

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

PROGRAMA DE CEREALES Y GRANOS NATIVOS

**Hacia la sustentabilidad del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.)
frente al cambio climático**

Elizabeth Heros Aguilar



Situación del arroz en el Perú

Estadísticas (MINAGRI, 2019)

- **Superficie cosechada: 422,434 has**
- **Producción: 3'038,766 t**
- **Rendimiento promedio: 7.19 t ha⁻¹**
- **Cultivo con mayor aporte al PBI agropecuario: 4.5%**
- **PBI agrícola: 7.7%**
- **Contribuye con 44.7 millones de jornales**
 - **161,300 empleos permanentes**
 - **La mano de obra representa casi el 30% de la producción bruta arrocerá**
- **Soberanía alimentaria: Único cereal que satisface la demanda interna y es barato.**



Estatus del cultivo de arroz en el Perú

**Alto consumo de agua,
15, 000 a 20,000 m³ ha⁻¹**



**Degradación de los suelos,
• Batido del suelo**

**Uso de altos niveles de
nitrógeno, hasta 340 Kg N ha⁻¹**
• Contaminación del a acuífero



**Emisiones de gases de efecto
invernadero**



Figura 1. Cultivo de arroz en el sector Pueblo Nuevo, Ferreñafe

**Escasez de mano de
obra**

Alternativas tecnológicas de producción en búsqueda de la sustentabilidad

1. Mejorar la eficiencia de uso de nitrógeno

3. Mejorar la productividad del agua



Reducción de las emisiones GEI

2. Sustitución gradual del sistema de trasplante a sistema directo

Figura 2. Siembra directa de arroz en el valle Chancay

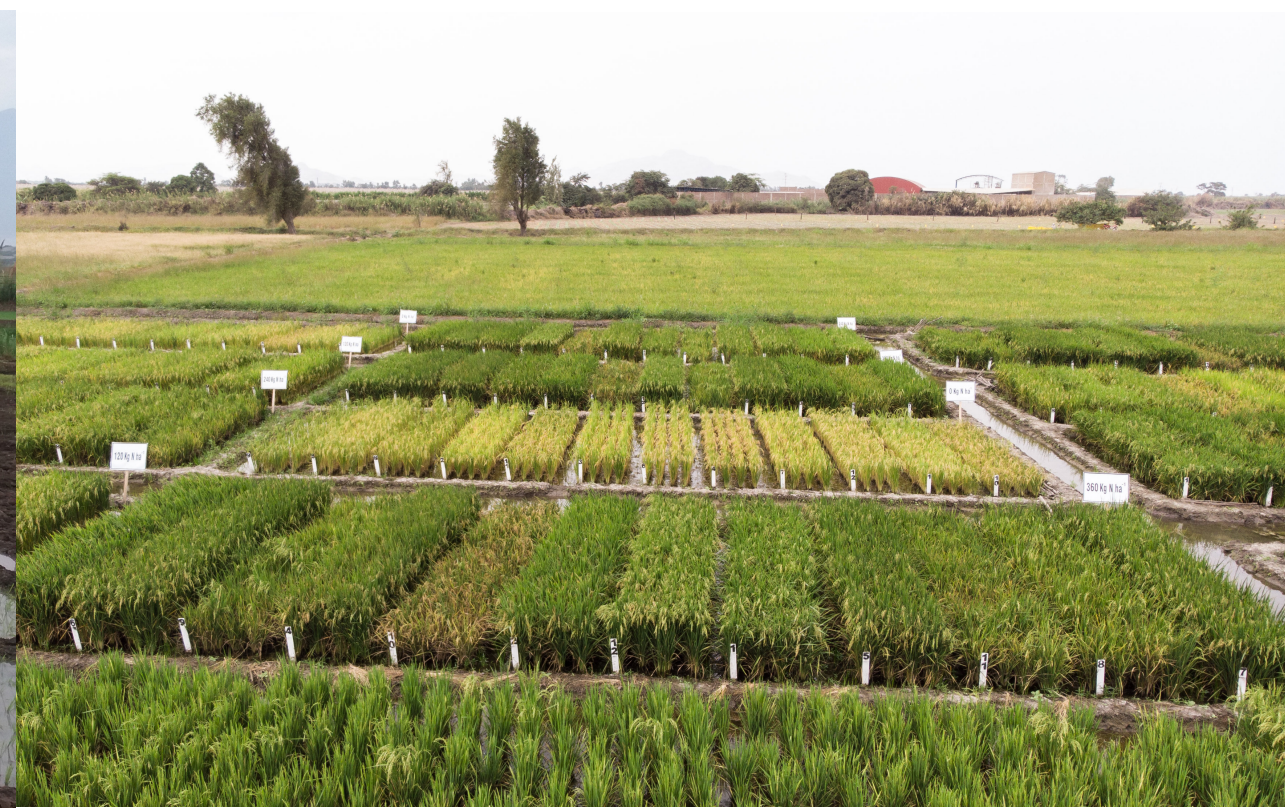
4. Mejoramiento genético

Identificar material genético con menor consumo de agua

Desarrollo de material adaptado al cambio climático

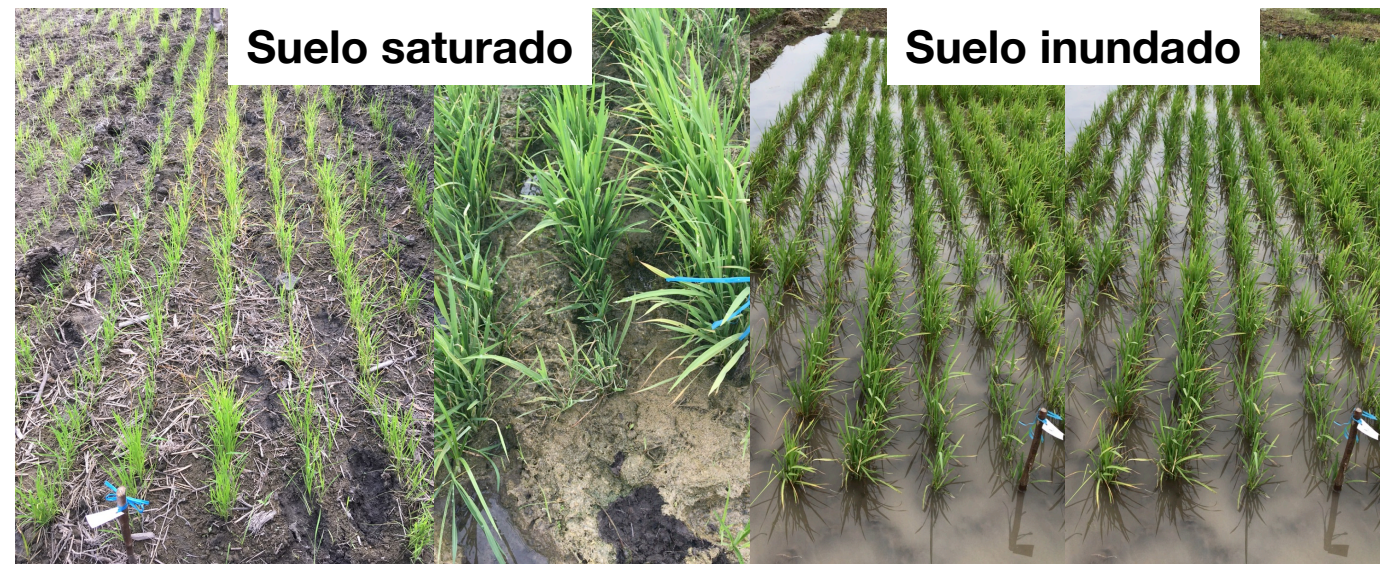
Eficiencia de uso de nitrógeno

- **Formas de aplicación en interacción con niveles de nitrógeno**
- **Fuentes nitrogenadas en interacción con niveles de nitrógeno**



Productividad del agua

- **Sistemas de siembra de menor consumo**
- **Identificación de genotipos adaptados a manejo de suelo saturado**



Siembra directa en hileras



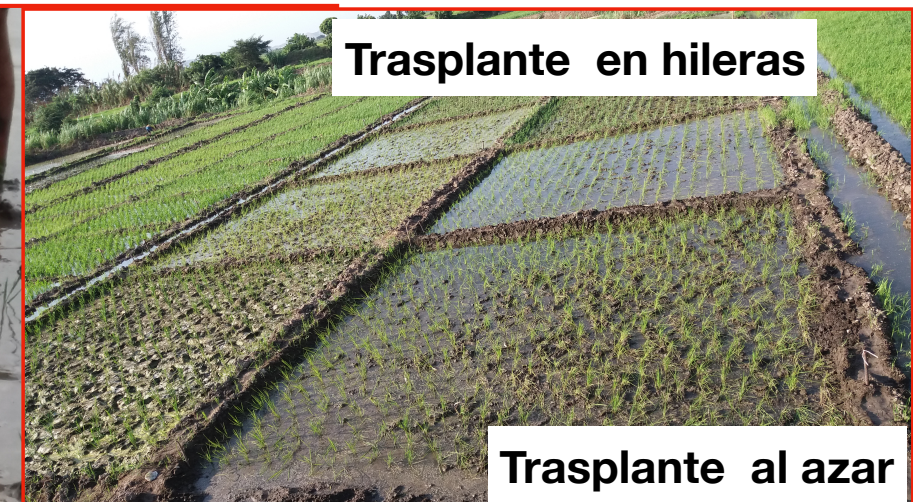
Siembra directa al voleo



Trasplante SIICA



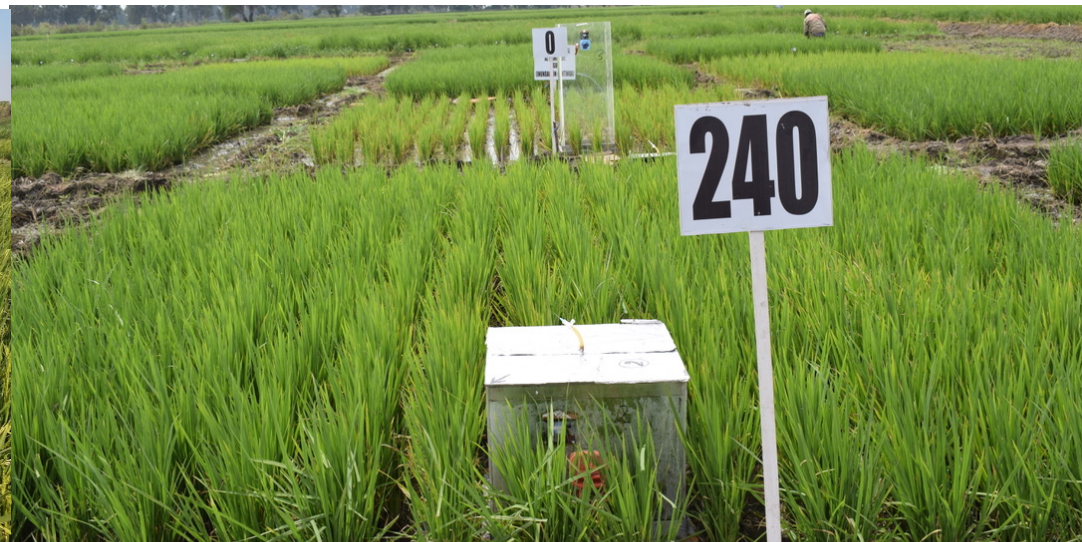
Trasplante en hileras



Trasplante al azar

Emisiones de gases de efecto invernadero

- **Cuantificación de gases de efecto invernadero**



Cuadro1. Tratamientos del experimento de formas y niveles de nitrógeno

Formas		Niveles de nitrógeno			
		N1= 0	N2=120	N3=240	N4=320
Forma 1	Incorporado 100% (I100 PS)	0	120	240	320
	Incorporado 50% al suelo + voleo del 50 % restante al inicio del primordio floral IPF (I 50 PS + V 50 IPF)	0	60	120	160
Forma 2	Incorporado 50% al suelo + voleo del 50 % restante al inicio del primordio floral IPF (I 50 PS + V 50 IPF)	0	60	120	160
		0	60	120	160
Forma 3	50% al voleo a los 15 días después del trasplante + 50% al inicio del primario floral-IPF (V 50 15 DDT + V 50 IPF)	0	60	120	160
		0	60	120	160

Diseño: Parcelas divididas en bloques randomizados, con tres repeticiones

Cultivar: IR-43

Cuadro 2. Rendimiento de arroz cáscara, índice de cosecha, N° de panículas m⁻² (1).

Tratamientos	Rendimiento t ha ⁻¹	Índice de cosecha %	N° de panículas m ⁻²
Formas	Youndahl, <i>et al.</i> , 1986 Kapoor <i>et al.</i> , 2008 Wang y Zhou, 2015 Jaramillo <i>et al.</i> , 2008	Alfonzo <i>et al.</i> , 2011	Ottis <i>et al.</i> , 2005
F1	5,144 b	39.56 a	258 b
F2	5,672 a	40.18 a	273 a
F3	4,878 b	40.62 a	251 b
CV (%)	7.43	2.47	1.15
Niveles de Nitrógeno	Hansen <i>et al.</i> , 2017; Glass <i>et al.</i> , 2002 Kronzucker <i>et al.</i> , 2000; GrisP, 2013; Kondo <i>et al.</i> , 2003; Belder <i>et al.</i> , 2005		
0	1,464 d	25.49 c	191 d
120	5,343 c	41.92 b	267 c
240	6,769 b	44.96 a	287 b
320	7,358 a	48.02 a	298 a
CV (%)	7.47	3.03	2.42

(1) Para columnas dentro de formas de aplicación y niveles de N, los datos que tienen una letra en común no son significativamente diferentes entre sí, según la Prueba Duncan a un nivel de 0.05.

Cuadro 3. Eficiencia agronómica, eficiencia fisiológica y factor parcial de productividad para formas de aplicación y niveles de nitrógeno ⁽¹⁾

Tratamientos	Eficiencia agronómica $\frac{\text{Rdto (nivel dado de N)} - \text{Rto (nivel 0)}}{\text{Nivel de N usado}}$	Eficiencia fisiológica $\frac{\text{Rdto (nivel dado de N)} - \text{Rto (nivel 0)}}{\text{N absorbido (en un nivel dado - N absorbido (en un nivel 0))}}$	Productividad parcial del fertilizante $\frac{\text{Rdto (nivel dado de N)}}{\text{Nivel de N aplicado}}$
Formas	Quintero <i>et al.</i> , 2014	Singh <i>et al.</i> , 2014; Shrawat <i>et al.</i> , 2008	Fixen <i>et al.</i> , 2015
F1	24.80 ± 1.89 b	38.12 ± 5.26 c	32.35 ± 1.88 ab
F2	26.82 ± 1.89 a	54.26 ± 5.26 a	35.02 ± 1.88 a
F3	23.19 ± 1.89 c	42.54 ± 5.26 b	30.09 ± 1.88 b
CV (%)	7.59	11.70	5.78
Niveles de Nitrógeno	Kondo <i>et al.</i> , 2003; Belder <i>et al.</i> , 2005; Snyder, 2009; Li <i>et al.</i> , 201%		
120	33.35 ± 1.7 a	71.89 ± 6.64 a	45.44 ± 1,84 a
240	22.75 ± 1.7 b	36.41 ± 6.64 b	28.79 ± 1,84 b
320	18.70 ± 1.7 c	26.62 ± 6.64 c	23.23 ± 1,84 c
CV (%)	Hansen <i>et al.</i> , 2017; Glass <i>et al.</i> , 2002 Kronzucker <i>et al.</i> , 2000; GrisP, 2013		
	6.81	14.71	5.67

⁽¹⁾ Para columnas dentro de formas de aplicación y niveles de N, los datos que tienen una letra en común no son significativamente diferentes entre sí, según la Prueba Duncan a nivel de 0.05.

Cuadro 4. Tratamientos del experimento de fuentes y niveles de nitrógeno

Fuentes		Niveles de nitrógeno			
Inhibidor de la nitrificación		N1= 0	N2=120	N3=240	N4=360
Inhibidor de la ureasa		N1= 0	N2=120	N3=240	N4=360
Urea común		N1= 0	N2=120	N3=240	N4=360

Diseño: Parcelas divididas en bloques randomizados, con tres repeticiones

Cultivar: IR-43

Cuadro 5. Rendimiento de arroz cáscara, índice de cosecha, N° de panículas m⁻² (1).

Tratamientos	Rendimiento t ha ⁻¹	Índice de cosecha %	N° de panículas m ⁻²
Fuentes	Carreres, et al. 2003, Norman et al., 2009, Slaton et al. 2009, Lijun, Chris y Kees, 2013.	Fageria et al., 2004; Fageria y Baligar, 2005	Fageria y Baligar, 2001
Inhibidor de la nitrificación	7,71 a	49,53 a	337 a
Inhibidor de la ureasa	7,64 a	49,10 b	304 a
Urea común	7,48 a	48,51 c	302 a
CV (%)	12.27	0,27	16,96
Niveles de Nitrógeno			
0	Deambrosi et al., 2004 4,51 c	47,87 c	219 c
120	7,86 b	48,72 b	310 b
240	9,06 a	49,68 a	339 b
360	9,01 a	49,91 a	389 a
CV (%)	11.36	0,49	8,93

(1) Para columnas dentro de formas de aplicación y niveles de N, los datos que tienen una letra en común no son significativamente diferentes entre sí, según la Prueba Duncan a nivel de 0.05.

Cuadro 6. Eficiencia agronómica, eficiencia fisiológica y factor parcial de productividad para fuentes y niveles de nitrógeno ⁽¹⁾

Tratamientos	Eficiencia agronómica	Eficiencia fisiológica
	$\frac{\text{Rdto (nivel dado de N)} - \text{Rto (nivel 0)}}{\text{Nivel de N usado}}$	$\frac{\text{Rdto (nivel dado de N)} - \text{Rto (nivel 0)}}{\text{N absorbido (en un nivel dado - N absorbido (en un nivel 0))}}$
Fuentes	Zhang et al., 2008; Peng et al 2010; Weih et al., 2010	Singh et al., 2014; Shrawat et al., 2008
Inhibidor de la nitrificación	21,18 a	47,29 a
Inhibidor de la ureasa	21,88 a	49,71 a
Urea común	21,67 a	52,90 a
Niveles de Nitrógeno	Kondo et al., 2003; Belder et al., 2005; Snyder, 2009; Li et al., 201%	
120	30,81 a	71,45 a
240	19,71 b	42,17 b
360	Hansen et al., 2017; Glass et al.,2002 Kronzucker et al.,2000; GrisP, 2013 14,21 b	36,28 b

⁽¹⁾ Para columnas dentro de formas de aplicación y niveles de N, los datos que tienen una letra en común no son significativamente diferentes entre sí, según la Prueba Duncan a nivel de 0.05

Cuadro 7. Tratamientos de los sistemas de siembra

Tratamientos	
Siembra directa	Siembra directa en hileras
	Siembra directa al voleo
Trasplante	Sistema de trasplante en hileras
	Sistema de trasplante al azar
	SICA - Sistema intensivo de cultivar arroz

Diseño de bloques completos al azar, con tres repeticiones

Cultivar: IR-43

Cuadro 8. Prueba de Duncan de Rendimiento de grano de arroz cáscara, índice de cosecha, y materia seca a la maduración de los sistemas de siembra

Tratamientos	Rdto t ha ⁻¹	Índice de cosecha % ⁽¹⁾
Siembra directa en hileras - SDH	6.27 a	43.03 a
Siembra directa al voleo - SDV	6.19 a	43.98 a
Sistema intensivo de cultivar arroz - SICA	6.13 a	42.23 a
Sistema de trasplante en hileras - STH	4.17 b	37.63 a
Sistema de trasplante convencional - STC	4.14 b	36.28 a
CV (%)	14.53	7.57

⁽¹⁾ Para columnas dentro de formas de aplicación y niveles de N, los datos que tienen una letra en común no son significativamente diferentes entre sí, según la Prueba Duncan a nivel de 0.05

Identificar los genotipos de arroz más adaptados al sistema de siembra de suelo saturado en condiciones del valle Chancay, Lambayeque.

Cuadro10. Tratamientos de experimento de manejo de riegos y cultivares

Entrada	Nombre	Cultivar o línea
1	IR-43	C
2	Tinajones	C
3	Mallares	C
4	La Puntilla	C
5	Universidad 31-89/CT97418-132-1-M-M-1-1	LP
6	IR-70177-19-2-B-1-3/5CM32-2/EMPASC105	LP
7	Universidad 31-89/CT97418-131-1-M-M-1-1	LP
8	CT9748-13-2-1-M-M-1-1-1-FL595-128-1-1P-M	LP

Diseño: Parcelas divididas en bloques randomizados, con tres repeticiones

Manejo de suelo inundado y suelo saturado

Cuadro 11. Rendimiento en grano, índice de cosecha, N° de panículas m⁻² y porcentaje de grano entero bajo dos sistemas de manejo de riego ⁽¹⁾

Tratamientos Manejo de riego	Rdto (t ha ⁻¹)	Índice de cosecha % ⁽¹⁾	N° de panículas m ⁻²	% de grano entero
Suelo inundado	9.26 a	49 a	413 a	67.26 a
Suelo saturado	9.48 a	47 a	408 a	65.85 a
CV %	5.66	19.73	11.71	4.75
Cultivares				
IR-43	9.91 ab	50 ab	396 bc	67.05 ab
Tinajones	9.70 ab	48 ab	364 c	65.95 b
Mallares	10.41a	53 a	414 abc	67.67 ab
La Puntilla	10.26 a	48 ab	462 a	68.50 a
Universidad 132-	8.33 d	50 ab	376 c	66.13 b
IR-70177-1	8.80 cd	45 b	376 c	66.03 b
Universidad 31-131	8.15 d	44 b	444 ab	62.88 c
CT 9748-M	9.40 a	47 ab	452 ab	68.22 a
CV %	7.03	9.30	9.20	1.76

⁽¹⁾ Para columnas dentro de formas de aplicación y niveles de N, los datos que tienen una letra en común no son significativamente diferentes entre sí, según la Prueba Duncan a nivel de 0.05.

Cuadro 12. Consumo de agua y productividad del agua en condiciones de suelo inundado y suelo saturado

Tratamiento	Rdto (tha ⁻¹)	agua aplicada m ³ ha ⁻¹	Precipitación pp mm	Total m ³ ha ⁻¹	Menor consumo de agua m ³ ha ⁻¹	% de ahorro de agua	Productividad del agua Kg arroz cáscara m ³ de agua	Incremento de la productividad
Suelo Inundado	9.26	5200	646	11,660	Borrel <i>et al.</i> , 1997 Tabbal <i>et al.</i> , 1992		0.81	36 %
							Borrel <i>et al.</i> , 1997	
Suelo saturado	9.48	1282	646	8,552	3,108	26.65	1.10	

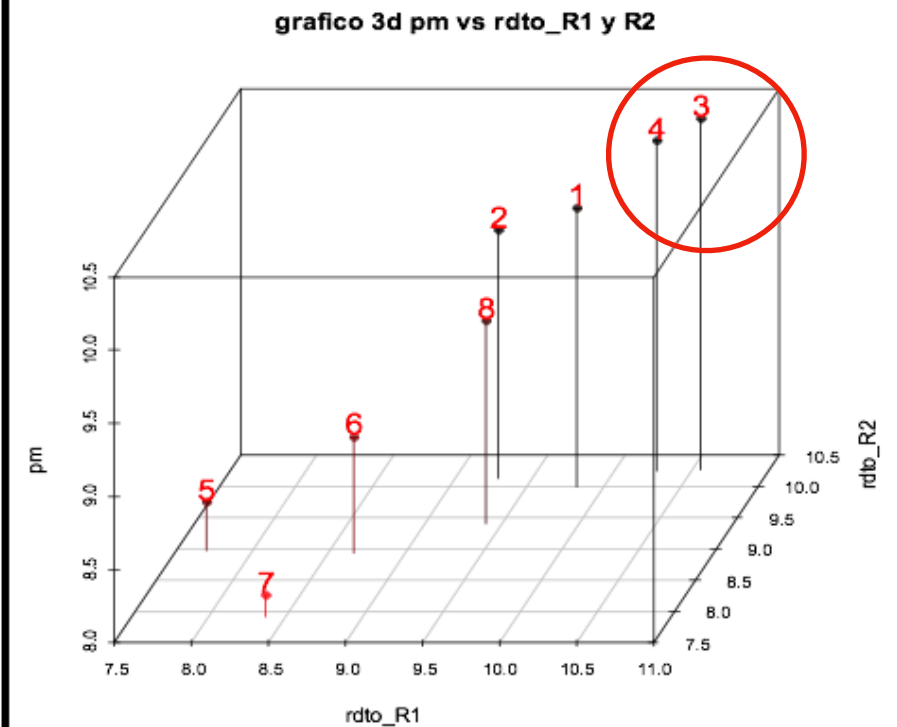
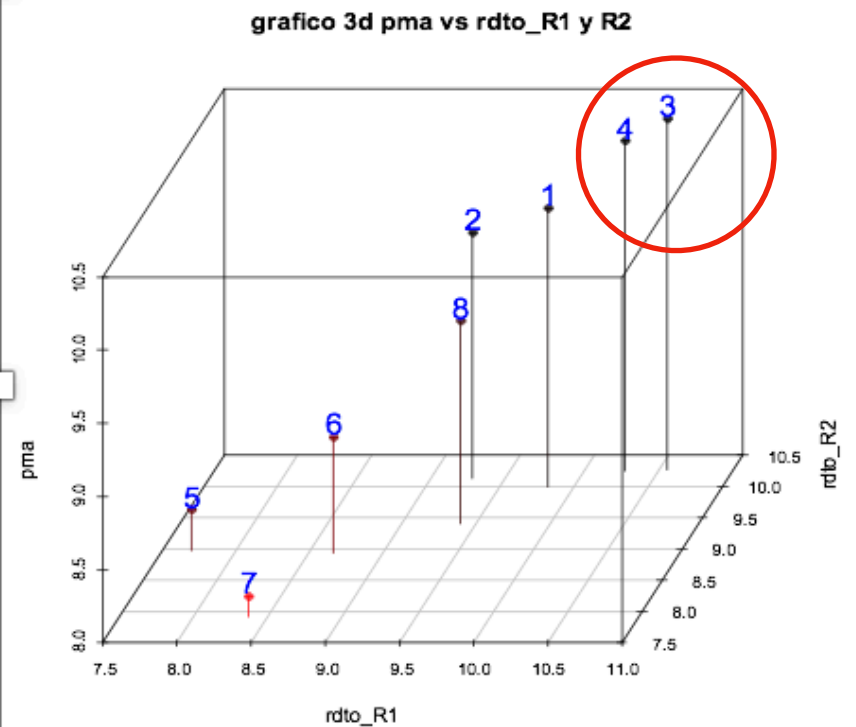
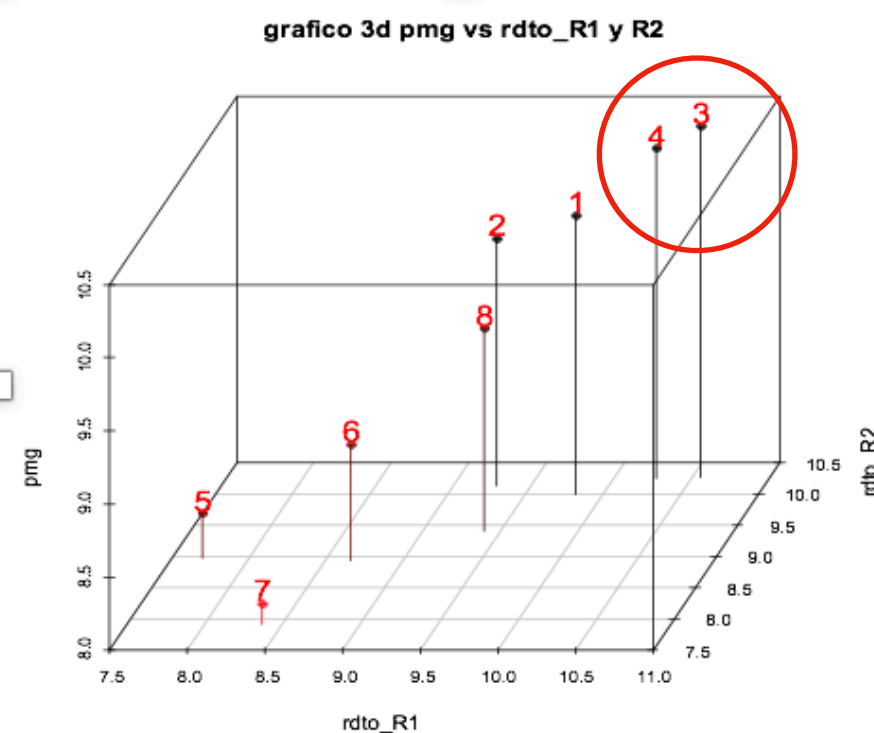
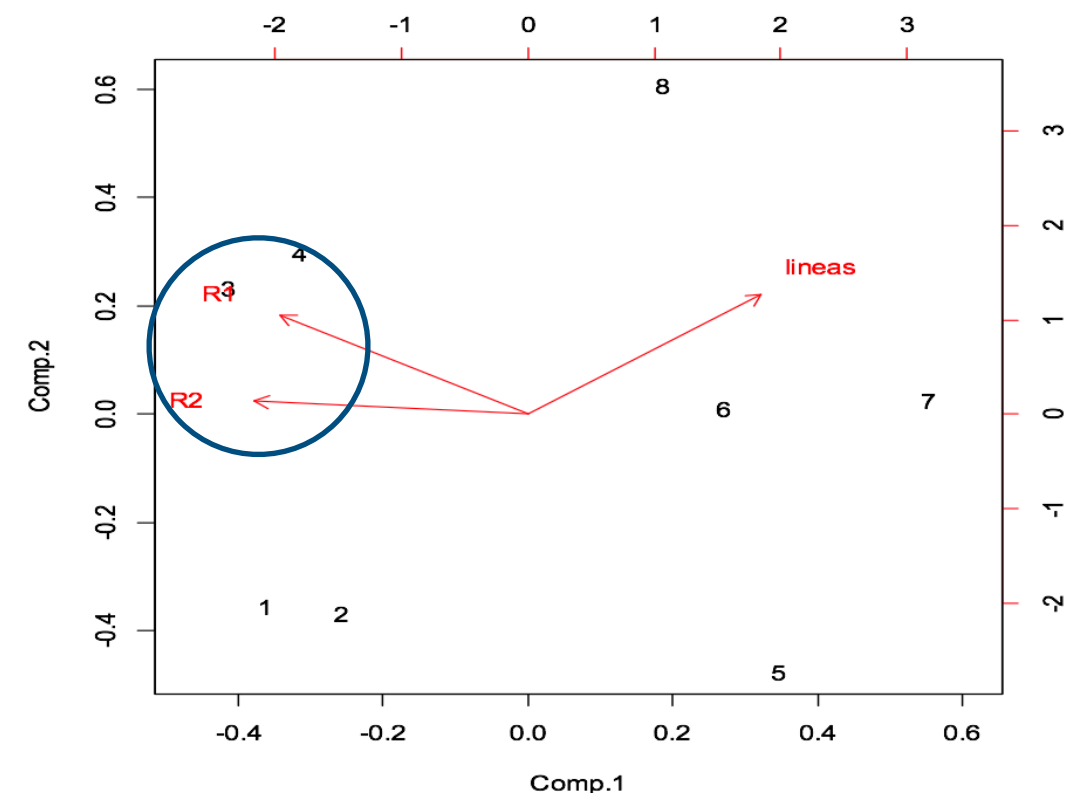
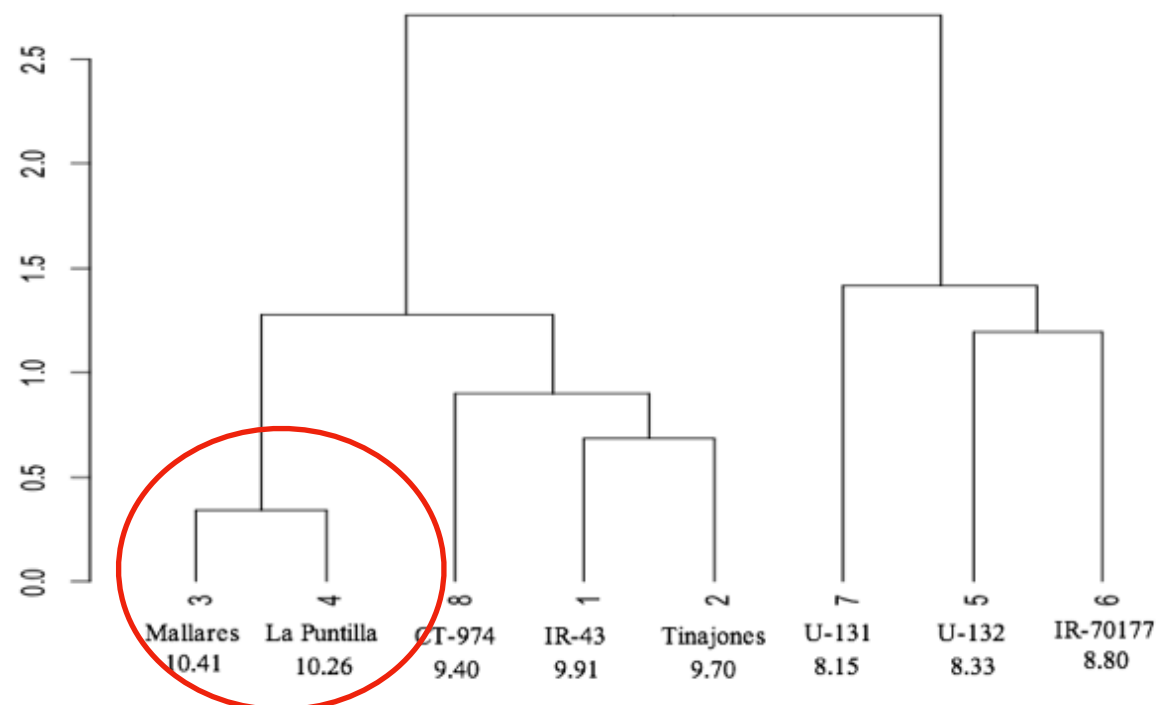


Figura 1. Análisis cluster, AMMI y tridimensional que permitieron identificar cultivares y líneas promisorias de arroz en condiciones de suelo inundado y suelo saturado con uso de los índices de selección

Cuadro 13. Emisiones de gases de efecto invernadero e

Niveles de nitrógeno Kg ha ⁻¹	Gases de efecto invernadero t ha ⁻¹
	Metano
0	1,588
240	2,094

Conclusiones generales

- 1. La incorporación fraccionada de nitrógeno, 50% en el suelo seco y voleo del 50% restante al inicio de la fase reproductiva en el nivel de 240 Kg N ha⁻¹, es la opción más adecuada para obtener rendimientos aceptables y con mejor eficiencia de uso de nitrógeno.**
- 2. No existen diferencias significativas en el rendimiento en grano entre la urea común y las fuentes inhibidoras de nitrificación y de ureasa.**
- 3. Los rendimiento en siembra directa fueron superiores al método de trasplante en hilera y trasplante al azar.**
- 4. El manejo de agua con suelo saturado consume menos agua que el suelo en condiciones de inundación permanente.**
- 5. Las determinaciones de metano en las mediciones preliminares se han estimado en 1588 t ha⁻¹ (sin aplicación de nitrógeno) y de 2,094 t ha⁻¹ (240 Kg N ha⁻¹).**

Muchas gracias



Evaluación de eficiencia de uso de nitrógeno en líneas desarrolladas por la UNALM