



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



SISTEMA DE MONITOREO DE SEQUÍA AGRÍCOLA EN ECUADOR

Documento metodológico de
la generación de índices de sequía
del cultivo de maíz amarillo duro

Ministerio de
Agricultura y Ganadería



República
del Ecuador



Juntos
lo logramos



PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA
Guillermo Lasso Mendoza

MINISTRO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA
Pedro Álava González

**COORDINADOR GENERAL DE INFORMACIÓN
NACIONAL AGROPECUARIA**
Víctor Bucheli León

**DIRECTORA DE GENERACIÓN DE
GEOINFORMACIÓN AGROPECUARIA**
Viviana Ruiz Villafuerte

EQUIPO TÉCNICO

Ministerio de Agricultura y Ganadería
Eric Metzler
Maritza Saavedra Proaño
Pablo Munive Ledesma
Lilian Maila Chiguano
Alejandra Cerón Encalada
Fabián Luna López
Domingo Betancourt Benalcázar
César Rosero Saavedra

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
Amparo Córdor Quishpe
Óscar Ayala Campaña

*Organización de la Naciones Unidas para la
Alimentación y la Agricultura*
Óscar Rojas
Tamara Hernández
David Suárez-Duque
Belén Baus

DISEÑO

Diego Cando Segura

Primera Edición, 2021
Ministerio de Agricultura y Ganadería
Av. Amazonas y Av. Eloy Alfaro
Código Postal: 170516 / Quito - Ecuador.
Piso 5. Teléfono: 396-0100
www.agricultura.gob.ec

La reproducción parcial o total de esta publicación, en cualquier forma y por cualquier medio mecánico o electrónico, está permitida siempre y cuando sea autorizada por los editores y se cite correctamente la fuente.

Ministerio de
Agricultura y Ganadería



República
del Ecuador



Gobierno
del Encuentro

Juntos
lo logramos



Con la participación de:



**Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura**

Las denominaciones empleadas en este producto informativo y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, por parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), juicio alguno sobre la condición jurídica o nivel de desarrollo de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

La mención de empresas o productos de fabricantes en particular, estén o no patentados, no implica que la FAO Ecuador los apruebe o recomiende de preferencia a otros de naturaleza similar que no se mencionan.

Distribución gratuita
Prohibida su venta

ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN	2
1.1.	Antecedentes	2
1.2.	Justificación	2
1.3.	Objetivos	3
1.4.	Alcance	3
2.	CONSIDERACIONES TÉCNICAS.....	5
2.1.	Sistemas de Información Geográfica	5
2.2.	Teledetección	5
2.3.	Imágenes satelitales multi-espectrales	5
2.4.	Sistema de monitoreo de sequía agrícola (ASIS).....	5
3.	METODOLOGÍA.....	7
3.1.	Método.....	7
3.2.	Insumos	7
3.2.1.	Imágenes VCI y TCI	7
3.2.2.	Máscaras del área de monitoreo	8
3.2.3.	Tablas de fenología	9
3.2.4.	Tabla de coeficiente de cultivo (Kc)	9
3.3.	Modelo de análisis	9
3.3.1.	Salud de la vegetación (VHI).....	10
3.3.2.	Nivel de afectación del cultivo por sequía	11
3.3.3.	Porcentaje de superficie altamente afectada	11
3.3.4.	Probabilidad de afectación por sequía.....	11
4.	PRODUCTOS	13
4.1.	Especificaciones	13
4.2.	Índices de sequía agrícola	13
4.2.1.	Nivel de afectación por sequía	13
4.2.2.	Porcentaje de superficie altamente afectada	15
4.2.3.	Probabilidad de afectación por sequía.....	16
4.3.	Aplicativo web	17
	GLOSARIO	19
	REFERENCIAS.....	21

1. INTRODUCCIÓN

El presente producto atiende a la necesidad del sector agropecuario del Ecuador expuesto a la amenaza de sequía, de contar con un monitoreo de índices de estrés agrícola por sequía para el cultivo de maíz amarillo duro, como insumo para el análisis y la gestión de riesgos agroclimáticos.

1.1. Antecedentes

La Constitución de la República del Ecuador (2008) establece que *"...el estado protegerá a las personas, las colectividades y la naturaleza frente a los efectos negativos de los desastres de origen natural o antrópico..."*, ejecutando las funciones de *"1. Identificar los riesgos existentes y potenciales, internos y externos que afecten al territorio ecuatoriano"* y *"2. Generar, democratizar el acceso y difundir información suficiente y oportuna para gestionar adecuadamente el riesgo"*, entre otras (Art. 389).

El Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) como ente rector técnico agropecuario del país tiene la responsabilidad de fomentar la gestión de riesgos naturales, apoyando al productor, organizaciones e instituciones vinculadas al sector, en la tarea de implementar medidas de reducción de riesgo, respuesta y recuperación cuando sea oportuno. Entre sus competencias están el desarrollo agrícola y la generación de información temática de interés agropecuario.

De conformidad con ésta responsabilidad, el MAG, mediante el Acuerdo Ministerial 093 del 09 de julio de 2018, creó la unidad de Gestión de Información Agrometeorológica y de Riesgos Naturales del Sector Agropecuario como parte de la Coordinación General de Información Nacional Agropecuaria (CGINA), con las atribuciones de elaborar *"Metodologías para la generación de información agrometeorológica y el diagnóstico de riesgos naturales del sector agropecuario"* y generar *"Información agrometeorológica y de diagnóstico de riesgos naturales del sector agropecuario"*, entre otras.

En atención a estas atribuciones, durante los años 2019-2021, se desarrolló el proyecto *"Asistencia Técnica para el fortalecimiento de la vigilancia de riesgos agroclimáticos TCP/ECU/3704/C3"*, que tiene como objetivo implementar en el Ecuador un sistema de vigilancia de sequía basado en la herramienta ASIS (*Agriculture Stress Index System*) desarrollado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés).

Uno de los objetivos específicos del proyecto es la *"calibración, validación e implementación de la herramienta ASIS a nivel nacional"*, mediante el apoyo de FAO, del cual el presente documento describe la metodología aplicada para el cultivo de maíz amarillo duro.

1.2. Justificación

El Ecuador por sus características paisajísticas y climáticas está sometido a sequías recurrentes causadas por fenómenos hidrometeorológicos, que se atribuyen principalmente a El Niño - la Oscilación del Sur (ENSO). Periódicamente, estas sequías alcanzan una gran magnitud y ocasionan múltiples daños y/o pérdidas en el sector agropecuario y en otros sectores, de acuerdo al Instituto Geográfico Militar (IGM, 2018).

La gestión de este riesgo, desde la formulación de estrategias hasta la ejecución de acciones de respuesta, recuperación y reducción de riesgos generalmente requiere de información geográfica, que permita identificar áreas afectadas o con riesgo de afectación, con el fin de focalizar intervenciones, asistencia técnica y medidas de mitigación de riesgo agropecuario y de inseguridad alimentaria frente a eventos de sequía.

La información periódica de zonas con estrés agrícola por sequía, en este contexto, es particularmente útil para diferentes estrategias y lugares de intervención. La disponibilidad de esta información permite: localizar y estimar áreas agropecuarias afectadas por sequía; identificar y clasificar áreas con afectación recurrente; analizar la amenaza por sequía como insumos para estudios de riesgo, además de realizar estudios particulares de dinámicas de sequías y su relación con otros fenómenos climáticos, como el fenómeno de La Niña.

Antes del presente estudio, para el sector agropecuario del Ecuador no se disponía de esta información a nivel nacional, sino se contaba únicamente con geoinformación esporádica de afectaciones por sequía agrícola para eventos particulares y zonas específicas.

1.3. Objetivos

El objetivo general del monitoreo de sequía agrícola en maíz amarillo duro, mediante el aplicativo web de ASIS, es generar y publicar cada 10 días geoinformación de índices de sequía agrícola a nivel de cantón, para el cultivo del periodo 1 (primer ciclo)¹ en Ecuador continental, tanto actual como histórica desde el año 2000.

Los objetivos específicos incluyen generar y publicar, en el aplicativo web de ASIS, mapas, gráficos, tablas y bases de datos geográficas (raster), de los siguientes índices de sequía para el cultivo de maíz amarillo duro:

- (1) Nivel de afectación por sequía.
- (2) Porcentaje de superficie altamente afectada.
- (3) Probabilidad de afectación por sequía.

1.4. Alcance

El monitoreo genera la información de índices de sequía agrícola a partir del procesamiento de imágenes satelitales ópticas de baja resolución, y el análisis multi-temporal de su información por cultivo para áreas donde se encuentra concentrado, y donde no haya interferencia relevante de nubes.

¹ No se monitorea maíz amarillo duro del periodo 2 (segundo ciclo), dado que corresponde en su mayoría al cultivo bajo riego en las zonas con déficit de agua en la época seca, donde el ASIS, por el tamaño de píxel monitoreado, puede generar falsas alertas en función de la vegetación aladaña al maíz amarillo duro que no cuenta con riego. Mientras que en el periodo 1 se siembran amplias superficies del cultivo sin riego en la zona de clima árido, seco y subhúmedo, donde generalmente se presentan las pérdidas de superficies de maíz amarillo duro por sequía.

Debido al método de análisis y las características de los insumos utilizados, el alcance del monitoreo se delimita por los siguientes aspectos:

- Se monitorea únicamente las superficies del cultivo ubicadas en cantones de Ecuador continental donde el tipo de clima predominante en las áreas del cultivo es árido, seco o subhúmedo. No se monitorea los cantones cuyo clima predominante en las zonas del cultivo es húmedo o superhúmedo, dada la alta interferencia de nubes en los datos satelitales de estas zonas.
- Se monitorea únicamente las zonas de concentración del cultivo de las cuales se cuenta con información de superficies actuales, y donde no hay presencia relevante de áreas deforestadas, áreas inundables o cuerpos de agua.
- Los índices a nivel de cantón del ciclo actual representan resultados preliminares que posteriormente se corrigen y actualizan en dos ocasiones: 1) después de 3 meses de la fecha de monitoreo, mediante un relleno de información en áreas con interferencia de nubes, y 2) después del final del periodo (ciclo del cultivo) una vez que se disponga de la estimación de superficie sembrada de maíz amarillo duro del mismo ciclo.
- La información generada permite identificar, analizar y comparar la incidencia de sequía agrícola a nivel nacional, provincial, y cantonal. No permite analizar o comparar niveles de incidencia de sequía a nivel de parroquia o a más detalle.

2. CONSIDERACIONES TÉCNICAS

El presente monitoreo aplica cuatro conceptos/herramientas metodológicas principales para la generación de información de sequía agrícola: (1) Sistemas de Información Geográfica, (2) Teledetección, (3) Imágenes satelitales multi-espectrales, y (4) Sistema de monitoreo de sequía Agrícola (ASIS).

2.1. Sistemas de Información Geográfica

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) abarcan un conjunto de procedimientos y herramientas, diseñadas para capturar, almacenar, manipular, analizar y presentar datos geográficos, que permitan estudiar y resolver aspectos del entorno geográfico.

Se componen de un sistema complejo de hardware, software, datos, procesos y recursos humanos, de acuerdo a Olaya (2014).

2.2. Teledetección

La teledetección en el ámbito geográfico es una técnica de análisis de la tierra, sus características y fenómenos, a través de observaciones realizadas a distancia de parte de un sensor remoto, montado típicamente en un satélite, avión, dron, u otra plataforma, de acuerdo a Chuvieco (2008).

Sus ventajas incluyen entre otras la cobertura de una gran área, el bajo costo en comparación con un levantamiento en campo, y el alto potencial para la automatización de procesos.

2.3. Imágenes satelitales multi-espectrales

Las imágenes ópticas multi-espectrales de satélite, se componen de píxeles con información sobre la energía electromagnética de la radiación solar reflejada o emitida por los objetos de la superficie de la Tierra, en múltiples rangos de frecuencia (bandas), incluyendo el espectro visible, infrarrojo, ultravioleta y otros, de acuerdo a Chuvieco (2008).

Estas imágenes pueden ser procesadas y en su conjunto permiten analizar diferentes características de la cobertura de la tierra (p.ej. actividad fotosintética, temperatura) y su evolución sobre el tiempo.

La principal limitación de este tipo de imágenes es su dependencia de la radiación solar, que no permite la captura de datos en zonas con presencia de nubes o durante la noche.

2.4. Sistema de monitoreo de sequía agrícola (ASIS)

El Sistema de Monitoreo de Sequía Agrícola (ASIS), es un sistema de observación global² de sequía a partir de imágenes satelitales multi-espectrales, el cual fue desarrollado por FAO y

²Forma parte del Sistema Mundial de Información y Alerta sobre la Alimentación y la Agricultura (SMIA): <http://www.fao.org/giews/earthobservation/index.jsp?lang=es>

permite generar mapas de varios índices de sequía que representan niveles y probabilidades de afectación por sequía.

En su versión ASIS-País, este sistema puede ser calibrado para cada país utilizando insumos e información nacional de la ubicación, fenología y requerimientos hídricos de los cultivos.

La información del ASIS-País se publica en el aplicativo web de ASIS que permite visualizar la información generada por el sistema y realizar su descarga mediante una interfaz de consulta dinámica por cultivo, periodo y fechas de interés.

3. METODOLOGÍA

El monitoreo de índices de sequía agrícola, se realiza a partir del procesamiento automatizado de datos satelitales de disponibilidad gratuita, mediante el aplicativo web del Sistema de Monitoreo de Sequía Agrícola (ASIS), y la publicación automatizada de los índices en forma de mapas, gráficos, tablas y bases de datos geográficas (raster).

3.1. Método

El método aplicado por el estudio es la construcción de índices de sequía agrícola por cultivo, a partir de la herramienta ASIS-País del Sistema de Monitoreo de Sequía Agrícola (ASIS).

3.2. Insumos

Como insumos se utilizan datos satelitales (imágenes) del Índice de Condición de la Vegetación (VCI) y del Índice de Condición de la Temperatura (TCI), así como información nacional de la ubicación, fenología y requerimientos hídricos de los cultivos, según se detalla a continuación.

3.2.1. Imágenes VCI y TCI

Los insumos principales del sistema son imágenes (raster) del Índice de Condición de la Vegetación (VCI, por sus siglas en inglés) y del Índice de Condición de la Temperatura (TCI, por sus siglas en inglés), disponibles cada 10 días desde el año 1984 hasta la actualidad con una resolución de un kilómetro cuadrado, que representan el grado de similitud entre condiciones referenciales de una sequía (valores históricos extremos), y las condiciones observadas tanto de la vegetación como de la temperatura.

Estas imágenes son proporcionadas y construidas por FAO a partir de imágenes satelitales del sensor AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) de las plataformas METOP (*Meteorological Operational Satellites*) y NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), utilizándose los datos del Índice Diferencial Normalizado de Vegetación (NDVI) y de la temperatura de brillo (BT banda 4)³.

Las imágenes VCI, por un lado, representan en % por fecha de monitoreo la diferencia entre valores observados del Índice Diferencial Normalizado de Vegetación (NDVI, por sus siglas en inglés) y el valor *mínimo* histórico, respecto del rango de los valores máximos y mínimos históricos, observados en el mismo día calendario de años anteriores, de acuerdo a la siguiente fórmula (1):

$$VCI = (NDVI_i - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min}) \quad (1)$$

³ Las imágenes METOP se utilizan para representar la situación actual desde el año 2007, mientras que las imágenes NOAA se utilizan para representar la situación de los años 1984 a 2007, a través de un pre-procesamiento y re-muestreo de las imágenes descrito por Eerens et al. (2009, 2014).

Las imágenes TCI, por el otro lado, representan en % por fecha de monitoreo la diferencia entre valores observados de la temperatura de brillo (BT, por sus siglas en inglés) y el valor *máximo* histórico, respecto del rango de los valores máximos y mínimos históricos, observados en el mismo día calendario de años anteriores, de acuerdo a la siguiente fórmula (2).

$$TCI = (BT_{\max} - BT_i) / (BT_{\max} - BT_{\min}) \quad (2)$$

3.2.2. Máscaras del área de monitoreo

Como máscaras de monitoreo, se generan y utilizan bases de datos geográficas en formato raster, con un tamaño de píxel de 1km², las cuales delimitan para cada año desde el 2016 el área referencial del cultivo como aquel donde se cumplen las siguientes condiciones:

1. El área del maíz amarillo duro del periodo 1 del año de monitoreo ocupa al menos el 10% de la superficie del píxel.
2. El tipo de clima predominante en las zonas de producción de maíz amarillo duro es árido, seco o subhúmedo.
3. Las áreas deforestadas desde el año 1990 ocupan menos del 20% de la superficie del píxel.
4. Las áreas inundadas y cuerpos de agua desde el año 2014 ocupan menos del 20% de la superficie del píxel.
5. Las condiciones 1 a 4 se cumplen en mínimo 5 píxeles por cantón.

Las máscaras generadas se utilizan tanto para el monitoreo del año al que corresponden, como también para los años históricos anteriores al 2016, según se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Relación temporal entre máscaras del cultivo y el año de monitoreo.

Año de monitoreo	Máscara del cultivo
2016 – año actual	Máscara del mismo año*
2000 - 2015	Combinación de las máscaras de 2016 - 2019

*Para el año actual de monitoreo, se utiliza la máscara del año anterior, la cual se actualiza junto con los resultados una vez que se dispone del nuevo mapa de estimación de superficies de maíz amarillo duro.

Como insumos se utilizan (1) los archivos en formato vector de los mapas de estimación de superficies de cultivos anuales generados por el MAG (desde 2016), (2) bases de datos geográficas de deforestación y regeneración desde 1990, generadas por el Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica del Ecuador (MAATE), y (3) bases de datos geográficas del monitoreo mensual de áreas inundadas y cuerpos de agua desde 2014, generadas por el MAG.

3.2.3. Tablas de fenología

Como insumo para definir la fenología del cultivo, se utilizan tablas en formato de texto (.csv), que contienen las fechas (decadales) promedio de inicio, mitad y fin de ciclo de maíz amarillo duro, por cantón.

Estas tablas se generan a partir de registros del MAG de los 3 años anteriores al año de monitoreo con disponibilidad de información. La primera tabla se construyó para el año 2019 en función de registros de los años 2017-2019, y se la utilizó como insumo de fenología para el monitoreo de los años 2000-2020⁴.

3.2.4. Tabla de coeficiente de cultivo (Kc)

Como insumo que define el coeficiente de cultivo (Kc), se utiliza para todos los años de monitoreo (2000-actualidad) una misma tabla en formato de texto (.csv), la cual contiene un valor referencial de Kc de inicio, mitad y fin de maíz amarillo duro (30 – 120 – 35).

Los valores fueron definidos en función del estudio de evapotranspiración de cultivos de FAO (2006), utilizándose los valores referenciales para cultivos no estresados y bien manejados en climas sub-húmedos, correspondientes a maíz cosechado en grano seco, multiplicados por cien.

3.3. Modelo de análisis

La construcción de los índices de sequía agrícola por cultivo (maíz amarillo duro), se realiza de manera concatenada a partir de la construcción del Índice de Salud de la Vegetación (VHI, por sus siglas en inglés)⁵ cada 10 días (decadal), y su análisis multi-temporal (por ciclo de cultivo) y espacial (por píxel y cantón) para las áreas de referencia del cultivo, siguiendo el flujo conceptual graficado en la figura 1.

⁴ Del año 2020 no se cuenta con registros representativos de fenología debido a las restricciones causadas por la pandemia del coronavirus SARS-CoV-2.

⁵ La validez del VHI en la detección de sequía se sustenta por varias investigaciones que concluyen que el VHI es más efectivo para detectar sequía en la vegetación que otros índices propuestos, de acuerdo a Singh et al. (2003).

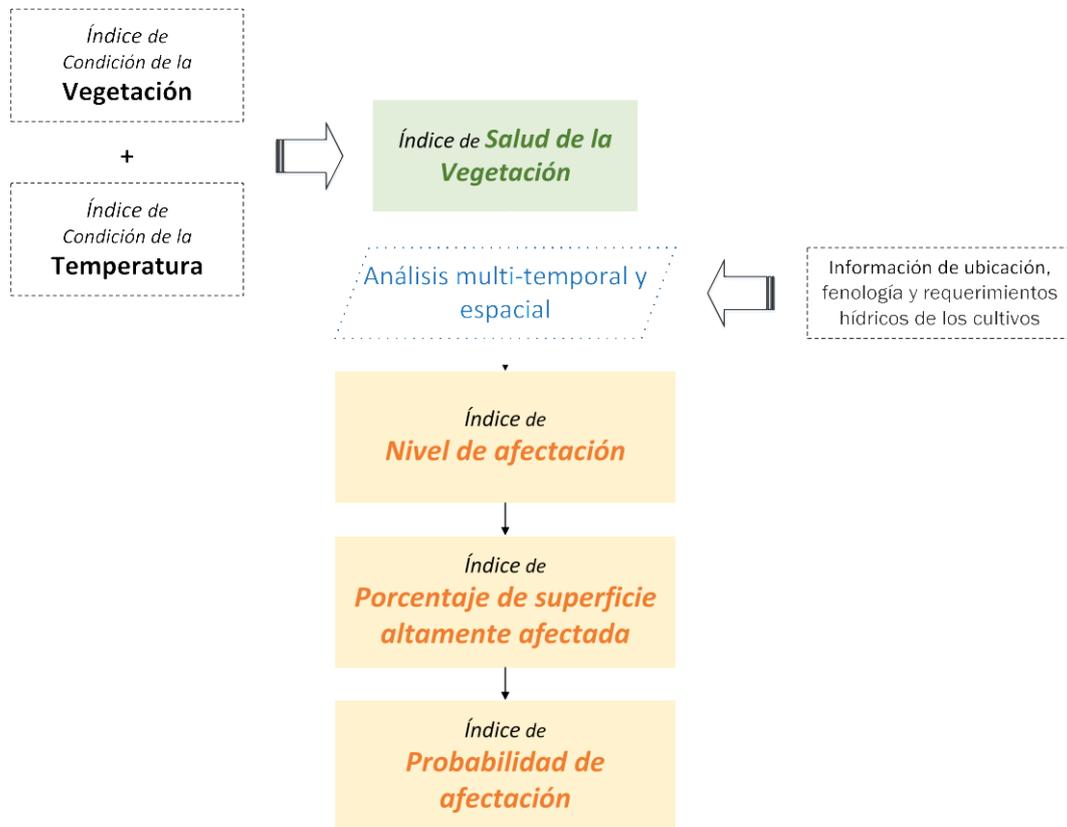


Figura 1. Flujo conceptual de la construcción de índices de sequía agrícola mediante la herramienta ASIS-País

Los índices de sequía se generan para los cantones y áreas de maíz amarillo duro que forman parte de las máscaras del área de monitoreo, descritas en la sección 3.2.2.

3.3.1. Salud de la vegetación (VHI)

El Índice de Salud de la Vegetación (VHI) se obtiene a nivel de pixel a partir del cálculo del promedio ponderado de Índice de Condición de la Vegetación (VCI) y el Índice de Condición de la Temperatura (TCI), según propuesto por Kogan (1997), utilizando la siguiente fórmula (3):

$$VHI = a VCI + (1-a) TCI \quad (3)$$

Para la variable [a], que determina el peso de VCI vs. TCI, se utilizan valores diferenciados por cantón en función del tipo de clima predominante en las áreas del cultivo, según se muestra en la tabla 2. Estos valores fueron definidos por el MAG mediante un proceso de calibración utilizando datos de campo.

Tabla 2: Pesos VCI-TCI por tipos de clima predominante.

Tipos de clima	Peso VCI [a]	Peso TCI [1-a]
Árido, seco o subhúmedo con gran déficit de agua en la época seca	0.20	0.80
Subhúmedo con mediano o pequeño déficit de agua en la época seca, o con pequeño o moderado exceso de agua en la época lluviosa, o sin exceso de agua	0.40	0.60

Como resultado, se obtiene la salud de la vegetación a nivel de píxel (1km²) para el Ecuador continental, en una escala de -0.125 a 1.125.

3.3.2. Nivel de afectación del cultivo por sequía

El nivel de afectación del cultivo por sequía se determina a nivel de cantón mediante el análisis multi-temporal y espacial del Índice de Salud de la Vegetación (VHI).

En primer lugar, se calcula el promedio temporal del VHI (μ VHI) a nivel de píxel, para el área y ciclo del cultivo, desde el inicio de siembra hasta la década de monitoreo o hasta terminar el ciclo, ponderándose y promediándose los valores decadales de VHI en función de los valores de coeficiente de cultivo (Kc) correspondientes al estado del cultivo.⁶

En segundo lugar, se calcula el promedio cantonal de los valores de píxel de μ VHI (* μ VHI).

Como resultado, se obtiene el nivel de afectación del cultivo por cantón, en una escala de -0.125 a 1.125. Los mapas de salida del ASIS visualizan los resultados en 5 categorías: sin afectación (>0.42), bajo (0.42-0.38), moderado (0.38-0.35), alto (0.35-0.25), y muy alto (<0.25).

3.3.3. Porcentaje de superficie altamente afectada

El porcentaje de superficie altamente afectada se determina a nivel de cantón mediante el cálculo del porcentaje de píxeles del área del cultivo cuya afectación por sequía es alta o muy alta (μ VHI <0.35).

Como resultado, se obtiene los porcentajes de superficie altamente afectada del cultivo por cantón, en una escala de 0 a 100%. Los mapas de salida del ASIS visualizan los resultados en 7 categorías: ≤10, >10-25, >25-40, >40-55, >55-70, >70-85, y >85%.

3.3.4. Probabilidad de afectación por sequía

La probabilidad de afectación por sequía, se determina a nivel de píxel en función de la similitud entre la curva del μ VHI del ciclo actual del cultivo y cada una de las curvas de μ VHI del mismo

⁶ Como insumos respecto del área del cultivo, fechas de inicio y fin de ciclo, y coeficientes de cultivo (Kc), se utilizan las bases de datos de máscaras del cultivo y las tablas de fenología y del coeficiente de cultivo (Kc) descritas en las secciones 3.2.2., 3.2.3. y 3.2.4.

periodo de los años anteriores desde el año 2000, de los que terminaron y de los que no, en afectaciones altas o muy altas, aplicándose el método propuesto por Meroni et al. (2014).

La confiabilidad de este índice aumenta con el avance del actual ciclo del cultivo monitoreado, reduciéndose el error particularmente transcurrido la mitad del cuatrimestre, de acuerdo a Meroni et al. (2014).

Como resultado, se obtiene la probabilidad de afectación del cultivo en el actual ciclo por píxel (1km²), en una escala de 0 a 100%. Los mapas de salida del ASIS visualizan los resultados en 6 categorías: Muy baja (<20%), Baja (20-40%), Moderada (40-60%), Alta (60-80%), y Muy alta (>80%).

4. PRODUCTOS

Como productos finales⁷, el ASIS publica en su aplicativo web la información generada de los índices de sequía agrícola por cultivo, en formatos de mapas, gráficos, tablas y bases de datos geográficas (raster).

4.1. Especificaciones

- Área de estudio: territorio nacional continental de clima árido, seco o subhúmedo, con presencia concentrada del cultivo de maíz amarillo duro.⁸
- Temporalidad: decadal.
- Latencia: 3 días.⁹
- Unidad de análisis: píxel de 1km² y cantón.
- Sistema de referencia: Sistema Geodésico Mundial WGS84, coordenadas geográficas (lat;long).
- Formato digital de salida: .img; .png; .xlsx

4.2. Índices de sequía agrícola

Para el cultivo de maíz amarillo duro, los productos publicados incluyen los tres índices de sequía agrícola descritos en las secciones 3.3.2 a 3.3.4: (1) Nivel de afectación del cultivo por sequía, (2) Porcentaje de superficie altamente afectada, y (3) Probabilidad de afectación por sequía.

4.2.1. Nivel de afectación por sequía

Representa el promedio cantonal de la afectación del cultivo acumulada desde el inicio del periodo hasta la fecha de monitoreo o final del ciclo, publicándose un valor por cantón cada 10 días y para periodos de ciclo completo.

Para el cultivo de maíz amarillo duro, la información histórica de este índice está disponible desde el año 2000 hasta la actualidad.

En el formato de mapa, esta información se visualiza en cinco categorías: sin afectación, bajo, moderado, alto, y muy alto, según se muestra en las figuras 2 y 3.

⁷ Los índices a nivel de cantón del actual ciclo representan resultados preliminares que posteriormente se corrigen y actualizan en dos ocasiones: 1) pasado 3 meses de la fecha de monitoreo, mediante un relleno de información en áreas con interferencia de nubes, y 2) terminado el ciclo del cultivo, una vez que se disponga de la estimación de superficie sembrada de maíz amarillo duro del mismo ciclo.

⁸ Los productos representan únicamente las zonas de concentración del cultivo de las cuales se cuenta con información de superficies actuales, y donde no hay presencia relevante de áreas deforestadas, áreas inundables o cuerpos de agua.

⁹ Representa el tiempo que el sistema ASIS tarda en generar y publicar los productos finales (índices de sequía) después de la captura de los datos de satélite. Significa, por ejemplo, que los productos del primer decadal de cada mes (días 1-10) están disponibles aproximadamente el día 14 del mes.

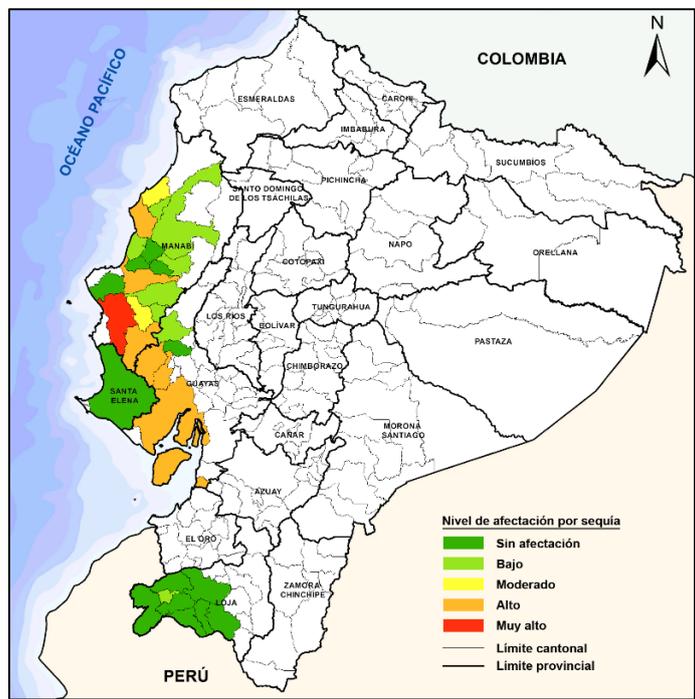


Figura 2. Mapa del nivel de afectación promedio por sequía, de maíz amarillo duro, periodo 1 de siembra, decadal 11-21 de febrero de 2020

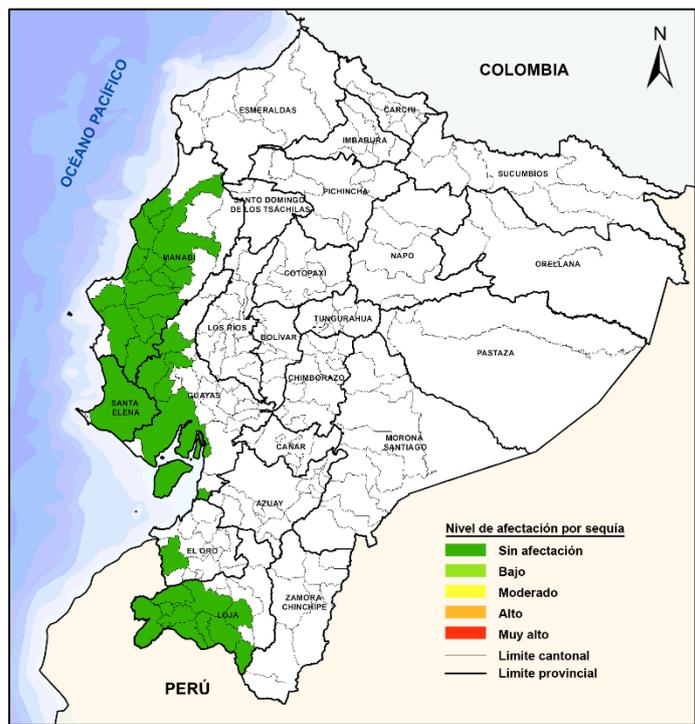


Figura 3. Mapa del nivel de afectación promedio por sequía, de maíz amarillo duro, periodo 1 de siembra, ciclo completo 2019

En formato raster (.img), la información se presenta en niveles digitales (ND) en una escala de 0-250. Para transformar los valores ND a valores reales (VR) en la escala original del índice (- 0.125 a 1.125) utilizada para la clasificación de los mapas de salida que se detalla en la sección 3.3.2, se debe aplicar la siguiente fórmula (5):

$$VR = 0.005 ND - 0.125 \quad (5)$$

4.2.2. Porcentaje de superficie altamente afectada

Representa el porcentaje de superficie del cultivo con afectación alta o muy alta acumulada desde el inicio del periodo hasta la fecha de monitoreo o final del ciclo, publicándose un valor por cantón cada 10 días y para periodos de ciclo completo.

Para el cultivo de maíz amarillo duro, la información histórica de este índice está disponible desde el año 2000 hasta la actualidad.

En el formato de mapa, esta información se visualiza en siete categorías: ≤10, >10-25, >25-40, >40-55, >55-70, >70-85, y >85%, según se muestra en las figuras 4 y 5.

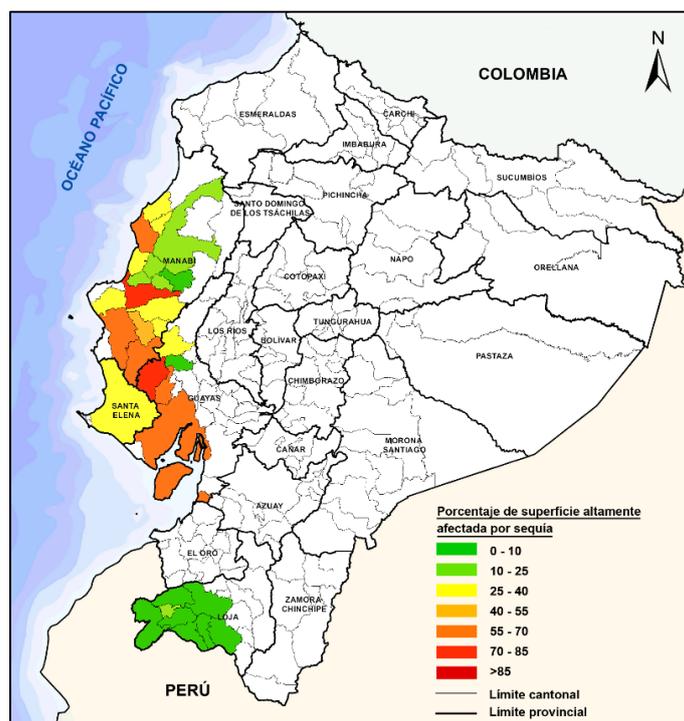


Figura 4. Mapa de porcentaje de superficie altamente afectada por sequía, de maíz amarillo duro, periodo 1 de siembra, decadal 11-21 de febrero de 2020

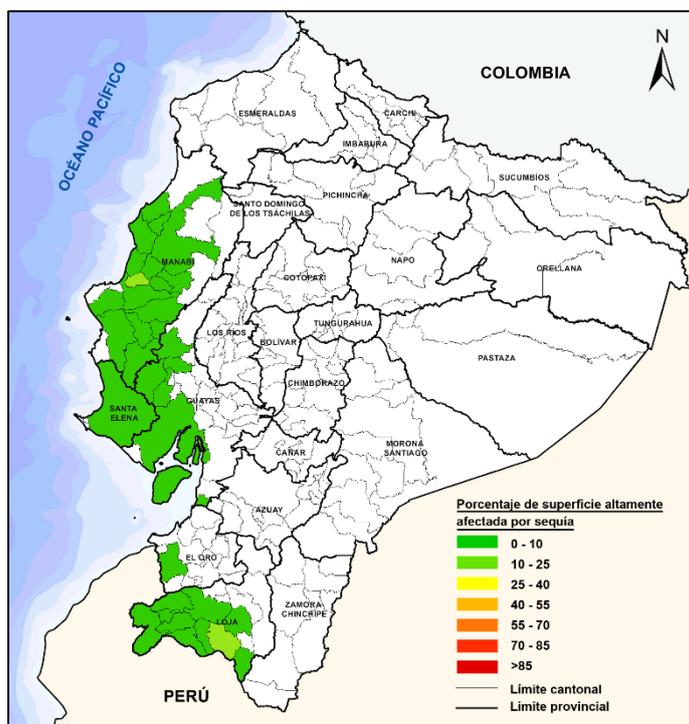


Figura 5. Mapa de porcentaje de superficie altamente afectada por sequía, de maíz amarillo duro, periodo 1 de siembra, ciclo completo 2020

En formato de base de datos geográfica (raster .img), la información se presenta en niveles digitales (ND) en una escala de 0-200. Para transformar los valores ND a valores reales (VR) en la escala original del índice (0 a 100%) utilizada para la clasificación de los mapas de salida que se detalla en la sección 3.3.2, se debe aplicar la siguiente fórmula (6):

$$VR = 0.05 ND \quad (6)$$

4.2.3. Probabilidad de afectación por sequía

Representa la probabilidad de afectación del cultivo por sequía hasta el final del ciclo, publicándose un valor por píxel cada 10 días.

La información de este índice está disponible únicamente para el último decadal a la fecha.

En el formato de mapa, esta información se visualiza en cinco categorías: Muy baja, Baja, Moderada, Alta, y Muy alta, según se muestra en la figura 6.

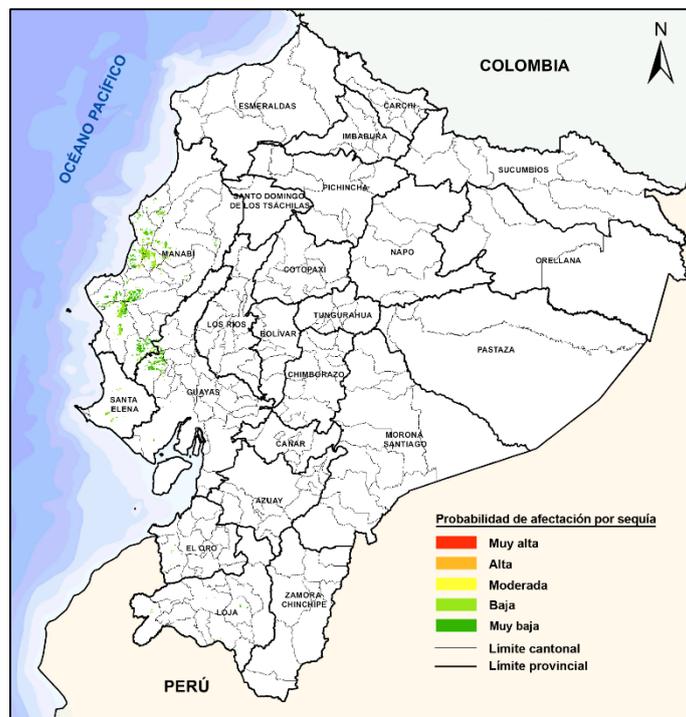


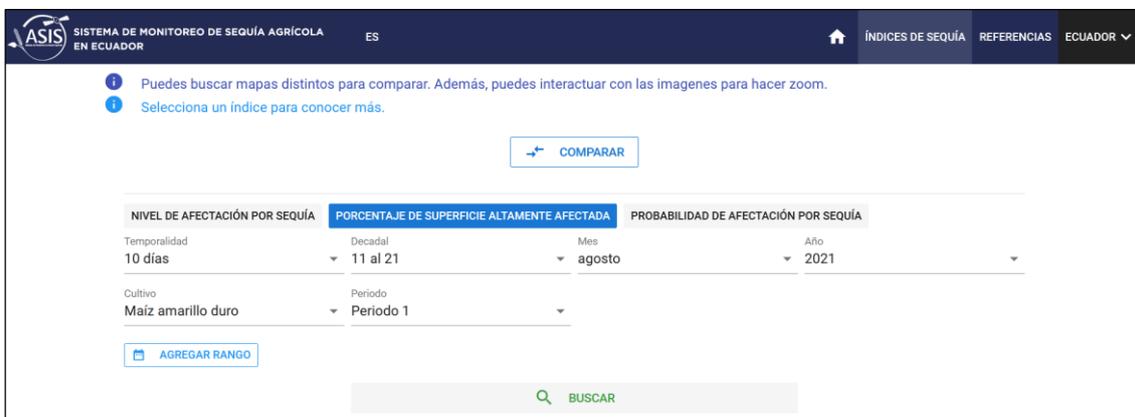
Figura 6. Mapa de probabilidad de afectación por sequía, de maíz amarillo duro, periodo 1 de siembra, decadal 21-31 de marzo de 2020.

En formato de base de datos geográfica (raster .img), la información se presenta en niveles digitales (ND) en una escala de 0-200. Para transformar los valores ND a valores reales (VR) en la escala original del índice (0 a 100%) utilizada para la clasificación de los mapas de salida que se detalla en la sección 3.3.2, se debe aplicar la fórmula (6):

$$VR = 0.05 ND \quad (6)$$

4.3. Aplicativo web

El aplicativo web del ASIS de Ecuador (<http://asis.agricultura.gob.ec/>) permite visualizar la información generada por el sistema y realizar su descarga mediante una interfaz de consulta dinámica por cultivo, periodo y fechas de interés, disponible en el submenú 'Índices de Sequía', que se muestra en la figura 7.



ASIS SISTEMA DE MONITOREO DE SEQUÍA AGRÍCOLA EN ECUADOR ES

ÍNDICES DE SEQUÍA REFERENCIAS ECUADOR

Puedes buscar mapas distintos para comparar. Además, puedes interactuar con las imágenes para hacer zoom.
 Selecciona un índice para conocer más.

COMPARAR

NIVEL DE AFECTACIÓN POR SEQUÍA	PORCENTAJE DE SUPERFICIE ALTAMENTE AFECTADA	PROBABILIDAD DE AFECTACIÓN POR SEQUÍA	
Temporalidad 10 días	Decadal 11 al 21	Mes agosto	Año 2021
Cultivo Maíz amarillo duro	Periodo Periodo 1		

AGREGAR RANGO

BUSCAR

Figura 7. Visualización del panel de consulta de Índices de sequía del aplicativo web de ASIS

La estructura y el proceso para la consulta, visualización y descarga de información se describen en el manual del aplicativo web de ASIS (MAG, INAMHI y FAO, 2021), disponible en el menú 'Referencias' del aplicativo.

GLOSARIO

Base de datos geográfica: Es una colección de datos geográficos, en formato raster o vector, que almacena información sobre la posición/geometría y atributos de unidades geográficas, en forma de píxel o polígono.

Capacidad adaptativa: Es la capacidad de un sistema para ajustarse al cambio climático (incluso a la variabilidad del clima y a los fenómenos extremos) para mitigar posibles daños, aprovechar las oportunidades o afrontar las consecuencias.

Ciclo del cultivo: Ciclo total del cultivo que va desde la siembra hasta el fin de la maduración y posterior cosecha, que incluye distintas etapas de desarrollo vegetativo y reproductivo de la planta.

Coefficiente del cultivo (Kc): Es el cociente entre la evapotranspiración del cultivo y la evapotranspiración de un pasto de altura uniforme, bien regado y en óptimas condiciones de crecimiento. Este coeficiente expresa el requerimiento hídrico del cultivo y se determina por fase fenológica o etapa de crecimiento.

Decadal: Corresponde a una tercera parte del mes conformada por días: decadal 1 (01-10), decadal 2 (11-20), decadal 3 (21-último día del mes).

El Niño - Oscilación del Sur (ENSO): Es una alteración del sistema océano-atmósfera en el Pacífico tropical que tiene consecuencias importantes en el clima alrededor del planeta, incluyendo inundaciones y sequías. Su fase cálida es El Niño, cuando hay un incremento en la Temperatura Superficial del Mar (TSM) en el Pacífico tropical, y su fase fría es La Niña, cuando hay reducciones de la TSM.

Fenología: Observaciones de los estadios de desarrollo vegetativos y reproductor de plantas, comúnmente clasificadas y registradas como fases fenológicas.

Formato raster: Modelo de datos para el almacenamiento digital de información en una matriz constituida por columnas y filas, donde cada celda de la matriz (píxel) es referenciada por sus coordenadas y contiene uno o más valores de atributos.

Formato vectorial: Modelo de datos para el almacenamiento digital de información en relación a coordenadas que delimitan la ubicación y forma de objetivos (geográficos). La información puede ser representada en tipos de geometría: puntos, líneas o polígonos (considerados como unidades básicas de información geográfica).

Índice de sequía: Expresa el grado de similitud entre condiciones y condiciones referenciales de una sequía observadas (p.ej. de temperatura y precipitación), y permite interpretar y comparar la incidencia y el nivel de sequía agrícola para diferentes periodos.

Índice Diferencial Normalizado de Vegetación (NDVI): Es un índice de vegetación que estima la biomasa fotosintéticamente activa con base a la medición, por medio de

sensores remotos instalados p.ej. en un satélite, de la intensidad de la radiación electromagnética que la vegetación emite o refleja.

Máscara: Es un medio para identificar las áreas que se incluirán en un determinado análisis. Comúnmente se la conoce como máscara de análisis y puede ser una capa ráster o vectorial.

Oscilación de El Niño del Sur (ENSO): Es una alteración del sistema océano-atmósfera en el Pacífico tropical que tiene consecuencias importantes en el clima alrededor del planeta, incluyendo inundaciones y sequías. Su fase cálida es El Niño, cuando hay un incremento en la Temperatura Superficial del Mar (TSM) en el Pacífico tropical, y su fase fría es La Niña, cuando hay reducciones de la TSM.

Píxel: Elemento más pequeño de una imagen digital al cual se le asignan atributos.

Riesgo: Representa la probabilidad de que se produzca un evento adverso y sus consecuencias negativas.

Sequía agrícola: Período de condiciones anormalmente secas durante un tiempo suficiente para causar desequilibrios hidrológicos graves con afectaciones en la producción de cultivos.

Sistema de referencia: Cada uno de los diferentes sistemas de coordenadas empleados para indicar posiciones sobre la superficie terrestre.

Temperatura de brillo: Intensidad de la energía radiada por un objeto, que está estrechamente relacionada con la temperatura física del mismo.

REFERENCIAS

Bibliografía

- Chuvieco, E. (2008). Teledetección Ambiental (3ra edición). Barcelona, España: Ariel.
- Constitución de la República del Ecuador [Const]. Registro Oficial 449 del 20 de octubre de 2008. Quito, Ecuador.
- Erens, H., Baruth, B., Bydekerke, L., Deronde, B., Dries, J., Goor, E., y Heyns, W., et al. (2009). Ten-Daily Global Composites of METOP-AVHRR. En: Proceedings of the 6th International Symposium on Digital Earth, 8–13. Beijing, China: International Society for Digital Earth - ISDE.
- Erens, H., D. Haesen, F. Rembold, F. Urbano, C. Tote, y L. Bydekerke. (2014). Image Time Series Processing for Agriculture Monitoring. *Environmental Modelling & Software*, 53, 154–162.
- Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas – UNISDR. (2009). Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres. Ginebra, Suiza.
- Instituto Geográfico Militar – IGM. (2018). Atlas de Espacios Geográficos Expuestos a Amenazas Naturales y Antrópicas. Quito, Ecuador.
- Kogan, F. (1997). Global Drought Watch from Space. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78 (4), 621-636.
- Meroni, M., Fasbender, D., Kayitakire, F., Pini, G., Rembold, F., Urbano, F., y Verstraete, M. (2014). Early detection of production deficit hot-spots in semi-arid environment using FAPAR time series and a probabilistic approach. *Remote Sensing of Environment*, 142, 57-68.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería – MAG. (2018). Acuerdo Ministerial No. 093. Quito, Ecuador
- Olaya, V. (2014). Sistemas de Información Geográfica. Creative Commons.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO. (2006). Estudios FAO Riego y Drenaje: 56. Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma, Italia.
- Singh, R., Roy, S., y Kogan, F. (2003). Vegetation and temperature condition indices from NOAA–AVHRR data for drought monitoring over India. *Int. J. Remote Sens.*, 24 (22), 4393–4402.

Cartografía y bases de datos

Comité Nacional de Límites Internos – CONALI. (2019). Límites de la Organización Territorial. [Geodatabase en formato vectorial]. Quito, Ecuador.

Ministerio de Agricultura y Ganadería – MAG. (2016 en adelante). Mapas de Estimación de superficie sembrada del cultivo de Maíz amarillo duro, escala 1:25.000, primer período de siembra [Geodatabase en formato vectorial]. Quito, Ecuador.

Ministerio de Agricultura y Ganadería – MAG. (2017 en adelante). Rendimientos objetivos de maíz amarillo duro [Base de datos]. Quito, Ecuador.

Ministerio de Agricultura y Ganadería – MAG. (2017 en adelante). Información de Estado de Cultivos de maíz amarillo duro [Base de datos]. Quito, Ecuador.

Ministerio de Agricultura y Ganadería – MAG. (2021). Monitoreo de áreas inundadas y cuerpos de agua a través de imágenes satelitales SAR [Geodatabase en formato vectorial]. Información preliminar. Quito, Ecuador.

Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica del Ecuador – MAATE. (1990 en adelante). Mapas de deforestación y regeneración [Geodatabase en formato ráster]. Quito, Ecuador.