloa* (sólo mano de obra).
- Tratamiento aéreo contra Rosquilla / Pudenta.
- Tratamiento aéreo contra *Pyricularia oryzae*.

### Recolección

- Cosecha.
- Transporte de cosecha.
- Secado y almacenamiento.

### Labores postcosecha

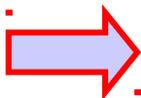
- Labor de fangueo.

## 2.- Metodología. Cálculo de la huella de carbono parcial.

### Ejemplo:

Labores y operaciones de cultivo por								
18	Tratamiento aéreo contra larvas de Qui Maquinaria (avioneta Ai							

**Consumo x FE = HC**



**Input:** Gasolina para aviones Jet A1.

**Consumo:** 1,68 l/ha.

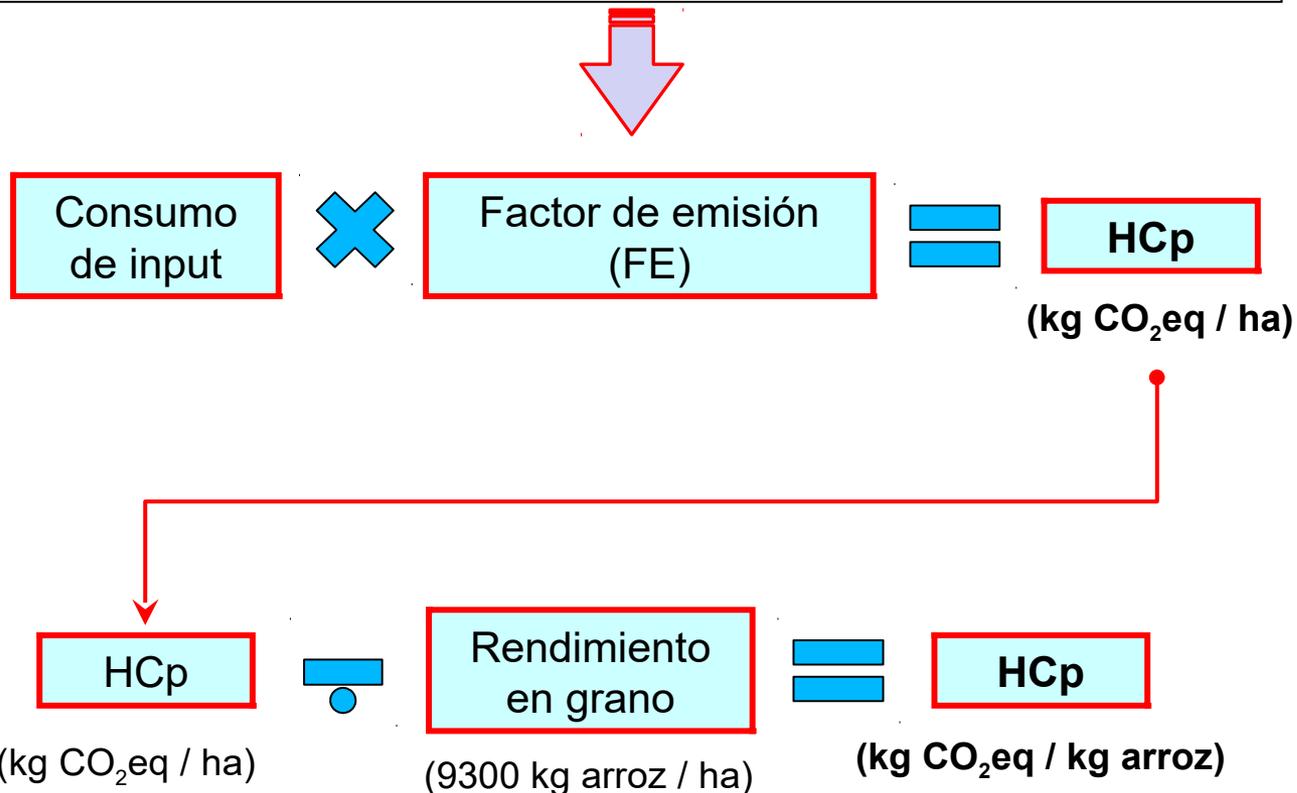
**FE:** 2,53 kg CO<sub>2</sub>eq / l Jet A1.

**HC:** 4,25 kg CO<sub>2</sub>eq / ha.

0,46 g CO<sub>2</sub>eq / kg arroz.

## 2.- Metodología. Cálculo de la huella de carbono parcial.

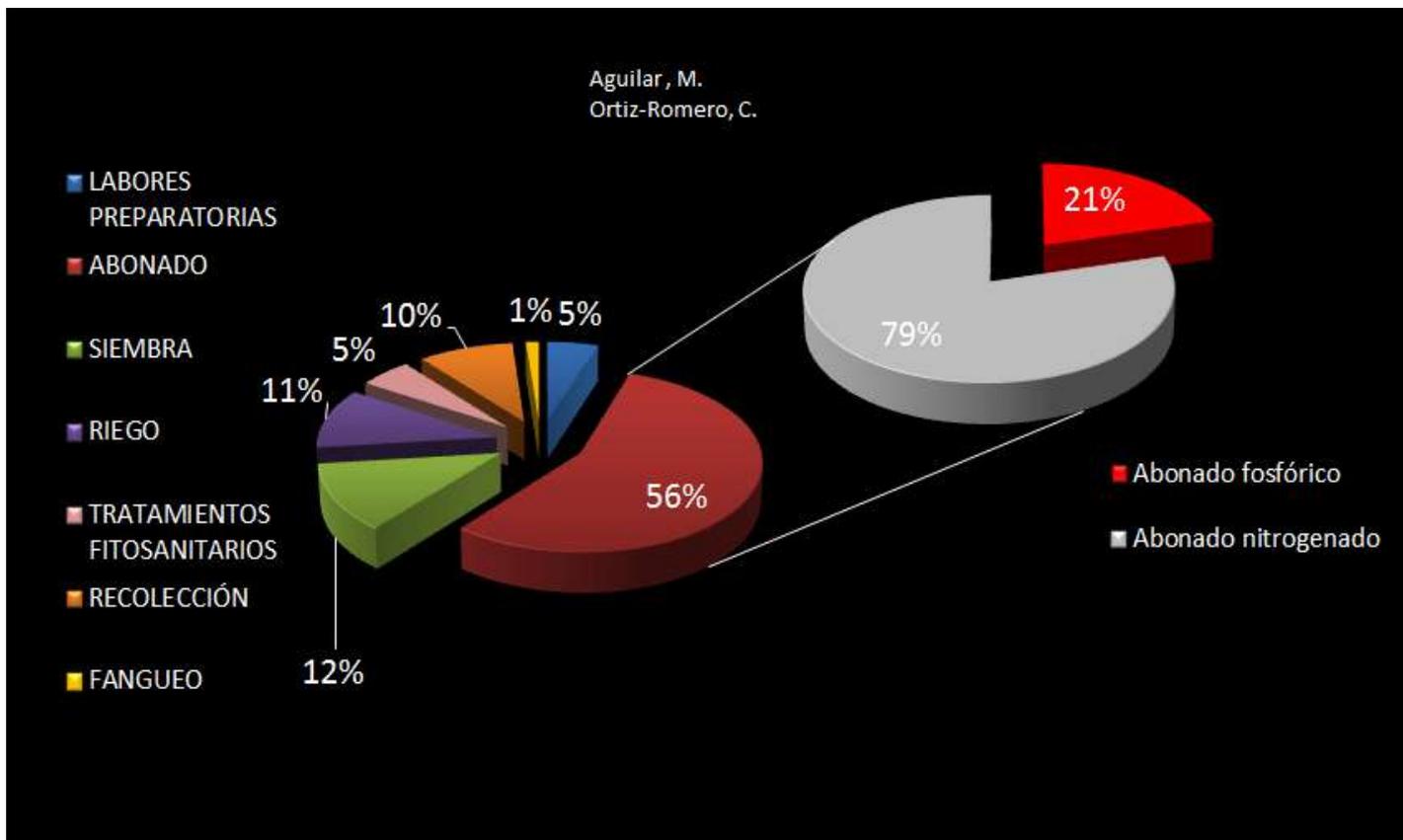
**Cantidad de input x su factor de emisión =  
= Cantidad de CO<sub>2</sub> equivalente (su huella de carbono)**







### 3.- Resultados y discusión. Contribución a la HCp/g Co<sub>2</sub>/Kg Arroz de cada categoría operacional.



**Abonado-N**  
↓  
**Ayudas Agroambientales**

**Abonado-P**  
↓  
**¿Sobreabonado?**

**Optimización del riego**

**Nº pases de secado**

Porcentaje de la huella de carbono parcial de cada categoría operacional excluyendo la quema de rastrojos y detallando la proporción de la labor de abonado. Marismas del Guadalquivir (Sevilla), campañas 2010-2013.