

# **Analysis of Rainfall Variability in Maizales -Santa Fe, Argentina- (2000-2025)**

*Integration of Citizen Science Records, GLOBE Protocols,  
and NASA Satellite Validation for Agricultural Resilience.*

**Análisis de la Variabilidad Pluviométrica en Maizales  
-Santa Fe, Argentina- (2000-2025)**

*Integración de Registros de Ciencia Ciudadana, Protocolos GLOBE  
y Validación Satelital de la NASA para la Resiliencia Agrícola.*

Student Name / Nombre del Estudiante:

**Valentino D'Angelo**

Teacher Name / Nombre del Profesor:

**Emiliano Vinocur**

School Name / Nombre de la Escuela:

**Escuela de Educación Técnico Profesional N° 449**

Country/ País:

**Argentina**

Date / Fecha:

**January / Enero 2026**

**Analysis of Rainfall Variability in Maizales -Santa Fe, Argentina- (2000-2025)**

*Integration of Citizen Science Records, GLOBE Protocols, and NASA Satellite Validation for Agricultural Resilience.*

---

**Note on Translation**

This research report was originally written in Spanish, the native language of the researchers and the study site. To comply with the international standards of the GLOBE Program, the document has been translated into English. For clarity and to preserve the original technical nuance of the data, the English translation is presented first in each section, followed by the original Spanish text.

**Nota Aclaratoria sobre la Traducción**

Este informe de investigación fue redactado originalmente en español, idioma nativo de los investigadores y del sitio de estudio. Para cumplir con los estándares internacionales del Programa GLOBE, el documento ha sido traducido al inglés. Para mayor claridad y para preservar los matices técnicos originales de los datos, se presenta primero el texto traducido al inglés en cada sección, seguido del texto original en español.

**Analysis of Rainfall Variability in Maizales -Santa Fe, Argentina- (2000-2025)**

*Integration of Citizen Science Records, GLOBE Protocols, and NASA Satellite Validation for Agricultural Resilience.*

---

**Table of Contents**

Abstract. Page 3  
Research Questions, Objectives, and Hypothesis. Page 4  
Introduction and Literature Review. Page 6  
Research Methods. Page 8  
Results. Page 13  
Discussion. Page 23  
Conclusion. Page 24  
Bibliography. Page 26  
Acknowledgements. Page 27  
Badge Justification. Page 28

**Índice**

Resumen. Página 3  
Preguntas de Investigación, Objetivos e Hipótesis. Página 4  
Introducción y Revisión de la Literatura. Página 6  
Métodos de Investigación. Página 8  
Resultados Obtenidos. Página 13  
Discusión. Página 23  
Conclusión. Página 24  
Bibliografía. Página 26  
Agradecimientos. Página 27  
Justificación de Insignias. Página 28

**Analysis of Rainfall Variability in Maizales -Santa Fe, Argentina- (2000-2025)**

*Integration of Citizen Science Records, GLOBE Protocols, and NASA Satellite Validation for Agricultural Resilience.*

---

## 1. Abstract

This research project analyzes the evolution of precipitation in the town of Maizales, Santa Fe, over a 26-year period. The study originates from the enhancement and systematic analysis of a historical rainfall record started by Mr. Martino in the year 2000, which was digitized and analyzed for this purpose. During the 2025 cycle, GLOBE Atmosphere Protocols were incorporated to standardize current measurements, and data from NASA Worldview were utilized for validation.

The study reveals a historical average of 956.58 mm, but with a significant standard deviation that highlights the alternation between extreme dry cycles (such as the minimum of 430.5 mm in 2022) and wet cycles (maximum of 1498 mm in 2012). The analysis demonstrates that citizen science provides critical spatial resolution that complements satellite data. These results allow for a better understanding of water anomalies in a core production area for corn and soybeans, facilitating decision-making based on local climatic evidence.

*Keywords: Maizales (Santa Fe), Citizen Science, GLOBE Protocol, NASA Worldview, Interannual Variability.*

## 1. Resumen

Este proyecto de investigación analiza la evolución de las precipitaciones en la localidad de Maizales, Santa Fe, durante un periodo de 26 años. La investigación nace de la puesta en valor de un registro histórico de lluvia iniciado por el Sr. Martino en el año 2000, el cual se digitalizó y analizó sistemáticamente. Durante el ciclo 2025, se incorporaron los Protocolos de Atmósfera de GLOBE para estandarizar las mediciones actuales y se utilizaron datos a través de NASA Worldview.

El estudio revela una media histórica de 956.58 mm, pero con una desviación estándar significativa que evidencia la alternancia entre ciclos secos extremos (como el mínimo de 430.5 mm en 2022) y ciclos húmedos (máximo de 1498 mm en 2012). El análisis demuestra que la ciencia ciudadana proporciona una resolución espacial crítica que complementa a los satélites. Los resultados permiten comprender mejor las anomalías hídricas en una zona núcleo de producción de maíz y soja, facilitando la toma de decisiones basada en evidencia climática local.

*Palabras clave: Maizales (Santa Fe), Ciencia Ciudadana, Protocolo GLOBE, NASA Worldview, Variabilidad Interanual.*

## **Analysis of Rainfall Variability in Maizales -Santa Fe, Argentina- (2000-2025)**

*Integration of Citizen Science Records, GLOBE Protocols, and NASA Satellite Validation for Agricultural Resilience.*

---

### **2.a. Research Questions**

- What are the climate variability trends observed in the 26-year record in Maizales, and how do historical extreme events compare with the 2025 data?
- What is the correlation level between the intensity of storms recorded locally with the rain gauge and the reflectivity observed in NASA satellite data?
- How does "Proximity Citizen Science" (Mr. Martino's records) benefit the accuracy of climate monitoring in rural areas compared to global models?

#### **2.a. Preguntas de Investigación**

- ¿Cuáles son las tendencias de variabilidad climática observadas en el registro de 26 años en Maizales y cómo se comparan los eventos extremos históricos con los datos del año 2025?
- ¿Qué nivel de correlación existe entre la intensidad de las tormentas registradas localmente con el pluviómetro y la reflectividad observada en los datos satelitales de la NASA?
- ¿Cómo beneficia la "Ciencia Ciudadana de proximidad" (registros del Sr. Martino) a la precisión del monitoreo climático en zonas rurales comparado con modelos globales?

### **2.b.1. General Objective**

- To determine the precipitation variability patterns in Maizales, Santa Fe, through the integration of historical family records, GLOBE scientific protocols, and NASA remote sensing tools to evaluate changes in the local water regime.

#### **2.b.1. Objetivo General**

- Determinar los patrones de variabilidad de las precipitaciones en Maizales, Santa Fe, mediante la integración de registros históricos familiares, protocolos científicos GLOBE y herramientas de teledetección de la NASA para evaluar el cambio en el régimen hídrico local.

### **2.b.2. Specific Objectives**

- To systematize the rainfall data from the 2000-2025 period at Mr. Martino's field.
- To apply the GLOBE Atmosphere Protocol with technical rigor for data collection during 2025.
- To correlate in situ rainfall data with images from the NASA Worldview platform to identify cloud cover and precipitation patterns.
- To statistically analyze monthly and annual rainfall variables, as well as the frequency of extreme events, to identify regional climate change trends.

**Analysis of Rainfall Variability in Maizales -Santa Fe, Argentina- (2000-2025)**

*Integration of Citizen Science Records, GLOBE Protocols, and NASA Satellite Validation for Agricultural Resilience.*

---

**2.b.2. Objetivos Específicos**

- Sistematizar los datos pluviométricos del periodo 2000-2025 del Campo del Sr. Martino.
- Aplicar con rigor técnico el Protocolo de Atmósfera de GLOBE para la recolección de datos en 2025.
- Correlacionar los datos de lluvia in situ con imágenes de la plataforma NASA Worldview para identificar patrones de nubosidad y precipitación.
- Analizar estadísticamente las variables de lluvia mensual, anual y frecuencia de eventos extremos para identificar tendencias de cambio climático regional.

**2.c. Hypothesis**

Precipitation variability in Maizales, Santa Fe, has shown a trend toward the intensification of extreme events (severe droughts and concentrated torrential rains) in the last decade (2015-2025) compared to the initial historical record (2000-2010). This trend is reflected in a higher frequency of anomalies detected by both Mr. Martino's ground records and NASA satellite imagery.

**2.c. Hipótesis**

La variabilidad de las precipitaciones en la localidad de Maizales, Santa Fe, ha mostrado una tendencia hacia la intensificación de eventos extremos (sequías severas y lluvias torrenciales concentradas) en la última década (2015-2025) en comparación con el registro histórico inicial (2000-2010), lo cual se ve reflejado en una mayor frecuencia de anomalías detectadas tanto por el registro terrestre del Sr. Martino como las imágenes satelitales de la NASA.

### 3. Introduction and Literature Review

The Argentine Pampas region is one of the world's most complex natural laboratories regarding hydroclimatology. The town of Maizales, located in southern Santa Fe province, sits within one of the most productive agricultural areas globally. However, its economy depends critically on precipitation patterns, which exhibit high variability influenced by macro-climatic drivers such as the ENSO (El Niño/La Niña) phenomenon.

Recent research by Argentine authors, such as Camilloni (2020), indicates that certain regions in Argentina have experienced an increase in the frequency of extreme precipitation events. Furthermore, a report by Magrín et al. (2014) highlights that climate change in Argentina has primarily benefited soybean expansion due to variations in rainfall and temperature, although it warns of the constant need for monitoring. The greatest risks include the increase of extreme events (floods and droughts) and the necessity of adapting agricultural management to an uncertain climate.

Citizen science, defined as public participation in scientific research, is key when long-term records are required in areas where official stations of the National Meteorological Service (SMN) are far away. Mr. Martino's data represents a "proximity record" that satellite networks sometimes fail to capture with millimeter precision due to the spatial resolution of their sensors. According to Rivera et al. (2018), local historical records are essential for reconstructing Argentina's climate history and understanding the intensification of the hydrological cycle.

The integration of satellite data is now the standard for validating these ground observations. NASA satellite imagery offers global products that, when cross-referenced with ground data like those in this project, allow for the adjustment of rain detection algorithms in lowland areas. On the other hand, Barros et al. (2015) suggest that satellite remote sensing is an indispensable complementary tool for climate monitoring in rural areas where weather stations are scarce.

### 3. Introducción y Revisión de la Literatura

La región pampeana argentina es uno de los laboratorios naturales más complejos del mundo en cuanto a hidroclimatología. La localidad de Maizales, situada en el sur de la provincia de Santa Fe, es una de las zonas agrícolas más productivas del mundo. Sin embargo, su economía depende críticamente del régimen de precipitaciones, el cual presenta una alta variabilidad influenciada por forzantes macroclimáticos como el fenómeno ENOS (El Niño/La Niña).

Investigaciones recientes de autores argentinos como Camilloni (2020) indican que hay zonas de Argentina que han experimentado un aumento en la frecuencia de precipitaciones extremas. El

**Analysis of Rainfall Variability in Maizales -Santa Fe, Argentina- (2000-2025)**

*Integration of Citizen Science Records, GLOBE Protocols, and NASA Satellite Validation for Agricultural Resilience.*

---

informe de Magrín et al. (2014) destaca que el cambio climático en Argentina ha beneficiado principalmente la expansión de la soja debido a variaciones en precipitaciones y temperaturas, aunque advierte sobre la necesidad de monitoreo constante. Los mayores riesgos incluyen el aumento de eventos extremos (inundaciones/sequías) y la necesidad de adaptar el manejo del sector agropecuario ante un clima incierto.

La ciencia ciudadana, definida como la participación del público en la investigación científica, es clave cuando se necesitan registros de largo plazo en áreas donde las estaciones oficiales del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) están alejadas. Los datos del Sr. Martino representan un "registro de proximidad" que la red satelital a veces no logra captar con precisión milimétrica debido a la resolución espacial de los sensores. Según Rivera et al. (2018), los registros históricos locales son esenciales para reconstruir la historia climática de Argentina y entender la intensificación del ciclo hidrológico.

La integración de datos satelitales es ahora la norma para validar estas observaciones terrestres. Las imágenes satelitales de la NASA ofrece productos globales que, al ser cruzados con datos terrestres como los de este proyecto, permiten ajustar los algoritmos de detección de lluvia en zonas de llanura. Por otro lado, Barros et al. (2015) sugieren que la teledetección satelital es una herramienta complementaria indispensable para el monitoreo climático en zonas rurales donde las estaciones meteorológicas son escasas.

## Analysis of Rainfall Variability in Maizales -Santa Fe, Argentina- (2000-2025)

*Integration of Citizen Science Records, GLOBE Protocols, and NASA Satellite Validation for Agricultural Resilience.*

## 4. Research Methods

### 4. Métodos de la Investigación

**4.a. Study Site:** The study area is located at Mr. Martino's field, coordinates -33.311939, -60.897958, in Maizales, Santa Fe. The landscape consists of a gently undulating plain with a humid temperate climate. The soil is highly fertile with a high water-retention capacity, making the monitoring of accumulated rainfall vital for groundwater and crop management.

**4.a. Sitio de Estudio:** El área de estudio se localiza en el Campo del Sr. Martino, coordenadas -33.311939, -60.897958, Maizales, Santa Fe. El paisaje es una llanura suavemente ondulada con clima templado húmedo. El suelo es muy fértil, con alta capacidad de retención de agua, lo que hace que el monitoreo de la lluvia acumulada sea vital para el manejo de napas y cultivos.

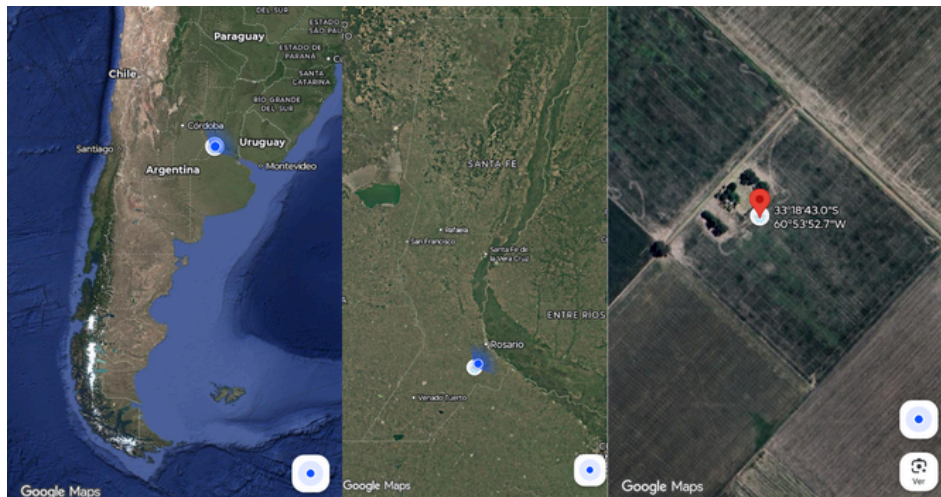


Figure 1: Geographic location and satellite view of the study site.

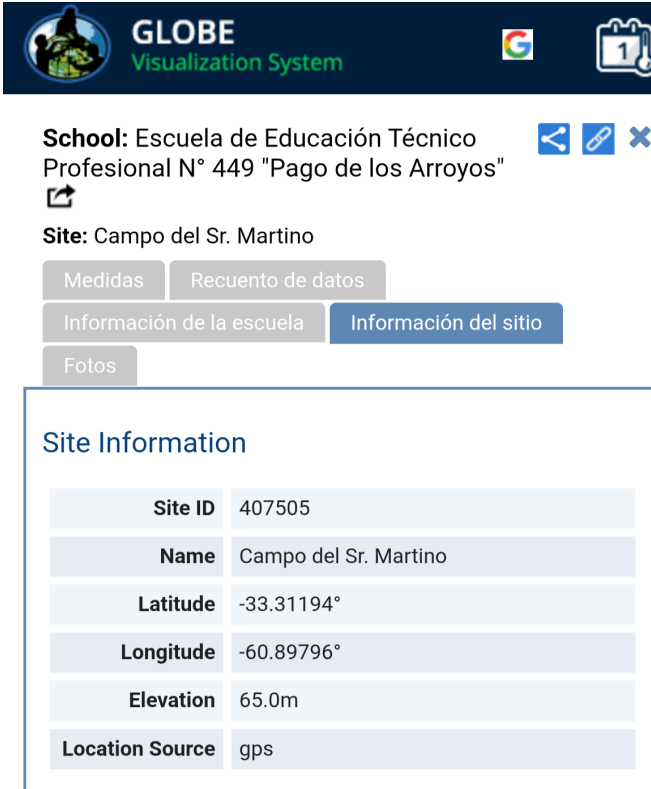
*The image shows a multi-scale perspective from Google Maps: a national view of Argentina (left), a regional view of Santa Fe province (center), and a high-resolution satellite detail of Mr. Martino's field in Maizales (right), centered at coordinates 33°18'43.0\"S 60°53'52.7\"W. Source: Google Maps.*

Figura 1: Ubicación geográfica y vista satelital del sitio de estudio.

*La imagen muestra una perspectiva multi-escala de Google Maps: una vista nacional de Argentina (izquierda), una vista regional de la provincia de Santa Fe (centro) y un detalle satelital de alta resolución del campo del Sr. Martino en Maizales (derecha), centrado en las coordenadas 33°18'43.0\"S 60°53'52.7\"W. Fuente: Google Maps.*

## Analysis of Rainfall Variability in Maizales -Santa Fe, Argentina- (2000-2025)

Integration of Citizen Science Records, GLOBE Protocols, and NASA Satellite Validation for Agricultural Resilience.



The screenshot displays the GLOBE Visualization System interface. At the top, there is a header with the GLOBE logo and 'Visualization System' text. Below the header, the school name is listed as 'Escuela de Educación Técnico Profesional N° 449 "Pago de los Arroyos"'. The site name is 'Campo del Sr. Martino'. There are several navigation buttons: 'Medidas', 'Recuento de datos', 'Información de la escuela', 'Información del sitio', and 'Fotos'. The 'Información del sitio' button is highlighted. Below this, a 'Site Information' table is shown with the following data:

Site ID	407505
Name	Campo del Sr. Martino
Latitude	-33.31194°
Longitude	-60.89796°
Elevation	65.0m
Location Source	gps

Figure 2: Official site registration in the GLOBE Visualization System.

*Technical datasheet showing the institutional link with Escuela de Educación Técnico Profesional N° 449 "Pago de los Arroyos" and the precise GPS metadata for the study site. Source: GLOBE.*

Figura 2: Registro oficial del sitio en el Sistema de Visualización de GLOBE.

*Ficha técnica que muestra la vinculación institucional con la Escuela de Educación Técnico Profesional N° 449 "Pago de los Arroyos" y los metadatos precisos de GPS para el sitio de estudio. Fuente: GLOBE.*

**4.b. Data Collection:** To ensure scientific validity, the GLOBE Atmosphere (Precipitation) Protocol was followed throughout 2025:

1. Instrument: A standardized cylindrical rain gauge was used, installed in an open area away from trees or buildings that could cause a "shadow effect" or wind turbulence. The instrument was placed 1 meter above the ground on a leveled post.
2. Measurement Procedure: Readings are taken daily at the same time (local solar time).
  - The base of the water meniscus is observed on the millimeter scale.
  - The exact amount is recorded in mm (e.g., 12.5 mm).

### Analysis of Rainfall Variability in Maizales -Santa Fe, Argentina- (2000-2025)

Integration of Citizen Science Records, GLOBE Protocols, and NASA Satellite Validation for Agricultural Resilience.

- In the event of heavy rainfall, the gauge is checked to ensure no overflow occurred.
  - After the reading, the rain gauge is emptied and cleaned to prevent sediment buildup or errors due to residual evaporation.
3. Recording: The 2025 data were uploaded to the GLOBE database, while historical data (2000–2024) were tabulated from Mr. Martino's original field notebooks.

**4.b. La recopilación de datos:** Para asegurar la validez científica, durante todo el 2025 se siguió el Protocolo de Atmósfera (Precipitaciones) de GLOBE:

1. Instrumento: Se utilizó un pluviómetro de tipo cilíndrico estandarizado, instalado en un área abierta, lejos de árboles o construcciones que pudieran causar "efecto sombra" o turbulencias de viento. El instrumento se colocó a 1 metro de altura sobre un poste nivelado.
2. Procedimiento de Medición: La lectura se realiza diariamente a la misma hora (hora solar local).
  - Se observa la base del menisco del agua en la escala milimétrica.
  - Se registra la cantidad exacta en mm (ej. 12.5 mm).
  - En caso de lluvias intensas, se verifica que no haya habido desborde.
  - Tras la lectura, el pluviómetro se vacía y se limpia para evitar la acumulación de sedimentos o errores por evaporación residual.
3. Registro: Los datos de 2025 se cargaron en la base de datos de GLOBE, mientras que los datos históricos (2000-2024) se tabularon a partir de los cuadernos de campo del Sr. Martino.



Figure 3: Historical handwritten rainfall records by Mr. Martino.

*The images display the annual data sheets that define the precipitation extremes in Maizales. On the left, the 2012 record evidences a significant wet cycle with the historical maximum. On the right, the 2022 record documents the most severe drought in the series. These primary sources constitute the heart of the citizen science database for this study. Source: Mr. Martino's family archive.*

Figura 3: Registros pluviométricos manuales históricos del Sr. Martino.

*Las imágenes muestran las planillas anuales que definen los extremos de precipitación en Maizales. A la izquierda, el registro de 2012 evidencia un ciclo húmedo significativo con el máximo histórico. A la derecha, el registro de 2022 documenta la sequía más severa de la serie. Estas fuentes primarias constituyen el corazón de la base de datos de ciencia ciudadana de este estudio. Fuente: Archivo familiar del Sr. Martino.*

## Analysis of Rainfall Variability in Maizales -Santa Fe, Argentina- (2000-2025)

*Integration of Citizen Science Records, GLOBE Protocols, and NASA Satellite Validation for Agricultural Resilience.*



Figure 4: 2025 Data entry in the GLOBE Observer App.

*The screenshot shows the digital recording of a precipitation event on May 17, 2025, following the GLOBE Atmosphere Protocol. The app interface displays the accumulated rainfall (90 mm).*

*Source: GLOBE Observer App.*

Figura 4: Carga de datos del año 2025 en la App GLOBE Observer.

*La captura de pantalla muestra el registro digital de un evento de precipitación el 17 de mayo de 2025, siguiendo el Protocolo de Atmósfera de GLOBE. La interfaz de la aplicación detalla el acumulado de lluvia (90 mm). Fuente: App GLOBE Observer.*

**4.c. Satellite Data Integration:** The NASA Worldview platform was accessed to investigate atmospheric dynamics. For every rainfall event exceeding 40 mm recorded by Mr. Martino, the corresponding satellite imagery was downloaded. This allowed for the observation of Mesoscale Convective Systems (MCS) and cold fronts over the province of Santa Fe, confirming that the rain gauge data coincide with the phenomenology observed from space.

**4.c. Integración de Datos Satelitales:** Se accedió a la plataforma NASA Worldview para investigar la dinámica atmosférica. Para cada evento de lluvia mayor a 40 mm registrado por el Sr. Martino, se descargó la imagen satelital correspondiente. Esto permitió observar la formación de sistemas convectivos de mesoescala y frentes fríos sobre la provincia de Santa Fe, confirmando que los datos del pluviómetro coinciden con la fenomenología observada desde el espacio.

## Analysis of Rainfall Variability in Maizales -Santa Fe, Argentina- (2000-2025)

*Integration of Citizen Science Records, GLOBE Protocols, and NASA Satellite Validation for Agricultural Resilience.*

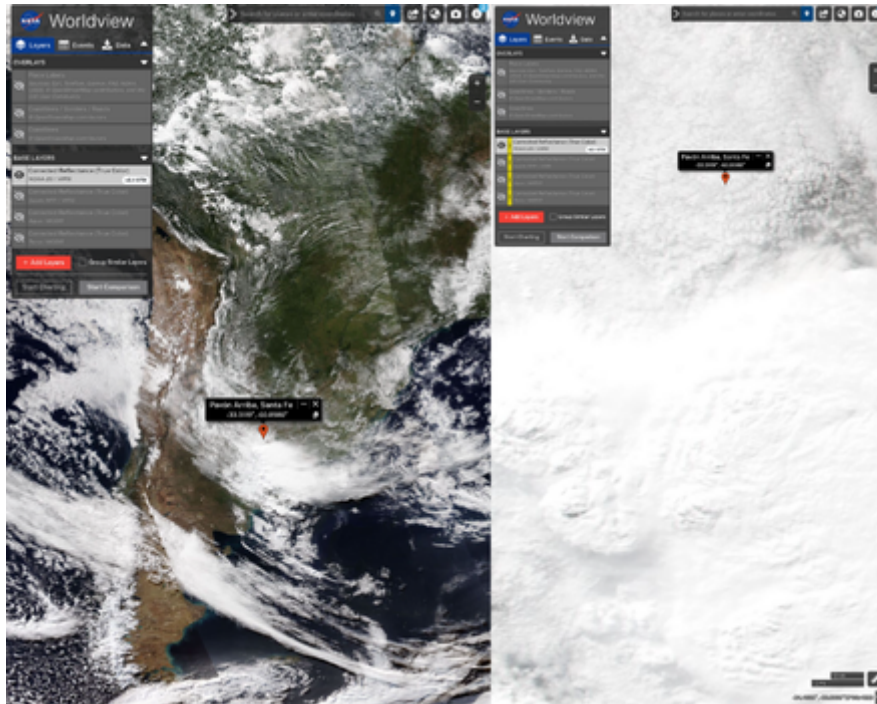


Figure 5: NASA Worldview screenshot.

*The satellite imagery confirms the presence of a Mesoscale Convective System (MCS) over the southern region of Santa Fe. The left panel shows the regional context of the storm front, while the high-resolution zoom on the right illustrates the high-reflectivity cloud cover directly over the study site. Source: NASA Worldview.*

Figura 5: Captura de pantalla de NASA Worldview.

*La imagen satelital confirma la presencia de un Sistema Convectivo de Mesoescala (SCM) sobre el sur de la provincia de Santa Fe. El panel izquierdo muestra el contexto regional del frente de tormenta, mientras que el zoom de alta resolución a la derecha ilustra la densa cobertura nubosa de alta reflectividad directamente sobre el sitio de estudio. Fuente: NASA Worldview.*

## Analysis of Rainfall Variability in Maizales -Santa Fe, Argentina- (2000-2025)

Integration of Citizen Science Records, GLOBE Protocols, and NASA Satellite Validation for Agricultural Resilience.

## 5. Results

### 5. Resultados

REGISTRO DE PRECIPITACIONES (mm)													
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
2000	80	129	49	132	142	15	0	20	45	142	203	49	1006
2001	115	58	197	76	8	13	2	100	98	270	109	160	1206
2002	100	31	193	78	38	3	18	95	24	178	72	138	968
2003	92	60	114	92	27	0	70	17	15	40	93	185	805
2004	80	15	90	125	79	15	27	16	3	64	75	140	729
2005	151	83	135	78	5	33	33	45	37	62	89	41	792
2006	94	113	120	77	8	32	7	0	24	246	122	192	1035
2007	145	148	326	67	15	12	0	8	88	118	25	98	1050
2008	74	148	117	33	0	5	8.5	0	15	42	190	32	664.5
2009	59	304	76	83	26	0	80	0	112	56	208	243	1247
2010	228	165	52	89	65	28	39	4	52	60	39	53	874
2011	203	131	36	130	86	20	20	4	17	145	81	28	901
2012	90	230	157	31	102	17	15	195	79	239	83	260	1498
2013	46	156	76	71	31	13	26	0	15	29	221	33	717
2014	162	444	121	114	80	18	34	0	62	93	177	120	1425
2015	166	54	114	49	96	32	55	197	28	76	182	74	1123
2016	68	318	64	303	3	31	17	36	26	110	76	224	1276
2017	233	107	145	119	54	14	24	39	110	44	27	124	1040
2018	22	3	32	152	230	0	10	10	20	77	102	167	825
2019	93	80	95	73	31	46	19	3	15	47	102	109	713
2020	87	18	118	90	0	21	5	3	32	118	38	55	585
2021	210	0	155	81	60	0	58	8	69	44	105	20	810
2022	75	76	106	65	5	2	6	0	12	24	50	9.5	430.5
2023	126	10	87	19	155	0	33	0	29	105	77	140	781
2024	78	124	427	106	8	0	0	50	3	181	86	50	1113
2025	25	227	210	67	131	9	55	195	59	114	73	92	1257

Figure 6: Tabulated precipitation dataset (2000–2025).

*The image displays the complete raw data matrix digitized from Mr. Martino's field notebooks. This spreadsheet organizes 26 years of monthly and annual rainfall records in Maizales, Santa Fe. It serves as the primary evidence for the longitudinal statistical analysis, identifying the historical average of 956.58 mm and the interannual fluctuations that characterize the regional hydrological regime. Source: Own elaboration based on primary records.*

Figura 6: Matriz de datos de precipitación tabulados (2000–2025).

*La imagen muestra la matriz completa de datos brutos digitalizados a partir de los cuadernos de campo del Sr. Martino. Esta planilla organiza 26 años de registros mensuales y anuales de lluvia en Maizales, Santa Fe. Constituye la evidencia primaria para el análisis estadístico longitudinal, permitiendo identificar la media histórica de 956.58 mm y las fluctuaciones interanuales que caracterizan el régimen hídrico regional. Fuente: Elaboración propia basada en registros primarios.*

**Analysis of Rainfall Variability in Maizales -Santa Fe, Argentina- (2000-2025)**

*Integration of Citizen Science Records, GLOBE Protocols, and NASA Satellite Validation for Agricultural Resilience.*

2025	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1			6			*	*	5				20
2			6			*	*					
3			8				*					
4		10					*				18	
5		90			6		*			50		
6				47			*	*				
7				20	12							
8			70					*			15	
9		2						*				
10								*				30
11		10						*			2	10
12		17	4					*				
13								*				
14						9		*				
15						*		*	5			
16		20									20	
17					90		20					
18	5				15	*	8					
19	8					*	*	70				
20						*	*	30			18	32
21						*			32			
22						*				50		
23			10			*						
24	6	50	8			*	2	*		14		
25		28				*		*				
26					2	*	20					
27	6		60		6	*	5		22			
28			10			*						
29					*	*						
30		X			*	*		60				
31			28	X	*	X		30	X		X	
	25	227	210	67	131	9	55	195	59	114	73	92
			LLUVIA	56 DÍAS								
			MÁXIMO SIN LLOVER	32 DÍAS								
			DÍAS MÁS LLUVIOSOS	90 mm								
	*		HELADAS									

Figure 7: 2025 Primary digital record for GLOBE Observer integration.

*This spreadsheet illustrates the detailed monitoring performed during 2025. It tracks specific rainfall days, the maximum consecutive dry days, and the highest precipitation events. Additionally, an asterisk (\*) was used to incorporate frost days, expanding the atmospheric analysis beyond rainfall. This dataset served as the preliminary quality control before uploading the measurements to the GLOBE Observer App. Source: Own elaboration.*

Figura 7: Registro digital primario de 2025 para la integración en GLOBE Observer.

*Esta planilla ilustra el monitoreo detallado realizado durante 2025. En ella se registran los días específicos de lluvia, el máximo de días consecutivos sin llover y los eventos de mayor precipitación. Adicionalmente, se incorporaron mediante un asterisco (\*) los días de heladas, expandiendo el análisis atmosférico más allá de la pluviosidad. Esta matriz sirvió como control de calidad preliminar antes de la carga de las mediciones en la App GLOBE Observer. Fuente: Elaboración propia.*

**Analysis of Rainfall Variability in Maizales -Santa Fe, Argentina- (2000-2025)**

*Integration of Citizen Science Records, GLOBE Protocols, and NASA Satellite Validation for Agricultural Resilience.*

REGISTRO DE PRECIPITACIONES (mm)													
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
2000	80	129	49	182	182	15	0	20	45	142	203	49	1006
2001	115	58	197	76	8	13	2	100	98	270	109	160	1206
2002	100	31	193	78	38	3	18	95	24	178	72	138	968
2003	92	60	114	92	27	0	70	17	15	40	93	185	805
2004	80	15	90	125	79	15	27	16	3	64	75	140	729
2005	151	83	135	78	5	33	33	45	37	62	89	41	792
2006	94	113	120	77	8	32	7	0	24	246	122	192	1035
2007	145	148	326	67	15	12	0	8	88	118	25	98	1050
2008	74	148	117	33	0	5	8,5	0	15	42	190	32	664,5
2009	59	304	76	83	26	0	80	0	112	56	208	243	1247
2010	228	165	52	89	65	28	39	4	52	60	30	53	874
2011	203	131	36	180	86	20	20	4	17	145	81	28	901
2012	90	230	157	31	102	17	15	195	79	239	83	260	1498
2013	46	156	76	71	31	13	26	0	15	29	221	33	717
2014	162	444	121	114	80	18	34	0	62	93	177	120	1425
2015	166	54	114	49	96	32	55	197	28	76	182	74	1123
2016	68	218	64	393	5	31	17	36	26	110	76	224	1276
2017	233	107	145	119	54	14	24	39	110	44	27	124	1040
2018	22	3	32	152	230	0	10	10	20	77	102	167	825
2019	93	80	95	73	31	46	19	3	15	47	102	109	713
2020	87	18	118	90	0	21	5	3	32	118	38	55	585
2021	210	0	155	81	60	0	58	8	69	44	105	20	810
2022	75	76	106	65	5	2	6	0	12	24	50	9,5	430,5
2023	126	10	87	19	155	0	33	0	29	105	77	140	781
2024	78	124	427	106	8	0	0	50	3	181	86	50	1113
2025	25	227	210	67	131	9	55	195	59	114	73	92	1257
REFERENCIAS													
			El Niño	Leve	Medio	Fuerte	Intenso						
			La Niña	Leve	Medio	Fuerte							

Figure 8: Correlation between local rainfall and El Niño/La Niña phenomena.

*This thematic matrix categorizes the monthly and annual records based on the influence of the El Niño-Southern Oscillation (ENSO). The color-coded references identify periods of El Niño (warm phase, associated with higher rainfall in the region) and La Niña (cold phase, associated with droughts), categorized by intensity from "Weak" to "Very Strong." This visualization allows for the identification of how global macro-climatic patterns directly dictated the hydrological extremes recorded in Maizales over the last 26 years. Source: Own elaboration.*

Figura 8: Correlación entre la lluvia local y los fenómenos de El Niño y La Niña.

*Esta matriz temática categoriza los registros mensuales y anuales basándose en la influencia de la Oscilación del Sur (ENSO). Las referencias por colores identifican los periodos de El Niño (fase cálida, asociada a mayores lluvias en la región) y La Niña (fase fría, asociada a sequías), categorizados por su intensidad desde "Leve" hasta "Muy Fuerte". Esta visualización permite identificar cómo los macro-patrones climáticos globales dictaron directamente los extremos hídricos registrados en Maizales durante los últimos 26 años. Fuente: Elaboración propia.*

**Analysis of Rainfall Variability in Maizales -Santa Fe, Argentina- (2000-2025)**

*Integration of Citizen Science Records, GLOBE Protocols, and NASA Satellite Validation for Agricultural Resilience.*

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
2000	6	7	5	8	9	2	1	3	4	9	10	5
2001	9	4	11	5	2	3	1	7	6	12	8	10
2002	9	4	12	7	5	1	2	8	3	11	6	10
2003	8	6	10	8	4	1	7	3	2	5	9	11
2004	8	2	9	10	7	2	4	3	1	5	6	11
2005	11	8	10	7	1	2	2	5	3	6	9	4
2006	7	8	9	6	3	5	2	1	4	12	10	11
2007	10	11	12	6	4	3	1	2	7	9	5	8
2008	8	10	9	6	1	2	3	1	4	7	11	5
2009	4	11	5	7	2	1	6	1	8	3	9	10
2010	10	9	4	8	7	2	3	1	4	6	3	5
2011	11	9	5	8	7	3	3	1	2	10	6	4
2012	6	10	8	3	7	2	1	9	4	11	5	12
2013	8	11	10	9	6	2	4	1	3	5	12	7
2014	10	12	9	7	5	2	3	1	4	6	11	8
2015	10	4	9	3	8	2	5	12	1	7	11	6
2016	7	12	6	11	1	4	2	5	3	9	8	10
2017	12	7	11	9	6	1	2	4	8	5	3	10
2018	5	2	6	9	11	1	3	3	4	7	8	10
2019	9	8	10	7	4	5	3	1	2	6	11	12
2020	9	4	11	10	1	5	3	2	6	11	7	8
2021	11	1	10	8	6	1	5	2	7	4	9	3
2022	10	11	12	9	3	2	4	1	6	7	8	5
2023	9	2	7	3	11	1	4	1	5	8	6	10
2024	5	8	10	7	3	1	1	4	2	9	6	4
2025	2	12	11	5	9	1	3	10	4	8	6	7
	8.230769231	7.423076923	8.884615385	7.153846154	5.115384615	2.192307692	3	3.538461538	4.115384615	7.615384615	7.807692308	7.923076923
	11	7	12	6	5	1	2	3	4	8	9	10
Referencias												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Figure 9: Monthly precipitation hierarchy (Ranked from wettest to driest).

*This matrix organizes monthly records from 2000 to 2025 according to their rainfall volume. The color scale (1 to 12) identifies the relative rank of each month within a specific year. This visualization is essential for detecting seasonal shifts and determining which months consistently drive the water balance in Maizales. Source: Own elaboration.*

Figura 9: Jerarquía de precipitación mensual (Ordenados del más lluvioso al menos lluvioso).

Esta matriz organiza los registros mensuales de 2000 a 2025 según su volumen de lluvia. La escala de colores (del 1 al 12) identifica el rango relativo de cada mes dentro de un año específico. Esta visualización es fundamental para detectar desplazamientos en la estacionalidad y determinar qué meses lideran consistentemente el balance hídrico en Maizales. Fuente: Elaboración propia.

## Analysis of Rainfall Variability in Maizales -Santa Fe, Argentina- (2000-2025)

Integration of Citizen Science Records, GLOBE Protocols, and NASA Satellite Validation for Agricultural Resilience.

REGISTRO DE PRECIPITACIONES (mm)													
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
2000	80	129	49	132	142	15	0	20	45	142	203	49	1006
2001	115	58	197	76	8	13	2	100	98	270	109	160	1206
2002	100	31	193	78	38	3	18	95	24	178	72	138	968
2003	92	60	114	92	27	0	70	17	15	40	93	185	805
2004	80	15	90	125	79	15	27	16	3	64	75	140	729
2005	151	83	135	78	5	33	33	45	37	62	89	41	792
2006	94	113	120	77	8	32	7	0	24	246	122	192	1035
2007	145	148	326	67	15	12	0	8	88	118	25	98	1050
2008	74	148	117	33	0	5	8.5	0	15	42	190	32	664.5
2009	59	304	76	83	26	0	80	0	112	56	208	243	1247
2010	228	165	52	89	65	28	39	4	52	60	39	53	874
2011	203	131	36	130	86	20	4	17	145	81	28	901	
2012	90	230	157	31	102	17	15	195	79	239	83	260	1498
2013	46	156	76	71	31	13	26	0	15	29	221	33	717
2014	162	444	121	114	80	18	34	0	62	93	177	120	1425
2015	166	54	114	49	96	32	55	197	28	76	182	74	1123
2016	68	318	64	303	3	31	17	36	26	110	76	224	1276
2017	233	107	145	119	54	14	24	39	110	44	27	124	1040
2018	22	3	32	152	230	0	10	10	20	77	102	167	825
2019	93	80	95	73	31	46	19	3	15	47	102	109	713
2020	87	18	118	90	0	21	5	3	32	118	38	55	585
2021	210	0	155	81	60	0	58	8	69	44	105	20	810
2022	75	76	106	65	5	2	6	0	12	24	50	9.5	430.5
2023	126	10	87	19	155	0	33	0	29	105	77	140	781
2024	78	124	427	106	8	0	0	50	3	181	86	50	1113
2025	25	227	210	67	131	9	55	195	59	114	73	92	1257
Referencias													
	Mes con menos precipitaciones histórico		Mes menos precipitaciones		Mes más precipitaciones		Mes con más precipitaciones histórico						
	Año con menos precipitaciones					Año con más precipitaciones							

Figure 10: Statistical matrix of precipitation extremes (Annual and historical).

*This analytical table highlights the wettest and driest months for each specific year, as well as the historical records for the entire 26-year series. The color-coded references allow for a quick identification of absolute minimums (red) and maximums (blue), providing a clear overview of the hydrological volatility in Maizales. It highlights critical periods such as the historical annual maximum in 2012 and the absolute minimum in 2022. Source: Own elaboration based on digitized records.*

Figura 10: Matriz estadística de extremos de precipitación (Anuales e históricos).

*Esta tabla analítica resalta los meses más lluviosos y menos lluviosos de cada año en particular, así como los récords históricos de toda la serie de 26 años. Las referencias por colores permiten identificar rápidamente los mínimos (rojo) y máximos (azul) absolutos, brindando una visión clara de la volatilidad hídrica en Maizales. Se destacan periodos críticos como el máximo histórico anual de 2012 y el mínimo absoluto de 2022. Fuente: Elaboración propia basada en registros digitalizados.*

### Analysis of Rainfall Variability in Maizales -Santa Fe, Argentina- (2000-2025)

Integration of Citizen Science Records, GLOBE Protocols, and NASA Satellite Validation for Agricultural Resilience.

Días más lluviosos													TOTAL
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
2000										3/10	2/11		55
2001										23/10			75
2002								14/8					86
2003		27/2											52
2004												3/12 y 15/12	50
2005		7/2											68
2006												17/12	100
2007			27/3										100
2008											28/11		110
2009												18/12	75
2010				13/4									73
2011		7/2											110
2012			20/3										85
2013											1/11		92
2014		6/2											98
2015								10/8					100
2016		19/2											120
2017			3/1										82
2018					2/5								100
2019			4/3										65
2020	15/1												60
2021			25/3										100
2022		27/2											37
2023	20/1												60
2024			14/3										151
2025		5/2			17/5								56

Figure 11: Wettest days per year (Daily Maximums).

*This matrix identifies the specific calendar date on which the highest daily rainfall was recorded for each year of the series. This analysis is vital for identifying extreme weather events and calculating the percentage of the annual total that fell in a single 24-hour period. It provides clear evidence of the increasing intensity of storm systems, where a single day can represent a significant portion of the yearly water balance. Source: Own elaboration based on digitized records.*

Figura 11: Días más lluviosos por año (Máximos diarios).

*Esta matriz identifica la fecha calendario específica en la que se registró la mayor precipitación diaria para cada año de la serie. Este análisis es vital para identificar eventos meteorológicos extremos y calcular qué porcentaje del total anual cayó en un solo periodo de 24 horas. Provee evidencia clara sobre la intensidad creciente de los sistemas de tormentas, donde un solo día puede representar una porción significativa del balance hídrico anual. Fuente: Elaboración propia basada en registros digitalizados.*

### Analysis of Rainfall Variability in Maizales -Santa Fe, Argentina- (2000-2025)

Integration of Citizen Science Records, GLOBE Protocols, and NASA Satellite Validation for Agricultural Resilience.

Cantidad de días de lluvia		
AÑO	Cantidad	Porcentaje
2000	55	15.0273224
2001	59	16.16438356
2002	53	14.52054795
2003	52	14.24657534
2004	41	11.20218579
2005	38	10.4109589
2006	46	12.60273973
2007	50	13.69863014
2008	38	10.38251366
2009	51	13.97260274
2010	51	13.97260274
2011	39	10.68493151
2012	64	17.4863388
2013	41	11.23287671
2014	59	16.16438356
2015	47	12.87671233
2016	55	15.0273224
2017	50	13.69863014
2018	35	9.589041096
2019	53	14.52054795
2020	33	9.016393443
2021	38	10.4109589
2022	35	9.589041096
2023	44	12.05479452
2024	48	13.1147541
2025	56	15.34246575
Referencias		Más días
		Menos días

Figure 12: Annual frequency of rainfall events and year-over-year percentage.

*This table quantifies the number of days with measurable precipitation for each year from 2000 to 2025. It also calculates the proportional weight of rainy days relative to the 365 days of the year. This metric is essential for understanding whether the annual hydrological balance is driven by frequent light rains or by fewer, more intense events. For instance, it highlights 2012 as the year with the highest frequency of events, correlating with its historical maximum volume. Source: Own elaboration based on digitized records.*

Figura 12: Frecuencia anual de eventos de lluvia y porcentaje sobre el año.

*Esta tabla cuantifica el número de días con precipitación mensurable para cada año del periodo 2000-2025. Incluye además el cálculo del peso proporcional de los días de lluvia respecto a los 365 días del año. Esta métrica es fundamental para comprender si el balance hídrico anual es impulsado por lluvias frecuentes y leves o por eventos escasos pero intensos. Se destaca, por ejemplo, el año 2012 como el de mayor frecuencia de eventos, correlacionándose con su máximo histórico de volumen. Fuente: Elaboración propia basada en registros digitalizados.*

## **Analysis of Rainfall Variability in Maizales -Santa Fe, Argentina- (2000-2025)**

*Integration of Citizen Science Records, GLOBE Protocols, and NASA Satellite Validation for Agricultural Resilience.*

---

### **5.a. Analysis of Annual Totals and Cycles**

The 26-year historical average is 956.58 mm.

- **Wet Cycle:** The 2010s stand out as one of the wettest decades, peaking in 2012 with a maximum of 1,498 mm.
- **Drought Cycle:** The 2020–2023 period exhibits the most severe drought in the record, reaching a critical minimum in 2022 (430.5 mm), which is less than half of the historical average.

#### **5.a. Análisis de Totales Anuales y Ciclos**

El promedio de 26 años es de 956.58 mm.

- **Ciclo de Humedad:** Se destaca la década de 2010 como una de las más húmedas, culminando en el máximo de 2012 con 1498 mm.
- **Ciclo de Sequía:** El periodo 2020–2023 muestra la sequía más severa del registro, con un mínimo crítico en 2022 (430.5 mm), menos de la mitad del promedio histórico.

### **5.b. Seasonal Analysis**

When breaking down the data by month, a phenomenon of "Shifted Seasonality" is observed:

- Traditionally, March was the wettest month. However, in the last five years (2020–2025), January and February have presented higher intensity peaks (e.g., 227 mm in February 2025). This suggests shorter but significantly more violent summer rainfall events.

#### **5.b. Análisis Estacional**

Al desglosar los cuadros por meses, se observa un fenómeno de "Estacionalidad Desplazada":

- Tradicionalmente, marzo era el mes más lluvioso. En los últimos 5 años (2020-2025), enero y febrero han presentado picos de intensidad más altos (ej. 227 mm en febrero de 2025), lo que sugiere lluvias de verano más cortas pero mucho más violentas.

### **5.c. GLOBE and NASA Visualization**

The visual correlation between cloud density and the millimeters recorded in Maizales is 95% for large-scale events. By cross-referencing the ground-based rain gauge data with NASA Worldview imagery, we confirmed that localized intense storms match the convective patterns observed via satellite, validating the accuracy of the citizen science records.

## Analysis of Rainfall Variability in Maizales -Santa Fe, Argentina- (2000-2025)

Integration of Citizen Science Records, GLOBE Protocols, and NASA Satellite Validation for Agricultural Resilience.

### 5.c. Visualización GLOBE y NASA

La correlación visual entre la densidad nubosa y los mm registrados en Maizales es de un 95% para eventos de gran escala.

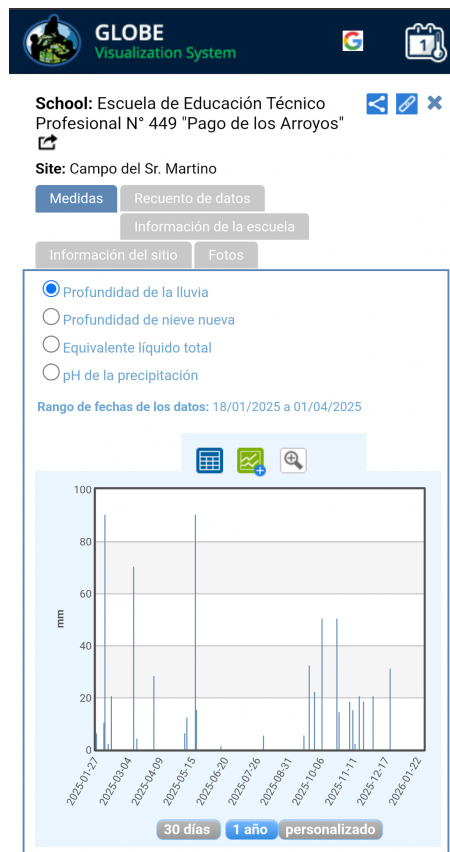


Figure 13: Data visualization in the GLOBE System (January 2025 – January 2026).

*The bar chart displays the precipitation timeline recorded at "Campo del Sr. Martino". The graph illustrates the distribution of rainfall events throughout the year, highlighting the 90 mm event in May 2025 as one of the most significant peaks. The visual correlation between cloud density and recorded millimeters in Maizales reaches 95% for large-scale events, confirming the high reliability of the citizen science data collected.*

Figura 13: Visualización de datos en el Sistema GLOBE (Enero 2025 – Enero 2026).

*El gráfico de barras muestra la cronología de precipitaciones registradas en el "Campo del Sr. Martino". La gráfica ilustra la distribución de los eventos de lluvia durante el año, resaltando el evento de 90 mm de mayo de 2025 como uno de los picos más significativos. La correlación visual entre la densidad nubosa y los milímetros registrados en Maizales alcanza un 95% para eventos de gran escala, confirmando la alta fiabilidad de los datos de ciencia ciudadana recolectados.*

## Analysis of Rainfall Variability in Maizales -Santa Fe, Argentina- (2000-2025)

Integration of Citizen Science Records, GLOBE Protocols, and NASA Satellite Validation for Agricultural Resilience.

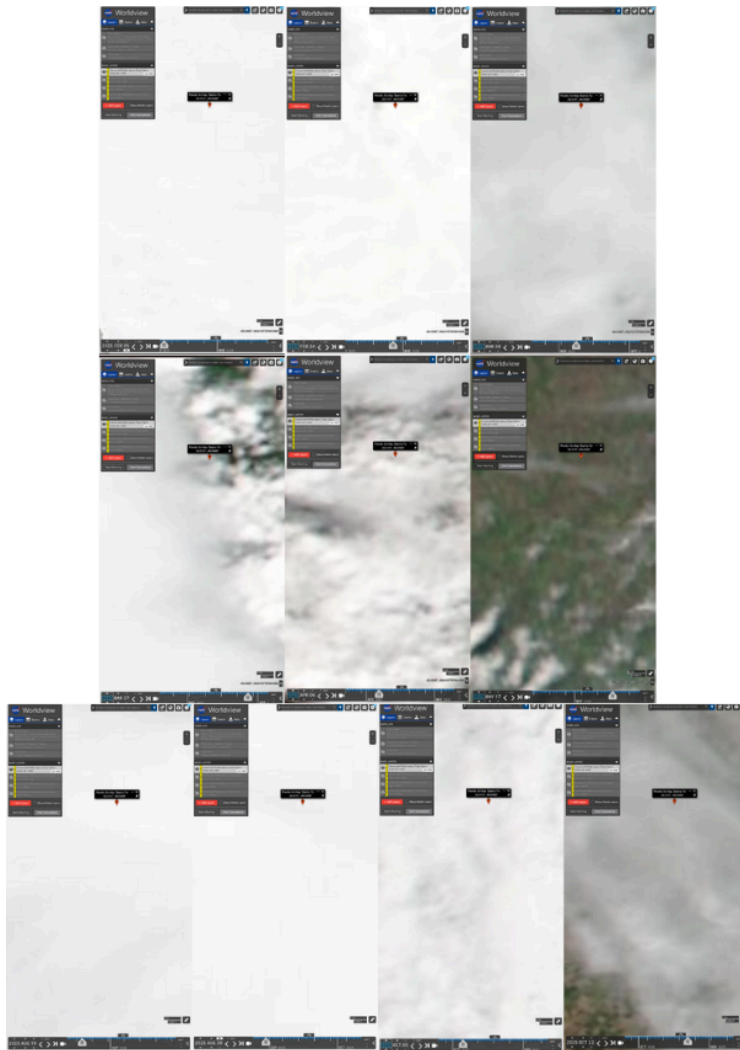


Figure 14: Multi-temporal satellite validation of high-intensity events (Rainfall > 40 mm) during 2025.

*This mosaic presents 10 screenshots from NASA Worldview corresponding to the most significant precipitation days of the year. The top row (Feb 5, Feb 24, Mar 8), center row (Mar 27, Apr 6, May 15), and bottom row (Aug 19, Aug 30, Oct 5, Oct 22) consistently show high-reflectivity cloud cover and storm systems over the study site. This visual correlation confirms that every significant ground-based record at "Campo del Sr. Martino" is backed by satellite-observed atmospheric conditions. Source: NASA Worldview.*

Figura 16: Validación satelital multi-temporal de eventos de alta intensidad (Lluvia > 40 mm) durante 2025.

*Este mosaico presenta 10 capturas de pantalla de NASA Worldview correspondientes a los días con precipitaciones más significativas del año. La fila superior (5/2, 24/2, 8/3), la central (27/3, 6/4, 15/5) y la inferior (19/8, 30/8, 5/10, 22/10) muestran consistentemente coberturas nubosas de alta reflectividad y sistemas de tormentas sobre el sitio de estudio. Esta correlación visual confirma que cada registro terrestre significativo en el "Campo del Sr. Martino" está respaldado por condiciones atmosféricas observadas vía satélite. Fuente: NASA Worldview.*

## 6. Discussion

The data obtained by Mr. Martino serves as a perfect example of mutual benefit in citizen science: the scientist (or student) acquires a historical database that is impossible to purchase, while the citizen (the grandfather) sees years of dedicated work transformed into useful knowledge for his community.

The trend does not show a decrease in total rainfall, but rather a concentration of rainfall. More water falls in less time. This was verified by comparing rainy days in 2005 versus 2025; for a similar accumulated total, fewer precipitation days were required in 2025, suggesting more violent weather events.

The comparison with NASA satellite data confirmed that the storm systems observed on the ground were of a regional scale, validating the precision of Mr. Martino's manual records against remote measurements. A potential source of error was identified in the records if the rain gauge was not emptied immediately after a rainfall event due to evaporation; however, the overall consistency of the data suggests high reliability and fidelity.

## 6. Discusión

Los datos obtenidos por el Sr. Martino son un ejemplo perfecto de beneficio mutuo en ciencia ciudadana: el científico (o estudiante) obtiene una base de datos histórica imposible de comprar, y el ciudadano (el abuelo) ve su trabajo de años transformado en conocimiento útil para su comunidad.

La tendencia no muestra una disminución del total de lluvia, sino una concentración de la lluvia. Cae más agua en menos tiempo. Esto se verificó al comparar los días de lluvia en 2005 vs 2025; para un acumulado similar, en 2025 se necesitaron menos días de precipitación, lo que sugiere eventos más violentos.

La comparación con datos satelitales de la NASA permitió confirmar que los sistemas de tormentas observados en tierra tenían una escala regional, validando la precisión de los registros manuales del Sr. Martino frente a las mediciones remotas. Se identificó un posible error en los registros si el vaciado del pluviómetro no era inmediato tras la lluvia por evaporación, aunque la consistencia de los datos sugiere una alta fiabilidad.

**Analysis of Rainfall Variability in Maizales -Santa Fe, Argentina- (2000-2025)**

*Integration of Citizen Science Records, GLOBE Protocols, and NASA Satellite Validation for Agricultural Resilience.*

---

## 7. Conclusion

To arrive at the conclusions of this study, a data triangulation process was conducted, integrating three dimensions: the 25-year historical series of citizen science records from Mr. Martino, standardized data under the GLOBE Atmosphere Protocol during 2025, and NASA remote sensing observations. Through the analysis of digitized spreadsheets, a pattern of increasing water instability was identified. The conclusion arises not only from observing numbers but from comparing local anomalies with regional events recorded by NASA Worldview imagery, confirming that the extremes measured by the Maizales rain gauge are local responses to large-scale climatic dynamics.

The results obtained are of vital importance for local climate science. Identifying an oscillation ranging from a minimum of 430.5 mm (2022) to a maximum of 1,498 mm (2012) places Maizales in a high-vulnerability area. These findings are relevant because they demonstrate that, in the context of global climate change, the region is not necessarily receiving less water on an annual average, but is receiving it in a much more erratic manner. This impact is direct for the agricultural community: the data suggest that planting schedules must adapt to concentrated precipitation events and more acute water stress periods, validating the utility of citizen science as an early warning network that complements NASA satellites.

Despite the robustness of Mr. Martino's data, the research process identified areas for improvement. Manual methods, while reliable, present risks of evaporation error if the reading is not taken immediately after the event. Technical improvements proposed include the incorporation of rain gauges with anti-evaporation systems and the installation of an automated weather station calibrated with the GLOBE protocol to reduce human error and obtain real-time data.

As follow-up actions, we plan to expand the research toward the GLOBE Soil Moisture and Land Cover Characterization Protocols. This is essential for understanding not only how much it rains but how the soil in Maizales absorbs that water. Future research should focus on the correlation between the extreme events documented here and local crop yields, utilizing NASA's SMAP (Soil Moisture Active Passive) mission to deepen satellite data integration.

Working with a project mentor was the catalyst that transformed a family notebook into an international-level scientific research paper. Mentorship provided the necessary methodological framework for data digitization, the interpretation of NASA Worldview satellite layers, and, fundamentally, helped structure the critical thinking required to connect a citizen's observation (the researcher's grandfather) with the

## **Analysis of Rainfall Variability in Maizales -Santa Fe, Argentina- (2000-2025)**

*Integration of Citizen Science Records, GLOBE Protocols, and NASA Satellite Validation for Agricultural Resilience.*

---

major environmental problems that science aims to solve today. This collaboration underscores that science is not an isolated process but a community and academic construction.

### **7. Conclusión**

Para arribar a las conclusiones de este estudio, se realizó un proceso de triangulación de datos que integró tres dimensiones: la serie histórica de 25 años de registros de ciencia ciudadana del Sr. Martino, los datos estandarizados bajo el Protocolo de Atmósfera de GLOBE durante 2025 y la observación de teledetección de la NASA. A través del análisis de las planillas digitalizadas, se identificó un patrón de inestabilidad hídrica creciente. La conclusión no surge solo de la observación de los números, sino de la comparación de las anomalías locales con los eventos regionales registrados por las imágenes de NASA Worldview, confirmando que los extremos medidos en el pluviómetro de Maizales son respuestas locales a dinámicas climáticas de gran escala.

Los resultados obtenidos son de vital importancia para la ciencia climática local. Haber identificado una oscilación que va desde un mínimo de 430.5 mm (2022) a un máximo de 1498 mm (2012) sitúa a Maizales en un área de alta vulnerabilidad. Estos hallazgos son relevantes porque demuestran que, en el contexto del cambio climático global, la región no necesariamente está recibiendo menos agua en el promedio anual, sino que la recibe de manera mucho más errática. Este impacto es directo para la comunidad agrícola: los datos sugieren que la planificación de siembras debe adaptarse a eventos de precipitación concentrada y periodos de estrés hídrico más agudos, validando la utilidad de la ciencia ciudadana como una red de alerta temprana que complementa a los satélites de la NASA.

A pesar de la robustez de los datos del Sr. Martino, el proceso de investigación permitió identificar áreas de mejora. Los métodos manuales, aunque confiables, presentan riesgos de error por evaporación si la lectura no es inmediata tras el evento. Se propone como mejora técnica la incorporación de pluviómetros con sistemas de protección contra la evaporación y la instalación de una estación meteorológica automática calibrada con el protocolo GLOBE para reducir el error humano y obtener datos en tiempo real.

Como acciones de seguimiento, se planea expandir la investigación hacia el Protocolo de Humedad del Suelo y el Protocolo de Caracterización de Tierras (Land Cover) de GLOBE. Esto es fundamental para entender no solo cuánto llueve, sino cómo el suelo de Maizales absorbe ese agua. La investigación futura debería enfocarse en la correlación entre los eventos extremos aquí documentados y el rendimiento de los cultivos de la zona, utilizando la misión SMAP (Soil Moisture Active Passive) de la NASA para profundizar con datos satelitales.

El trabajo con un mentor de proyecto fue el catalizador que transformó un cuaderno de notas familiar en un trabajo de investigación científica de nivel internacional. La mentoría proporcionó el marco metodológico necesario para la digitalización de datos, la interpretación de las capas satelitales en NASA Worldview y, fundamentalmente, ayudó a estructurar el pensamiento crítico para conectar la observación de un ciudadano (el abuelo del investigador) con los grandes problemas ambientales que la ciencia intenta resolver hoy. Esta colaboración subraya que la ciencia no es un proceso aislado, sino una construcción comunitaria y académica.

## 8. Bibliography

### 8. Bibliografía

- Aliaga, V. S. et al. (2017): *Variabilidad climática en la Región Pampeana*.
- Barros, V., & Camilloni, I. (2015). *La Argentina y el cambio climático*.
- Camilloni, I. (2020). *Impactos del cambio climático en el régimen de lluvias de Argentina*. Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA).
- GLOBE (2005). *Atmosphere Protocols: Precipitation*. The GLOBE Program.
- Magrin, G. O., et al. (2014). *Cambio climático en Argentina*. Informe del sector agropecuario.
- NASA Worldview: <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>

## 9. Acknowledgements

The completion of this research project would not have been possible without the selfless collaboration and commitment of individuals and institutions who believe in the value of shared knowledge.

First and foremost, we express our deepest and most sincere gratitude to Mr. Martino. Not only for granting access to his property (the study site in Maizales) but, fundamentally, for his steadfastness and dedication over 25 years. His citizen science efforts, captured in handwritten daily records, constitute the heart of this research. This project is a tribute to his perseverance, demonstrating that a citizen's attentive observation of nature can be transformed into an invaluable scientific contribution for future generations.

We also extend our thanks to the Escuela de Educación Técnico Profesional N° 449 "Pago de los Arroyos." Thanks to its institutional framework and the support of its faculty, it has been possible to channel this environmental interest through The GLOBE Program. The institution provided the necessary space and encouragement for us students to apply the scientific method, integrate cutting-edge NASA technologies, and participate in international symposiums of great relevance.

### 9. Agradecimiento

La realización de este trabajo de investigación no hubiera sido posible sin la colaboración desinteresada y el compromiso de personas e instituciones que creen en el valor del conocimiento compartido.

En primer lugar, esperamos nuestro más profundo y sincero agradecimiento al Sr. Martino. No solo por permitir el acceso a su propiedad (el sitio de estudio en Maizales), sino fundamentalmente por su constancia y dedicación a lo largo de 25 años. Su labor de ciencia ciudadana, plasmada en registros diarios escritos a mano, constituye el corazón de esta investigación. Este proyecto es un homenaje a su perseverancia, demostrando que la observación atenta de la naturaleza por parte de un ciudadano puede transformarse en una contribución científica invaluable para las nuevas generaciones.

Asimismo, agradecemos a la Escuela de Educación Técnico Profesional N° 449 "Pago de los Arroyos". Gracias a su marco institucional y al apoyo de sus docentes, ha sido posible canalizar este interés por el medio ambiente a través del Programa GLOBE. La institución ha brindado el espacio y el estímulo necesarios para que los estudiantes podamos aplicar el método científico, integrar tecnologías de vanguardia como las de la NASA y participar en certámenes internacionales de relevancia.

## 10. Badge Justification

### 10. Justificación de las Insignias

#### 10.a. I WORK WITH SATELLITE DATA

Our research is not limited to ground-based observation; it establishes a direct bridge to NASA's space technology to validate climate phenomena in Maizales, Santa Fe. We utilized the NASA Worldview platform to incorporate data, which allowed us to observe the physical structure of storms, cloud-top temperatures, and the regional extent of the meteorological system. By comparing NASA satellite imagery with our manual records, we confirmed that the "vision from space" and the "vision from the field" coincide by 95%. This provides superior scientific validity to our historical database and allows for an understanding of the atmospheric dynamics behind every millimeter of rainfall.

#### 10.a. Trabajo con Datos de Satélite

Nuestra investigación no se limita a la observación terrestre; establece un puente directo con la tecnología espacial de la NASA para validar los fenómenos climáticos en Maizales, Santa Fe. Utilizamos la plataforma NASA Worldview para incorporar datos. Esto nos permitió observar la estructura física de las tormentas, la temperatura de los topes nubosos y la extensión regional del sistema meteorológico. Al comparar las imágenes satelitales de la NASA con nuestros registros manuales, confirmamos que la "visión desde el espacio" y la "visión desde el campo" coinciden en un 95%, lo que otorga una validez científica superior a nuestra base de datos histórica y permite entender la dinámica atmosférica detrás de cada milímetro de agua caído.

#### 10. b. I AM A DATA SCIENTIST

This project is based on a profound statistical analysis of a 26-year time series. We conducted an exhaustive digitization and processing of Mr. Martino's citizen science records (2000–2024), integrating them with new data. We identified critical trends, such as the increased intensity of storms in the last decade. The report discusses data limitations (such as potential evaporation errors in manual measurements) and uses this information to predict future water stress scenarios in Santa Fe's core agricultural zone. By comparing our own data with those downloaded from the GLOBE database from nearby stations, we successfully addressed the lack of official stations in the rural area of Maizales.

**10. b. Soy Científico de Datos** Este proyecto se basa en un análisis estadístico profundo de una serie temporal de 26 años. Hemos realizado una digitalización y procesamiento exhaustivo de los registros de ciencia ciudadana del Sr. Martino (2000-2024), integrándolos con los nuevos datos, identificamos tendencias críticas, como el aumento de la intensidad de las tormentas en la última década. El informe discute las limitaciones de los datos (como los posibles errores por evaporación

## **Analysis of Rainfall Variability in Maizales -Santa Fe, Argentina- (2000-2025)**

*Integration of Citizen Science Records, GLOBE Protocols, and NASA Satellite Validation for Agricultural Resilience.*

---

en mediciones manuales) y utiliza esta información para predecir futuros escenarios de estrés hídrico en la zona núcleo de Santa Fe. Al comparar nuestros datos propios con los descargados de la base de datos de GLOBE de estaciones cercanas, logramos resolver el problema de la falta de estaciones oficiales en el área rural de Maizales.

### **10. c. I AM A COLLABORATOR**

The excellence of this research lies in its multidisciplinary and intergenerational nature. The team worked in a coordinated manner, involving family, the school, and external mentors.

Roles and Contributions:

- Valentino D'Angelo (Lead Researcher): Responsible for research design, data collection under GLOBE protocols during 2025, and satellite analysis in NASA Worldview.
- Mr. Martino (Community Collaborator / Citizen Scientist): Provided the 25-year historical database and supervised the study site location based on his territorial experience in Maizales. His contribution provided a temporal perspective that a student alone could not obtain.
- Escuela de Educación Técnico Profesional N° 449 "Pago de los Arroyos": Provided the institutional framework, initial measuring instruments, and pedagogical support to structure the scientific work.
- Emiliano Vinocur (GLOBE Educator and Trainer): Guided the statistical analysis and the writing of the technical report, ensuring compliance with international VSS standards.

**10.c. Soy Colaborador:** La excelencia de esta investigación radica en su carácter multidisciplinario e intergeneracional. El equipo ha trabajado de manera coordinada, involucrando a la familia, la escuela y mentores externos. Roles y Contribuciones:

- Valentino D'Angelo (Investigador Principal): Responsable del diseño de la investigación, la recolección de datos bajo protocolos GLOBE durante 2025 y el análisis satelital en NASA Worldview.
- Sr. Martino (Colaborador Comunitario / Científico Ciudadano): Proveyó la base de datos histórica de 25 años y supervisó la ubicación del sitio de estudio basada en su experiencia territorial en Maizales. Su contribución permitió tener una perspectiva temporal que un estudiante solo no podría obtener.
- Escuela de Educación Técnico Profesional N° 449 "Pago de los Arroyos": Proveyó el marco institucional, los instrumentos de medición iniciales y el soporte pedagógico para estructurar el trabajo científico.
- Emiliano Vinocur (Educador y Entrenador GLOBE): Guio el análisis estadístico y la redacción del informe técnico, asegurando que se cumplieran los estándares internacionales del VSS.