

**URUPÓN**  
SEMILLA LEGAL



# Teledetección del Cultivo de Arroz

Zafra 22/23

## Tabla de contenido

<b>Capítulo 1: Introducción y metodología</b> .....	<b>3</b>
Objetivo .....	4
Insumos .....	4
Metodología .....	4
Escala .....	6
<b>Capítulo 2: Estimación de precisión</b> .....	<b>7</b>
Cálculo de precisión y error .....	8
Cálculo por puntos .....	9
Cálculo por área (ha) .....	9
Análisis .....	10
<b>Capítulo 3: Resultados</b> .....	<b>11</b>
Distribución del cultivo .....	12
Información de superficie .....	13
Cuencas incluidas por zona ACA .....	17
Distribución de las chacras por zona .....	19
Comportamiento del NDVI en el cultivo de arroz zafra 2022-2023 .....	22
Suelos Coneat destinados a la producción de arroz durante la última zafra .....	25
Rotaciones soja - arroz .....	26
Tabla comparativa – Zafra 2022 VS 2023 .....	26
<b>Capítulo 4: Conclusiones</b> .....	<b>27</b>



# **Introducción y Metodología**

## Objetivo

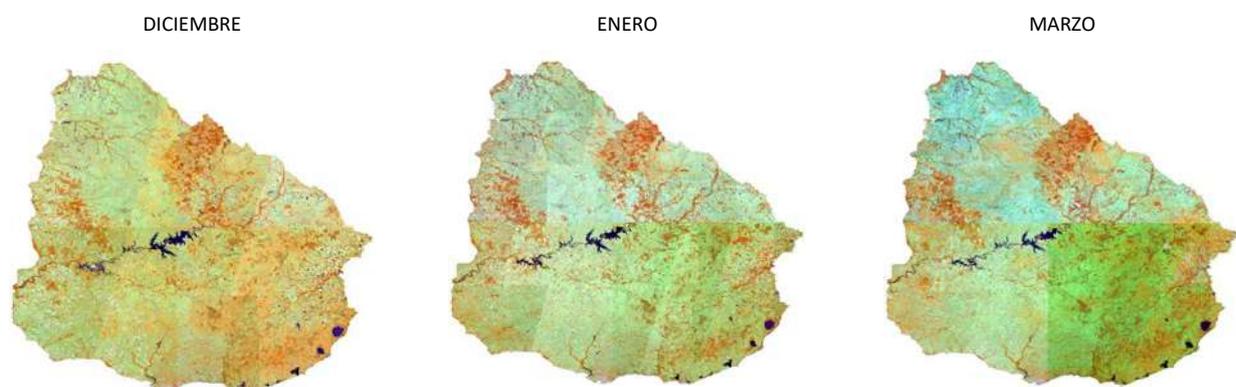
El presente informe tiene como objetivo describir los resultados obtenidos del trabajo de teledetección de arroz por imágenes satelitales (zafra 22/23) y contribuir a la caracterización del cultivo de arroz en Uruguay.

## Insumos

- Google Earth Engine Code Editor.
- Imágenes de libre distribución: sensores Sentinel.
- Puntos de control GPS de arroz, soja, maíz, sorgo y otros cultivos.
- Software manejador de sistemas de información geográfica.
- Google Earth Pro.

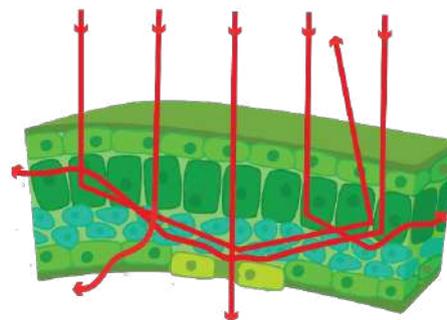
## Metodología

Las imágenes utilizadas fueron obtenidas a través de la plataforma Google Earth Engine, mediante scripts programados en el modo Code Editor. Los mosaicos Sentinel resultantes están formados por las bandas B8A - B11 - B4, y corresponden a los meses de diciembre, enero y marzo. Estos son los momentos del año más relevantes para identificar las chacras de arroz en Uruguay mediante teledetección.

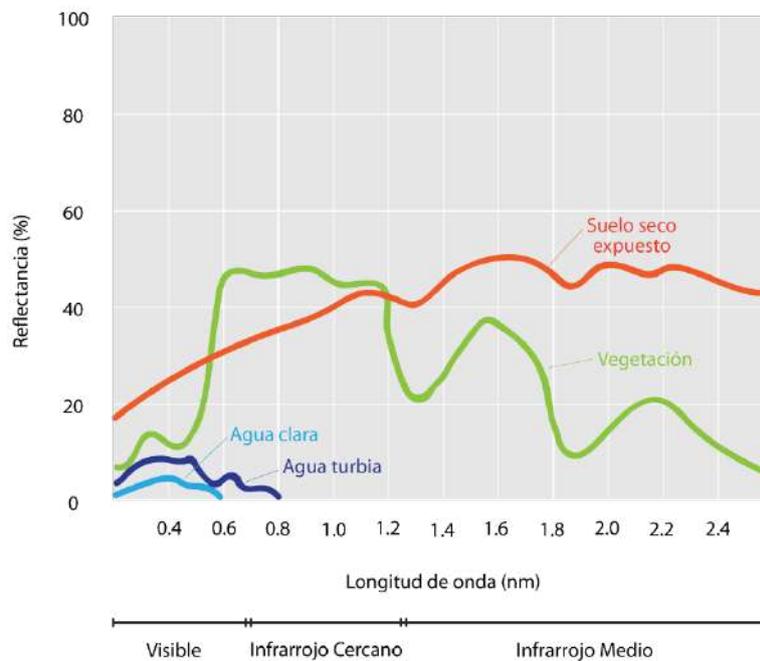


Mosaicos de imágenes Sentinel utilizados. Período diciembre 2022 – marzo 2023.

Mediante la aplicación de clasificaciones (supervisadas y no supervisadas) se identificaron en una primera instancia las chacras inundadas. Luego, mediante la aplicación de nuevas clasificaciones, segmentación e interpretación visual, se obtuvieron y digitalizaron los límites de las chacras que efectivamente fueron arroz (a escala 1:20.000). Esta metodología puede aplicarse gracias a la respuesta espectral de las distintas superficies captadas en las imágenes satelitales. El agua, por ejemplo, tiene una muy baja reflectancia, mientras que las hojas sanas de los cultivos tienen un comportamiento espectral muy diferente. Las mismas se caracterizan por absorber a través de la clorofila determinados niveles en la zona del rojo, y reflejar determinados niveles en la zona del infrarrojo, como consecuencia de la estructura interna de sus tejidos. Una vez que la luz llega a la planta, el tejido mesodérmico inferior de las hojas sanas refleja la radiación infrarroja debido a la diferencia de índices de refracción entre el aire y las paredes de las células hidratadas.



Comportamiento de la luz en el tejido mesodérmico de una hoja.



En verde se visualiza la reflectancia en las distintas longitudes de onda de una hoja sana en desarrollo.

Para el entrenamiento visual y del sistema de clasificación, se utilizan puntos de control GPS proporcionados por URUPOV. Dichos puntos incluyen chacras de arroz y chacras de otros cultivos como soja, maíz, sorgo, alfalfa, girasol, praderas, etc., que dependiendo del momento que se esté analizando, pueden confundirse fácilmente con chacras de arroz. Los puntos de control se dividen aleatoriamente en 2 grupos: uno como apoyo para la realización del trabajo, y otro para calcular la precisión y los errores de omisión (chacras de arroz que no fueron clasificadas como tal) y comisión (chacras que no eran arroz y fueron clasificadas como arroz).

Una vez finalizada la identificación de las chacras de arroz, se aplicaron procesos de corrección topográfica y suavizado de bordes. Luego se procesó la base de datos resultante para la realización de cálculos, como superficie por departamento y área total del cultivo en Uruguay, entre otros.

## Escala

Con respecto a la **visualización** de la cartografía generada, los estándares internacionales especifican la siguiente regla:  $\text{Escala} = \text{Píxel} * 96 / 0,0254$ . La escala aproximada recomendada para este trabajo sería entonces **1:50.000** ( $10 \text{ metros} * 96 / 0,0254$ ).

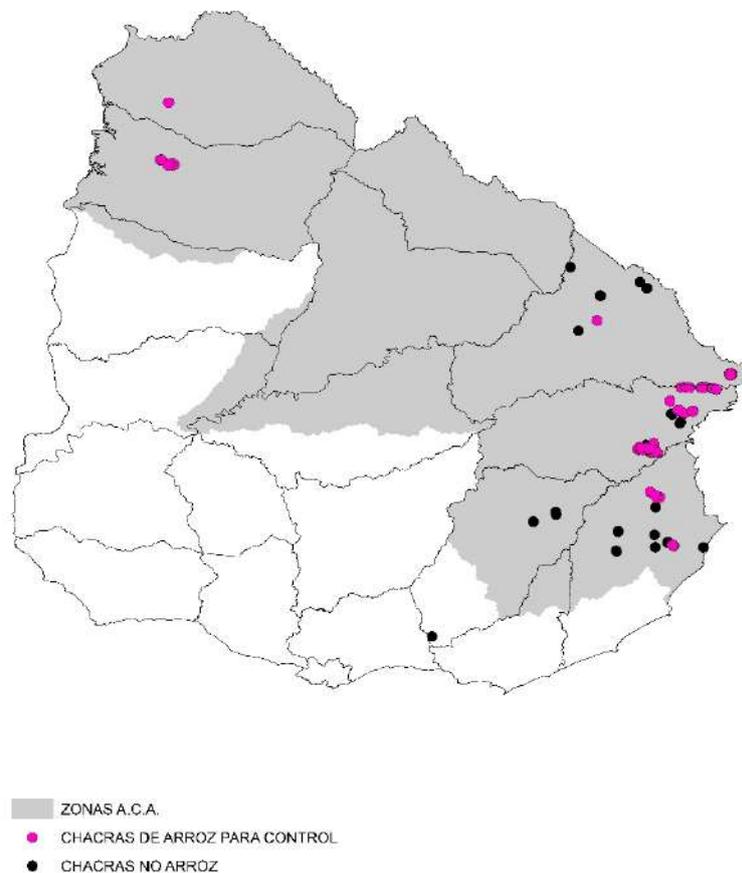


# Estimación y Precisión

## Cálculo de precisión y error

Con el objetivo de estimar la precisión del trabajo de teledetección del cultivo de arroz, URUPOV reunió puntos GPS y polígonos de varios cultivos. Para poder estimar la precisión por área y por puntos se transformaron todas las chacras que estaban en formato de punto a polígono (mediante la digitalización manual) y viceversa.

### CHACRAS PARA EL CONTROL DE PRECISIÓN ZAFRA 2022 - 2023



Puntos URUPOV utilizados para la estimación de precisión.

La precisión se calcula como la sumatoria de los aciertos dividida por la cantidad total de puntos o área de muestreo.

## Cálculo por puntos

Teledetección

		Puntos	Arroz	No Arroz	Total
Control	Arroz		<b>237</b>	4	241
	No Arroz		0	<b>52</b>	53
	<b>Total</b>				<b>294</b>
	<b>Precisión</b>				<b>98,3%</b>

$$\text{PRECISIÓN POR PUNTOS} = (237 + 52) / 294 * 100 = 98,3\%$$

## Cálculo por área (ha)

Teledetección

		Área (hás)	Arroz	No Arroz	Total
Control	Arroz		<b>10.278</b>	17	10.295
	No Arroz		353	<b>8.052</b>	8.405
	<b>Total</b>				<b>18.700</b>
	<b>Precisión</b>				<b>98%</b>

$$\text{PRECISIÓN POR ÁREA} = (10.278 + 8.052) / 18.700 * 100 = 98\%$$

## Análisis

Debido a la heterogeneidad de tamaños de las chacras de control, se recomienda utilizar la estimación tanto por puntos como por área para calcular la precisión del trabajo. Esto evita, por ejemplo, que una chacra de 10 hectáreas tenga el mismo peso en el cálculo que una de 100 hectáreas.

El área utilizada para el control fue de 18.700 hectáreas. Del total del área controlada, el 98% estuvo bien clasificada.

El 4,2% del área de control de “no arroz” (353 ha) correspondió al error de comisión (chacras con otros usos teledetectadas como arroz).

Prácticamente no se registraron errores de omisión (chacras de arroz no clasificadas como tal).

**La precisión general del trabajo es de 98% y su error es de 2%.**

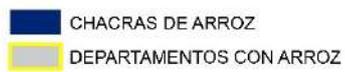
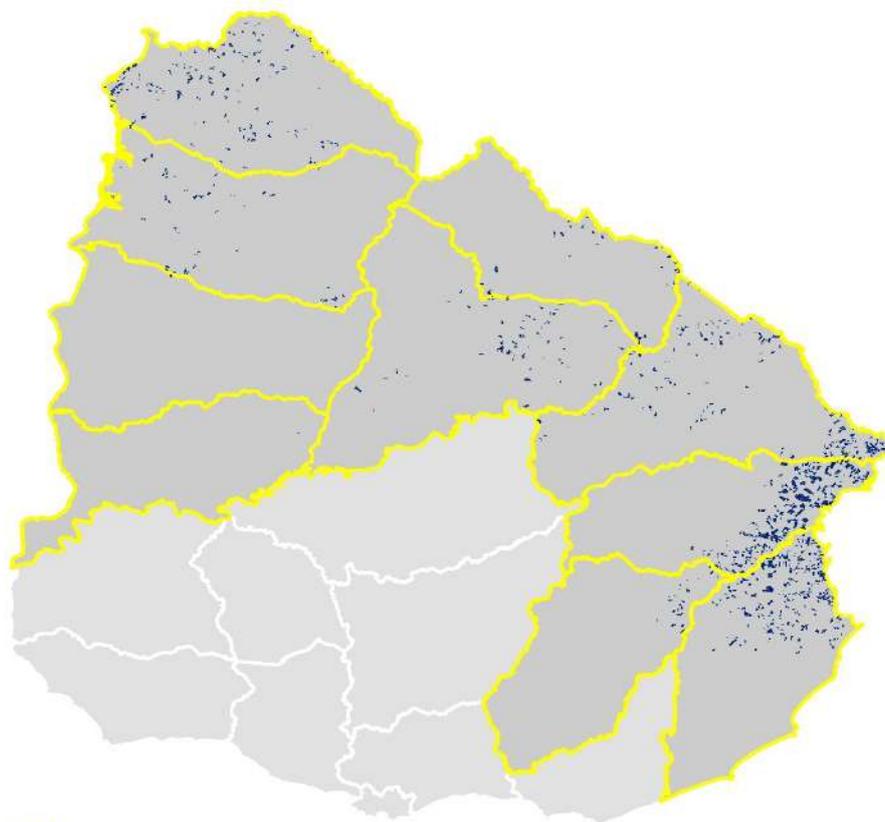
Es importante destacar el trabajo por parte de los técnicos y socios de URUPOV para proveer puntos y polígonos de control. Esto contribuye a expresar con mayor certeza la confiabilidad del trabajo.



**Resultados**

## Distribución del cultivo

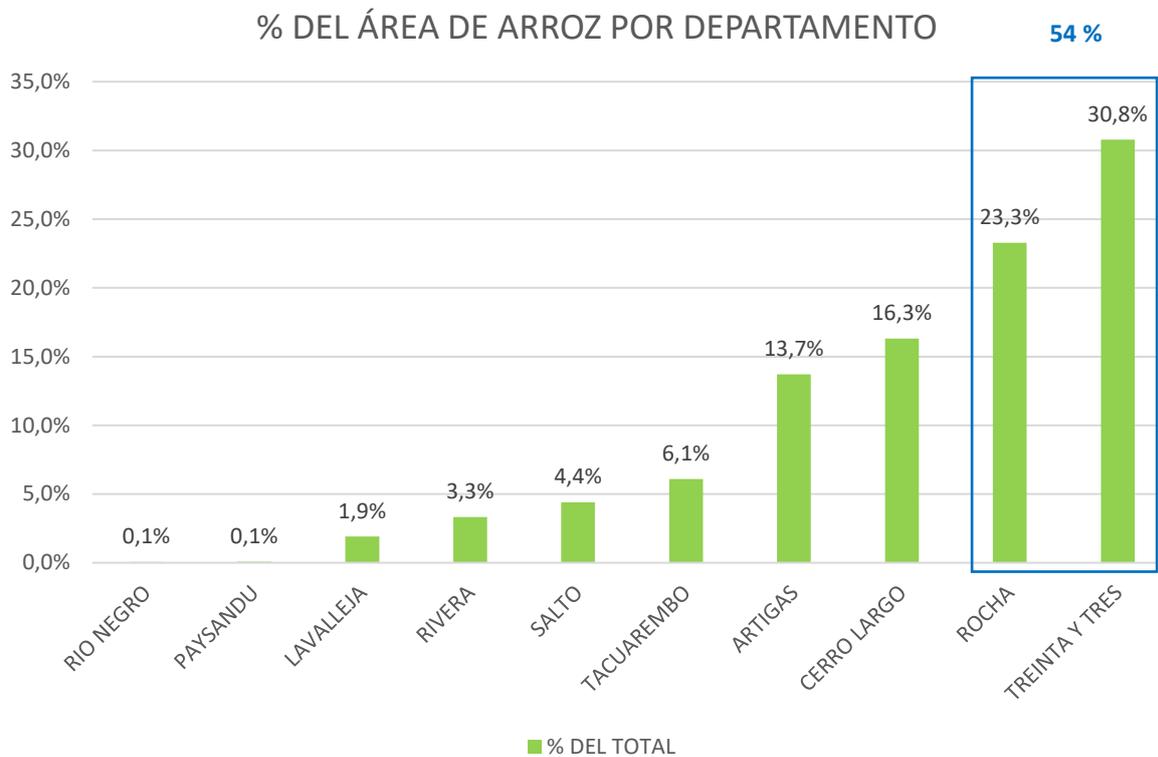
### DISTRIBUCIÓN DEL CULTIVO DE ARROZ EN URUGUAY ZAFRA 2022 - 2023



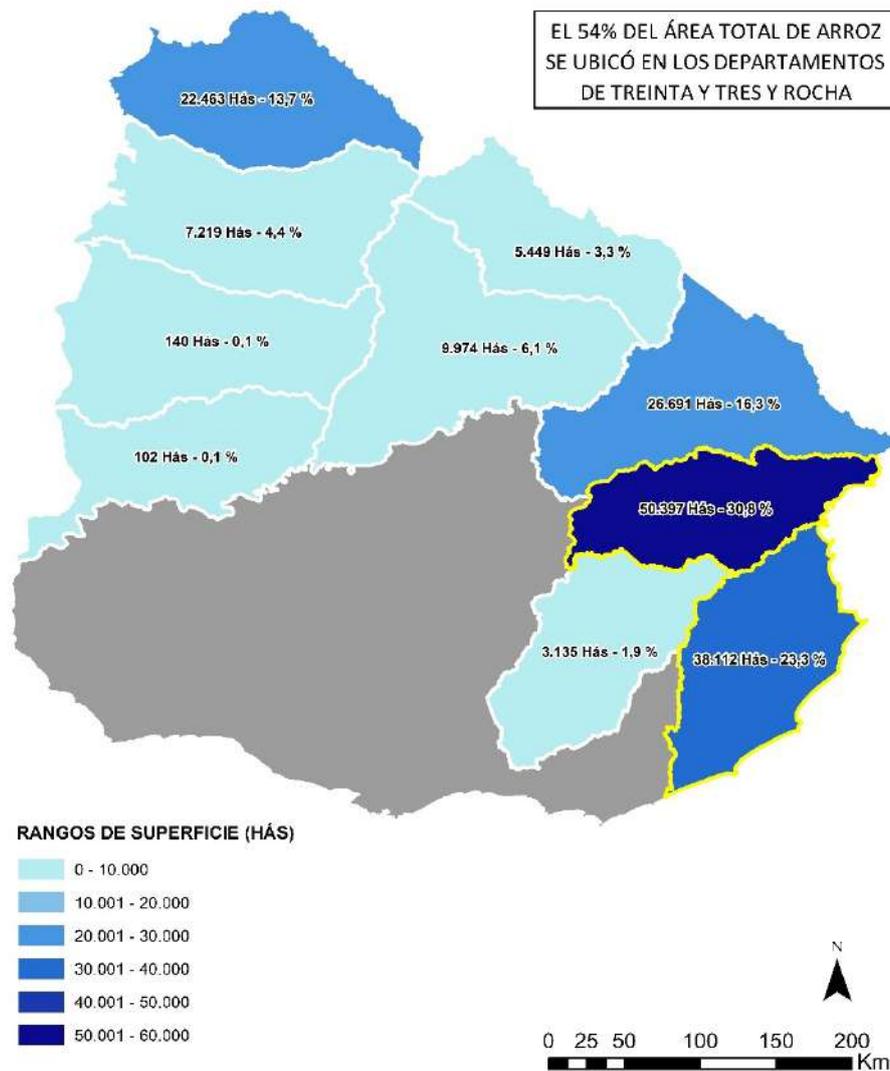
## Información de superficie

Departamento	Área (ha)	% del Total
Treinta y Tres	50.397	30,8
Rocha	38.112	23,3
Cerro Largo	26.691	16,3
Artigas	22.463	13,7
Tacuarembó	9.973	6,1
Salto	7.219	4,4
Rivera	5.449	3,3
Lavalleja	3.134	1,9
Paysandú	140	0,1
Río Negro	101	0,1
<b>TOTAL</b>	<b>163.683</b>	<b>100</b>

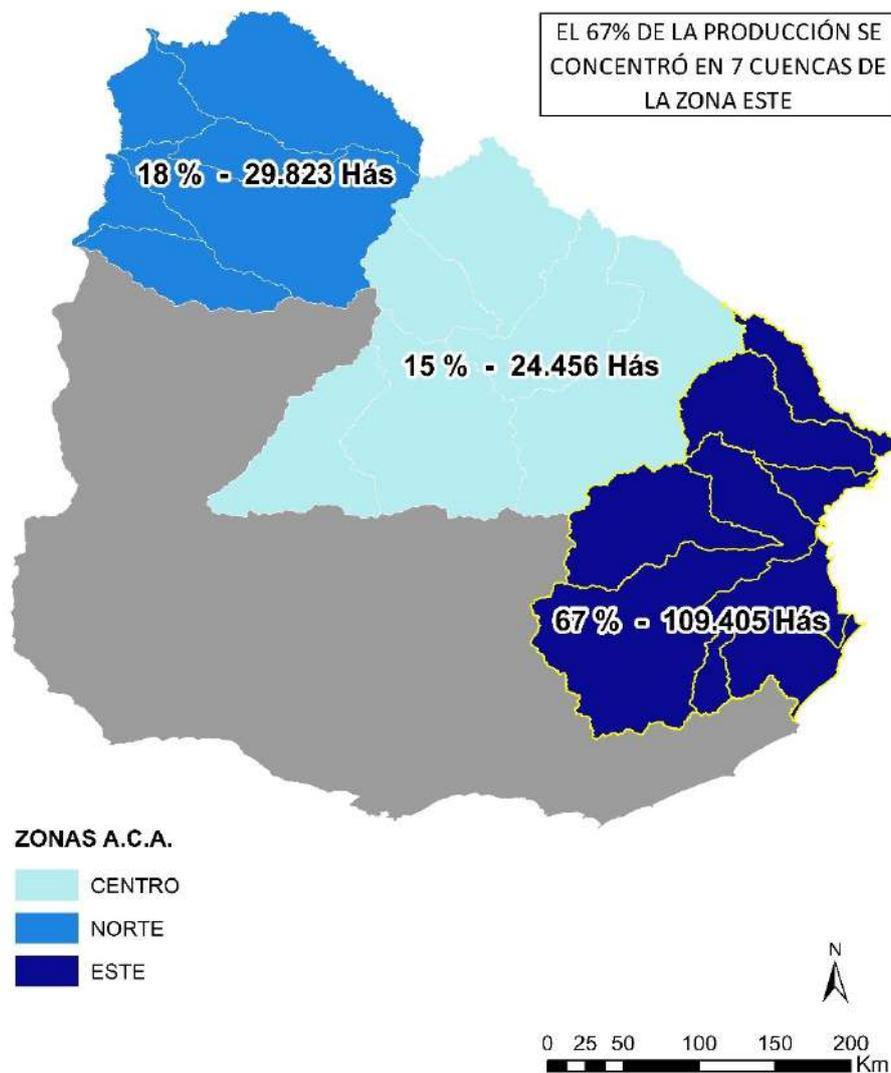
La superficie total de chacras teledetectadas fue de **163.700 hectáreas** aproximadamente. Al igual que el año anterior, más de la mitad del área se ubica en los departamentos de Treinta y Tres y Rocha.



## DISTRIBUCIÓN DEL CULTIVO DE ARROZ POR DEPARTAMENTO ZAFRA 2022 - 2023

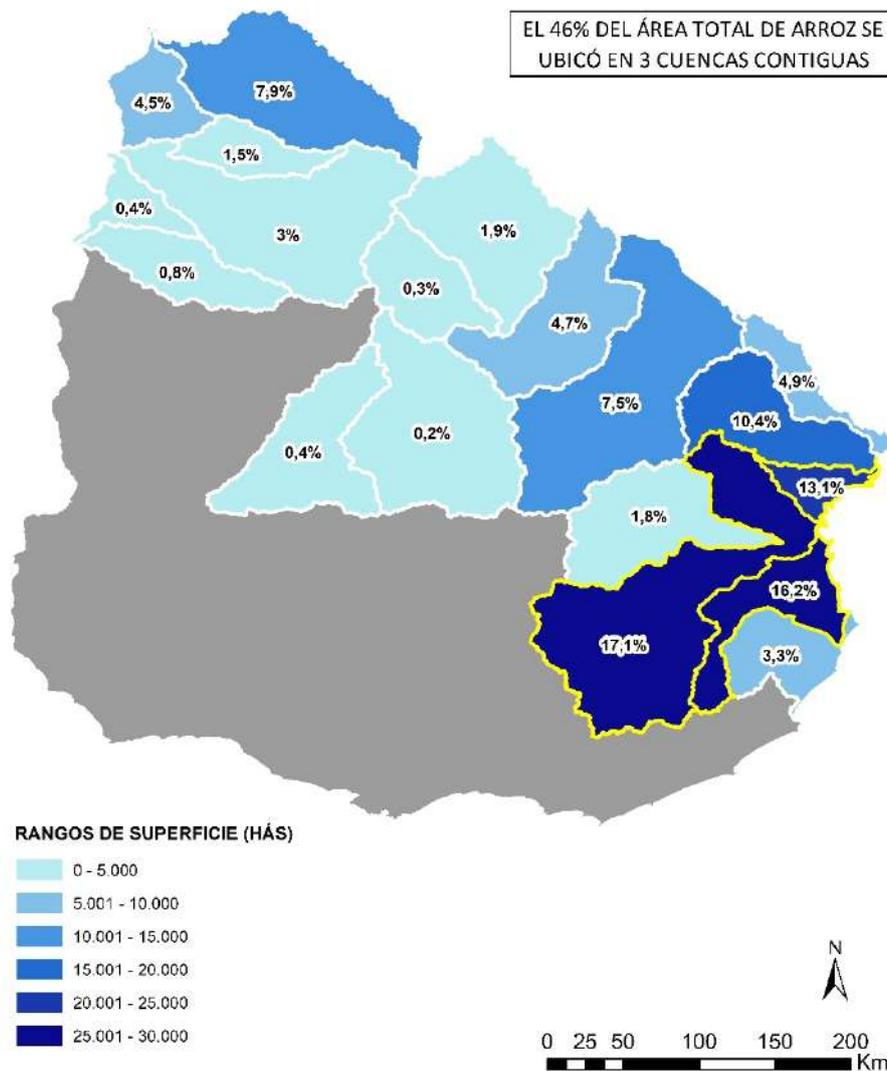


## DISTRIBUCIÓN DEL ÁREA DEL CULTIVO DE ARROZ POR ZONAS A.C.A. ZAFRA 2022 - 2023



En los mapas anteriores puede observarse que **la región con mayor superficie de arroz sembrada por segundo año consecutivo es la zona del Este, con el 67% de la superficie total.** Además, en dicha zona **3 cuencas contiguas abarcan el 46% del área total.**

## % DEL ÁREA DEL CULTIVO DE ARROZ POR CUENCA ZAFRA 2022 - 2023



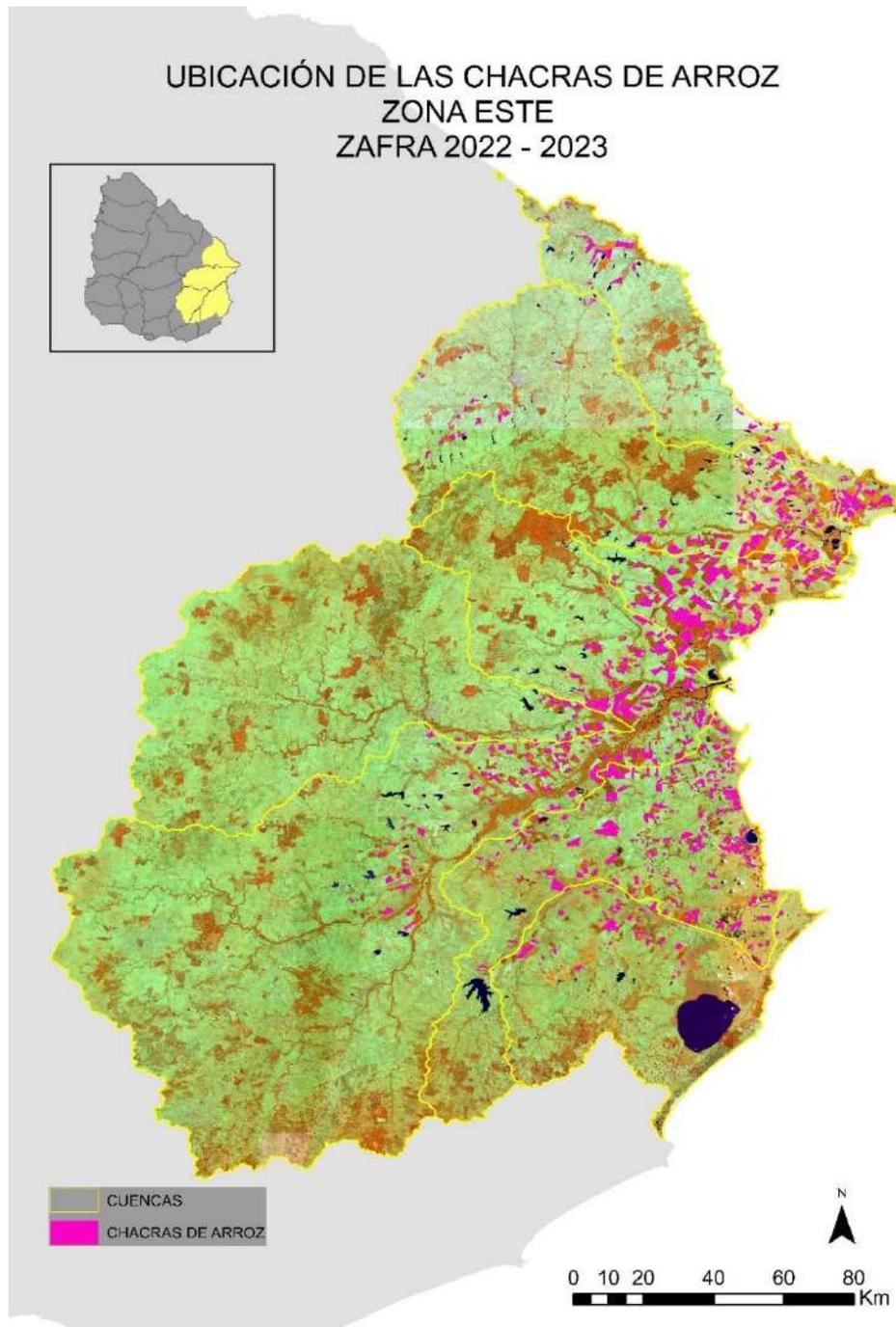
## Cuencas incluidas por zona ACA



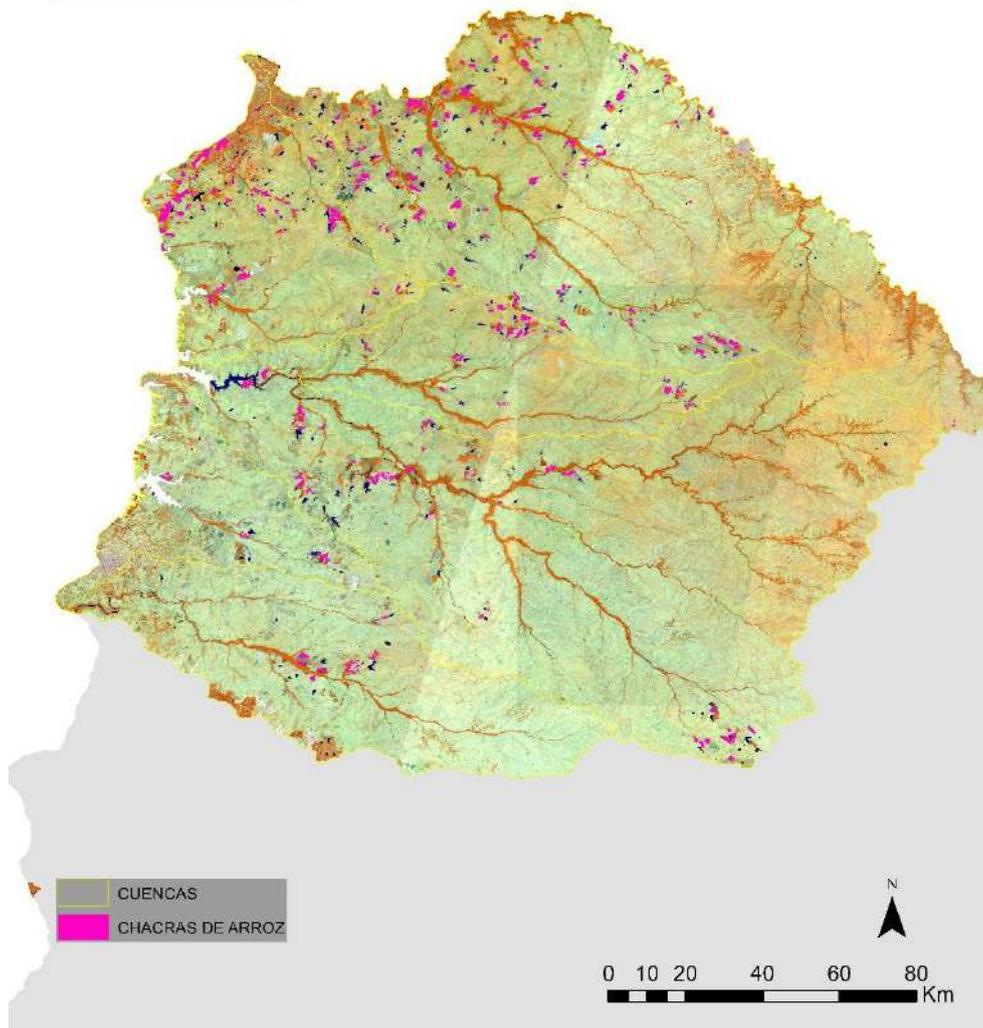
Cuenca	Área (ha)	% del Total
Río Cebollatí (Excepto Río Olimar Grande)	27.933	17,1
Laguna Merín entre Río Cebollatí y A° San Miguel	26.456	16,2
Laguna Merín entre Río Tacuarí y Río Cebollatí	21.494	13,1
Río Tacuarí	17.080	10,4
Río Cuareim	12.925	7,9
Río Negro entre Nacientes y Río Tacuarembó	12.268	7,5
Laguna Merín entre Río Yaguarón y Río Tacuarí	7.976	4,9
Río Tacuarembó entre A° Tacuarembó Chico y Río Negro	7.661	4,7
Río Uruguay entre Río Cuareim y Río Arapey Grande	7.376	4,5
Océano Atlántico entre A° Valizas y A° Chuy	5.468	3,3
Río Arapey Grande (Excepto Río Arapey Chico)	4.968	3,0
Río Tacuarembó entre Nacientes y A° Tacuarembó Chico	3.093	1,9
Río Olimar Grande	2.998	1,8
Río Arapey Chico	2.483	1,5
Río Daymán	1.356	0,8
Río Uruguay entre Río Arapey Grande y Río Daymán	714	0,4
Río Negro entre Rincón del Bonete y Río Yí	607	0,4
A° Tacuarembó Chico	430	0,3
Río Negro entre Río Tacuarembó y Rincón del Bonete	397	0,2
<b>Total</b>	<b>163.683</b>	<b>100</b>

## Distribución de las chacras por zona

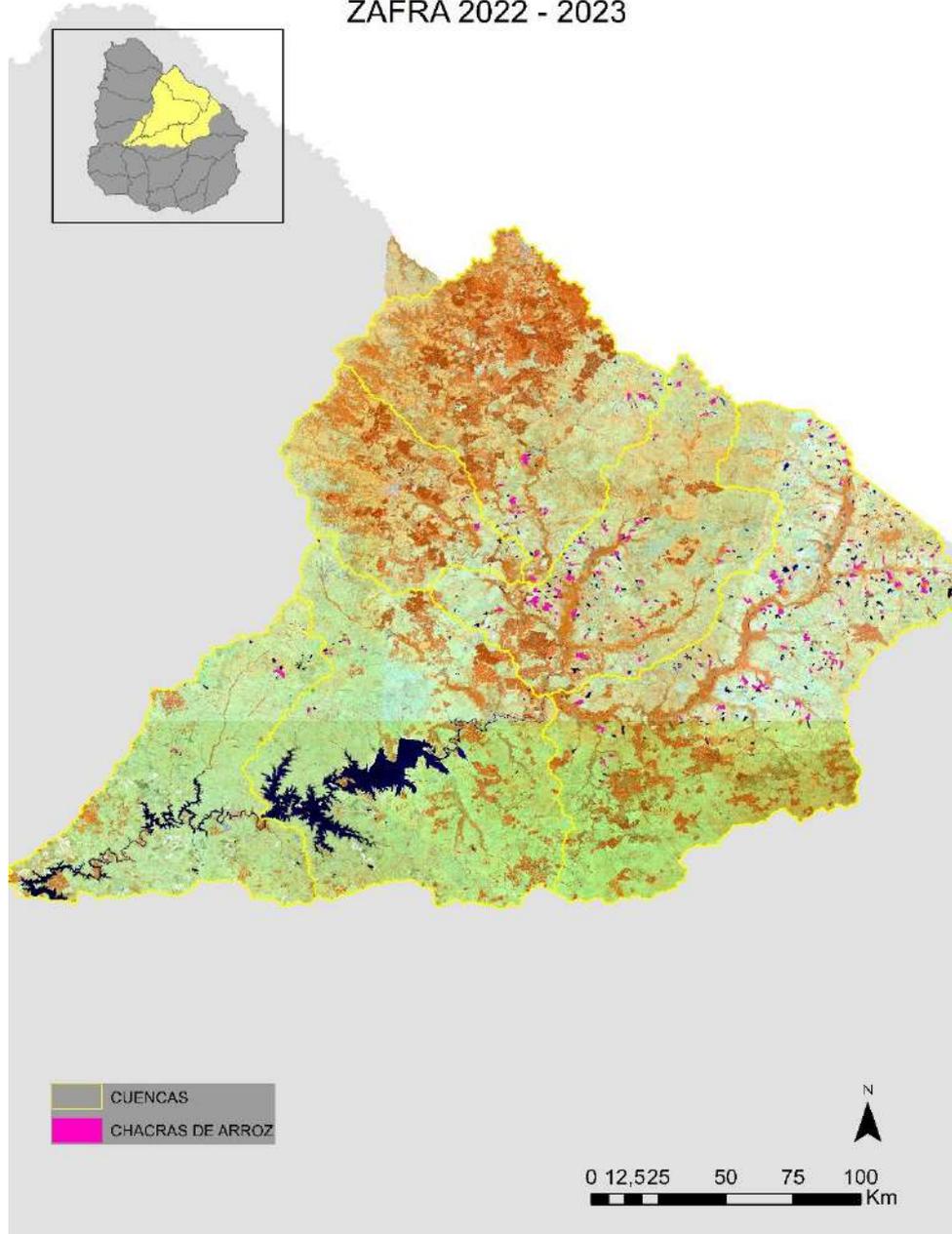
En los siguientes mapas se observan todas las chacras de arroz teledetectadas por zona ACA.



UBICACIÓN DE LAS CHACRAS DE ARROZ  
ZONA NORTE  
ZAFRA 2022 - 2023



UBICACIÓN DE LAS CHACRAS DE ARROZ  
ZONA CENTRO  
ZAFRA 2022 - 2023



## Comportamiento del NDVI en el cultivo de arroz zafra 2022 - 2023

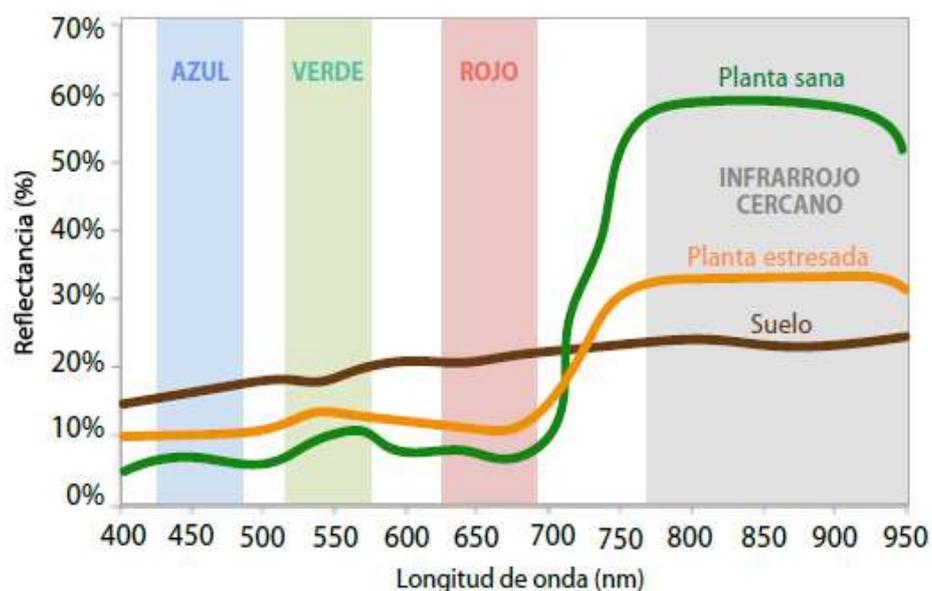
El NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) permite estimar el estado y desarrollo de una vegetación, en base a la medición con sensores remotos de la intensidad de la radiación que la misma emite o refleja.

Este índice utiliza los canales del espectro visible VIS y del infrarrojo cercano NIR. Normalmente la vegetación viva tiene reflectancia baja en el espectro VIS (rojo) y alta en el espectro NIR.

Cuando una cobertura vegetal se encuentra en situación de estrés, tiende a absorber menos radiación solar en el VIS, aumentando su reflectancia, y a absorber más en el NIR.

De esta manera la diferencia entre reflectancias de los canales NIR y VIS tiende a decrecer cuando la cobertura vegetal está afectada por algún factor de estrés (deficiencia de agua, enfermedades, plagas, etc.).

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R})$$

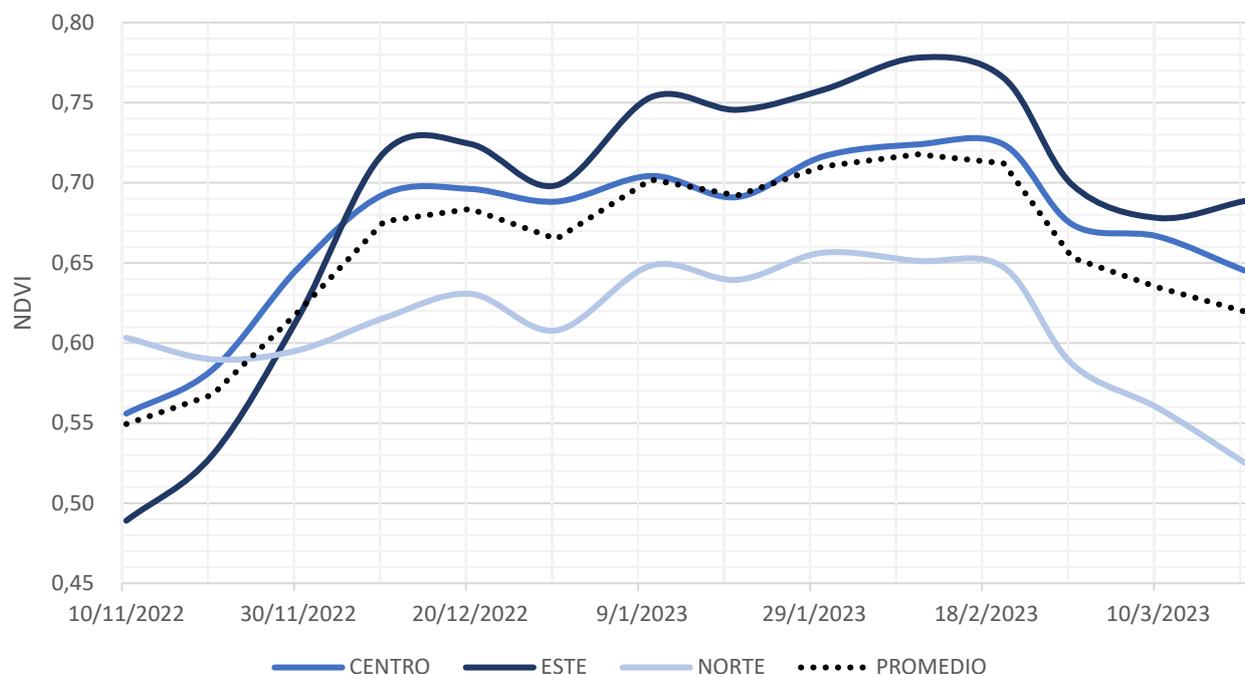


En verde se visualiza la reflectancia en las distintas longitudes de onda de una hoja sana en desarrollo.

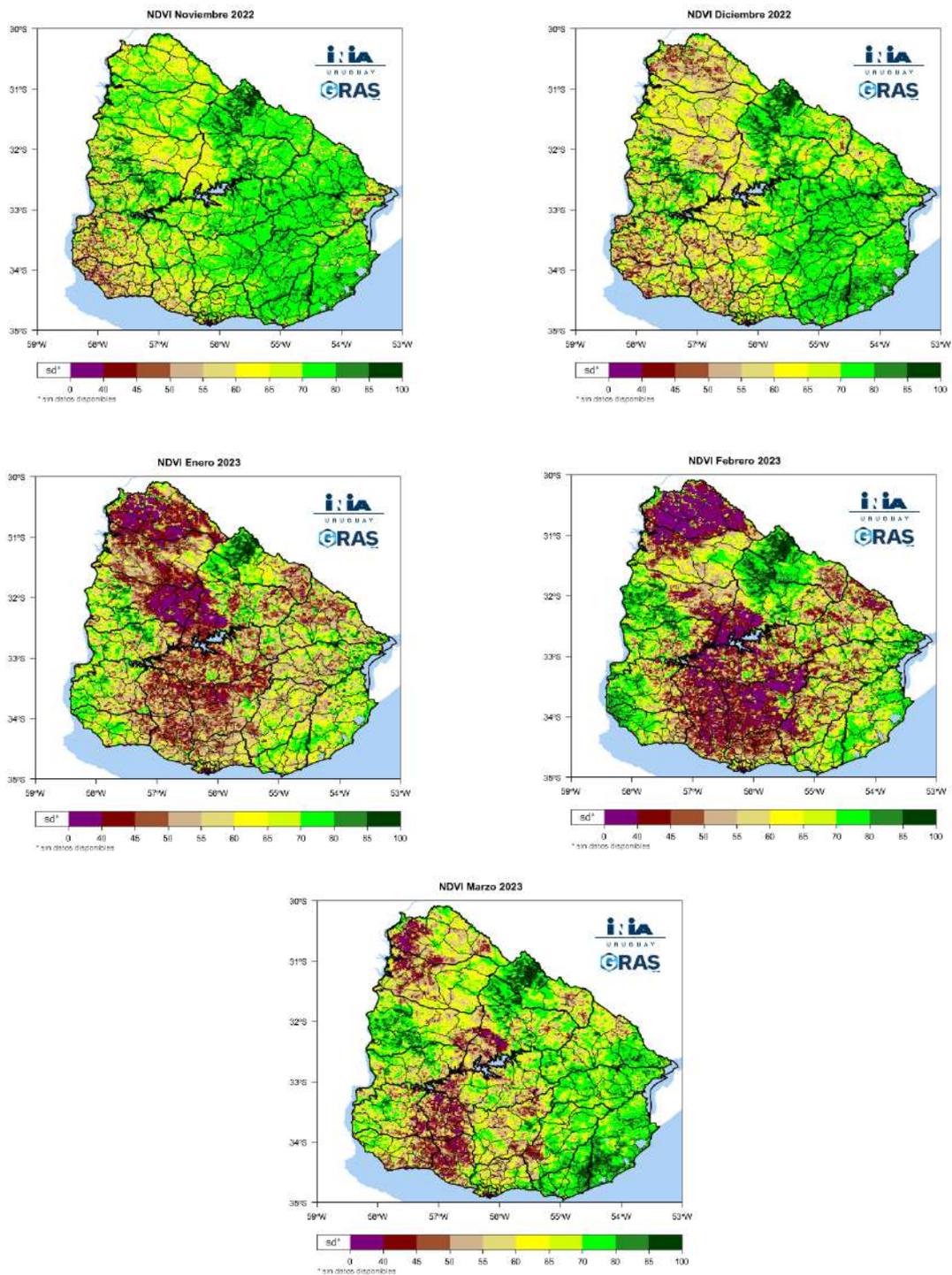
El análisis de los valores de NDVI promedio durante todo el periodo del cultivo, para cada zona ACA se muestra en el siguiente gráfico. Sobre fines de diciembre puede notarse una notoria caída del índice. Esto coincide con el momento en el que la mayor parte de las chacras están inundadas y la masa vegetal aún es pequeña (el NDVI de los espejos de agua es cercano a cero).

Luego las curvas comienzan a subir acompañando el desarrollo vegetal. Si bien las tendencias son similares al año anterior, los valores fueron menores. Esto podría estar explicado por el déficit hídrico que sufrió el país durante los meses de verano.

**NDVI PROMEDIO DEL CULTIVO DE ARROZ  
ZAFRA 2022 - 2023**



Comportamiento del NDVI durante la zafra 2022 - 2023. Se consideraron los valores promedio en cada zona para cada fecha de análisis. Información obtenida de las imágenes brindadas por el GRAS - Sistemas de información y transformación digital – INIA.



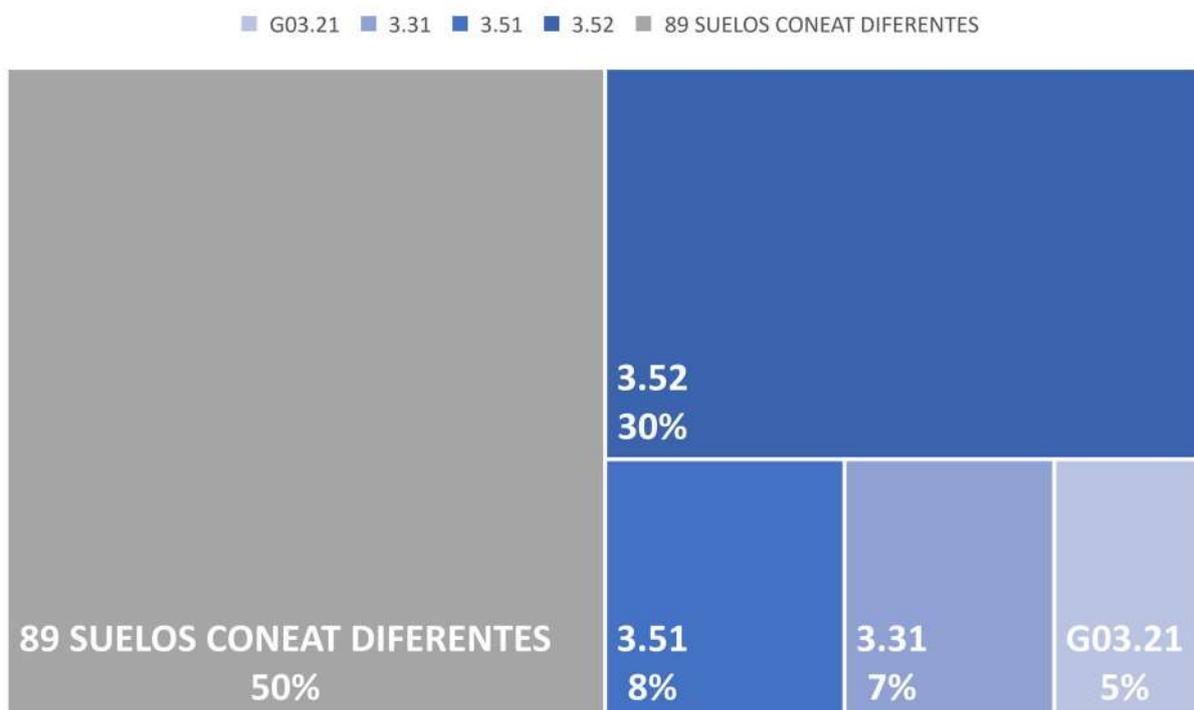
Evolución geográfica del NDVI durante la zafra 2021 - 2022.

El NDVI es una de las variables utilizadas para el cálculo de rendimiento de los cultivos con sensores remotos. Valores bajos del índice son indicadores de posibles disminuciones en los rindes al momento de cosecha.

## Suelos Coneat destinados a la producción de arroz durante la última zafra

El uso del suelo para la producción de arroz durante la campaña 2022 – 2023 fue muy similar a la campaña anterior. Si bien los suelos Coneat utilizados fueron muy variados (94 grupos), el más utilizado es el 3.52 (30% del área). Aproximadamente la mitad del área total que se destinó al cultivo durante la última zafra se distribuyó en 4 suelos, y una cuarta parte en 7 suelos más. Es decir, el 75% del área se sembró en 11 suelos Coneat diferentes.

### SUELOS CONEAT MÁS UTILIZADOS PARA LA PRODUCCIÓN DE ARROZ ZAFRA 2022 - 2023



En las 3 zonas productivas el 50% del área se concentra en 2 o 3 suelos Coneat. La zona con mayor variabilidad de suelos Coneat destinados al arroz es la del Centro y la de menor variabilidad es la del Norte.

Zona	Nº de suelos Coneat utilizados	Suelos Coneat utilizados en el 50% del área
Centro	52	G03.22 - G03.21
Norte	29	1.21 - 12.11 - 12.22
Este	40	3.51 - 3.52

## Rotaciones soja – arroz

Disponer de información geográfica de distintos cultivos a lo largo de los años permite hacer cruzamientos que muestran cómo se comportan las rotaciones entre los cultivos año a año. En la siguiente tabla se muestra la proporción de arroz sembrada sobre soja el año anterior (estimación realizada para las 2 zafras de arroz disponibles), y la proporción de chacras sembradas por segundo año de arroz.

Rotaciones	Año			Área	% del Total
	2021	2022	2023		
	Soja	Arroz		19.160	12
		Soja	Arroz	24.381	15
		Arroz	Arroz	50.138	30

## Tabla comparativa - zafra 2022 vs 2023

En la siguiente tabla puede observarse que durante las 2 últimas zafras el cultivo prácticamente no tuvo variación en cuanto a la superficie sembrada y a la distribución de este en el territorio nacional. La variación que se observó en el NDVI de un año a otro podría estar explicada por la situación climática que se instaló en el país durante todo el verano.

	2022	2023
<b>Superficie total</b>	<b>163.887 ha</b>	<b>163.682 ha</b>
N° de departamentos	10	10
% del área en Treinta y Tres y Rocha	53%	54%
N° de cuencas	19	19
% del área en cuencas de Laguna Merim y Río Cebollatí	47%	46%
Superficie en zona este	109.712 ha- 67%	109.405 ha- 67%
Superficie en zona centro	24.762 ha- 15%	24.456 ha- 15%
Superficie en zona norte	29.412 ha- 18%	29.823 ha- 18%
Ndvi máximo	0,82	0,78
N° de suelos coneat	96 grupos	94 grupos
Sc más utilizado	3.52- 30% del área	3.52- 30% del área
Sc del 50% del área	3.52- 3.51- 3.31- 3.41	3.52- 3.51- 3.31- G03.21
% del área con soja el año anterior	12%	15%
% del área con arroz el año anterior	S/D	30%



**Conclusiones**

- Del análisis realizado a través del uso de imágenes satelitales provenientes del sensor Sentinel, se concluye que el área estimada de siembra de arroz para la zafra 2022/23 es de aproximadamente **164.000 hectáreas**.
- **La precisión general del trabajo fue de 98%**. El 2% restante corresponde únicamente al error de comisión (chacras que no fueron arroz y que fueron teledetectadas como tal). El área final presentada incluye corrección de errores.
- La distribución del cultivo en el Uruguay, y los suelos utilizados, prácticamente no tuvieron variantes con respecto al año anterior.
- Se identificaron chacras de arroz en 10 departamentos, y el **54% del área se ubicó en Treinta y Tres y Rocha**.
- De las 3 zonas operativas de la ACA, **la región con mayor superficie de arroz sembrada fue la zona Este, con el 67% de la superficie total**.
- La región arrocerá abarcó 19 cuencas hidrográficas, pero el **46% del área se concentró en 3 cuencas contiguas de la zona Este**.
- **Las curvas de NDVI siguieron las mismas tendencias que el año anterior, aunque sus valores fueron menores**.
- La producción de arroz se desarrolló sobre 94 suelos Coneat, sin embargo, **el 50% del área se encontró sobre 4 suelos: 3.52 (30%), 3.51 (8%), 3.31 (7%) y G03.21 (5%)**.
- **El 30% del área sembrada de arroz en el 22/23 se realizó sobre chacras provenientes de arroz mientras que el 15% se sembró sobre chacras sembradas con soja la zafra anterior (21/22)**.