

Mejoras al Monitor de Sequía del Ecuador (MONSE)

Descripción de las mejoras introducidas en el monitor

Document information

Document permissions	Confidential - client
Project number	FWR7228
Project name	Mejoras al Monitor de Sequía del Ecuador (MONSE)
Report title	Descripción de las mejoras introducidas en el monitor
Report number	RT003
Release number	01-00
Report date	27 October 2025
Client	CTCN
Client representative	Ramiro Salinas
Project manager	Marta Roca
Project director	Nigel Walmsley

Document history

Date	Release	Prepared	Approved	Authorised	Notes
27 Oct 2025	01-00	MBN	MRT	MRT	Draft

This unsigned document has not been formally checked and authorised for release. Until it has been reviewed and signed off by qualified technical staff within HR Wallingford, this document must not be considered complete or final.

© HR Wallingford Ltd

This report has been prepared for HR Wallingford's client and not for any other person. Only our client should rely upon the contents of this report and any methods or results which are contained within it and then only for the purposes for which the report was originally prepared. We accept no liability for any loss or damage suffered by any person who has relied on the contents of this report, other than our client.

This report may contain material or information obtained from other people. We accept no liability for any loss or damage suffered by any person, including our client, as a result of any error or inaccuracy in third party material or information which is included within this report.

To the extent that this report contains information or material which is the output of general research it should not be relied upon by any person, including our client, for a specific purpose. If you are not HR Wallingford's client and you wish to use the information or material in this report for a specific purpose, you should contact us for advice.

Executive summary

El proyecto "Mejoras al Monitor Nacional de Sequía del Ecuador (MONSE)" busca optimizar el sistema actualmente utilizado en Ecuador para el monitoreo y la estimación de la intensidad de la sequía, y desarrollado en el marco del proyecto Euroclima+ (2019-2023). El proyecto está gestionado por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) financiado por el "Climate Technology Centre and Network" (CTCN) de las Naciones Unidas y cuenta con el apoyo del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). El proyecto está liderado técnicamente por HR Wallingford. El proyecto busca contribuir a la mejora de la gestión del riesgo de sequía. Este informe presenta los resultados correspondientes al Entregable 3 del proyecto.

En este entregable se ha realizado una revisión completa tanto de la arquitectura del sistema MONSE como de su interfaz. El monitor actualizado se encuentra en los servidores del INAMHI. Todos los cambios realizados se han hecho siguiendo las indicaciones de las guías facilitadas por INAMHI.

Como parte de actividades del entregable 3 se ha transferido el monitor de los servidores del CIIFEN a los del INAMHI, con lo cual INAMHI pasa a ser el operador del sistema. Se ha creado también un archivo de configuración recogiendo las bases de datos utilizadas por el monitor para facilitar posibles futuras actualizaciones de éstas. Se ha actualizado la información contextual de la API (Application Programming Interface) para facilitar la transferencia de resultados entre instituciones.

El monitor cuenta ahora con un nuevo índice de sequía, el índice de Condición de Temperatura, TCI, que proporciona a los tomadores de decisión mayor información sobre posibles sequías agrícolas. Asimismo se visualizan los resultados del índice SDI, que eran calculados anteriormente pero no eran mostrados por el monitor.

El índice combinado de sequía se calcula a partir de la suma algebraica de cinco índices multiplicados por un peso asignado. Como parte de los trabajos de este entregable se aplicó un análisis de componentes principales (PCA), buscando reducir la dimensionalidad de los datos manteniendo la mayor varianza. Este análisis permite obtener unos nuevos pesos que son los utilizados en el cálculo del índice combinado.

La interfaz del monitor se ha actualizado para proporcionar información más detallada a los tomadores de decisiones sobre los distintos índices de sequía, siendo posible visualizar algunos de ellos con mayor detalle mediante mapas interactivos (en lugar de mapas estáticos). Así mismo, se han modificado las rutinas de cálculo de algunos índices como el SPI y el NDVI, que junto al TCI pueden visualizarse ahora a una escala de aproximadamente 5km. Asimismo, en la interfaz se ha añadido información contextual para facilitar el análisis e interpretación de las distintas componentes del monitor, incluidos los índices. Se ha añadido información sobre aspectos de género relacionados con la sequía así como información de campo recopilada por la red de observadores del clima (Volunclima).

En este entregable se ha desarrollado también un nuevo módulo de escenarios futuros de sequía, que se ha añadido a la interfaz. Este módulo genera proyecciones del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) a partir de pronósticos meteorológicos generados por el Centro Europeo de Predicción Meteorológica a Medio Plazo (ECMWF por sus siglas en inglés). El ECMWF utiliza un conjunto de modelos (ensemble) formado por 51 simulaciones generando una variedad de resultados posibles de futura lluvia. Se visualizan tres distintos escenarios, estimados a partir del análisis de percentiles de los resultados del "ensemble": escenario de futuro más probable (percentil 50), escenario más seco (percentil 10) y el más húmedo (percentil 90).

Son parte también de este entregable, distintas guías y manuales elaborados con distintas finalidades:

Manual de operaciones: describe el funcionamiento y la operación de la Plataforma de Monitoreo de Sequías implementada por el CIIFEN y actualizada por HR Wallingford en este proyecto. El documento proporciona instrucciones sobre la instalación, configuración, procesamiento de datos y generación de reportes para la evaluación de sequías en Ecuador.

Manual de usuario: breve guía para la navegación a nivel de usuario del sistema MONSE.

Guía técnica: recoge la información a nivel técnico de las distintas funcionalidades del monitor proporcionando información más detallada que la mostrada en el propio monitor en la página “Acerca de”. Esta guía va dirigida a aquellos usuarios que deseen un mayor detalle y profundidad de los índices y métodos utilizados en el MONSE.

Este informe es una versión preliminar y será finalizado en las próximas semanas.

Contents

1	Introducción	8
1.1	Acerca del Proyecto.....	8
1.2	Acerca de este documento.....	8
2	Criterios y listado de mejoras y optimización de MONSE.....	9
3	Arquitectura del sistema	11
4	Inclusión de un nuevo índice de sequía	11
4.1	Introducción	11
4.2	Índices utilizados en MONSE.....	11
4.3	Nuevo índice	12
4.3.1	Metodología para la selección del nuevo índice	12
4.3.2	Descripción del nuevo índice.....	13
4.3.3	Fuentes de datos.....	14
4.4	Interpretación de los índices por sectores	14
5	Actualización de la interfaz de MONSE	17
6	Generación de material informativo	18
7	Módulo de escenarios futuros de sequía.....	19
7.1	Introducción	19
7.2	Datos de entrada y procesamiento	20
7.3	Visualización de los resultados	20
8	Revisión de los procesos de cálculo del sistema	21
8.1	Actualización de pesos en el cálculo del índice general de sequía	21
8.1.1	Introducción	21
8.1.2	Descripción de la metodología.....	21
8.1.3	Resultados	23
8.2	Inclusión de datos de campo	23
8.3	Análisis de las fuentes de datos	24
9	Umrales del monitor de sequía	25
10	Referencias	27

Appendices

A Listado de acrónimos

B Análisis de posible índices de sequía

- B.1 Índice de Vegetación Mejorado (EVI)
- B.2 Índice de Estrés evaporativo (ESI)
- B.3 Índice de la Condición de la Vegetación (VCI)
- B.4 Índice de Salud de la Vegetación (VHI)
- B.5 Índice de Respuesta de la Vegetación a la Sequía (VegDRI)
- B.6 Índice de Satisfacción de los Requerimientos Hídricos (WRSI)
- B.7 Índice de Diferencia de Humedad Normalizada (NDMI)
- B.8 Índice de Sequía de Diferencia Normalizada (NDDI)
- B.9 Índice de Evaluación de Sequías Rápidas

C Listado de reuniones

D Resumen del taller presencial

- D.1 Introducción

D.2	Participantes
D.3	Agenda y metodología
D.4	Descripción de las actividades
D.5	Actividad sobre el boletín de sequías
D.6	Actividad sobre MONSE y el Plan Nacional de Sequía
D.7	Conclusiones finales
D.8	Apéndice 1. Listado de participantes
D.9	Apéndice 2. Listado de preguntas de la Actividad sobre el Boletín
D.10	Apéndice 3. Respuestas de los distintos grupos en la actividad sobre los boletines
D.11	Apéndice 4. Preguntas y respuestas obtenidas en la actividad sobre MONSE y el Plan Nacional de Sequía

E Guía del usuario de MONSE

F Manual de operaciones de MONSE

G Guía técnica de MONSE

Tables

Table 1.1: Correspondencia entre la estructura de este documento y los entregables según Td R.....	9
Table 2.1: Listado de mejoras aplicadas.....	10
Table 4.1: Relaciones más frecuentes entre índices y tipos de sequía.....	15
Table 8.1: Fuentes de datos de entrada.....	24
Tabla 9.1: Descripción de las categorías de sequía.....	25
Table 9.2: Umbrales orientativos para el índice SPI.....	25
Table 9.3: Umbrales orientativos para el índice STI.....	26
Table 9.4: Umbrales orientativos para el índice SPEI.....	26
Table 9.5: Umbrales orientativos para el índice SSMI.....	26
Table 9.6: Umbrales orientativos para el índice NDVI.....	26
Table 9.7: Umbrales orientativos del índice TCI.....	27

Figures

Figure 4.1: Tipos principales de sequía. <i>Ilustración de Otero, s.f., disponible en Gaceta UNAM</i>	15
---	----

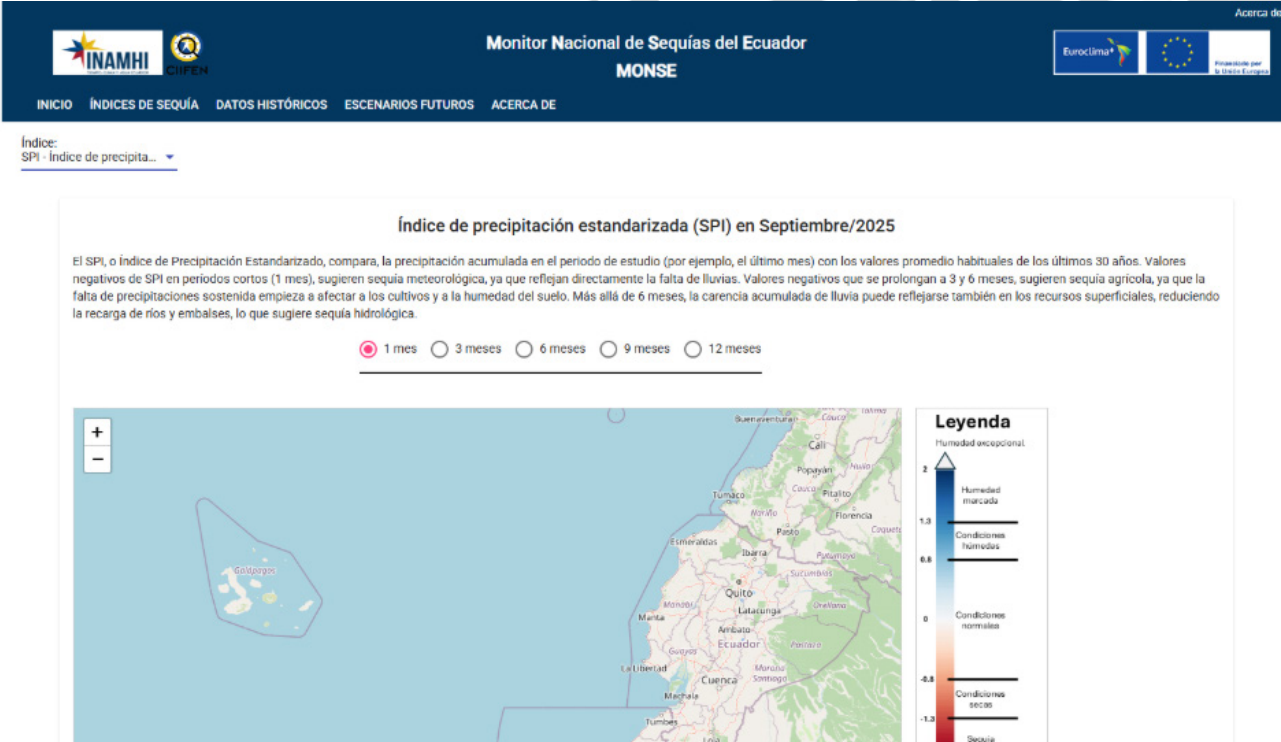


Figure 5.1: Ejemplo de página con la nueva estructura de la interfaz de MONSE.....17

Figure 8.1: Estimación de pesos para los 5 índices originales de MONSE mediante el método de Componentes Principales. Fuente: Garzón, (2025)22

Figure 8.2: Estos resultados están en proceso de finalización.....23

Photographs
No table of figures entries found.

1 Introducción

1.1 Acerca del Proyecto

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) ha solicitado la asistencia técnica de HR Wallingford para la **Implementación de mejoras al Monitor Nacional de Sequía de Ecuador (MONSE) para la integración de un módulo de escenarios de riesgo de sequía.**

El objetivo del proyecto es mejorar el sistema nacional de monitoreo de sequía existente en Ecuador para generar escenarios de riesgo y monitorizar la evolución de los episodios de sequía. La finalidad del proyecto es apoyar la gestión del riesgo del territorio mediante la integración de un modelo de escenarios.

Los objetivos del proyecto son:

- Complementar los esfuerzos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) para contribuir a las "Acciones prioritarias para la reducción del riesgo de sequía en el marco del Plan Nacional de Sequía" (Objetivo III)
- Mejorar el desempeño del Monitor Nacional de Sequías existente a través del análisis de datos históricos, observaciones diarias e información de teledetección para derivar modelos generales y específicos de impacto y adaptación para eventos de sequía en Ecuador
- Contribuir a la mejora de la gestión del riesgo de sequía y proporcionar conocimientos prácticos y técnicos para el tratamiento de datos y para la elaboración de modelos de impacto y adaptación

El Proyecto tiene seis entregables principales:

1. Elaboración de documentos de planificación y comunicación (Documento presentado el 26 de Febrero de 2025)
2. Diagnóstico del Monitor Nacional de Sequía y elaboración de una propuesta de mejoras
3. Establecimiento de criterios para la optimización del MONSE utilizando las directrices y normativas internas del INAMHI e integración del módulo de escenarios de sequía incluyendo umbrales sectoriales
4. Generación de boletines y creación del Grupo de Trabajo sobre la Sequía
5. Revisión del modelo de gestión institucional para hacer frente a los fenómenos relacionados con la sequía
6. Modelo de sostenibilidad empresarial y financiera de MONSE

1.2 Acerca de este documento

Este documento presenta los resultados correspondientes al Entregable 3: Descripción de las mejoras introducidas al Monitor Nacional de Sequía, según se detalla en la Propuesta Técnica HR Wallingford 3100006190 presentada al CTCN en julio de 2024.

La estructura del Entregable se ha modificado respecto a la sugerida originalmente en la propuesta Técnica con el propósito de presentar de una manera más clara y efectiva las distintas mejoras desarrolladas en el monitor. Además, las propuestas discutidas con los diferentes agentes implicados, en especial con INAMHI, han contribuido a redefinir el listado inicial de mejoras presentado en el Entregable 2. Como se puede observar, algunos capítulos describen actividades realizadas que no estaban específicamente definidas como entregables según los Términos de Referencia (TdR) pero sí estaban descritas en ellos.

Table 1.1: Correspondencia entre la estructura de este documento y los entregables según TdR

Capítulo de este informe	Entregables según ToR
Capítulo 0: Criterios y listado de mejoras y optimización de MONSE	D.3.1: Document with principles and criteria for optimization of MONSE D.3.4c: Summary of meetings with working group and list of recommendations
Capítulo 0: Arquitectura del Sistema	-
Capítulo 4: Inclusión de un nuevo índice	D.3.4b: Additional indicators to the ones included in current MONSE D.3.4a: Module with drought probability scenarios including thresholds
Capítulo 5: Actualización de la interfaz de MONSE	-
Capítulo 6: Generación de material informativo	D.3.5d: Final architecture of the MONSE scenario module
Capítulo 7: Módulo de escenarios futuros de sequía	D.3.3: Initial architecture of the MONSE predictive module D.3.4a: Module with drought probability scenarios including thresholds
Capítulo 8: Revisión de los procesos de cálculo	D.3.5a: Extended MONSE resolution D.3.5b: MONSE bias correction report D.3.5c: Weights of current and future indicators to be used by MONSE
Capítulo 9: Umbrales del monitor de sequía	D.3.4a: Module with drought probability scenarios including thresholds
Capítulo 8.1: Referencias	
Anexo B: Indicadores adicionales	D.3.4b: Additional indicators to the ones included in current MONSE
Anexo C: Listado de reuniones y actividades	D.3.4c: Summary of meetings with working group and list of recommendations
Anexo D: Resumen del taller presencial	D.3.2: Report on face-to-face workshop D.3.4c: Summary of meetings with working group and list of recommendations

2 Criterios y listado de mejoras y optimización de MONSE

El listado de mejoras del sistema MONSE presentado en este informe se ha elaborado a partir de distintas fuentes de información que se detallan a continuación:

- encuestas en línea y entrevistas específicas con distintos actores principales detalladas en el Capítulo 2 del Entregable 2
- exploración y diagnóstico del sistema presentados en el capítulo 5 del Entregable 2
- reuniones presenciales con MAATE, INAMHI y CIIFEN en el marco de la visita realizada en Mayo de 2025 (agenda de la visita en el Anexo C)
- resultados del taller presencial realizado el 28 de Mayo descrito en el Anexo 0

Para la elaboración del listado de mejoras se han tenido en cuenta los siguientes criterios:

- Mejoras dirigidas a objetivos: las propuestas deben contribuir claramente a incrementar la confiabilidad y la usabilidad de MONSE
- Nivel de complejidad adecuado: el nivel de complejidad de las propuestas debe tener cuenta tanto la calidad de la información existente, o que pueda estar disponible en un futuro cercano, como las capacidades de los operadores que operarán MONSE en el futuro

- Tecnología apropiada: es necesario utilizar tecnología que pueda ser utilizada en el futuro por los operadores del sistema y que por tanto, sea fácilmente actualizable
- Sostenibilidad: es esencial que cualquier mejora introducida en el sistema tenga en cuenta la sostenibilidad futura. Para ello hay que tener en cuenta las posibles actividades de mantenimiento requeridas, tratando de minimizarlas en cuanto sea posible. Es fundamental también asegurar la continua colaboración con el CIIFEN para que cualquier mejora futura que se introduzca a nivel regional pueda también introducirse en MONSE a nivel nacional
- Incorporación de lecciones aprendidas de trabajos previos: durante el desarrollo de este entregable se ha recabado información sobre sistemas y procesos desarrollados anteriormente en el Ecuador que permiten comprender algunas de las complejidades asociados a este tipo de sistemas. Por otra parte, HR Wallingford, cuenta con una gran experiencia en el desarrollo de sistemas de información que también ha servido para guiar el desarrollo de las propuestas
- Propuestas prácticas y pragmáticas: las propuestas de mejora deben poder realizarse en el tiempo y presupuesto disponibles y con la información disponible, por tanto se concentran en acciones posibles

El listado de mejoras se presenta a continuación y constituye una actualización del presentando en el Entregable 2, en base a la información disponible en el momento del desarrollo de estas mejoras. Cabe destacar que la creación de boletines forma parte del Entregable 4 y por tanto no es discutida ni presentada en este Entregable.

Table 2.1: Listado de mejoras aplicadas

#	Mejora ejecutada	Descripción
1	Transferencia del sistema MONSE a los servidores del INAMHI	El sistema MONSE, alojado en los servidores del CIIFEN es transferido al servidor del INAMHI
2	Generación de un archivo de configuración del sistema	A requerimiento del INAMHI se ha estructurado un archivo de configuración del sistema
3	Revisión de los índices de sequía e inclusión de un nuevo índice	Revisión de la combinación algebraica entre índices, mediante el método de PCA y la interpretación de los resultados así como inclusión de un nuevo índice
4	Mejoras de la interfaz	Completa revisión de la interfaz del usuario, con la inclusión de mapas dinámicos, más ventanas para la visualización de resultados y más información para ayudar a la interpretación de los resultados
5	Generación de material informativo	Generación de un Manual de Operación, un manual de usuario y una guía técnica además de información adicional en el mismo monitor
6	Inclusión de consideraciones de Género	Inclusión de consideraciones de género en la Información proporcionada por MONSE
7	Inclusión del módulo de escenarios futuros de sequía	Módulo basado en los pronósticos de lluvia y temperatura desarrollados por ECMWF SEAS5. Ofrece una visión a futuro del índice SPI, lo que permite definir futuros escenarios de sequía
8	Revisión de la resolución espacial	Para una mejor resolución espacial, se muestran los resultados de cada índice de sequía por separado en una interfaz actualizada mediante mapas dinámicos que permite una lectura detallada en áreas específicas. Asimismo se incrementa la resolución de algunos índices en concreto
9	Inclusión de información recogida en campo sobre la sequía	Se añaden enlaces a la información recogida por la red del voluntarios del clima (Volunclima) sobre percepciones de sequía en campo

3 Arquitectura del sistema

Una de las propuestas principales de este proyecto es la transferencia del sistema MONSE de los servidores del CIIFEN, donde se ha alojado históricamente, a los del INAMHI para que, de esta manera, INAMHI pase a ser el gestor operativo del monitor de sequías. Asimismo, uno de los requerimientos del INAMHI fue la creación de un archivo de configuración para facilitar posibles cambios futuros de las fuentes de datos del monitor.

Las principales actividades relacionadas con la transferencia del sistema son:

- Acceso de HR Wallingford a los servidores del CIIFEN y del INAMHI
- Transferencia del sistema al servidor del INAMHI
- Descarga de datos históricos en el servidor del INAMHI
- Comprobación y validación del funcionamiento de MONSE en el servidor del INAMHI
- Actualización de software para su ejecución en el servidor del INAMHI

Asimismo se ha creado, tal como solicitó INAMHI, un archivo de configuración, que recoge todas las bases de datos utilizadas por el sistema.

4 Inclusión de un nuevo índice de sequía

4.1 Introducción

Los indicadores de sequía permiten monitorear distintos aspectos de la sequía como su severidad o intensidad, localización y duración. La intensidad se estima mediante el cálculo de las desviaciones de las condiciones actuales respecto a la media climática, la localización espacial, mediante su representación geográfica, y la duración, mediante el seguimiento temporal de las anomalías, calculando las tendencias en los últimos 3 o 6 meses, por ejemplo.

Debido a la complejidad del fenómeno de la sequía, es necesario reconocer las incertidumbres asociadas a cualquier indicador, las cuales son debidas principalmente a la calidad de los datos de entrada y, en los casos que así sea, a los modelos empleados para generar estos datos. También se incluyen incertidumbres debidas a la interpolación espacial aplicada a los datos recopilados. Reconocer y gestionar estas incertidumbres permite interpretar los resultados de manera más sólida y confiable.

Los indicadores deben someterse a una validación continua con el fin de asegurar que sus valores reflejan lo más fielmente posible el impacto real de la sequía en el terreno. Es por tanto necesario asegurar los procesos de compartición de información entre los distintos actores que gestionan datos de sequía, así como la mejora continua del monitor de sequía.

En este capítulo, se presentan brevemente los índices de sequía utilizados en MONSE, que ya fueron presentados en el entregable 2 (XXX) así como el nuevo índice introducido. En el Anexo

4.2 Índices utilizados en MONSE

El monitor ecuatoriano se basa en seis índices principales, los cuales se estandarizan para facilitar su integración. Estos índices incluyen:

- **Índice de Precipitación Estandarizado (SPI)**, que mide las condiciones de sequía comparando la precipitación de un período específico con el promedio a largo plazo
- **Índice de Temperatura Estandarizado (STI)**, evalúa las anomalías de temperatura comparando la temperatura de un período específico con el promedio a largo plazo
- **Índice de Humedad del Suelo Estandarizado (SSMI)**, compara la humedad actual con el promedio histórico, e indica si el suelo está más húmedo o más seco de lo habitual

- **Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)**, evalúa la salud de las plantas comparando la luz infrarroja cercana y la luz roja reflejada por la vegetación. Es el único indicador que no utiliza variables meteorológicas. En plantas saludables, la luz infrarroja cercana es reflejada significativamente por las hojas debido a su estructura celular eficiente, mientras que la luz roja es absorbida por la clorofila para la fotosíntesis
- **Índice de Precipitación y Evapotranspiración Estandarizado (SPEI)** se calcula como la diferencia entre la precipitación acumulada y la evapotranspiración potencial
- **Índice de Sequía Hidrológico (SDI, Stremaflow Drough Index)** calculado a partir de los datos hidrológicos estimados por el modelo global GEOGLOWS. Este índice, en la versión original era calculado pero no se mostraba en el monitor

A partir de los 5 primeros índices de la lista anterior, se calcula un índice general de sequía para cada celda de la red que cubre Ecuador a partir de la suma algebraica de los diferentes índices multiplicados por un peso asignado.

Todos los índices en MONSE están diseñados para detectar anomalías temporales ya que comparan los valores actuales de precipitación, temperatura, etc, con los promedios de largas series temporales.

Los distintos índices se estiman a partir de fuentes de datos satelitales que difieren en sus escalas, unidades, distribuciones estadísticas y comportamiento físico frente a condiciones de sequía. En el capítulo 8.3 se describen las nuevas bases de datos incorporadas al monitor.

4.3 Nuevo índice

4.3.1 Metodología para la selección del nuevo índice

Como parte de las actividades del proyecto, se requería la inclusión de un nuevo índice a los ya existentes (presentados en la sección anterior).

El monitor de sequía del Ecuador utiliza un enfoque de monitoreo integrado, incorporando variables meteorológicas como la precipitación y la temperatura en la superficie de la tierra, variables hidrológicas como la humedad del suelo y el caudal de los ríos, así como indicadores de vegetación como la salud de la vegetación y la evapotranspiración. Este enfoque combinado permite una comprensión general de las condiciones de sequía al considerar la interconexión entre los patrones climáticos, la disponibilidad de agua y la salud de la vegetación.

Para la incorporación del nuevo índice, se analizaron diversas posibilidades incluyendo:

- Índice de Vegetación Mejorado (EVI)
- Índice de Estrés evaporativo (ESI)
- Índice de Condición de Temperatura (TCI)
- Índice de la Condición de la Vegetación (VCI)
- Índice de Salud de la Vegetación (VHI)
- Índice de Respuesta de la Vegetación a la Sequía (VegDRI)
- Índice de Satisfacción de los Requerimientos Hídricos (WRSI)
- Índice de Diferencia de Humedad Normalizada (NDMI)
- Índice de Sequía de Diferencia Normalizada (NDDI)
- Índice de Evaluación de Sequías Rápidas

Para lograr una evaluación más integral y representativa de la sequía en sus diversas dimensiones se persigue el uso combinado de indicadores tanto meteorológicos, hidrológicos y agrícolas. Así pues, se optó por incluir el TCI, el Índice de Condición de Temperatura. Este índice expande la información proporcionada por los índices ya existentes, en especial el NDVI, y permite un mayor seguimiento y comprensión de la sequía agrícola, clave para la economía del

Ecuador. Otro de los criterios utilizados para la selección del índice fue el de la disponibilidad y procesamiento requerido de la información.

En el Anexo 0 se incluye una descripción de los índices analizados que pueden ser considerados para su incorporación al monitor en revisiones futuras.

4.3.2 Descripción del nuevo índice

El nuevo índice introducido en MONSE es el Índice de Condición de Temperatura (TCI, o “Temperature Condition Index” en inglés). El TCI fue desarrollado por Kogan en 1995 en la NOAA, utilizando bandas térmicas del sensor AVHRR. Este índice permite evaluar el estrés de la vegetación causado por extremos térmicos, donde las altas temperaturas indican condiciones desfavorables o de sequía, y las bajas temperaturas sugieren condiciones favorables, ajustando las condiciones estimadas según la respuesta de la vegetación a la temperatura. Desde 2013, el sensor VIIRS también ha sido utilizado para generar productos TCI, gracias a su alta resolución espacial y frecuencia de observación.

Considerando la alta sensibilidad de diversos ambientes a las variaciones de temperatura, la inclusión del índice TCI podría fortalecer la funcionalidad actual de MONSE y facilitar la identificación de zonas donde las condiciones climáticas presentan una mayor predisposición a la sequía.

La fórmula consiste en comparar la temperatura actual con los valores históricos máximos y mínimos de una misma ubicación, expresándose como un porcentaje:

$$TCI = \frac{BT_{max} - BT}{BT_{max} - BT_{min}} * 100$$

donde T, T_{max} y T_{min} son la “temperatura de brillo” suavizada semanalmente, su máximo multianual y su mínimo, respectivamente. La temperatura de brillo (“Brightness Temperature” o BT) no representa la temperatura física del entorno, sino la radiación infrarroja emitida por la superficie terrestre, captada por sensores satelitales. Esta medición se realiza, por ejemplo, en el canal 4 (CH4) del sensor AVHRR, que opera en el rango de 10.3–11.3 micrómetros y está presente en los satélites NOAA-7, 9, 11, 12 y 14. Este canal permite observar las condiciones térmicas tanto de día como de noche (USGS, 2023). También se utiliza el sensor VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite), a bordo de los satélites Suomi NPP y NOAA-20, el cual ofrece datos térmicos de alta calidad para el cálculo del Índice de Condición de Temperatura (TCI). Esta medición está influida por factores como la emisividad del terreno, las condiciones atmosféricas intermedias (incluida la interferencia de nubes) y el ángulo de observación.

El TCI resulta particularmente útil para reducir las incertidumbres asociadas a la interpretación de otros índices, como el NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada). Por ejemplo, aunque el NDVI es ampliamente utilizado para evaluar la salud de la vegetación, puede verse afectado por múltiples factores no relacionados directamente con la sequía, como el tipo de cobertura del suelo, el estado fenológico o lluvias recientes que aumentan temporalmente el verdor sin resolver el déficit hídrico subyacente. En cambio, el TCI se basa en observaciones satelitales de la “temperatura de brillo” de la superficie terrestre, que representa la radiancia térmica emitida por el suelo y la vegetación en el espectro infrarrojo. El TCI permite pues evaluar el estrés térmico de la vegetación, ya que temperaturas de brillo más elevadas suelen estar asociadas a condiciones de sequía o estrés hídrico.

El TCI por tanto proporciona información adicional sobre el estrés climático y puede mejorar las evaluaciones de sequía cuando se combina con otros índices como el NDVI, especialmente en contextos agrícolas.

El monitor MONSE incluye dos índices relacionados con la temperatura, el STI (“Standardized Temperature Index”) y el TCI aunque representan enfoques térmicos distintos y complementarios.

El STI se calcula a partir de series mensuales de temperatura del aire en superficie, mediante una estandarización estadística que compara cada valor observado con la media climática y la desviación estándar de un período de referencia, típicamente de 30 años. Esta transformación permite identificar anomalías térmicas atmosféricas en distintas escalas temporales (1, 3, 6, 9 y 12 meses). Por su parte, el TCI se calcula a partir de la temperatura de brillo observada por sensores, y evalúa el estado térmico superficial comparando la temperatura actual con su rango histórico (mínimo y máximo), siguiendo la metodología de Kogan (1995). Este índice se beneficia de series suavizadas y corregidas atmosféricamente, como las utilizadas en los productos “Vegetation Health Products” de NOAA STAR/NESDIS, y es sensible al estrés térmico que afecta la vegetación.

Mientras el STI caracteriza anomalías térmicas atmosféricas a gran escala, el TCI aporta información sobre el impacto térmico directo en la superficie y la vegetación, siendo su uso conjunto importante para una caracterización integral de la sequía.

4.3.3 Fuentes de datos

El Índice de Condición de Temperatura (Temperature Condition Index, TCI) puede obtenerse a partir de datos térmicos obtenidos de dos sensores satelitales complementarios: el AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), presente en los satélites NOAA-7, 9, 11, 12, 14 y aún operativo en plataformas como NOAA-19 y MetOp, y el VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite), a bordo de los satélites Suomi NPP, NOAA-20 y NOAA-21. Ambos sensores captan radiación infrarroja en el rango de 10.3–11.3 micrómetros, utilizada para estimar la temperatura de brillo, variable clave en la detección de estrés térmico en la vegetación. Mientras que AVHRR ofrece una valiosa serie temporal desde 1981, ideal para estudios de largo plazo, VIIRS proporciona datos de mayor resolución espacial y radiométrica, adecuados para el monitoreo ambiental actual. Los productos derivados del TCI están disponibles públicamente en formato GeoTIFF a través de los portales USGS EarthExplorer y NASA Earthdata.

El Índice de Condición de la Temperatura (TCI) se calcula a partir de datos semanales de sensores satelitales, procesados para su integración en la herramienta de monitoreo de sequías MONSE.

Dado que el producto TCI derivado de VIIRS está disponible únicamente desde 2019, para su incorporación en MONSE se recurrió a datos históricos del sensor AVHRR, accesibles a través del repositorio de NOAA/NESDIS/STAR (NOAA/NESDIS/STAR, n.d.). Con estos datos se construyó una serie temporal de 30 años para el período 1995–2024. El procesamiento incluye la descarga de archivos comprimidos (.tar.gz), la extracción de imágenes semanales en formato GeoTIFF, el recorte espacial a la extensión de Ecuador, y la agregación temporal a escala mensual mediante promedios (“mean”, en inglés). Para asignar cada semana a un mes, se utiliza el estándar ISO de numeración de semanas, tomando el jueves como referencia.

4.4 Interpretación de los índices por sectores

Tan importante como el número de índices estimados por el monitor de sequía es el conocimiento de la aportación que cada índice puede tener en la toma de decisiones. Por este motivo, esta sección propone una interpretación de los índices en MONSE por parte de distintos grupos de usuarios. Debe tenerse en cuenta que cualquier interpretación de índices de sequía debe completarse con el trabajo de expertos en estos temas ya que no es posible automatizar todas las tomas de decisiones.

La interpretación de los distintos índices resulta más abordable a partir de la definición de los principales tipos de sequía. A nivel de sistemas de monitoreo de sequías, los tipos más importantes son la sequía meteorológica, agrícola e hidrológica (Figure 4.1). En especial, la sequía meteorológica, es utilizada en algunos monitores internacionales como primer nivel para la generación de alertas.

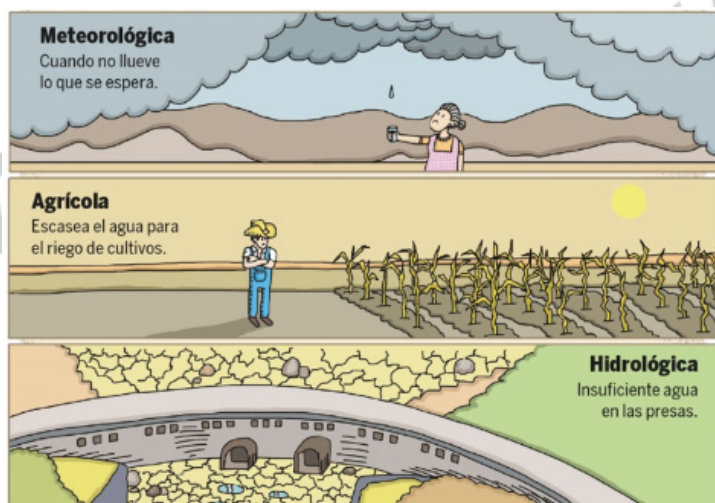


Figure 4.1: Tipos principales de sequía. Ilustración de Otero, s.f., disponible en Gaceta UNAM

La sequía meteorológica se origina principalmente por un déficit de lluvias y puede observarse en un periodo relativamente corto. El indicador SPI es el índice estándar aceptado globalmente para la determinación de la sequía meteorológica. Las escalas temporales para identificar la sequía meteorológica varían entre 1 y 3 meses. Cambios en la humedad del suelo por ejemplo están relacionadas con anomalías en la precipitación a corto plazo.

La sequía agrícola se manifiesta cuando las reservas de agua en el suelo se agotan y los cultivos comienzan a sufrir escasez hídrica. Los indicadores se utilizan en escalas temporales de 1 a 6 meses ya que los efectos en cultivos necesitan un periodo ligeramente mayor para manifestarse. Por ejemplo, el indicador SPI de los últimos 3 meses puede dar información de las condiciones de humedad del suelo al inicio de una temporada de cultivo.

La sequía hidrológica se refiere a una disminución de la disponibilidad de agua en cuerpos superficiales, y se manifiesta cuando los caudales de los ríos, los niveles de los embalses y las reservas de agua subterráneas reducen sus niveles. Las sequías hidrológicas se pueden valorar estudiando indicadores calculados para periodos más largos, de 6 a 24 meses.

Además de los tres tipos mencionados, existe otro tipo de sequía, la socioeconómica que se aplica a situaciones en las que la sequía, comúnmente definida como alguno de los tipos anteriores, genera impactos en la sociedad. Esto suele ocurrir en un marco temporal de varios meses. Este tipo de sequía no es monitoreada mediante los índices incorporados en los sistemas de monitoreo.

Table 4.1: Relaciones más frecuentes entre índices y tipos de sequía

Índice de sequía	Sequía meteorológica	Sequía agrícola	Sequía hidrológica
SPI	✓	✓ Con valores calculados a 3 y 6 meses	✓ Con valores calculados a 6, 9 y 12 meses
STI	✓		
SPEI	✓	✓ Con valores calculados a 3 y 6 meses	✓ Con valores calculados a 3 y 6 meses
SSMI		✓	
NDVI		✓	
SDI			✓
TCI		✓	

Nota: SPI: Índice de Precipitación Estandarizado; STI: Índice de Temperatura Estandarizado; SPEI: Índice de Precipitación y Evapotranspiración Estandarizado; SSMI: Índice de Humedad del Suelo

Estandarizado; NDVI: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, SDI: Índice de Sequía Hidrológico; TCI: Índice de Condición de Temperatura

En general todos los sectores y el público en general pueden estar interesados en la sequía meteorológica, cuyo indicador más reconocido es el SPI. Como se ha comentado, este índice se utiliza en algunos monitores internacionales para activar un primer nivel de posible alerta por sequía. El índice de temperatura, STI, también puede resultar útil a nivel general para mostrar las tendencias de la temperatura.

Los índices asociados a la sequía meteorológica se centran en las componentes estrictamente relacionadas con las dinámicas atmosféricas del ciclo hidrológico. Estas dinámicas comprenden el movimiento del agua desde la atmósfera hacia la superficie terrestre, a través de la precipitación, y su posterior retorno mediante la evaporación y la transpiración, dependientes de la temperatura. El análisis de estos indicadores, permite detectar con mayor precisión las anomalías climáticas que afectan la disponibilidad de agua, sin la interferencia de factores edáficos, agrícolas (como las prácticas y eficiencia de irrigación) o de gestión hídrica. Este enfoque permite aislar la señal climática de la sequía, ofreciendo una base objetiva para analizar su origen y evolución.

Información sobre la cantidad de agua disponible (SPI y SPEI), la humedad del suelo (SSMI), así como de la salud de la vegetación (NDVI y TCI) resultan interesantes para el sector agrícola.

Hay que tener en cuenta que para una correcta interpretación de los índices relacionados con la vegetación, NDVI y TCI, es aconsejable tener un conocimiento sobre los posibles cambios en el uso del suelo y la cobertura vegetal, así como sobre las prácticas agrícolas, especialmente las relacionadas con el riego, aplicadas tanto en el presente como históricamente. Estos factores influyen directamente en el estado de la vegetación, y su omisión puede llevar a interpretaciones incorrectas. Por ejemplo, una anomalía negativa en un índice de humedad de la vegetación que podría interpretarse como una señal de sequía puede estar relacionada con un cambio en los sistemas de riego de la zona. En este caso, el índice no indicaría una sequía sino un cambio en la gestión del agua.

El sector energético, que incluye a los operadores de las estaciones hidroeléctricas, estarán más interesados en la sequía hidrológica, y por tanto, en los índices SPI y SPEI calculados a largo plazo (6, 9 y 12 meses) así como en el índice específico SDI. Cabe destacar que la base de datos para el cálculo del SDI es global y por tanto, es necesario tener este aspecto en consideración al analizar áreas concretas. El sector de recursos hídricos también estará interesado en la sequía meteorológica y por tanto, los mismos índices pueden ser de su interés.

En el sector turístico, el índice STI y los relacionados con la vegetación, NDVI y TCI, ofrecen datos relevantes sobre las condiciones térmicas y el estado del paisaje, que inciden en la experiencia del visitante.

Las agencias ambientales y entidades dedicadas a la conservación pueden utilizar índices relacionados con el estado de la vegetación como el NDVI, TCI así como el SSMI y el SDI para evaluar el impacto de la sequía sobre los ecosistemas y cuerpos de agua.

Para el público en general, SPI, STI y SPEI proporcionan información útil sobre condiciones generales de sequía.

Debe tenerse en cuenta que los índices son una indicación de posibles tendencias calculadas a partir de datos globales. Su validación y correcta interpretación requiere de la participación activa de científicos y observadores de campo. La toma de decisiones a partir de los resultados del monitor no puede ser completamente automatizada ni reemplazada por cálculos numéricos, ya que dependen del juicio experto y del conocimiento contextual de las distintas localidades.

5 Actualización de la interfaz de MONSE

La interfaz del monitor de sequía constaba originariamente de tres páginas principales: “Inicio”, “Monitor” y “La Sequía” (descritas en mayor detalle en el Entregable 2). Se han realizado cambios profundos en esta configuración inicial con el fin de mejorar la experiencia de usuario así como proporcionar mayor información al usuario. El objetivo último es que el usuario pueda visualizar fácilmente la información más relevante para su toma de decisiones.

Las mejoras se han desarrollado a partir de conversaciones mantenidas con los diferentes actores involucrados en la gestión de sequías en Ecuador así como de la revisión de numerosos sistemas de monitoreo operativos en distintos países.

Dado que no existe un único indicador de sequía que sea eficaz en todos los tipos de clima, en la actualización de la interfaz se ha priorizado el poder mostrar al usuario los distintos indicadores que puedan ayudar a la toma de decisiones.

Se ha modificado completamente la estructura general de las páginas, aumentando su número y modificando las subpáginas disponibles. La siguiente figura muestra la nueva estructura de la interfaz del sistema MONSE.

En la actualización de MONSE se ha mantenido el uso de los lenguajes existentes así como se han seguido las guías de desarrollo de software proporcionadas por INAMHI.

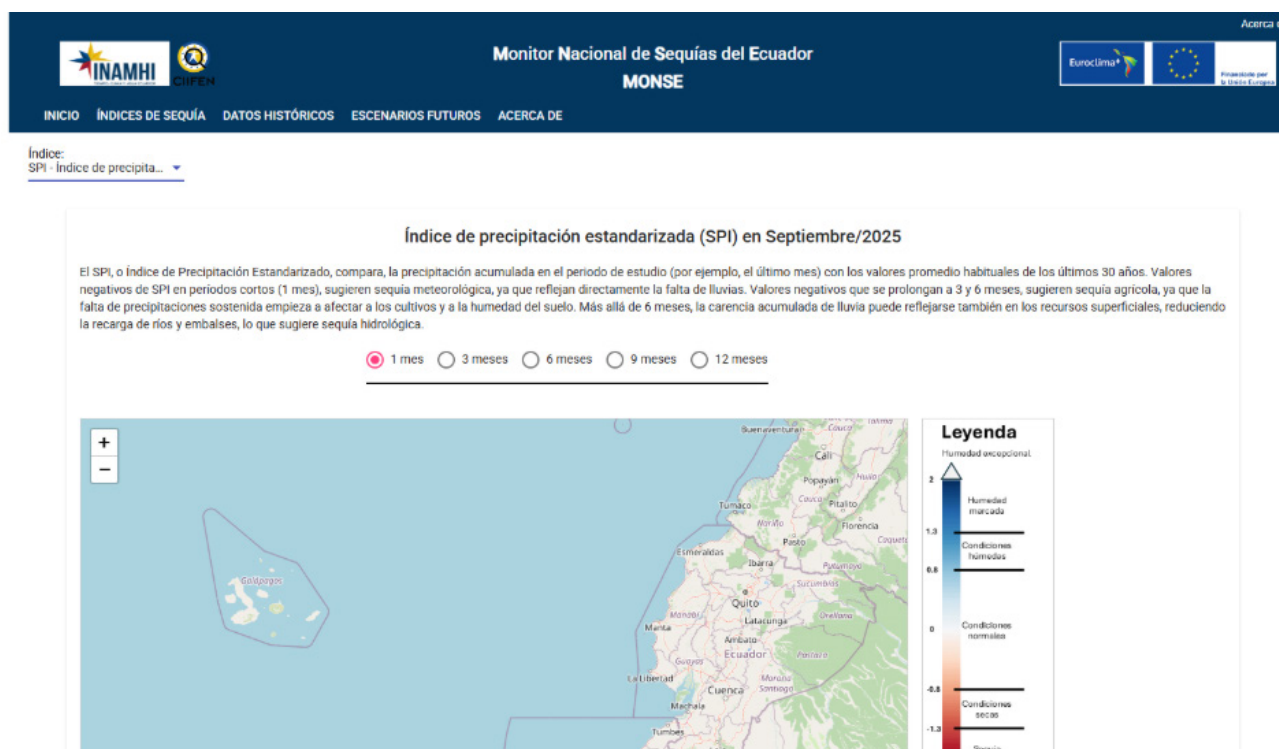


Figure 5.1: Ejemplo de página con la nueva estructura de la interfaz de MONSE

Los cambios en la estructura general de la interfaz han supuesto la modificación y creación de nuevos textos explicativos, siempre con el objetivo de ofrecer una información más clara al usuario. Se han añadido muchos más textos explicativos, incluidos iconos de ayuda para describir los distintos elementos de la interfaz.

El formato de los mapas de índices de sequía que se presentan se ha modificado respecto a su formato original. Los mapas estáticos se han convertido en mapas dinámicos que permiten observar con mayor detalle las zonas de interés.

El monitor incluye información cualitativa sobre el mayor impacto de las sequías sobre las mujeres así como un listado de organizaciones que abordan problemas de sequía desde una

perspectiva de género. Esta información, al hacer hincapié en estos aspectos, promueve la concienciación de los usuarios de la herramienta en los aspectos de género.

En la presentación de los distintos índices, el sistema sigue proporcionando información a distintas escalas temporales, 1, 3, 6, 9 y 12 meses, lo que permite identificar anomalías climáticas considerando periodos previos de diferente duración y evaluar así la posible severidad de distintos tipos de sequía meteorológica.

A continuación se describen brevemente cada una de las páginas creadas.

Inicio

Esta página contiene los resultados en formato mapa y tabla del índice combinado de sequía, así como el enlace al Boletín y a información recogida en terreno sobre los impactos de la sequía por parte de la red Volunclima.

Índices de sequía

La segunda página del monitor permite una visualización diferenciada de los principales indicadores de sequía, tanto los asociados a la sequía meteorológica como la agrícola e hidrológica.

Datos históricos

En la página de “Datos históricos” el usuario puede seleccionar el índice combinado de sequía, en la escala temporal correspondiente y la fecha de cálculo (mes y año), teniendo en cuenta que las actualizaciones se realizan mensualmente. La información histórica se representa en formato mapa y tabla.

Escenarios futuros de sequía

La visualización de los resultados del nuevo módulo de escenarios futuros de sequía (Capítulo 5) se ha incluido como una nueva página que se actualiza mensualmente en sincronía con la actualización del resto de indicadores.

Esta página presenta los valores del SPI calculados a 1, 3 y 6 meses. Se visualizan tres distintos escenarios, estimados a partir del análisis de percentiles de los resultados de los modelos de precipitación: escenario de futuro más probable (percentil 50), escenario más seco (percentil 10) y el más húmedo (percentil 90).

Acerca de

Esta página ofrece, de forma sintetizada, información sobre la sequía, las sequías y las desigualdades de género, sus impactos, descripciones de los indicadores de sequía y del funcionamiento del monitor. También es posible descargar una guía del usuario sobre como utilizar el monitor.

6 Generación de material informativo

El monitor se ha actualizado completamente con la incorporación de material informativo para ayudar al usuario en la interpretación de los resultados presentados. Por ejemplo, al mostrar los índices de sequía individuales, se ha añadido una explicación del significado del índice y como interpretarlo. Asimismo, junto a la escala de selección del rango temporal (1,3, 6, 9 y 12 meses) se ha añadido un icono de información que ofrece mayor detalle del significado de estas escalas temporales.

Se han generado también tres manuales o guías con el fin de facilitar el manejo del monitor MONSE a nivel de operador, facilitar la navegación del sistema a nivel de usuario y la interpretación de los resultados a nivel técnico. Estos manuales son:

- **Manual de operaciones**

Este manual describe el funcionamiento y la operación de la Plataforma de Monitoreo de Sequías implementada por el Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El

Niño (CIIFEN) y actualizada por HR Wallingford en este proyecto. El documento proporciona instrucciones sobre la instalación, configuración, procesamiento de datos y generación de reportes para la evaluación de sequías en Ecuador. Este manual se presenta en el apéndice F.

- Manual de usuario

Breve guía para la navegación a nivel de usuario del sistema MONSE. Esta guía se presenta en el apéndice E.

- Guía técnica

Recoge la información a nivel técnico de las distintas funcionalidades del monitor proporcionando información más detallada que la mostrada en el propio monitor en la página “Acerca de”. Esta guía va dirigida a aquellos usuarios que deseen un mayor detalle y profundidad de los índices y métodos utilizados en el MONSE. Esta guía se presenta en el apéndice G.

Para dar mayor difusión a los aspectos de género en relación a la sequía, también se ha incluido en el monitor información cualitativa sobre el mayor impacto de las sequías sobre las mujeres en una sección diferenciada en la página “Acerca de”. Así mismo, se incluye un listado de organizaciones que abordan problemas de sequía desde una perspectiva de género.

El objetivo de esta información, es hacer mayor hincapié en los aspectos de género y promover la concienciación de los usuarios de la herramienta en los aspectos de género.

7 Módulo de escenarios futuros de sequía

7.1 Introducción

Se ha incorporado en MONSE un módulo de escenarios futuros de sequía con el objetivo de dar información a los tomadores de decisión sobre las posibles condiciones futuras de sequía a partir de pronósticos climáticos estacionales, entendidos como proyecciones del estado futuro del clima en escalas temporales de uno a varios meses, generadas mediante modelos numéricos. Esta información puede resultar útil para la toma de decisiones en sectores como la agricultura, la gestión del agua y la planificación territorial. Hay que resaltar que no se trata de pronósticos de sequía, sino de posibles escenarios futuros de sequía.

El módulo de escenarios futuros genera proyecciones del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI). La elección de este índice se fundamenta en su capacidad para representar anomalías hidroclimáticas en distintas escalas temporales, y en su compatibilidad con los datos proporcionados por el Centro Europeo de Predicción Meteorológica a Medio Plazo (ECMWF).

El índice SPI es también utilizado en otros monitores de sequía para dar información sobre posibles comportamientos futuros de la sequía. Por ejemplo, el Sistema de Información sobre Sequías para el Sur de Sudamérica (SISSA), desarrollado por el Centro Regional del Clima para el Sur de América del Sur (CRC-SAS).

A partir de información sobre el SPI, es posible identificar señales tempranas de escasez de lluvia y anticipar posibles sequías, ofreciendo una primera indicación de posible sequía meteorológica, es decir, períodos en los que llueve mucho menos de lo habitual. Detectar tales cambios con anticipación es fundamental para activar medidas de preparación y respuesta que minimicen los impactos negativos en la agricultura, los recursos hídricos y las comunidades afectadas por la sequía. Cuando las lluvias se reducen, el suelo comienza a secarse y los cultivos pueden verse afectados por la falta de humedad (sequía agrícola); si el periodo seco continúa, también pueden disminuir los caudales de los ríos, los niveles de los embalses y el agua subterránea (sequía hidrológica).

7.2 Datos de entrada y procesamiento

El módulo se basa en pronósticos meteorológicos generados por el Centro Europeo de Predicción Meteorológica a Medio Plazo (ECMWF por sus siglas en inglés). En concreto se basa en los pronósticos de la media mensual de la precipitación y la evapotranspiración. Estos pronósticos son elaborados mediante el modelo ECMWF SEAS5 que combina datos generados por diversos modelos climáticos, basados en la evolución predecible de ciertos componentes del sistema terrestre que cambian lentamente, como la temperatura del océano.

Para tener en cuenta la incertidumbre en las predicciones, el modelo utiliza un enfoque de “ensembles”, que consiste en utilizar múltiples simulaciones con condiciones iniciales ligeramente distintas, lo que permite estimar un rango probable de valores futuros en lugar de una única predicción. En concreto, el sistema de predicción estacional del ECMWF incorpora 51 simulaciones del modelo atmosférico, generadas mediante la introducción de perturbaciones en las condiciones iniciales y en la física del modelo, con el objetivo de representar la incertidumbre inherente al sistema climático (ECMWF, 2024, sección 2.1.2.3). Este conjunto incluye 50 miembros perturbados y un miembro de control no perturbado, todos considerados en el análisis. En escalas temporales estacionales no es posible determinar de forma consistente cuál de los miembros individuales ofrece el mejor desempeño, ya que las diferencias entre ellos tienden a amplificarse con el tiempo y no existe un criterio fiable para seleccionar uno sobre los demás (ECMWF, 2024, sección 5.1).

Como ocurre con cualquier pronóstico, las lluvias estimadas por el ECMWF pueden diferir de lo que finalmente sucede en la realidad. Estas diferencias, conocidas técnicamente como “sesgos”, se deben a que ningún modelo puede reproducir con total precisión la complejidad de la atmósfera. Por ello, los valores de SPI derivados de los pronósticos pueden no coincidir exactamente con la realidad, pero ofrecen una indicación sobre posibles tendencias.

La base de datos utilizados son accesibles en la siguiente dirección:

<https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/seasonal-monthly-single-levels>.

Los pronósticos meteorológicos tienen cobertura global, están organizados en una malla regular de latitud-longitud con resolución de $1^\circ \times 1^\circ$, lo que en Ecuador equivale aproximadamente a una malla de 111 km de lado. Los datos se presentan en formato GRIB, un estándar eficiente para almacenar y distribuir grandes volúmenes de datos geoespaciales en mallas regulares, especialmente en aplicaciones meteorológicas y climáticas. Los pronósticos del ECMWF se presentan hasta 7 meses en el futuro.

La base de datos de ECMWF incluye pronósticos mensuales desde 2017 y pronósticos retrospectivos (también conocidos como *hindcasts*, por su nombre en inglés *historical forecasts*) desde 1993, con actualizaciones mensuales. Los pronósticos del modelo ECMWF se publican el día 6 de cada mes a las 12 UTC.

La variable de precipitación extraída de la base de datos y expresada en metros, se convierte a milímetros para facilitar su interpretación. Los valores mensuales se agregan según la escala temporal deseada (por ejemplo, 3 meses para el SPI-3). Posteriormente, se ajusta una distribución gamma a los datos históricos de precipitación correspondientes a la misma región y escala, lo que permite calcular la probabilidad acumulada del valor pronosticado. Finalmente, esta probabilidad se transforma en un valor de la distribución normal estándar, obteniéndose así el SPI proyectado para cada uno de los 51 modelos.

7.3 Visualización de los resultados

Los resultados del SPI a 1, 3 y 6 meses se visualizan en una ventana propia de la interfaz de MONSE. La resolución de los datos es menor que la mostrada en otras secciones del monitor debido a la resolución de los datos que se procesan.

Los resultados que se presentan en el MONSE son el resultado del procesamiento de los 51 “ensambles”. En concreto se presentan:

- El escenario más probable, representado por el percentil 50, en el que la mitad de los resultados de los modelos son más húmedos y la otra mitad más secos.
- El escenario más seco, representado por el percentil 10, en el que el 10% de los resultados obtenidos por los modelos muestran menos lluvia frente al 90 % de resultados con mayores lluvias.
- El escenario más húmedo, representado por el percentil 90, en el que el 90% de los resultados de los modelos son más secos y sólo el 10% más húmedos.

8 Revisión de los procesos de cálculo del sistema

8.1 Actualización de pesos en el cálculo del índice general de sequía

8.1.1 Introducción

El sistema MONSE original desarrollado por el CIIFEN integraba los cinco índices originarios, SPI, STI, SPEI, NDVI y SSMI en un índice general de sequía, mediante una ponderación por promedio aritmético. Esto suponía que el índice general se calculaba a partir de la suma algebraica de los diferentes índices multiplicados por un peso asignado de 0.20. Al integrar el sexto índice, el SDI, este peso se modificó a 0.16.

Posteriormente, el CIIFEN desarrolló un módulo de cálculo adicional en MONSE para mejorar la estimación de estos pesos, necesarios para el cálculo del índice general de sequía. Este módulo permite asignar pesos diferenciados temporal y espacialmente a cada índice en función de su contribución relativa a la variabilidad conjunta del sistema. En el contexto del presente proyecto se ha realizado un recálculo de estos pesos, utilizando el análisis de componentes principales (PCA) que se describe en la sección 8.1.3.

8.1.2 Descripción de la metodología

La metodología aplicada tanto por el CIIFEN (explicada en Garzón, 2025) como por HR Wallingford en el contexto de este proyecto para el cálculo automático de pesos consiste en aplicar un análisis de componentes principales (PCA). Este análisis busca reducir la dimensionalidad de los datos manteniendo la mayor varianza.

El método transforma el sistema de coordenadas de los datos originales, donde los ejes, llamados componentes principales, se construyen para revelar los patrones más significativos en los datos. Los nuevos ejes se ordenan según la cantidad de varianza que capturan de los datos originales. El primer componente principal captura la mayor varianza posible, el segundo eje (ortogonal al primero) captura la siguiente mayor cantidad de varianza, y este patrón continúa para todos los componentes siguientes.

La metodología PCA consiste en construir una matriz con los índices y sus valores en el tiempo. Posteriormente se crea la matriz de covarianza entre cada par de vectores de valores de los índices. Las componentes principales son los vectores propios de la matriz de covarianza y se generan tantas componentes principales como índices.

Para calcular el valor de un componente principal para un píxel específico, cada variable se multiplica por su peso correspondiente del vector propio, y los resultados se suman, proyectando el punto de datos sobre el nuevo eje definido por ese vector.

El valor propio asociado a cada componente cuantifica la cantidad de varianza capturada en esa dirección, lo que indica la importancia relativa de cada componente para explicar la estructura de los datos. Al conservar solo las componentes con los valores propios más altos, PCA permite una reducción de la dimensionalidad, lo que facilita la visualización e interpretación de los datos, preservando los aspectos más informativos del conjunto de datos original.

Según información proporcionada por el Dr Mario López , experto en sequías de México y asesor del CIIFEN en el desarrollo de los sistemas de monitoreo, la revisión de los pesos asignados debe realizarse con una frecuencia relativa de aproximadamente 10 años. Por tanto, una vez definidos los pesos, no se espera tener que modificarlos en un futuro inmediato. Tan sólo deberán actualizarse cada vez que se deseen agregar o reducir el número de índices que conforman el índice combinado o cada vez que se desee evaluar un nuevo período climático.

A modo de ejemplo, la siguiente figura muestra los distintos pesos obtenidos para los 5 índices en las distintas series temporales.

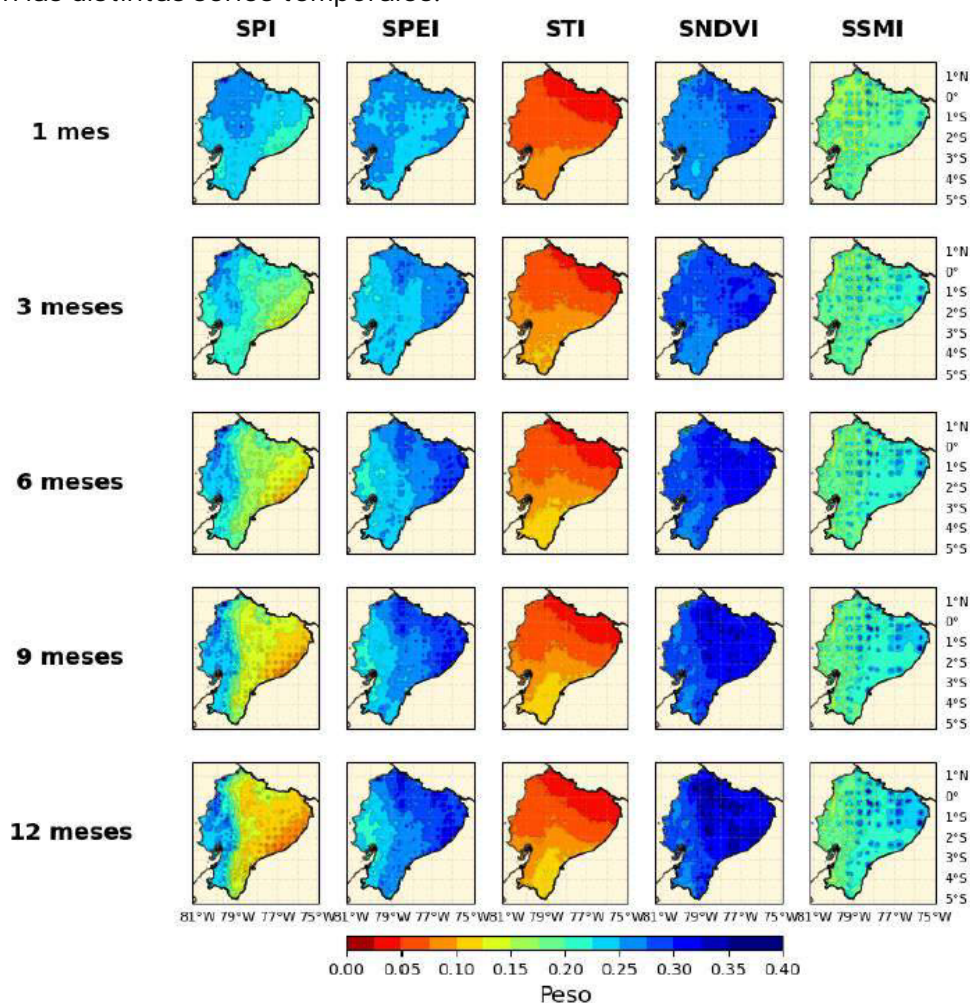


Figure 8.1: Estimación de pesos para los 5 índices originales de MONSE mediante el método de Componentes Principales. Fuente: Garzón, 2025)

8.1.3 Resultados

Los resultados preliminares del análisis muestran las siguientes dependencias.

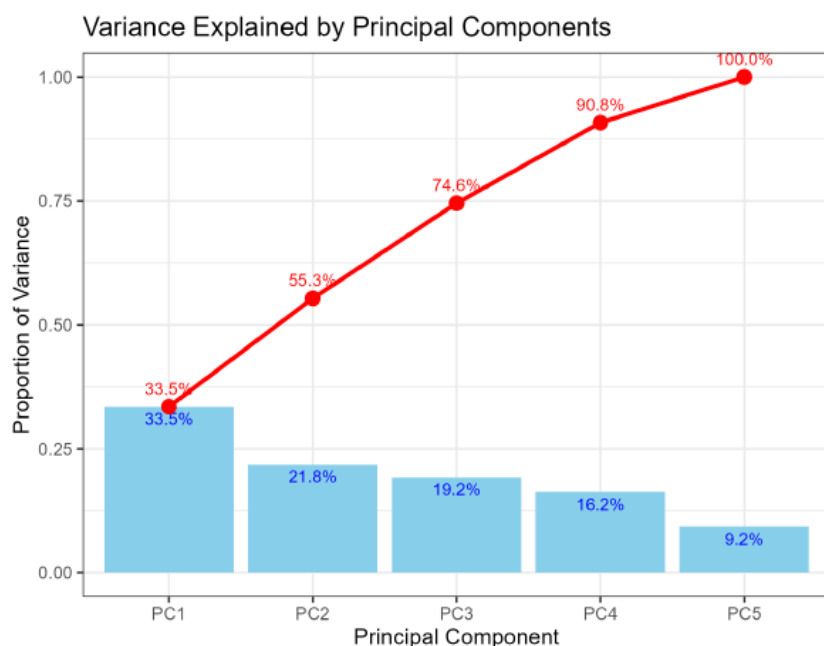


Figure 8.2: Estos resultados están en proceso de finalización.

8.2 Inclusión de datos de campo

Los indicadores utilizados en MONSE se basan únicamente en datos de teledetección. Esto supone algunas limitaciones en cuanto a la resolución espacial y temporal de los datos recopilados, así como a su calidad, ya que pueden no reflejar condiciones locales.

El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) gestiona una red nacional de estaciones de campo que incluye tanto estaciones meteorológicas como hidrológicas que informan sobre diversos parámetros como precipitación, temperatura, humedad, presión atmosférica, viento y niveles de agua en intervalos de 5 y 15 minutos. En el Entregable 2 se describe con mayor detalle esta red de estaciones hidrometeorológicas.

Una de las actividades analizadas en el marco del presente proyecto fue la posible inclusión en MONSE de los datos proporcionados por las estaciones hidrometeorológicas automáticas. Para ello es necesario el acceso al servidor con los datos recopilados por las estaciones de campo para poder analizar su formato y por tanto, valorar los procesos necesarios para su transformación e inclusión en MONSE. Durante las fases de “Diagnóstico y propuesta de mejoras” (Componente 2 del presente proyecto finalizada con el Entregable 2) así como en los estadios iniciales de la Componente 3 (reportada en este Entregable) no fue posible tener acceso a estos datos y por tanto no se ha podido llevar a cabo la exploración de los datos de campo.

Hay que tener en cuenta que las actuales estaciones de campo cubren una pequeña parte de Ecuador y que por tanto, aunque se incluyan datos de campo, sigue siendo necesario contar con información satelital para poder ofrecer una cobertura de resultados para todo el país.

El actual sistema de monitoreo de sequía está diseñado para poder incorporar los datos de estaciones de campo. Para ello deben seguirse tres pasos principales:

- Incorporación de la estación de campo al archivo de estaciones utilizadas por MONSE
- Creación del archivo histórico de precipitaciones
- Modificación del archivo de temperatura

Estos pasos se describen en mayor detalle en el Manual de Operaciones (Anejo F).

Previamente, es necesario procesar los datos de las estaciones de campo para obtener los valores mensuales que son los utilizados por el monitor de sequía.

Aunque la información aportada por datos de campo ayuda a mejorar la precisión del sistema, dadas las limitaciones del proyecto se ha optado por incorporar un indicador adicional ya que el uso de varios índices superpuestos también ayuda a mejorar la fiabilidad del modelo.

Por otra parte, los datos de campo sobre la situación e impacto real de la sequía, proporcionados por ejemplo por actores locales con un conocimiento del terreno, son fundamentales para garantizar una mejora continua de los resultados del monitor ya que esta información puede resultar muy útil en la interpretación y ajuste de los indicadores.

Una de las mejoras realizadas en relación a la inclusión de datos de campo sobre la sequía en el monitor MONSE ha sido facilitar al usuario el acceso a los boletines de la Red de Voluntarios del Clima (Volunclima) en los que se reportan las precipitaciones en el mes, medidas en campo por los observadores de la red, así como su percepción de la sequía.

8.3 Análisis de las fuentes de datos

Las fuentes de datos de cada uno de los índices ha sido analizada y reevaluada en función de criterios como la accesibilidad, escala y estabilidad de los datos. Además se han mantenido conversaciones con el CIIFEN quien ha analizado en detalle algunas de las posibles bases de datos alternativas. Finalmente, las bases de datos utilizadas se reflejan en la siguiente tabla.

Table 8.1: Fuentes de datos de entrada

Índice	Variable	Fuente de datos original	Resolución espacial	Website
SPI	Precipitación	CHIRPS-2	0.05°	https://data.chc.ucsb.edu/products/CHIRPS-2.0/global_monthly/
STI	Temperatura	Climate Prediction Center	0.5°	ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/wd51yf/global_monthly/gridded_binary/t.long/ https://www.psl.noaa.gov/data/gridded/data.cpc.globaltemp.html
SPEI	Prec y Temp	Basado en SPI y STI		
SSMI	Humedad del suelo	Climate Prediction Center	0.5°	ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/wd51yf/global_monthly/gridded_binary/w.long/ https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.cpcsoil.html
NDVI	Salud vegetación	LP DACC	0.05°	https://lpdaac.usgs.gov/products/mod13c2v061/

Índice	Variable	Fuente de datos original	Resolución espacial	Website
SDI	Caudales	Geoflows		https://hydroviewer.geoglows.org/
TCI	Índice de condición de Temperatura	JPSS VIIRS VHDP	0.008°	

9 Umbrales del monitor de sequía

El índice general de sequía se utiliza para clasificar la sequía. La clasificación de sequías aplicada en el Monitor de Sequía de Ecuador sigue el sistema utilizado en América del Norte (México, Estados Unidos y Canadá), el cual categoriza las condiciones de sequía en cinco niveles:

Tabla 9.1: Descripción de las categorías de sequía

Categoría de sequía	Descripción
Seco Anómalo (D0)	No se considera una categoría de sequía, pero indica el inicio o fin de un período seco.
Sequía Moderada (D1)	Posibles daños a cultivos y pastizales, aumento del riesgo de incendios, niveles bajos en ríos y embalses; se recomiendan restricciones voluntarias de agua.
Sequía Severa (D2)	Pérdidas de cultivos probables, alto riesgo de incendios forestales, escasez común de agua y posible implementación de restricciones obligatorias.
Sequía Extrema (D3)	Pérdidas significativas en cultivos y pastizales, riesgo muy alto de incendios, graves problemas de disponibilidad de agua y restricciones generalizadas en el uso del recurso.
Sequía Excepcional (D4)	Pérdidas agrícolas generalizadas, riesgos críticos de incendios, escasez extrema de agua, agotamiento de embalses y pozos, y posibles situaciones de emergencia por falta de agua.

La descripción del grado de severidad de la sequía es genérica y no está específicamente referida al contexto de Ecuador. Con la finalidad de ofrecer mayor información a sectores económicos and productivos específicos, como la agricultura o el sector energético, la interfaz de usuario de MONSE se ha actualizado para ofrecer información de indicadores de sequía específicos para estos sectores (sección 4.4).

Las siguientes tablas muestran umbrales, manejados a nivel general, para los distintos índices. Las condiciones asociadas a estos umbrales son orientativas y pueden variar según la región y las condiciones locales.

Table 9.2: Umbrales orientativos para el índice SPI

Valor de SPI	Condiciones orientativas*
Mayor de 2	Humedad extrema
Entre 1.3 y 2	Condiciones muy húmedas
Entre 0.8 y 1.3	Condiciones húmedas
Entre - 0.8 y 0.8	Condiciones normales
Entre -0.8 y -1.3	Condiciones secas
Entre -1.3 y -2	Sequía marcada
Menor de -2	Sequía extrema

* Fuente: *Drought Classification / U.S. Drought Monitor*

Table 9.3: Umbrales orientativos para el índice STI

Valor de STI	Condiciones orientativas*
Mayor de 2	Calor extremo
Entre 1.3 y 2	Calor intenso
Entre 0.8 y 1.3	Calor moderado
Entre - 0.8 y 0.8	Condiciones normales
Entre -0.8 y -1.3	Frío moderado
Entre -1.3 y -2	Frío intenso
Menor de -2	Frío extremo

* Fuente:

Table 9.4: Umbrales orientativos para el índice SPEI

Valor de SPEI	Condiciones orientativas*
Mayor de 2	Extremadamente húmedas
Entre 1.3 y 2	Muy húmeda
Entre 0.8 y 1.3	Húmeda
Entre - 0.8 y 0.8	Normal
Entre -0.8 y -1.3	Condiciones secas
Entre -1.3 y -2	Sequía marcada
Menor de -2	Sequía extrema

* Fuente: [Drought Classification | U.S. Drought Monitor](#)

Table 9.5: Umbrales orientativos para el índice SSMI

Valor de SSMI	Condiciones orientativas*
Mayor de 2	Suelo extremadamente húmedo
Entre 1.5 y 2	Suelo muy húmedo
Entre 1 y 1.5	Suelo moderadamente húmedo
Entre - 1 y 1	Condiciones normales
Entre -1 y -1.5	Suelo moderadamente seco
Entre -1.5 y -2	Suelo muy seco
Menor de -2	Suelo extremadamente seco (sequía)

* Fuente: https://www.nhv.nu/wp-content/uploads/2025/03/381947_NHV_03_Stromingen-1-2025-ARTIKEL-MOEKSTORM.pdf

Table 9.6: Umbrales orientativos para el índice NDVI

Valor de NDVI	Condiciones orientativas*
Mayor de 0.6	Vegetación densa y saludable, generalmente libre de afectación por sequía
Entre 0.2 y 0.6	Poca vegetación o plantas envejecidas. Puede asociarse a estrés hídrico leve o moderado.
Entre 0 y 0.2	Ausencia de vegetación o presencia de superficies desnudas como suelo, rocas, agua o zonas urbanas. También pueden reflejar estrés hídrico extremo donde la vegetación está ausente o muy deteriorada.
Menor de 0	Generalmente indica agua, nieve o nubes, aunque también puede deberse a superficies artificiales oscuras o errores en la imagen

* Fuente: [Measuring Vegetation \(NDVI & EVI\)](#) y <https://www.earthdata.nasa.gov/s3fs-public/2025-07/ARSET-Indices2023-part1-qa.pdf>

Table 9.7: Umbrales orientativos del índice TCI

Valor de TCI	Condiciones orientativas*
Mayor de 0.6	Vegetación densa y saludable, generalmente libre de afectación por sequía
Entre 0.2 y 0.6	Poca vegetación o plantas envejecidas. Puede asociarse a estrés hídrico leve o moderado.
Mayor de 0	Ausencia de vegetación o presencia de superficies desnudas como suelo, rocas, agua o zonas urbanas. También pueden reflejar estrés hídrico extremo donde la vegetación está ausente o muy deteriorada.

* Fuente: [GMD - Focal-TSMP: deep learning for vegetation health prediction and agricultural drought assessment from a regional climate simulation](#)

Debe tenerse en cuenta que los índices son una indicación de posibles tendencias calculadas a partir de datos globales. Su validación y correcta interpretación así como la definición de sus umbrales requiere de la participación activa de científicos y observadores de campo. La toma de decisiones a partir de los resultados del monitor no puede ser completamente automatizada ni reemplazada por cálculos numéricos, ya que dependen del juicio experto y del conocimiento contextual de las distintas localidades.

10 Referencias

- Anderson, M.C., C. Hain, B. Wardlow, A. Pimstein, J.R. Mecikalski and W.P. Kustas, 2011: Evaluation of drought indices based on thermal remote sensing of evapotranspiration over the continental United States. *Journal of Climate*, 24(8):2025 – 2044.
- Brands, S., Iturbide, M., Díez González-Pardo, J., Herrera, S., Bedia, J., Manzanar, R., Rodríguez-Guisado, E., Beguería, S., Vicente-Serrano, S.M. y Gutiérrez, J.M., 2025. Seasonal drought predictions in the Mediterranean using the SPEI index: Paving the way for their operational applicability in climate services. *Climate Services*, 38, p.100555. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2025.100555>. Último acceso: 27 de agosto de 2025.
- Didan, K. (2021) *MODIS/Terra Vegetation Indices Monthly L3 Global 0.05Deg CMG V061*. NASA Land Processes Distributed Active Archive Center. Disponible en: <https://www.earthdata.nasa.gov/data/catalog/lpcloud-mod13c2-061> (Último acceso: 27 agosto 2025).
- ECMWF (2024) *Forecast User Guide*. Disponible en: <https://confluence.ecmwf.int/display/FUG/Forecast+User+Guide> (Último acceso: 27 de agosto de 2025)
- Gao, B. C. (1996) 'NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space', *Remote Sensing of Environment*, 58(3), pp. 257–266
- Garzon, D. (2025) Fortalecimiento del monitoreo regional de la sequía en el oeste de Sudamérica (OSA)”—Euroclima. Metodología de calibración de ponderación del monitor en Ecuador y Bolivia. Presentación proporcionada por el CIIFEN.
- Huete, A., K. Didan, T. Miura, E.P. Rodriguez, X. Gao and L.G. Ferreira, 2002: Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83(1):195–213.
- JPSS (2020) ATBD for VIIRS Vegetation Health (VH) Product v2.1. NOAA Joint Polar Satellite System. Available at: https://www.star.nesdis.noaa.gov/JPSS/documents/ATBD/ATBD_VIIRS_VH_v2.1.pdf (Accessed: 27 August 2025).
- Kogan, F.N. (1997) 'Global drought watch from space', *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(4), pp. 621–636. doi:10.1175/1520-0477(1997)078<0621:GDWFS>2.0.CO;2.

Kogan, F.N., 1995: Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in Space Research*, 15(11):91–100.

Kogan, F.N., 2001: Operational space technology for global vegetation assessments. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82(9):1949–1964.

NOAA National Centers for Environmental Information (n.d.) NOAA JPSS VIIRS Global Level-3 Vegetation Health and Drought Products. National Oceanic and Atmospheric Administration. Disponible en: <https://www.ncei.noaa.gov/access/metadata/landing-page/bin/iso?id=gov.noaa.ncdc:C00938> (Último acceso: 27 agosto 2025).

NOAA STAR (2018) Vegetation Health (VH) User Guide v2.0. NOAA Center for Satellite Applications and Research (STAR). Available at: https://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/WebDataVH/VH_doc/VHP_uguide_v2.0_2018_0727.pdf (Accessed: 27 August 2025).

NOAA/NESDIS/STAR (n.d.) Blended Vegetation Health Products (4km). Center for Satellite Applications and Research. Disponible en: https://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/vh_4km.php (Último acceso: 27 agosto 2025).

Noguera, I., Domínguez-Castro, F., Vicente-Serrano, S.M. and Reig, F., 2023. Near-real time flash drought monitoring system and dataset for Spain. *Data in Brief*, 47, p.108908. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.108908>. Último acceso: 12 Aug. 2025.

Otero, A. (s.f.) Ilustración en: Romero Mireles, L.L. La actual sequía no es la más severa. *Gaceta UNAM*, 15 agosto. Disponible en: <https://www.gaceta.unam.mx/la-actual-sequia-no-es-la-mas-severa/> Último acceso: 5 agosto 2025. Otkin et al. (2018), [Flash Droughts: A Review and Assessment of the Challenges Imposed by Rapid-Onset Droughts in the United States in: Bulletin of the American Meteorological Society Volume 99 Issue 5 \(2018\)](#)

Santos, J.F., Carriço, N., Miri, M. and Raziei, T., 2025. Distributed composite drought index based on principal component analysis and temporal dependence assessment. *Water*, 17(1), p.17. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/w17010017>. Último acceso: 12 Aug. 2025. Wang, X., Wang, Z. and Li, L. (2001) 'A normalized difference drought index (NDDI) based on remote sensing for monitoring and assessing drought', *International Journal of Remote Sensing*, 22(17), pp. 3445–3452.

Appendices

A Listado de acrónimos

El listado de acrónimos utilizados en este informe se presentan en la siguiente tabla.

Table A.1: Acrónimos utilizados en este informe

Acronimo	Descripción
AECID	Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo
AMWAE	Asociación de Mujeres Waorani de la Amazonía
C3S	Servicio de Cambio Climático de Copernicus, "Copernicus Climate Change Service"
CASTEHR	Plataforma en línea del Monitor Regional de Sequías desarrollado por el CIIFEN
CIIFEN	Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño
CTCN	Centro y Red de Tecnología del Clima, "Climate Technology Centre and Network"
ECMWF	Centro Europeo de Predicción Meteorológica a Medio Plazo, "European Centre for Medium-Range Weather Forecasts"
ESI	Índice de Estrés Evaporativo, "Evaporative Stress Index"
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, "Food and Agriculture Organization"
HR Wallingford	Consultora técnica responsable del proyecto
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
MAATE	Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
MEF	Ministerio de Economía y Finanzas
MEM	Ministerio de Energía y Minas
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MONSE	Monitor Nacional de Sequía
NASA	Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio
NDVI	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, "Normalized Difference Vegetation Index"
NOAA	Administración Nacional Oceánica y Atmosférica, "National Oceanic and Atmospheric Administration"
ONG	Organización No Gubernamental
PMA	Programa Mundial de Alimentos, "World Food Programme"
SEAS5	Sistema de Pronóstico Estacional, versión 5
SENPLADES	Secretaría Nacional de Planificación
SGR	Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos
SNGRE	Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias
SNP	Secretaría Nacional de Planificación
SPEI	Índice Estandarizado de Precipitación-Evapotranspiración, "Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index"
SPI	Índice de Precipitación Estandarizado, "Standardized Precipitation Index"
SPI	Índice de Precipitación Estandarizado
SSMI	Índice de Humedad del Suelo Estandarizado
STI	Índice de Temperatura Estandarizado
TCI	Índice de Condición de Temperatura, "Temperature Condition Index"
UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
USGS	Servicio Geológico de los Estados Unidos
VCI	Índice de Condición de la Vegetación, "Vegetation Condition Index"

Acrónimo	Descripción
VOLUNCLIMA	Red de observadores climáticos voluntarios

B Análisis de posible índices de sequía

En el marco del estudio de los posibles índices a introducir en MONSE, se barajaron distintas opciones. Tras un proceso de evaluación técnica y práctica, se decidió adoptar el índice de Condición de Temperatura (TCI), tal y como se explica en la sección 4.3. Este anexo describe **otros índices considerados**, que podrían incorporarse al monitor en futuras actualizaciones.

Los indicadores evaluados provienen principalmente de fuentes reconocidas internacionalmente en el ámbito del monitoreo de sequías, en particular del Manual de indicadores e índices de sequía (“Handbook of Drought Indicators and Indices”), elaborado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y la Asociación Mundial para el Agua (GWP) (Svoboda y Fuchs, 2016), en el marco del Programa Integrado de Gestión de la Sequía (IDMP).

A pesar de la amplia variedad de índices utilizados internacionalmente para el monitoreo de sequías, el presente proyecto, enfocado en mejorar el MONSE, ha decidido considerar únicamente aquellos que pueden generarse a partir de datos de teledetección, en coherencia con el enfoque adoptado en la versión actual del sistema.

Para garantizar que el sistema MONSE pueda seguir ofreciendo sin problemas un monitoreo detallado de las sequías en Ecuador se consideró esencial que los datos utilizados para calcular los índices estuvieran disponibles de forma gratuita en plataformas en línea. Lo ideal es que estas plataformas permitan automatizar la descarga de datos de forma regular, preferiblemente mediante acceso por API, ya que esto evita la necesidad de procesamiento manual. En cuanto a la resolución temporal de los datos, estos deben actualizarse al menos una vez al mes, ya que esa es la frecuencia con la que se actualizan actualmente los resultados del sistema.

Los beneficios que ofrecen los distintos índices analizados, así como las limitaciones que presentan, se describen en detalle en la explicación de cada uno y se resumen en la tabla **Error! Reference source not found.**

Algunos de los índices introducidos en la tabla, aunque se basan principalmente en datos de teledetección, requieren información que normalmente se recoge en terreno, así como posiblemente el uso de mapas de cobertura y uso del suelo (LULC), lo que implica tener conocimiento del contexto al que se refieren los datos y de su evolución en el tiempo. Tales índices no han sido incluidos en MONSE por el momento, pero podrían considerarse para futuras incorporaciones, en caso de que los datos y la información necesaria estén disponibles.

B.1 Índice de Vegetación Mejorado (EVI)

El EVI (o “Enhanced Vegetation Index” en inglés) fue desarrollado en 2002 por Huete y su equipo en la Universidad de Arizona, en colaboración con instituciones brasileñas. Este índice utiliza datos satelitales del sensor MODIS para evaluar el estado de la vegetación, mostrando una mayor sensibilidad a las variaciones en el dosel, su tipo, arquitectura y fisiognomía vegetal, en comparación con el NDVI (Índice de Vegetación por Diferencia Normalizada). A diferencia del NDVI, que se basa en una fórmula simple con bandas roja e infrarroja, el EVI incorpora también la banda azul y factores de corrección que permiten reducir los efectos del suelo y de la atmósfera, como el polvo o el humo. Esto lo hace más preciso en zonas con vegetación densa o condiciones atmosféricas complejas. Es especialmente útil para detectar estrés hídrico y cambios inducidos por sequías en áreas agrícolas.

El Índice de Vegetación Mejorado (EVI) ofrece imágenes de alta resolución espacial y una cobertura eficaz en diversos tipos de terreno, incluyendo zonas con vegetación densa donde otros índices, como el NDVI, tienden a saturarse. Sin embargo, el EVI también presenta

limitaciones importantes. En particular, el estrés detectado en el dosel vegetal mediante EVI puede deberse a múltiples factores, como enfermedades, estrés térmico, prácticas agrícolas o contaminación, además de la sequía. Esta ambigüedad en la señal espectral dificulta la atribución precisa de la causa del estrés, lo que puede limitar su utilidad en aplicaciones que requieren diagnósticos específicos, como la monitorización de sequías agrícolas o la gestión de recursos hídricos. Además, el corto historial de datos satelitales complica su uso en estudios climáticos de largo plazo. La metodología y fórmulas del EVI están disponibles en la literatura científica, y existen recursos en línea que permiten acceder a productos derivados de este índice.

Los datos mensuales del índice EVI pueden descargarse de forma automatizada mediante API desde el producto MODIS MOD13A3.061 proporcionado por NASA LP DAAC, sin requerir procesamiento manual. Para más detalles, se recomienda consultar la publicación de Huete et al. (2002)

B.2 Índice de Estrés evaporativo (ESI)

Desarrollado en 2011 por Anderson y colaboradores del Departamento de Agricultura de EE. UU., la Universidad de Alabama-Huntsville y la Universidad de Nebraska-Lincoln, el ESI mide anomalías en la evapotranspiración real comparándolas con valores climatológicos esperados para la misma época del año. A diferencia de índices como el NDVI, que reflejan el verdor actual de la vegetación, el ESI detecta condiciones de estrés hídrico antes de que se manifiesten visualmente. Utiliza datos satelitales de temperatura de la superficie terrestre y radiación para estimar el uso del agua por parte de la vegetación, sin requerir datos de lluvia.

El índice puede verse afectado por la cobertura nubosa, y su corto período de registro limita su aplicación en estudios climáticos de largo plazo (WMO and GWP, 2016). También, el índice es sensible a prácticas de riego, ya que las zonas irrigadas presentan mayores tasas de evapotranspiración, lo que puede atenuar la señal de estrés.

El Índice de Estrés Evaporativo (ESI) está disponible a nivel global, incluyendo Ecuador, con una resolución espacial aproximada de 5 km y una frecuencia temporal de 4 o 12 semanas. La serie de datos abarca desde el año 2001 hasta la actualidad y puede descargarse de forma gratuita en formatos GeoTIFF o TIFF. El acceso se puede realizar a través del portal de datos globales de SERVIR, disponible en el sitio web de UN-SPIDER, mediante un visor interactivo o descarga directa.

Se recomienda la utilización y/o integración con datos de campo para calibrar la información de teledetección y reducir la incertidumbre en los resultados.

La metodología está documentada en la literatura científica. Para más información, se recomienda consultar la publicación de Anderson et al. (2011).

B.3 Índice de la Condición de la Vegetación (VCI)

El VCI ("Vegetation Condition Index") fue desarrollado por Kogan en 1995 en la NOAA, también utilizando datos del sensor AVHRR (desde 1981) y VIIRS (desde 2013).

Este índice permite identificar eventos de sequía y determinar su inicio, duración y severidad, comparando los cambios en la vegetación con valores históricos para una misma ubicación. Es especialmente útil en contextos agrícolas para evaluar el impacto de la sequía sobre la vegetación. Al igual que otros índices, el VCI ofrece datos de alta resolución y buena cobertura espacial, pero es vulnerable a la interferencia de nubes y su corto historial limita su aplicación en estudios climáticos de largo plazo.

La fórmula es:

$$VCI = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right) * 100$$

Aunque el NDVI es ampliamente utilizado para evaluar la condición de la vegetación, sus valores están influenciados por prácticas agrícolas como el tipo de cultivo, la rotación o el manejo del riego. Tales prácticas pueden modificar la respuesta espectral de la vegetación independientemente de la presencia de sequía. Por ejemplo, un cultivo irrigado puede presentar valores elevados de NDVI incluso en condiciones de sequía regional. Asimismo, el tipo de vegetación y su estado fenológico afectan la interpretación del índice. En consecuencia, el análisis de series temporales de NDVI para la evaluación de sequías requiere un conocimiento detallado del contexto local, incluyendo el uso del suelo, los cambios en la cobertura vegetal y las prácticas de manejo, para evitar sesgos en la interpretación de los datos y en la identificación de anomalías.

La metodología y cálculos están descritos en la literatura científica, y hay recursos en línea disponibles para acceder a productos VCI. Para más detalles, se recomienda consultar las publicaciones de Kogan (1995).

B.4 Índice de Salud de la Vegetación (VHI)

El Índice de Salud de la Vegetación (VHI), desarrollado por Kogan en la NOAA, permite evaluar el estrés vegetal asociado a la sequía mediante datos satelitales. Se calcula como una combinación ponderada del Índice de Condición de la Vegetación (VCI) y del Índice de Condición Térmica (TCI), ambos derivados de observaciones AVHRR y VIIRS. El Índice de Salud de la Vegetación (VHI) ofrece cobertura global en alta resolución y se publica semanalmente, con datos generados por el sistema de productos de salud de la vegetación de NOAA/NESDIS STAR.

El índice VCI presenta diversas limitaciones que requieren un conocimiento detallado del contexto local para una interpretación adecuada de los resultados. Consúltense al respecto el párrafo B.3. En consecuencia, la correcta interpretación del VHI, que como se ha mencionado se calcula a partir de los valores de VCI y TCI, depende de que dichas limitaciones sean abordadas adecuadamente durante el análisis. Por más detalles, se hace referencia a WHO y GWP (2016).

B.5 Índice de Respuesta de la Vegetación a la Sequía (VegDRI)

El Índice de Respuesta de la Vegetación a la Sequía (VegDRI), desarrollado por un equipo de científicos del Centro Nacional de Mitigación de Sequías (NDMC), el USGS EROS y el United States Geological Survey Flagstaff Field Center, es conocido por su sigla en inglés ("Vegetation Drought Response Index"). Este índice integra datos satelitales de NDVI con información climática, variables biofísicas y datos sobre el uso del suelo para generar mapas semanales que reflejan el impacto de la sequía en la vegetación.

Gracias a su enfoque híbrido, el IRVS permite una evaluación detallada de la respuesta de la vegetación ante condiciones de sequía, aunque su aplicación se ha centrado principalmente en el territorio de Estados Unidos. Por más detalles, se hace referencia a WHO y GWP (2016).

B.6 Índice de Satisfacción de los Requerimientos Hídricos (WRSI)

El Índice de Satisfacción de los Requerimientos Hídricos (ISRH) fue desarrollado por la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) con el objetivo de monitorear el rendimiento de los cultivos en regiones vulnerables a la hambruna. Este índice evalúa el desarrollo de los cultivos durante la temporada de crecimiento mediante la relación entre la evapotranspiración real y la potencial, adaptándose a las características específicas de cada cultivo. Por ello, es fundamental contar con información precisa sobre el uso del suelo y los tipos de cultivos presentes en cada área, ya que el ISRH se basa en parámetros agronómicos que varían significativamente entre especies y prácticas agrícolas. La correcta identificación de

los cultivos en el terreno permite mejorar la interpretación del índice y aumentar la fiabilidad de los resultados.

El ISRH ofrece datos de alta resolución y buena cobertura espacial, aunque factores distintos a la disponibilidad de agua pueden influir en los resultados. Además, las estimaciones de precipitación basadas en datos satelitales presentan márgenes de error que afectan la precisión de los modelos de cultivo utilizados (WMO and GWP, 2016).

Esta metodología fue descrita por Verdin y Klaver (2002) en su estudio sobre el sistema de alerta temprana para hambrunas, donde se propone un enfoque de contabilidad hídrica a nivel de celda de grilla

B.7 Índice de Diferencia de Humedad Normalizada (NDMI)

El NDMI es una medida derivada de datos de teledetección que permite estimar el contenido de humedad en la vegetación y monitorear condiciones de sequía a gran escala. Se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{NDMI} = \frac{\text{NIR} - \text{SWIR}}{\text{NIR} + \text{SWIR}}$$

donde NIR es la banda del infrarrojo cercano y SWIR del infrarrojo de onda corta. Esta formulación fue propuesta originalmente por Gao (1996), quien utilizó las propiedades ópticas de las bandas NIR y SWIR para estimar el contenido de humedad en la vegetación. La reflectancia en la banda NIR está relacionada con la integridad estructural de la vegetación, mientras que la del SWIR disminuye a medida que aumenta el contenido de agua, ya que esta banda es fuertemente absorbida por el agua presente en los tejidos vegetales.

El NDMI proporciona un incremento de las capacidades del sistema para monitorear la sequía agrícola, particularmente al proporcionar información sobre el estrés hídrico de la vegetación, lo cual complementa la información proporcionada por los índices basados en vegetación, como el NDVI, y precipitación, SPI. Mientras que el índice NDVI refleja el verdor de la vegetación, el NDMI añade la dimensión de la humedad, ayudando a distinguir entre vegetación sana pero seca y vegetación realmente estresada hídricamente. El NDMI también resulta útil para monitorizar el riego de los cultivos y la identificación de zonas propensas a incendios.

Debe tenerse en cuenta que, en la literatura científica, se emplean distintos acrónimos para referirse a índices relacionados con la humedad o el estado de la vegetación. Por ejemplo, Gao (1996) utiliza el término NDWI (Normalized Difference Water Index), que puede generar confusión. En este entregable, se hace referencia exclusivamente al índice calculado a partir de las bandas del infrarrojo cercano (NIR) y del infrarrojo de onda corta (SWIR), por lo que cualquier mención al índice debe entenderse en ese contexto específico.

B.8 Índice de Sequía de Diferencia Normalizada (NDDI)

El índice NDDI, "Normalized Difference Drought Index" o Índice de Sequía de Diferencia Normalizada, fue desarrollado por Wang et al. (2001) y combina dos indicadores ampliamente utilizados en teledetección: el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) y el NDMI ("Normalized Difference Moisture Index"), para detectar déficits hídricos con mayor precisión. El NDMI estima el contenido de agua en la vegetación usando bandas NIR y SWIR, pero puede dar valores bajos tanto en condiciones de sequía como en zonas sin vegetación, lo que genera ambigüedad. El NDDI reduce esta incertidumbre al incorporar también el NDVI, que refleja el vigor de la vegetación. Así, permite diferenciar mejor entre vegetación estresada por sequía y superficies sin cobertura vegetal, ofreciendo una evaluación más fiable en paisajes heterogéneos.

Valores altos de NDMI indican un alto contenido de agua en el follaje o presencia de agua superficial, mientras que valores bajos o negativos reflejan vegetación estresada, suelos secos o superficies sin agua.

La lógica del NDDI consiste en combinar estos dos indicadores mediante la fórmula:

$$\text{NDDI} = \frac{\text{NDVI} - \text{NDMI}}{\text{NDVI} + \text{NDMI}}$$

Un valor alto de NDDI indica que la señal proviene de vegetación activa (NDVI alto) que presenta baja humedad (NDMI bajo), lo que sugiere condiciones de sequía. En cambio, cuando tanto el NDVI como el NDMI presentan valores elevados, la diferencia entre ellos es pequeña en relación con su suma, lo que da lugar a un valor bajo de NDDI y sugiere condiciones normales o húmedas en la vegetación. Es importante considerar que un valor bajo de NDDI también puede deberse a la ausencia de vegetación, por lo que su interpretación debe hacerse con precaución en zonas con cobertura vegetal escasa o nula. Actualmente el NDMI, necesario para calcular el NDDI, no cuenta con un servicio API que permita consultas automáticas, por lo tanto, el cálculo de NDDI puede implicar un procesamiento significativo después de la descarga de datos..

B.9 Índice de Evaluación de Sequías Rápidas

El índice de sequía rápida (flash-drought en inglés) se basa en actualizaciones semanales del índice SPEI (dependiente de la precipitación y la evapotranspiración) y permite una detección temprana de eventos de sequía súbita, siendo de utilidad para actores que requieren respuestas inmediatas, como agricultores, autoridades de protección civil y gestores de emergencias.

Según el enfoque metodológico propuesto por Noguera et al. (2023), aplicado en España, las sequías rápidas se definen principalmente por su tasa de intensificación, más que por su duración. Para capturar adecuadamente su inicio repentino, es necesario contar con datos recopilados y procesados a intervalos semanales.

Las sequías rápidas se manifiestan a través de una combinación de alta demanda evaporativa, descenso abrupto de la humedad del suelo, estrés vegetal y una falta repentina de precipitación.

En una escala temporal de un mes, se considera que ocurre una sequía rápida cuando el índice SPEI-1 (es decir, el SPEI calculado utilizando el balance hídrico acumulado durante el último mes) presenta una disminución igual o superior a 2 unidades en un período de cuatro semanas, alcanzando un valor final igual o inferior a -1.28. En la aplicación de este índice en el monitor de sequías repentinas de España (accesible en https://flash-drought.csic.es/#map_name=flash01#map_position=3095.) este umbral se asigna a condiciones de sequía moderada y se asocia estadísticamente a un período de retorno de aproximadamente diez años, aunque dicho valor puede variar en función del contexto climático regional. El índice se evalúa comparando el valor semanal con los valores correspondientes de las cuatro semanas anteriores (por ejemplo, la semana 3 con la semana 0, la semana 4 con la semana 1, etc). Si la diferencia entre ambos valores cumple con el descenso mínimo (2 unidades) y el valor final alcanza o supera el umbral negativo (-1.28), se considera que ha comenzado una sequía rápida, asignando su inicio a la semana final del período de comparación en la que se cumplen simultáneamente ambos criterios (y no a la semana en que el índice comenzó a disminuir).

Table B.1: Evaluación Comparativa de Índices de Vegetación y Sequía para Aplicaciones en Monitoreo Ambiental y Agrícola

N°	Índice	Fuente / Composición	Datos Requeridos	Limitaciones	Potencial de Inclusión Futura
1	Índice de Vegetación Mejorado (EVI)	MODIS; Huete et al. (2002)	Bandas roja, azul, NIR + corrección atmosférica	Puede detectar estrés no relacionado con sequía; serie temporal limitada.	Sí, especialmente útil en zonas agrícolas con vegetación densa. La inclusión de EVI en MONSE puede complementar los resultados del índice NDVI.
2	Índice de Estrés Evaporativo (ESI)	USDA; Anderson et al. (2011);	Evapotranspiración real vs climatológica	Influenciado por riego y nubosidad; serie temporal limitada.	Limitado, útil en zonas con monitoreo agrícola detallado. Además, sería recomendable contar con datos de campo, como estaciones meteorológicas o humedad del suelo, para validar la estimación de la evapotranspiración.
3	Índice de Condición de la Vegetación (VCI)	AVHRR/VIIRS; Kogan (1995)	NDVI histórico + conocimiento de LULC	Sensible a cambios en el paisaje y nubosidad. Su interpretación requiere conocimiento contextual de las áreas en examen, a lo largo de la serie histórica.	Sí, en caso de que se abordaran las limitaciones. Necesario por el cálculo del índice compuesto VHI.
4	Índice de Salud de la Vegetación (VHI)	VCI + TCI; AVHRR/VIIRS; Kogan (2001)	NDVI + temperatura de brillo (BT)	Serie temporal limitada. Potencial incertidumbre debida a l' utilización de VCI	Sí, en caso de que se abordaran las limitaciones.
5	VegDRI (Índice de Respuesta de la Vegetación a la Sequía)	NDMC, USGS; Brown et al. (2008)	NDVI + clima + suelo + LULC	Requiere datos locales detallados.	Limitado, aplicable si se dispone de datos de campo confiables.
6	Índice de Satisfacción de Requerimientos Hídricos (WRSI)	FAO; Verdin & Klaver (2002)	ET real vs potencial + tipo de cultivo	Requiere identificación precisa de cultivos. Las estimaciones satelitales de precipitación presentan errores que afectan los modelos de cultivo y el balance de evapotranspiración.	Limitado, requiere conocimiento contextual de las áreas en examen. Útil en estudios regionales con datos agronómicos.

N°	Índice	Fuente / Composición	Datos Requeridos	Limitaciones	Potencial de Inclusión Futura
7	Índice de Diferencia de Humedad Normalizada (NDMI)	MODIS/Landsat; Gao (1996)	Bandas SWIR + NIR	Requiere configuración API y procesamiento adicional.	Sí, previa registración en el sitio https://espa.cr.usgs.gov/ y procesamiento adicional de los datos descargados mediante API.
8	Índice de Sequía de Diferencia Normalizada (NDDI)	Wang et al. (2001)	NDVI + NDMI; productos VIIRS	Requiere procesamiento adicional; sensible a áreas sin vegetación.	Sí, si se automatiza el acceso a datos y NDMI está disponible.
9	Índice de Evaluación de Sequías Rápidas	SPEI semanal; Noguera et al. (2023), Otkin et al. (2018)	Datos semanales, posiblemente de campo	Requiere una actualización semanal de los parámetros que informan el cálculo del índice de sequía SPEI, lo cual actualmente no es posible mediante datos de teledetección.. Para calcular el SPEI se necesitan series temporales de precipitación acumulada y datos de evapotranspiración potencial.	Sí, se dispone de datos semanales.

C Listado de reuniones

En la siguiente tabla se detallan las reuniones mantenidas con distintos actores durante la visita de Marta Roca y Mario Bianco, del equipo de HR Wallingford en el Reino Unido, en Quito que tuvo lugar entre los días 26 y 29 de Mayo.

Table C.1: Listado de reuniones y actividades en Quito

Día	Listado de reuniones y actividades
27/05/2025	12:00 Reunión en el CONDESAN sobre la gestión del proyecto de Neutralidad de la Tierra 13:15 Reunión con Yessenia Alquina (MAATE) para la preparación del taller del día 28 18:00 Reunión con Flavio Carrera, colaborador del proyecto en aspectos de género
28/05/2025	9:00 – 13:30 Taller en las instalaciones del INAMHI (detalles en el Anexo D) 13:30 – 14:30 Reunión con INAMHI y CIIFEN en las instalaciones del INAMHI para discutir aspectos técnicos del monitor 16:00-17:15 Reunión con Johnny Mena y Yessenia Alquina en el MAATE para discutir sobre la actualización del Plan Nacional de Sequía
29/05/2025	12:00 Reunión en la Embajada Británica en Quito para presentar el proyecto MONSE

Además, durante esta fase del proyecto han tenido lugar diversas reuniones virtuales en las que se han presentado los avances realizados, tanto desde un punto de vista técnico como de gestión. La siguiente table muestra un listado de estas actividades.

Table C.2: Listado de reuniones y actividades virtuales

Día	Listado de reuniones y actividades
12/06/2025	Reunión con Mario López, especialista en el monitor de sequías de México
31/07/2025	Reunión con el MAATE e INAMHI para presentar avances del proyecto
14/08/2025	Discusión con CIIFEN sobre aspectos técnicos del monitor
28/08/2025	Reunión con el equipo del Plan Nacional de Sequía con el fin de articular acciones entre ambos equipos
30/09/2025	Reunión con el MAATE e INAMHI para presentar avances del proyecto

D Resumen del taller presencial

D.1 Introducción

El taller realizado el día 28 de Mayo de 2025 en las instalaciones del INAMHI en Quito se enmarca dentro de las actividades del proyecto de actualización del sistema de monitoreo de sequías en Ecuador (MONSE).

Los objetivos del taller eran:

- Presentar el sistema MONSE así como el proyecto de actualización que actualmente se está desarrollando
- Crear un espacio para que las instituciones involucradas en la gestión de la sequía compartan sus necesidades y definan también los contenidos de los futuros boletines del sistema

D.2 Participantes

Los participantes en el taller fueron convocados por el MAATE. En total, participaron 32 personas de las cuales, 10 eran mujeres. Las instituciones y organizaciones presentes en el taller se presentan en la siguiente tabla:

Table D.1: Listado de instituciones presentes en el taller

#	Institución
1	CELEC – Corporación Eléctrica del Ecuador
2	CIIFEN – Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño
3	Consultora GIZ – Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) (Agencia Alemana de Cooperación Internacional)
4	Cruz Roja – Cruz Roja Ecuatoriana
5	Embajada Británica
6	FAO – Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
7	INAMHI – Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
8	INEC – Instituto Nacional de Estadística y Censos
9	Instituto Universitario San Francisco de Quito
10	MAATE – Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (Dirección de Adaptación al Cambio Climático, Dirección De Información)
11	MAG – Ministerio de Agricultura y Ganadería (Dirección de Riesgos y Aseguramiento Agropecuario)
12	PMA – Programa Mundial de Alimentos
13	SNGR – Secretaría de Gestión de Riesgos
14	Universidad Central del Ecuador
15	Universidad de Shamar

El listado de participantes se presenta en el **Apéndice 1**. El nombre de uno de los participantes no pudo ser identificado en la hoja de registro original, por lo que la lista de participantes incluida en el **Apéndice 1** contiene únicamente 31 nombres, aunque el número total de asistentes fue de 32.

D.3 Agenda y metodología

La agenda del taller se presenta en la siguiente tabla. Durante el taller y debido al debate generado alrededor de algunas de las presentaciones, se modificó ligeramente la agenda de la siguiente manera:

- La actividad sobre el MONSE y el Plan Nacional de Sequía se realizó sólo con los participantes de uno de los grupos
- El cierre del taller se prolongó hasta las 13:30

Table D.2: Agenda del taller

Hora	Contenido
09:00	Registro
09:10	Bienvenida por parte del INMAHI y el MAATE

Hora	Contenido
09:15	Presentaciones técnicas: ● Herramienta de monitoreo de sequías, MONSE (CIIFEN) ● El monitor de sequías de Ecuador (INAMHI) ● Proyecto de actualización de MONSE (HRW) ● Aspectos de género en el ámbito de la sequía (Flavio Carrera – del equipo de HRW) ● Aspectos técnicos del monitoreo de sequías –indicadores de sequía (HRW)
10:30	Pausa
10:50	Presentaciones técnicas (continuación): ● Red Volunclima (CIIFEN) ● El papel de la Mesa Técnica Agroclimática (MAG)
11:15	Actividad sobre MONSE y el Plan Nacional de Sequía
11:45	Actividad sobre el boletín de sequías
12:45	Cierre

En la sección D.4.1 se ofrece una breve descripción de las distintas presentaciones. El objetivo de las presentaciones era mostrar a los participantes el monitor de sequías, el proyecto de actualización, así como ofrecer información sobre el monitoreo de sequías y su gestión desde distintos ángulos.

Como parte de la actividad participativa sobre los **boletines de sequía** (uno de los productos clave del proyecto), tres grupos trabajaron de forma independiente, acompañados por una persona consultora de HR Wallingford. Los grupos reflexionaron sobre quién debería recibir el boletín, qué tipo de información debería incluir, cómo presentarla y cómo facilitar su acceso. Las conclusiones de la actividad se presentan en la sección D.5. Las preguntas propuestas se presentan en el **Apéndice 20** y las conclusiones de los tres grupos en el **Apéndice 3**.

También, uno de los grupos realizó la actividad sobre MONSE y el Plan Nacional de Sequía. En esta dinámica, se les pidió identificar acciones clave con el objetivo de reforzar la contribución de MONSE al Plan Nacional de Sequía y afianzar su rol estratégico en dicho marco. La actividad se llevó a cabo formulando preguntas a los participantes y ofreciéndoles la posibilidad de responder utilizando la plataforma Mentimeter. Los resultados de la actividad se discuten en la sección D.6. Las preguntas y las respuestas obtenidas se presentan en el **Apéndice 4**.

D.4 Descripción de las actividades

D.4.1 Presentaciones

A continuación se presenta una breve descripción de cada una de las presentaciones:

- **Herramienta de monitoreo de sequías, MONSE**, a cargo de Pier Maquillon del CIIFEN. La presentación ofreció una visión general del sistema MONSE y cómo se enmarca dentro del resto de monitores nacionales de la región.
- Presentación a cargo de Darwin Rosero (INAMHI) sobre **el monitor de sequías de Ecuador**, en la que se explicó el funcionamiento técnico del sistema, incluyendo los índices utilizados, la categorización de los tipos de sequía según su gravedad y la generación automatizada de productos. Se destacó su integración con el monitor regional del Observatorio de Sequías para los Andes OSA y el uso de métodos de calibración como el Análisis de Componentes Principales (ACP).

- Presentación a cargo de Marta Roca de HR Wallingford sobre el proyecto de **actualización del sistema de monitoreo de sequías MONSE**, en la que se detallaron los objetivos, componentes y entregables del proyecto en curso, financiado por CTCN (Centro y Red de Tecnología del Clima) y liderado por MAATE, INAMHI y HR Wallingford. Se pusieron en evidencia como prioridades futuras las mejoras en la calidad de los datos, la experiencia de usuario, la operabilidad y la sostenibilidad del sistema. También entre los productos generados por el proyecto se mencionaron la creación de boletines y el fortalecimiento de la gobernanza mediante la conformación de un Grupo de Trabajo sobre la Sequía.
- Intervención de Flavio Carrera Verdesoto, consultor de HR Wallingford, en la que se abordaron los **aspectos de género en el contexto de la sequía**, con énfasis en su impacto desproporcionado sobre las mujeres y la necesidad de integrar esta perspectiva en la gobernanza hídrica. Se presentaron los resultados del estudio de género realizado en el marco del proyecto de actualización del sistema MONSE, basado en entrevistas y análisis documental, destacando desigualdades en roles, participación, acceso a la información y oportunidades de transformación.
- Mario Bianco de HR Wallingford explicó cómo los **distintos tipos de sequía** (meteorológica, agrícola o hidrológica) están relacionados con diferentes partes del ciclo del agua, como la lluvia, la humedad del suelo o el caudal de los ríos. También señaló que estos fenómenos pueden surgir cuando entra poca agua al sistema o cuando se pierde demasiada. Luego presentó los **índices utilizados en MONSE**, como SPI (Índice de Precipitación Estandarizado), SPEI (Índice de Precipitación-Evaporación Estandarizado), NDVI (Índice de Vegetación De Diferencia Normalizada), destacando el uso de teledetección para su cálculo y análisis.
- Intervención a cargo de Natalia Rumazo, Directora de Riesgos y Aseguramiento Agropecuario del MAG, sobre el papel de la **Mesa Técnica Agroclimática**, centrada en su función como espacio de articulación interinstitucional para enfrentar los desafíos del cambio climático en el sector agropecuario. Se explicó cómo las Mesas, tanto a nivel nacional como provincial, reúnen a entidades como MAG, INAMHI, GADs (Gobiernos Autónomos Descentralizados), academia y otros actores para generar recomendaciones agroclimáticas basadas en análisis técnicos y participativos. Además, se abordó la elaboración y difusión del **Boletín Agroclimático** con información procesada y útil para productores, así como el enfoque de fortalecimiento de las capacidades locales, mejora de la precisión de las predicciones climáticas y diseño de herramientas centradas en las necesidades de los usuarios.
- Intervención de Pier Maquilón del CIIFEN sobre la **Red Volunclima**, una iniciativa de ciencia ciudadana impulsada por CIIFEN para fortalecer el monitoreo de precipitaciones, sequías e impactos extremos en zonas con escasa cobertura instrumental. Se explicó el funcionamiento de la red, el rol de las personas voluntarias, las herramientas utilizadas y la generación de boletines mensuales, así como los esfuerzos en alfabetización climática y expansión territorial.



Photograph D.1: Marta Roca, de HR Wallingford, presenta los avances del proyecto de actualización del sistema de monitoreo de sequías MONSE

Source: HR Wallingford



Photograph D.2: Natalia Rumazo, Directora de Riesgos y Aseguramiento Agropecuario del MAG, durante su intervención sobre el papel estratégico de la Mesa Técnica Agroclimática en la gestión del riesgo climático en el sector agropecuario

Source: HR Wallingford

D.5 Actividad sobre el boletín de sequías

En la actividad sobre el boletín de sequías se formaron tres grupos a los que se entregaron un listado de preguntas para fomentar la discusión (**Apéndice 2**). Al final de la actividad, las conclusiones de cada grupo fueron presentadas a todos los participantes (recogidas en el **Apéndice 3**).

Existió un consenso general en que el boletín debe dirigirse a tomadores de decisiones y sectores técnicos como energía, agricultura, gestión de riesgos y agua potable, con un enfoque centrado en la implementación a nivel local. El grupo 1 añadió a las comunidades locales como destinatarios relevantes, mientras que el grupo 3 propuso también incluir a la ciudadanía general, autoridades nacionales, la academia y entidades como MAATE. Respecto al tono, se coincidió en la necesidad de un enfoque mixto: técnico para los actores institucionales y más generalista para otros públicos.

En relación con el contenido, todos los grupos propusieron una cobertura amplia. Se destacó la oportunidad de incluir información del monitoreo de sequía y de otras fuentes confiables, como pronósticos del CNRF o datos internacionales (por ejemplo, NOAA). El grupo 2 subrayó la importancia de abordar los cuatro tipos de sequía (meteorológica, agrícola, hidrológica y socioeconómica), mientras que el grupo 3 abogó por incluir indicadores sectoriales, impactos diferenciados, persistencia, probabilidad de ocurrencia y efectos de fenómenos extremos como olas de calor. Todos consideraron importante incorporar mapas, tablas, explicaciones para

interpretar los resultados y en algunos casos también bibliografía. El grupo 3 propuso añadir enlaces a videos explicativos. En cuanto a las recomendaciones, el grupo 1 y el grupo 2 coincidieron en que deberían incluirse sugerencias específicas para los sectores, mientras que el grupo 3 se mostró en contra de recomendaciones generales.

En cuanto al formato, todos los grupos coincidieron en la necesidad de boletines descargables en PDF. También se mencionaron otros medios de presentación como visualización web, aplicaciones móviles (grupo 2), mapas, texto y tablas. El grupo 1 propuso una estructura basada en regiones, mientras que el grupo 3 sugirió organizar la información tanto por tipo de sequía como por sector y región o cuenca hídrica.

En cuanto a la periodicidad, el grupo 1 planteó boletines trimestrales ordinarios con versiones extraordinarias quincenales, mientras que los grupos 2 y 3 coincidieron en una periodicidad mensual, con posibilidad de reanálisis quincenal.

Respecto al acceso, los tres grupos defendieron el acceso libre y público. El grupo 1 propuso distribución adicional por correo o WhatsApp, el grupo 2 enfatizó la necesidad de mejoras continuas, y el grupo 3 sugirió enlaces institucionales y envío por correo electrónico. Además, este último grupo añadió un comentario sobre la necesidad de contar con soporte para la visualización del monitor.

Entre los principales puntos en común que surgieron a lo largo de la actividad, se destacan varios elementos clave:

- Todos coincidieron en que el boletín debe ser de acceso libre y contar con una distribución digital efectiva, ya sea por correo electrónico, enlaces institucionales o mensajería directa como WhatsApp.
- El público objetivo debe ser amplio, incluyendo tanto a tomadores de decisiones como a sectores técnicos clave.
- Se consideró adecuado adoptar un lenguaje mixto, técnico para ciertos públicos y más accesible para otros.
- El boletín debe integrar distintos tipos de información: índices de sequía, mapas, pronósticos, explicaciones para interpretar los datos y bibliografía.
- El formato PDF fue aceptado por todos como base común, complementado con presentaciones visuales como mapas y tablas.

Por otro lado, también se identificaron algunas diferencias relevantes entre los grupos:

- Algunos grupos propusieron incluir a comunidades locales y ciudadanía general como parte del público objetivo, mientras que un grupo sugirió mantener un enfoque marcadamente técnico.
- Hubo distintas opiniones sobre la frecuencia de publicación: uno propuso una estructura trimestral con boletines extraordinarios quincenales, mientras que los otros optaron por una publicación mensual con revisiones periódicas.
- La estructura del boletín también fue objeto de debate: mientras un grupo sugirió organizarlo por **regiones**, otros sugirieron incluir una clasificación adicional por tipo de sequía y por cuenca hidrográfica.

Para cerrar, con base en los puntos en común y las diferencias entre los tres grupos, y considerando las preguntas iniciales, se puede proponer una estructura básica del boletín que incluya los elementos más valorados durante la actividad. Se propone que el boletín combine lenguaje técnico y accesible, y que esté dirigido tanto a autoridades como a sectores técnicos, sin excluir a comunidades locales o ciudadanía cuando corresponda.

El boletín podría incluir información del monitoreo nacional de sequía, condiciones actuales, persistencia, pronósticos, y análisis sectoriales. También se recomienda integrar mapas temáticos, tablas, explicaciones, bibliografía y enlaces a materiales complementarios. El formato PDF puede servir como base, complementado con elementos visuales y, si es viable, una versión móvil. La organización puede combinar enfoque por región, cuenca y sector. La

periodicidad más consensuada es mensual, con posibilidad de ediciones extraordinarias cuando sea necesario. El acceso debe ser público y facilitarse mediante múltiples canales digitales.

Esta propuesta refleja los acuerdos alcanzados, permite incorporar distintos niveles de información y ofrece flexibilidad para ajustarse a las capacidades institucionales y las necesidades de los usuarios.



Figure D.1: Elaboración de ideas por el Grupo 3

Source: HR Wallingford



Figure D.2: Grupo 2 desarrollando sus ideas

Source: HR Wallingford

D.6 Actividad sobre MONSE y el Plan Nacional de Sequía

Uno de los tres grupos (compuesto por siete personas) completó también la actividad destinada a recoger opiniones sobre el aporte de MONSE al Plan Nacional de Sequía. Aunque la actividad fue diseñada para recopilar retroalimentación de todos los participantes del taller, el tiempo limitado impidió que los otros dos grupos pudieran realizar la actividad.

Las respuestas recibidas reflejan un consenso en torno a la necesidad de mejorar la coordinación interinstitucional y la disponibilidad de información técnica.

Al responder las preguntas, el grupo coincidió unánimemente en que la integración actual de MONSE dentro de las fases de respuesta les parece adecuada.

Al responder sobre qué aspectos deberían considerarse para que la integración de MONSE en la gestión de las sequías sea más eficiente, se identificó la necesidad de mejorar la interoperabilidad, la accesibilidad y claridad de los datos, incorporar proyecciones y pronósticos climáticos, y fortalecer tanto la participación institucional como la de la sociedad civil para hacer más eficiente la integración de MONSE en la gestión de las sequías.

Los participantes coincidieron en que la difusión pública actual de MONSE no es suficiente para asegurar que la información llegue a los tomadores de decisiones. Para mejorar este proceso,

propusieron garantizar que la información sea clara, accesible desde diversas fuentes, actualizada, estandarizada y difundida por múltiples canales. También destacaron la importancia de identificar a los destinatarios clave y fortalecer la articulación con los puntos focales institucionales.

Los participantes propusieron distintas acciones para fortalecer MONSE, incluyendo: verificación de modelos, actualización metodológica con nuevas tecnologías, integración local mediante GAD y comités comunitarios, y alineación entre datos técnicos y comunitarios. También destacaron la articulación con sistemas nacionales de monitoreo, la elaboración de boletines predictivos y la cooperación interinstitucional para asegurar su sostenibilidad e impacto.

La última pregunta invitó a los participantes a indicar si ellos o sus organizaciones estarían dispuestos a involucrarse en futuras acciones relacionadas con MONSE. Como resultado, se compartieron 8 contactos, cuyos detalles se encuentran en el **Apéndice 4**.



Figure D.3: Grupo 1 trabajando juntos

Source: HR Wallingford

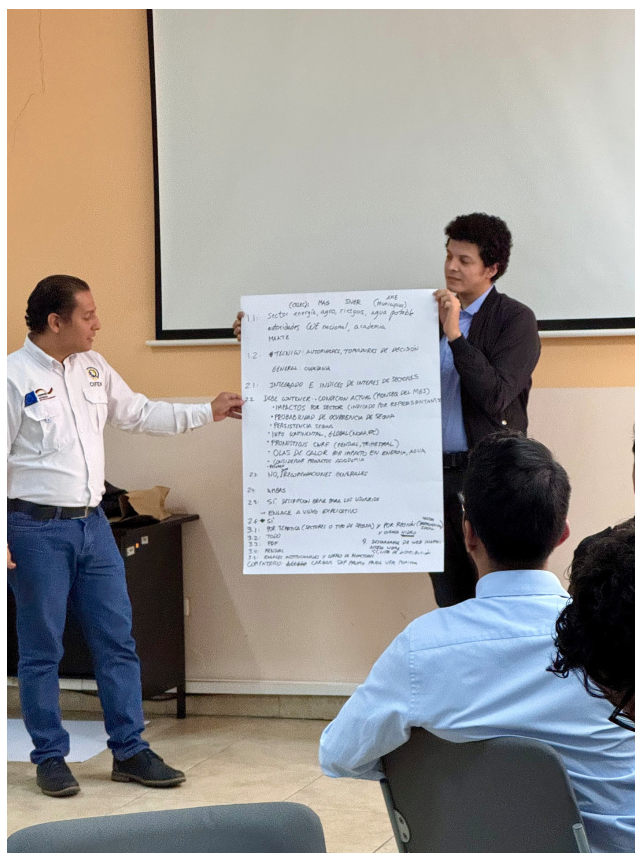


Figure D.4: Presentación de los resultados del grupo 3 del taller

Source: HR Wallingford

D.7 Conclusiones finales

El taller contó con una participación activa, reflejada en el intercambio durante presentaciones y actividades grupales. Se identificaron áreas clave para mejorar la integración de MONSE en la gestión de sequías, como la accesibilidad, interoperabilidad y claridad de los datos, el uso de pronósticos y una mayor participación institucional y social. También se señaló que la difusión actual de MONSE es limitada y se propusieron estrategias para hacerla más efectiva. En cuanto al boletín de sequía, se destacó la necesidad de que sea claro, accesible y adaptado a distintos públicos.

Uno de los aspectos más relevantes del trabajo grupal fue el consenso en torno a la necesidad de fortalecer el sistema MONSE, con el objetivo de que desempeñe un papel más eficaz y visible en la gestión de las sequías.



Photograph D.3: Foto de los participantes del taller, incluyendo al personal de MAATE, INAMHI y HR Wallingford

Source: HR Wallingford

D.8 Apéndice 1. Listado de participantes

Table D.3: Lista de participantes

#	Nombre	Institución	Correo electrónico
1	Alejandro Espín Pacheco	CELEC	alejandro.espin@celec.gob.ec
2	Alejandro Pineda	Cruz Roja	mandrade@cruzroja.org.ec
3	Amparo De Lourdes Condor Quishpe	INAMHI	acondor@inamhi.gob.ec
4	Andrés Tarira	MARTE DACC	Andrestarira@hotmail.com
5	Darwin Rosero	INAMHI - DIH	drosero@inamhi.gob.ec
6	Darwin Tipán	UCE	dntipan@uce.edu.ec
7	Elías Pantoja	MAG Dirección de Información	cpantoja@mag.gob.ec
8	Flavio Carrera Verdesoto	HR Wallingford	flavioandrescarrera@gmail.com
9	Henry Cárdenas	USFQ	hcardenas@iusfg.edu.ec
10	Javier Sarango	SNGR	jose.sarango@gestionderiesgos.gob.ec
11	Jimmy Cunduri	CELEC	jimmy.cunduri@celec.gob.ec
12	Josué Dueñas	MAATE- DACC	Josue.duenos@ambiente.gob.ec

#	Nombre	Institución	Correo electrónico
13	Juan Grando	INAMHI	jgrando@inamhi.gob.ec
14	Juan Sangucho	INEC	Juan_Sangucho@inec.gob.ec
15	Kevin Apolo	MAG Dirección de Información	kapol@mag.gob.ec
16	Lorena Acosta	Consultora GIZ	lorenaacostarivera7@gmail.com
17	Luis Poveda	MAATE	luis.poveda@ambiente.gob.ec
18	Maria José Galarza	PMA	mariajose.galarza@wfp.org
19	María Verónica Andrade	Cruz Roja	mandrade@cruzroja.org.ec
20	Mario Bianco	HR Wallingford	m.bianco@hrwallingford.com
21	Marta Roca	HR Wallingford	m.roca@hrwallingford.com
22	Natalia Rumazo	MAG Dirección de Riesgos y Aseguramiento Agropecuario	mrumazo@mag.gob.ec
23	Nicolle Resabala	UCE	ynresabala@uce.edu.ec
24	Paul Velarde	Unitshamar	paul.velarde@unitshamar.com
25	Pier Maquilón Lipari	CIIFEN	p.maquilon@ciifen.org
26	Ricardo Zevallos Mosquera	CIIFEN	r.zevallos@ciifen.org
27	Sabina Ortiz	Cruz Roja	mandrade@cruzroja.org.ec
28	Tania Elizabeth Teran Almeida	MAG Dirección de Aseguramiento	tteran@mag.gob.ec
29	Valeria Cadena	Embajada Británica	valeria.cadena@fcdo.gov.uk
30	Wilmer Jiménez	MAG Dirección de Aseguramiento	wjimenez@mag.gob.ec
31	Yessenia Paola Alquina Herrera	MAATE - DACC	yessenia.alquina@ambiente.gob.ec

D.9 Apéndice 2. Listado de preguntas de la Actividad sobre el Boletín

¿Para quién?

- ¿Quién creen que debería ser el público objetivo del boletín?
- ¿Cuál debe ser el tono del boletín: técnico, científico, generalista...?

¿Qué información debe contener?

- ¿Información del monitor (distintos índices) solamente?
- ¿Información de otras fuentes? ¿Cómo establecer la conexión con esas fuentes?
- ¿Incluir recomendaciones para los distintos sectores?
- ¿Mapas y/o información desglosada en tablas?
- ¿Explicaciones sobre cómo interpretar los resultados o sobre el monitor de sequía?
- ¿Incluir bibliografía?

¿Qué formato?

- ¿Cómo estructurar la información? ¿Por temática? ¿Por regiones?
- ¿Visual, texto, mapas, tablas...?
- ¿Documento en PDF u otro formato?
- ¿Periodicidad mensual o trimestral?
- ¿Con correos o enlaces a instituciones?

¿Cómo será el acceso al boletín?

- ¿Descargable desde la web libremente? ¿Enviado por correo a contactos que lo soliciten?

D.10 Apéndice 3. Respuestas de los distintos grupos en la actividad sobre los boletines

En los siguientes apartados se recogen las conclusiones finales de los grupos de trabajo presentados por representantes de cada grupo al auditorio.

Resultados del Grupo 1

¿Para quién?

El Grupo 1 identificó como público objetivo a los tomadores de decisiones, con un enfoque técnico-generalista, y a las comunidades locales.

¿Qué información debe contener?

Propusieron dividir la información en dos niveles:

- A nivel técnico, incluir datos de monitoreo, información de otras fuentes, mapas e interpretación de resultados.
- A nivel generalista, incorporar recomendaciones para distintos sectores y bibliografía de apoyo.

¿Qué formato?

Sugirieron que el boletín fuera descargable y visualizable, con una estructura organizada por regiones. En cuanto a la periodicidad, plantearon una edición trimestral para boletines ordinarios y una quincenal para ediciones extraordinarias.

¿Cómo será el acceso?

Recomendaron que el acceso se realice mediante descarga directa, además de su distribución por correo electrónico o WhatsApp.

Resultados del Grupo 2

¿Para quién?

El Grupo 2 indicó que el INAMHI ya distribuye boletines a actores clave de diversos sectores, como agricultura, energía, medio ambiente, gestión de riesgos y salud, con un enfoque centrado en la implementación a nivel local.

¿Qué información debe contener?

El boletín debe abordar los cuatro tipos de sequía: meteorológica, agrícola, hidrológica y socioeconómica.

Se recomendó que contenga mapas, datos históricos, escalas y mapas temáticos.

También se sugirió incorporar códigos QR que redirijan a documentos técnicos.

Cada sector debería recibir recomendaciones específicas.

Además, se consideró fundamental incluir explicaciones claras sobre cómo interpretar la información presentada.

¿Qué formato?

Se propuso utilizar servicios de comunicación interoperables, una memoria técnica en formato PDF y el desarrollo de una aplicación móvil.

La periodicidad sugerida fue mensual, complementada con un reanálisis quincenal.

¿Cómo será el acceso?

El acceso debe ser libre y público, y debe garantizarse un proceso continuo de mejora.

Resultados del Grupo 3

¿Para quién?

El grupo propuso que el boletín estuviera dirigido a sectores específicos como energía (CELEC), agro (MAG), gestión de riesgos (SNGR) y agua potable (AME – municipios).

También recordaron la importancia de incluir a autoridades, la WE nacional, academia y MAATE.

En cuanto al tono, acordaron que debería ser técnico para autoridades y tomadores de decisiones, y general para la ciudadanía.

¿Qué información debe contener?

El grupo coincidió en que debe ser un boletín integrado, que incluya índices relevantes para los sectores.

Contenido sugerido:

- Se propuso incluir condiciones actuales (como las del monitor MONSE del mes)
- Se identificó la necesidad de mostrar el impacto por sector (según sus representantes)
- Se sugirió incluir la probabilidad de ocurrencia de sequía
- Se recomendó mostrar la persistencia de la sequía
- Se mencionó la importancia de incluir información continental y global (ej. NOAA)
- Se acordó incorporar pronósticos del CNRF (mensuales y trimestrales)
- Se destacó la relevancia de incluir información sobre olas de calor por su impacto en energía y agua
- Se propuso organizar la información por región

Elementos adicionales:

- Se acordó no incluir recomendaciones generales
- Se sugirió incorporar mapas y tablas
- Se recomendó añadir una breve descripción general orientada a los usuarios, así como un enlace a un video explicativo
- Se indicó que debe incluirse bibliografía

¿Qué formato?

El grupo acordó que la estructura debe organizarse tanto por temática (tipos de sequía y sectores) como por región y cuenca hídrica.

Se propuso que el boletín incorpore todos los formatos posibles: texto, mapas, tablas.

El formato principal sería un PDF, con periodicidad mensual.

¿Cómo será el acceso?

Se estableció que el acceso será a través de enlaces institucionales y correo electrónico.

Además, se incluyó un comentario adicional sugiriendo que se cargue un soporte para visualizar el monitor.

D.11 Apéndice 4. Preguntas y respuestas obtenidas en la actividad sobre MONSE y el Plan Nacional de Sequía

El actual encaje de MONSE dentro de las fases de respuesta de la sequía,

¿le parece adecuado?

- Sí (6 respuestas)
- No (0 respuestas)
- No lo sé (0 respuestas)

(Una persona no respondió).

¿Qué aspectos deberían tenerse en cuenta para que el encaje de MONSE dentro de la gestión de las sequías fuera más eficiente?

- Ingresar información histórica y establecer una tendencia para proyecciones.
- Servicios interoperables.

- Verificación de datos, niveles de alerta, generación de pronósticos, accesibilidad a datos, comparación de datos del monitor con las proyecciones de cambio climático, y generación de escenarios de riesgo.
- Proyecciones.
- Claridad y accesibilidad de datos, umbrales/gatilladores para realizar análisis y escenarios probabilísticos.
- Participación: que cada organismo rector de su sector tenga un espacio en el comité directivo.
- Mecanismos de socialización de MONSE. Proceso de entrega oportuna de boletines o información generada para los tomadores de decisiones. Generar esquemas de predicción.
- Incluir la participación activa de la sociedad civil. Incorporación de pronósticos climáticos.
- Responsabilidad institucional para su adecuado manejo.

MONSE es accesible públicamente y además se generarán boletines que podrán ser descargados. ¿Es esto suficiente para garantizar que la información llega a los tomadores de decisión?

- Sí (0 respuestas)
- No (7 respuestas)
- No lo sé (0 respuestas)

¿Qué aspectos deberían tenerse en cuenta para fomentar una transmisión de información eficiente?

- Información interpretada para todo público.
- Uso, accesibilidad, difusión y actualización de la información.
- Información accesible desde varias fuentes.
- Información estandarizada, oportuna y de calidad.
- Articulación con los puntos focales de cada institución.
- Difusión de la metodología.
- Información libre en todas sus formas: descarga, etc.
- Identificar el grupo objetivo de actores y tomadores de decisiones para el envío de información.
- Procesos de difusión a través de diferentes canales para garantizar el acceso a más usuarios.

¿Qué acciones pueden reforzar la mejora continua de MONSE?

- Verificación de la funcionalidad de los modelos.
- Seguimiento constante de los resultados y procesos.
- Reajuste de la metodología, integrando tecnologías modernas.
- Corroboración de la información generada por el monitor con datos proporcionados por la comunidad.
- Integración a nivel local y comunitario a través de los GAD y comités comunitarios.
- Mejora continua de la metodología mediante el uso de tecnologías emergentes.
- Inclusión de MONSE como parte de un sistema nacional de monitoreo de riesgos.
- Elaboración de un boletín que incluya precisiones relevantes. Articulación de los productos de MONSE con espacios más amplios de uso, como por ejemplo la MTA. Mejora del proceso de discusión y empoderamiento en torno a MONSE.

- Fomento de la cooperación interinstitucional, tanto gubernamental como no gubernamental.

¿Estaría dispuesto usted (o su organización) en participar en acciones relacionadas con MONSE en un futuro? Agregar nombre y/o institución

- **Verónica Andrade** – Cruz Roja Ecuatoriana
mandrade@cruzroja.org.ec
- **Luis Poveda** – MAATE, Responsable de Educación Ambiental e Hídrica
luis.poveda@ambiente.gob.ec
- **Kevin Apolo** – Ministerio de Agricultura y Ganadería
kapolo@mag.gob.ec
- **Sabina Ortiz** – Cruz Roja Ecuatoriana, Programa Nacional de Gestión del Riesgo
sabina.ortiz@cruzroja.org.ec
- **Alejandro Pineda** – Cruz Roja Ecuatoriana
apineda@cruzroja.ec
- **M. Natalia Rumazo Chiriboga** – Directora de Riesgos y Aseguramiento Agropecuario, MAG
mrumazo@mag.gob.ec
- **Wilmer Jiménez** – Gestión de Cambio Climático, Ministerio de Agricultura y Ganadería
wjimenez@mag.gob.ec
- **Elías Pantoja** – Ministerio de Agricultura y Ganadería
apantoja@mag.gob.ec

E Guía del usuario de MONSE

En proceso de finalización.

F Manual de operaciones de MONSE

En proceso de finalización.

G Guía técnica de MONSE

En proceso de finalización.

We design smarter, more resilient solutions across both the natural and built environment to help everyone live and work more sustainably with water.

HR Wallingford
Howbery Park
Wallingford
Oxfordshire OX10 8BA
United Kingdom
+44 (0)1491 835381
info@hrwallingford.com
www.hrwallingford.com



IMR 719286



FS 516431



OHS 595357



EMS 558310