



# SISTEMA LABRADOR

**Versión 5.6.4**

Sistema de Monitoreo de Sequías y Balance Hídrico  
para el Sector Agropecuario del Uruguay

## DOCUMENTO TÉCNICO

*Fundamentos Físicos, Meteorológicos y Matemáticos*

**Autor: Gabriel Labrador Hernández**

Producido por PortalMeteo®

Montevideo, Uruguay • Falda del Carmen, Córdoba, Argentina

Enero 2026

## CONTENIDO

1. ¿Qué es el Sistema Labrador?
2. ¿Por qué es necesario un sistema de monitoreo de sequías?
3. Fundamentos Físicos: El Ciclo del Agua
4. Fundamentos Meteorológicos: Tipos de Sequía
5. Fundamentos Matemáticos: El Algoritmo Labrador
6. Fuentes de Datos Satelitales
7. ¿Cómo funciona la PWA?
8. Guía de Interpretación de los Mapas
9. Recomendaciones por Nivel de Alerta
10. Glosario de Términos
11. Bibliografía y Referencias

## 1. ¿Qué es el Sistema Labrador?

El Sistema Labrador es una **plataforma tecnológica de acceso gratuito** diseñada para monitorear las condiciones de sequía y balance hídrico en todo el territorio uruguayo. Funciona como una Aplicación Web Progresiva (PWA) accesible desde cualquier dispositivo con conexión a internet.

La sequía es un fenómeno natural complejo que se caracteriza por una deficiencia prolongada de precipitación respecto a los valores normales, afectando negativamente los recursos hídricos, la producción agropecuaria y el bienestar de las comunidades (Wilhite & Glantz, 1985). A diferencia de otros desastres naturales, la sequía presenta un inicio gradual, una duración prolongada e impactos que se acumulan progresivamente.

### Características Principales

- Monitoreo en tiempo real de 467 subcuencas hidrográficas
- Datos satelitales NASA GPM IMERG actualizados diariamente
- Índice ISIT (Índice de Sequía Integrado Territorial) único para Uruguay
- Recomendaciones específicas para ganadería y agricultura
- Pronóstico de lluvias a 10 días
- Funciona sin conexión (modo offline) ideal para zonas rurales

## 2. ¿Por qué es necesario?

### El Impacto Económico de las Sequías en Uruguay

Uruguay es un país cuya economía depende significativamente del sector agropecuario. La sequía 2022-2023 fue catalogada por INUMET como un evento con una recurrencia de 1 en 76 a 100 años, sin registros históricos comparables (Cortelezzi, 2023).

Sector	Pérdidas Sequía 2022-2023
Agricultura de secano	USD 1.097 millones (58.3%)
Ganadería de carne	USD 440 millones (23.4%)
Praderas perdidas	USD 145 millones (7.7%)
Lechería	USD 100 millones (5.3%)
TOTAL	USD 1.883 millones

Fuente: Oficina de Programación y Política Agropecuaria (OPYPA), Anuario 2023.

### La Necesidad de Alerta Temprana

El monitoreo y los sistemas de alerta temprana constituyen el pilar fundamental de la gestión proactiva de sequías según la FAO (2023). El objetivo es rastrear, evaluar y entregar información relevante sobre condiciones climáticas para activar acciones de preparación oportunas.

## 3. Fundamentos Físicos: El Ciclo del Agua

### El Balance Hídrico

El balance hídrico del suelo constituye una herramienta fundamental para cuantificar los componentes del ciclo del agua, estableciendo relaciones entre precipitación, evapotranspiración, escurrimiento y almacenamiento en el perfil del suelo (Thornthwaite & Mather, 1957).

$$\text{Balance Hídrico} = \text{Precipitación} - \text{Evapotranspiración}$$

- **Balance positivo:** Entra más agua de la que sale → hay excedente hídrico
- **Balance negativo:** Sale más agua de la que entra → hay déficit hídrico

### Evapotranspiración: El Factor Clave

El Sistema Labrador utiliza la ecuación FAO Penman-Monteith, el estándar internacional recomendado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (Allen et al., 1998).

*"La ecuación FAO Penman-Monteith representa la física real que gobierna el proceso de evaporación y se recomienda como el único método estándar para la definición y cálculo de la evapotranspiración de referencia." — Allen et al., 1998, p. 24*

### ¿Por qué el verano uruguayo es diferente?

En verano (diciembre-febrero), la evapotranspiración en Uruguay alcanza valores de 4-5 mm por día. Como la precipitación promedio es de ~100 mm mensuales, **es normal tener un balance hídrico negativo de -20 a -50 mm**. El Sistema Labrador tiene ajustes estacionales que reconocen esta realidad.

## 4. Fundamentos Meteorológicos: Tipos de Sequía

*"La sequía es una característica normal del clima y puede ocurrir en cualquier régimen climático, tanto en zonas de alta como de baja precipitación." — Mishra & Singh, 2010*

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) clasifica las sequías en cuatro tipos principales (IPCC, 2021).

### Sequía Meteorológica (ISM)

Se refiere a la **falta de lluvia respecto a lo normal**. El ISM compara la precipitación observada con promedios históricos a 7, 30 y 90 días.

### Sequía Hidrológica (ISH)

Afecta los **recursos hídricos disponibles**: humedad del suelo, caudales de ríos y niveles de embalses.

### Sequía Agronómica (ISA)

Es el **impacto directo sobre cultivos y pasturas**. Evalúa el balance entre precipitación y demanda evaporativa.

### Monitoreo de Vegetación por Satélite

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) es uno de los indicadores más utilizados para monitoreo de salud vegetal (Rouse et al., 1974). Kogan desarrolló el Índice de Condición de Vegetación (VCI) como normalización del NDVI respecto a valores históricos (Kogan, 1995).

## 5. Fundamentos Matemáticos: El Algoritmo Labrador

El corazón del Sistema Labrador es un **algoritmo original** desarrollado específicamente para las condiciones climáticas, edáficas y productivas del territorio uruguayo.

### La Fórmula del ISIT

$$\text{ISIT} = (\text{ISM} \times 0.35) + (\text{ISH} \times 0.30) + (\text{ISA} \times 0.35) + \beta \times f(\text{BH})$$

Donde:

- **ISM (35%)**: Índice de Sequía Meteorológica - evalúa la precipitación
- **ISH (30%)**: Índice de Sequía Hidrológica - evalúa el agua disponible
- **ISA (35%)**: Índice de Sequía Agronómica - evalúa el impacto en vegetación
- **$\beta \times f(\text{BH})$** : Factor de corrección por balance hídrico (función sigmoide)

### Ajustes Estacionales

Época	Balance Normal	Humedad Suelo
Verano (Dic-Feb)	-30 mm	15-45%
Otoño/Primavera	-10 mm	20-50%
Invierno (Jun-Ago)	+10 mm	25-55%

### Períodos de Análisis

1. **ISIT Diario**: Últimos 7 días - situación actual
2. **ISIT Semanal**: Días 7-14 - semana anterior
3. **ISIT Mensual**: Días 14-45 - mes anterior

## 6. Fuentes de Datos Satelitales

### NASA GPM IMERG

*Global Precipitation Measurement - Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM* (Huffman et al., 2020). Es el sistema de medición de precipitación más avanzado de la NASA, con correlación de 0.85-0.95 respecto a estaciones terrestres.

- **Resolución espacial:**  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$  (~10 km)
- **Resolución temporal:** 30 minutos
- **Cobertura:** Global (60°N - 60°S)

### Fuentes Nacionales

- **INIA-GRAS:** Red de 9 estaciones meteorológicas online, PAD, IBH (<https://www.inia.uy/gras/Clima/Estaciones-on-line>)
- **INUMET:** Datos meteorológicos oficiales, alertas, pronósticos
- **IDE Uruguay:** Geometrías oficiales de 467 subcuencas nivel 4
- **UTE:** Niveles de embalses hidroeléctricos

## 7. ¿Cómo funciona la PWA?

Una PWA (Progressive Web App) es una aplicación web que se comporta como una aplicación nativa en tu dispositivo.

### Acceso Universal

Simplemente visita **sequia.uy** desde cualquier dispositivo. No requiere descarga de tiendas de aplicaciones.

### Instalación Opcional







- **Android:** Menú → "Agregar a pantalla de inicio"
- **iPhone/iPad:** Compartir → "Agregar a pantalla de inicio"

### Funcionamiento Offline

La aplicación guarda datos localmente, permitiendo consultar información sin conexión a internet, ideal para zonas rurales.

## 8. Guía de Interpretación de los Mapas

### Escala de Colores del ISIT

Color	Categoría	ISIT	Significado
	Excelente	$\geq 80$	Sin estrés hídrico
	Bueno	60 - 79	Condiciones favorables
	Normal	40 - 59	Monitoreo recomendado
	Alerta	30 - 39	Acción preventiva necesaria
	Sequía	15 - 29	Medidas urgentes requeridas
	Severa	$< 15$	Emergencia agropecuaria

## 9. Recomendaciones por Nivel de Alerta

### Para Ganadería

**ISIT  $\geq$  60 (Bueno/Excelente):** Condiciones favorables. Mantener carga habitual. Buen momento para reservas.

**ISIT 40-59 (Normal):** Monitorear evolución. Planificar ajustes de carga. Evaluar aguadas.

**ISIT 30-39 (Alerta):** Reducir carga 15-20%. Considerar destete precoz. Activar suplementación.

**ISIT  $<$  30 (Sequía):** Reducir carga 30-40%. Destete precoz obligatorio. Venta de improductivos.

### Para Agricultura

**ISIT  $\geq$  60:** Condiciones ideales para siembra.

**ISIT 40-59:** Siembra con precaución. Considerar riego complementario.

**ISIT 30-39:** Postergar siembras no esenciales. Activar riego si disponible.

**ISIT  $<$  30:** Suspender siembras de secano. Evaluar seguros agrícolas.

## 10. Glosario de Términos

**Balance Hídrico (BH):** Diferencia entre precipitación y evapotranspiración. Se mide en mm.

**ET<sub>o</sub>:** Evapotranspiración de referencia según FAO Penman-Monteith.

**GPM IMERG:** Sistema satelital de NASA para precipitación global.

**ISA:** Índice de Sequía Agronómica (impacto en vegetación).

**ISH:** Índice de Sequía Hidrológica (recursos hídricos).

**ISM:** Índice de Sequía Meteorológica (déficit de precipitación).

**ISIT:** Índice de Sequía Integrado Territorial (0-100).

**NDVI:** Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada.

**PAD:** Porcentaje de Agua Disponible en el suelo.

**PWA:** Progressive Web Application.

**Subcuenca Nivel 4:** Unidad hidrográfica según IDE Uruguay (467 en total).

## 11. Bibliografía y Referencias

- [1] Wilhite, D. A., & Glantz, M. H. (1985). Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. *Water International*, 10(3), 111-120.
- [2] NASA. (2024). GPM IMERG Late Precipitation L3 Half Hourly 0.1 degree x 0.1 degree V07B. GES DISC. [https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/GPM\\_3IMERGHHL\\_07/](https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/GPM_3IMERGHHL_07/)
- [3] Cortelezzi, A. (2023). Impactos del déficit hídrico 2022-2023 en la producción agropecuaria. Anuario OPYPA 2023. Montevideo: MGAP.
- [4] OPYPA. (2023). Anuario OPYPA 2023. Montevideo: Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca.
- [5] FAO. (2023). Monitoring and early warning system. Integrated Drought Management Programme. <https://www.droughtmanagement.info/>
- [6] Thornthwaite, C. W., & Mather, J. R. (1957). Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Publications in Climatology*, 10(3), 181-311.
- [7] Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Roma: FAO.
- [8] Mishra, A. K., & Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391(1-2), 202-216.
- [9] IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press.
- [10] Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA Special Publication*, 351, 309-317.
- [11] Kogan, F. N. (1995). Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar-orbiting satellite data. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 76(5), 655-668.
- [12] Huffman, G. J., et al. (2020). Integrated Multi-satellitE Retrievals for the Global Precipitation Measurement (GPM) Mission (IMERG). *Advances in Global Change Research*, 67, 343-353.
- [13] INIA-GRAS. (2023). Estaciones Meteorológicas Online. <https://www.inia.uy/gras/Clima/Estaciones-on-line>



**Sistema Labrador v5.6.4**  
*Tecnología al Servicio del Campo Uruguayo*

<https://sequia.uy>

Desarrollado por Gabriel Labrador Hernández

[linkedin.com/in/gabriel-labrador-hernandez](https://www.linkedin.com/in/gabriel-labrador-hernandez)

**Producido por PortalMeteo®**

Montevideo, Uruguay • Falda del Carmen, Córdoba, Argentina

Software Registrado N°168 D.N.P.I.

*El Algoritmo Labrador es una creación original del autor.*

© 2026 — Todos los derechos reservados