



**UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO**

**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**



**Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos  
de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.**

Tesis para obtener el Título de:

**Licenciado en Ingeniería Ambiental**

Presenta:

**Luis Ricardo Guzmán Hernández**

Bajo la dirección de:

***Dra. Tania Gudelia Núñez Magaña***

En codirección de:

***Dr. Adalberto Galindo Alcántara***

*Villahermosa, Tabasco, junio de 2025*

## Declaración de Autoría y Originalidad

En la Ciudad de Villahermosa, Tabasco, el día 09 del mes de junio del año 2025, a los que suscribe **Luis Ricardo Guzmán Hernández** alumno del Programa de **Licenciatura en Ingeniería Ambiental** con número de matrículas **182G24045** adscrito a la **División Académica de Ciencias Biológicas** de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, como autores de la **Tesis** presentada para la obtención del título de **Licenciatura en Ingeniería Ambiental** y titulada **“EVALUACIÓN DEL ÍNDICE RDI PARA LA ESTIMACIÓN DE PERIODOS DE SEQUÍA METEOROLÓGICA EN CENTRO, TABASCO”** dirigidos por el **Dra. Tania Gudelia Núñez Magaña** y el **Dr. Adalberto Galindo Alcántara**.

### DECLARO QUE:

La Tesis es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, de acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente, en particular, la LEY FEDERAL DEL DERECHO DE AUTOR (Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley Federal del Derecho de Autor del 01 de Julio de 2020 regularizando y aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), en particular, las disposiciones referidas al derecho de cita.

Del mismo modo, asumo frente a la Universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría o falta de originalidad o contenido de la Tesis presentado de conformidad con el ordenamiento jurídico vigente.

Villahermosa, Tabasco a 09 de junio 2025.

---

**Luis Ricardo Guzmán Hernández**



**UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DIRECCIÓN**



Villahermosa, Tab., a 03 de Junio de 2025

**ASUNTO:** Autorización de Modalidad de Titulación

**C. LIC. MARIBEL VALENCIA THOMPSON  
JEFE DEL DEPTO. DE CERTIFICACIÓN Y TITULACION  
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES  
P R E S E N T E**

Por este conducto y de acuerdo a la solicitud correspondiente por parte del interesado, informo a usted, que en base al reglamento de titulación vigente en esta Universidad, ésta Dirección a mi cargo, autoriza al **C. LUIS RICARDO GUZMÁN HERNÁNDEZ** egresado de la Lic. en **ING. AMBIENTAL** de la División Académica de **CIENCIAS BIOLÓGICAS** la opción de titularse bajo la modalidad de Tesis denominado: **"EVALUACIÓN DEL ÍNDICE RDI PARA LA ESTIMACIÓN DE PERIODOS DE SEQUÍA METEOROLÓGICA EN CENTRO, TABASCO"**.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para saludarle afectuosamente.

A T E N T A M E N T E

  
**DR. ARTURO GARRIDO MORA  
DIRECTOR DE LA DIVISIÓN ACADÉMICA  
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**U.J.A.T.  
DIVISIÓN ACADÉMICA  
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**



**DIRECCIÓN**

C.c.p.- Expediente Alumno de la División Académica  
C.c.p.- Interesado



**UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DIRECCIÓN**



JUNIO 03 DE 2025

**C. LUIS RICARDO GUZMÁN HERNÁNDEZ  
PAS. DE LA LIC. EN ING. AMBIENTAL  
PRESENTE**

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 80 al 85 del Cap. III del Reglamento de titulación de esta Universidad, tengo a bien comunicarle que se le autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis denominado: **"EVALUACIÓN DEL ÍNDICE RDI PARA LA ESTIMACIÓN DE PERIODOS DE SEQUÍA METEOROLÓGICA EN CENTRO, TABASCO"**, asesorado por la Dra. Tania Gudelia Núñez Magaña y Dr. Adalberto Galindo Alcántara, sobre el cual sustentará su Examen Profesional, cuyo jurado está integrado por Mtro. Manuel Fidel Azueta Domínguez, Dr. Miguel Ángel Palomeque de la Cruz, Dra. Tania Gudelia Núñez Magaña, Dra. Adriana Morales Hernández y Dr. Miguel Alberto Magaña Alejandro

**ATENTAMENTE  
ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE**

  
**DR. ARTURO GARRIDO MORA  
DIRECTOR**

U.J.A.T.  
DIVISIÓN ACADÉMICA  
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

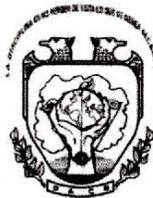


C.c.p.- Expediente del Alumno.  
Archivo.



**UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DIRECCIÓN**



03 de junio de 2025

**C. Luis Ricardo Guzmán Hernández  
Pasante de la Lic. en Ingeniería Ambiental**

En cumplimiento de los lineamientos de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, se implementó la revisión del trabajo recepcional (**Tesis**), a través de la plataforma Turnitin iThenticate para evitar el plagio e incrementar la calidad en los procesos académicos y de investigación en esta División Académica. Esta revisión se realizó en correspondencia con el Código de Ética de la Universidad y el Código Institucional de Ética para la Investigación.

Por este conducto, hago de su conocimiento las observaciones, el índice de similitud y el reporte de originalidad obtenido a través de la revisión en la plataforma iThenticate de su trabajo recepcional **EVALUACIÓN DEL ÍNDICE RDI PARA LA ESTIMACIÓN DE PERIODOS DE SEQUÍA METEOROLÓGICA EN CENTRO, TABASCO.**

OBSERVACIONES:

Se incluyó citas, se excluyó bibliografía y fuentes pequeñas (o palabras), y se limitó el tamaño de coincidencias a 16 palabras.

<b>RESULTADO DE SIMILITUD</b>	<b>8 %</b>
	<b>12487 palabras, 23 coincidencias y 6 fuentes</b>

Finalmente, se le solicita al **C. Luis Ricardo Guzmán Hernández**, integrar en la versión final del trabajo recepcional, este oficio y el informe de originalidad con el porcentaje de similitud de Turnitin iThenticate.

Sin otro particular al cual referirme, aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE  
"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"

**DR. ARTURO GARRIDO MORA  
DIRECTOR**

C.c.p. Dra. Tania Gudelia Núñez Magaña. Directora de tesis  
C.c.p. Dr. Adalberto Galindo Alcántara. Codirector de tesis  
C.c.p. Archivo

U.J.A.T.  
DIVISIÓN ACADÉMICA  
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DIRECCIÓN

# Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%

ÍNDICE DE SIMILITUD

FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://www.scielo.org.mx">www.scielo.org.mx</a> Internet	342 palabras — 3%
2	<a href="http://revistaselectronicas.ujaen.es">revistaselectronicas.ujaen.es</a> Internet	198 palabras — 2%
3	<a href="http://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Internet	51 palabras — 1%
4	<a href="http://era.ujat.mx">era.ujat.mx</a> Internet	33 palabras — < 1%
5	Daniel Francisco Campos-Aranda. "Detección de sequías meteorológicas anuales en el estado de Zacatecas, México, con base en índices de anomalía estandarizada", Tecnología y ciencias del agua, 2018 Crossref	31 palabras — < 1%
6	<a href="http://dehesa.unex.es">dehesa.unex.es</a> Internet	26 palabras — < 1%
7	<a href="http://es.wikipedia.org">es.wikipedia.org</a> Internet	25 palabras — < 1%
8	<a href="http://www.scielo.org.ar">www.scielo.org.ar</a> Internet	23 palabras — < 1%
9	<a href="http://www.revista.ccba.uady.mx">www.revista.ccba.uady.mx</a> Internet	22 palabras — < 1%

---

10 [dspace.ucuenca.edu.ec](https://dspace.ucuenca.edu.ec) 21 palabras — < 1%  
Internet

---

11 [www.researchgate.net](https://www.researchgate.net) 21 palabras — < 1%  
Internet

---

EXCLUIR CITAS

DESACTIVADO

EXCLUIR FUENTES

< 10 PALABRAS

EXCLUIR BIBLIOGRAFÍA

ACTIVADO

EXCLUIR COINCIDENCIAS

< 16 PALABRAS

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

## Carta de Cesión de Derechos

Villahermosa, Tabasco a 09 de junio 2025.

Por medio de la presente manifiesto haber colaborado como AUTOR en la producción, creación y/o realización de la obra denominada **"EVALUACIÓN DEL ÍNDICE RDI PARA LA ESTIMACIÓN DE PERIODOS DE SEQUÍA METEOROLÓGICA EN CENTRO, TABASCO"**. Con fundamento en el artículo 83 de la Ley Federal del Derecho de Autor y toda vez que, la creación y/o realización de la obra antes mencionada se realizó bajo la comisión de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco; entendemos y aceptamos el alcance del artículo en mención, de que tenemos el derecho al reconocimiento como autores de la obra, y la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco mantendrá en un 100% la titularidad de los derechos patrimoniales por un período de 20 años sobre la obra en la que colaboramos, por lo anterior, cedemos el derecho patrimonial exclusivo en favor de la Universidad.

### COLABORADORES

Luis Ricardo Guzmán Hernández

Dra. Tania Gudelia Núñez Magaña

Dr. Adalberto Galindo Alcántara

### TESTIGOS

  
Miguel Angel Patinoque de la Cruz

  
Manuel Fidel Azuela Dominguez



## Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



### AGRADECIMIENTOS

#### **A mis padres**

Por el amor, la confianza y el apoyo brindado en toda mi vida, gracias por haberme forjado en la persona que soy actualmente, los valores inculcados y las palabras de aliento para seguir superándome.

#### **A mi esposa y mi hija**

Por motivarme a seguir superándome la cual me ha servido mucho para seguir teniendo éxito.

#### **A mis maestros**

Por haberme enseñado sus conocimientos y que me han ayudado mucho en mi formación académica profesional, además de compartir algunas experiencias de vida.

#### **A la doctora Tania**

Por haberme motivado y tenido mucha paciencia, además de apoyarme y darme palabras de aliento.

#### **Al comité de revisión**

Le agradezco a todo el comité de revisión por tomarse el tiempo para revisar este trabajo a detalle ayudándome a mejorar.



## DEDICATORIA

Agradezco a todas las personas que me han dado motivación para superarme en cada etapa de mi vida, además de todos aquellos que siempre estuvieron ahí en los problemas. Dedico mi éxito a ellos y en especial a mi abuelita que ya se encuentra en el cielo.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.





## Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



### RESUMEN

La sequía es un fenómeno causado por los efectos del cambio climático cada vez más frecuente y de mayor intensidad. En el estado de Tabasco se han presentado en los últimos años periodos anormalmente secos que afectan a sectores como el ganadero, el agrícola y las actividades económicas que dependen directamente. Además, el fenómeno de sequía aumenta el riesgo de incendios forestales que afectan tanto a la población como a la flora, fauna y servicios ecosistémicos. Por esta razón el objetivo de este estudio fue estimar sequías meteorológicas anuales de un periodo de 40 años mediante el índice de reconocimiento de sequía (RDI, por sus siglas en inglés) en el municipio de Centro Tabasco, para establecer los años de sequía posteriores, a través de imágenes landsat y el análisis de frecuencia hidrológica para la construcción de una base de datos de variables hidrométricas y la elaboración de mapas de probabilidades de sequías mediante el empleo de índices espectrales a través del software especializado Terrset 18-21. Los resultados revelan que durante el periodo de 1980-2020 ha habido un cambio de periodos húmedos a periodos secos donde se presentan sequías leves y más intensas, además se predijo que en los años 2021 y 2022 hubo periodos de sequía leve y humedad leve respectivamente, estos resultados comparados con el SPI del Sistema Meteorológico Nacional (SMN) mostraron resultados similares al RDI.



## ABSTRACT

Drought is a phenomenon caused by the effects of increasingly frequent and intense climate change. In the state of Tabasco, abnormally dry periods have occurred in recent years, affecting sectors such as livestock, agriculture, and the economic activities that directly depend on it. Furthermore, the drought phenomenon increases the risk of forest fires, affecting the population as well as flora, fauna, and ecosystem services. Therefore, the objective of this study was to estimate annual meteorological droughts over a 40-year period using the Recognition Drought Index (RDI) in the municipality of Centro, Tabasco. This was done to determine subsequent drought years using Landsat images and hydrological frequency analysis to construct a database of hydrometric variables and generate drought probability maps using spectral indices and the specialized Terrset 18-21 software. The results reveal that during the period 1980-2020 there has been a change from wet periods to dry periods where mild and more intense droughts occur. It was also predicted that in the years 2021 and 2022 there were periods of mild drought and mild humidity respectively. These data were compared with the SPI commonly used in the SMN, showing results similar to the RDI.





Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



ÍNDICE

CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
JUSTIFICACIÓN.....	4
OBJETIVO GENERAL.....	10
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
CAPÍTULO 2.....	11
EL FENÓMENO DE SEQUÍA.....	11
SEQUÍAS EN MÉXICO.....	13
ESTIMACIÓN DE SEQUÍAS METEOROLÓGICAS.....	15
EL ÍNDICE DE RECONOCIMIENTO DE SEQUÍA (RDI).....	17
CAPÍTULO 3.....	20
MATERIALES Y METODOLOGÍA.....	20
ÁREA DE ESTUDIO.....	21
FUENTE DE DATOS.....	23
PROCESAMIENTO DE DATOS.....	24
ESTIMACIÓN DEL RDI.....	30
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
CONCLUSIONES.....	41
REFERENCIA.....	42





## Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de las sequías.....	13
Tabla 2. Índices utilizados para el control de la sequía meteorológica y frecuencia de uso por año. Fuente modificada: Ferrer Pozo & Gomez Luna, 2023.....	16
Tabla 3. Clasificación de severidad de acuerdo con la magnitud del RDI. Fuente modificada: OKSAL & Beden, 2023.....	20
Tabla 4. Nombres de los puntos de observación para el cálculo de RDI.....	23
Tabla 5. Fecha de captura de imágenes Landsat 5 de PATH (22) /ROW (47)....	26
Tabla 6. Fecha de captura de imágenes Landsat 8 PATH (22) / ROW (47). ....	28
Tabla 7. Resultados del RDI por estación. ....	32
Tabla 8. Valores medios anuales del RDI en el periodo 1980-2020.....	33
Tabla 9. Resultados de sequías meteorológicas anuales 1980-2020.....	35
Tabla 10. Valores medios anuales de proyecciones de los 2 años posteriores al periodo de estudio del RDI.....	36

### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comparación de las sequías presentadas en el territorio mexicano en un periodo de 10 años. Fuente: CONAGUA, (2024). ....	14
Figura 2. Estructura metodológica general implementada. Fuente: Elaboración propia. ....	21
Figura 3. Localización de las estaciones hidrométricas consideradas para el área de estudio.....	22
Figura 4. Resultados del RDI en Centro Tabasco (probabilidades de sequía).....	42





Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Número de incidencias por escala de severidad. .... 35

Gráfica 2. Comportamiento de las sequías en los 40 años de estudio y 2 de proyecciones. .... 37





## CAPÍTULO 1

### INTRODUCCIÓN

El estrés hídrico es un fenómeno que afecta el desarrollo sostenible de las funciones de los seres vivos y servicios ecosistémicos. La expansión acelerada de la urbanización, los implementos tecnológicos en los sistemas de riego del sector agrícola y energético han pronunciado la escasez del agua (Gran Castro, 2020). La demanda del agua ha superado el crecimiento demográfico y la mitad de la población a nivel mundial (Naciones Unidas, 2015).

La escasez del agua ocasiona alteraciones en el desarrollo de las funciones de cada uno de los componentes del ciclo hidrológico (Castillo-Castillo et al., 2017). Estas alteraciones provocan el fenómeno de sequías meteorológicas, el cual es considerado un fenómeno complejo ya que resulta muy difícil darle un enfoque genérico, que contemple todos sus aspectos, pues es más bien una particularidad del clima, que a su vez engloba múltiples conceptos (Velasco et al., 2005).

La sequía es uno de los fenómenos climatológicos naturales que más daños causan a la población mundial, pues es una parte esencial del clima, y todas las zonas del planeta están propensas a ella, incluso sitios que tienen registros altos de precipitaciones pueden presentarse sequías (Ortega-Gaucin, 2018).

En comparación con otros fenómenos naturales cuyos impactos son locales y de corta duración como por ejemplos los fenómenos climatológicos y geológicos, tornados, huracanes, tsunamis o terremotos, las sequías abarcan grandes extensiones, comenzando lentamente con sus efectos a la naturaleza; carecen de epicentro y trayectorias definidas, presentan daños no estructurales y sus



## Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



consecuencias pueden prevalecer por años, esto genera un efecto negativo en la calidad de vida y en el desarrollo de las poblaciones afectadas (Wilhite, 2000).

Una sequía meteorológica se produce cuando se tiene escasez prolongada de precipitaciones, suele afectar zonas muy extensas y produce sequía agrícola, hidrológica y socioeconómica (Monreal, 2006). Además, este fenómeno provoca efectos físicos a corto plazo como la falta de agua para actividades cotidianas, efectos ambientales como daño a la biota (flora y fauna) y efectos de carácter social y económicos como la pérdida de cultivos agrícolas, degradación de suelos, pérdidas en productividad en el sector pesquero, forestal y pecuaria, causando al mismo tiempo desempleo e incluso conflictos por el valioso recurso por consecuente genera un desastre económico-ambiental (Huang et al., 2019; Liu et al., 2016).

La ocurrencia del fenómeno de sequía meteorológica es un problema mundial y se ha incrementado en las últimas décadas como consecuencia del cambio climático. En México, la sequía afecta más a la población que cualquier otro desastre o fenómeno natural, por lo que se requiere estudiarla, analizarla y monitorearla para poder prevenir y mitigar sus efectos (Estrada-Medina et al., 2016).

La selección de un índice de sequía depende en gran medida de la información disponible y del tipo de sequía operacional a monitorear.

Para estimar y cuantificar estas singularidades meteorológicas, se hace uso de los índices de sequía, además los índices de sequía son adimensionales, pero para poder ser calculados se basan en variables dimensionales, para elegir alguno de los índices dependerá de la información disponible y del tipo de sequía operacional que se desee monitorear (Núñez-Magaña et al., 2022; Paredes et al., 2015). Para caracterizarla se usan siete parámetros, cada uno puede medirse de forma individualizada, estos parámetros son la magnitud del evento seco o déficit de precipitación, la duración



## Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



de la precipitación por debajo del promedio, la frecuencia o el número de casos de un periodo de sequía, la velocidad de implantación que es el inicio del déficit de precipitaciones a el momento que este alcanza su valor pico, el espaciamiento temporal que es el tiempo transcurrido entre periodos secos, la extensión o el área donde se desarrolla el déficit de precipitación y la dispersión espacial o el grado de difusión (E. Díaz et al., 2016; Marcos Valiente, 2001).

Debido a lo complicado que es identificar en tiempo y espacio a las sequías, además de ser complejo determinar el inicio y el fin, su duración, extensión y magnitud; surgen herramientas como los índices de sequía, que proporcionan un análisis cuantitativo y objetivo de la gravedad de las sequías (Castillo-Castillo et al., 2017). Los índices de sequía igual son implementados para monitorear las condiciones de la sequía en tiempo real, permitiendo elaborar planes de mitigación (Svoboda et al., 2002).

El índice de reconocimiento de sequía (RDI, por sus siglas en inglés) calcula el déficit de precipitación utilizando la demanda evaporativa atmosférica, esto representa una ventaja sobre otros índices que puede adaptarse eficazmente con la sequía agrícola, de igual manera se relaciona con las condiciones climáticas de la región determinada y se puede comparar con el índice de aridez de la FAO (Yue et al., 2018). Por esta razón, este trabajo propone estimar sequías meteorológicas anuales mediante el índice de RDI en el municipio de centro Tabasco de 40 años continuos para establecer los años de sequía posteriores, los resultados nos brindaran herramientas para la mejora de planes de acción para la gestión integral de los recursos hídricos, el ordenamiento territorial y promulgación de leyes para volúmenes de concesión del agua en el área de estudio.



## JUSTIFICACIÓN

A lo largo de la historia de la humanidad las grandes ciudades humanas han florecido gracias a que muchas se asentaban cerca de los cuerpos de agua como los ríos, como el ejemplo del Río Nilo en Egipto, la presencia de agua permitió desarrollar la agricultura y la ganadería de una manera estable, permitiendo el crecimiento de la ciudad porque el abastecimiento de agua era vital para el desarrollo de muchos cultivos, además las pirámides, templos y esfinges se atribuyen a la fertilidad del valle del Nilo por los desbordamientos que presentaba con frecuencia (Márquez Calle, 2008). El agua permite que la flora crezca, produciendo alimento y sirva como alimento de otros seres vivos, manteniendo el equilibrio de una cadena trófica (Bravo Velásquez, 2014).

La historia ha sido testigo de cómo grandes civilizaciones han desaparecido cuando sus principales abastecedores de agua se secan abandonando los lugares donde florecieron por el cambio desfavorable para los medios productivos y subsistencia que ya había desarrollado (Feldman, 2017), provocando hambruna, enfermedades y mortandad. Sin embargo, hay civilizaciones que se han adaptado a un lugar sin este recurso, lugares donde las crisis climáticas provocan cambios extremos, ya sea por frío o calor (Jiménez Marce, 2013), y este último causa carencia de precipitaciones y de humedad provocando sequías.

El concepto de sequía depende mucho de en qué región sea aplicada, pues por ejemplo en Europa se le considera sequía a un periodo de 1 mes sin agua, pero en el continente africano se considera que existe una sequía a partir de 5 o 6 años sin agua (Cantos et al., 2000).

Proporciona una idea de cómo este concepto varía dependiendo la calidad de vida de las personas y las comodidades dentro del entorno en la cual se han adaptado por



## Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



muchos años (Domínguez, 2016). África es uno de los lugares donde la sequía ha provocado muchas muertes y un claro ejemplo de que tan devastadores son las sequías.

Hay varios tipos de sequías, como la meteorológica, hidrológica, agrícola e incluso hay un nuevo concepto denominado sequía socioeconómica, el cual influye con la disminución del agua hasta el grado de producir consecuencias económicas e individuales a la población de la zona afectada por la escasez de lluvias, en especial a los abastecimientos de los servicios básicos como las provisiones y servicios como agua o energía eléctrica (Coronel, 2013).

En el México prehispánico, varias civilizaciones como Olmecas, Mayas, Aztecas, etcétera, realizaban sacrificios humanos, pues según ellos los sacrificios eran la fuerza encargada de dar vida y calor al planeta, además de proveer lluvias, impulsar el crecimiento de los árboles y plantas, y dar fertilidad. Debido a la conquista española, sus prácticas fueron eliminadas y reemplazadas por una nueva organización agrícola más técnica y de propiedad de la tierra. La expansión progresiva de plantas y animales europeos fueron cambiando el uso y explotación del suelo, introduciéndose especies nuevas (Castorena, 1980; García, 2001).

Las acciones para enfrentar los efectos de las sequías podían distinguirse entre mitigables y de corto plazo. Entre las mitigables es posible identificar el restablecimiento de los depósitos de semillas, control de las existencias, exención de impuesto, ejecución de mejoras técnicas a la producción, importación de granos de unos estados a otros, incluso a otros países, o conformación de juntas de beneficencia (V. G. Acosta, 1993).

Por otra parte, entre las alternativas de corto plazo tenían que evitar la tala descontrolada de bosques, conforme las leyes y ordenanzas sobre la tala de árboles,



## Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



incendio de pastizales y perjuicios a los manantiales. Estos hechos parecieran separado de las sequías, sin embargo, los bosques son ecosistemas que moderan los cambios de temperatura, protegen el suelo contra el deterioro que causa la erosión eólica e hídrica, y aportan seguridad a la cantidad y calidad del agua (Domínguez, 2016; Zaccagnini et al., 2014).

En México en las sequías por lo general son afectados los estados del norte como lo es Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, etcétera. Pero incluso estados del centro del país han sufrido sequías, hay periodos entre 5 y 10 años que han sido registradas más de 30 sequías.

Hoy en día , la política contra la sequía depende de las circunstancias locales, como las capacidades y conveniencias de cada nación, y por lo general se toman medidas proactivas dificultando la manera de enfrentar problemas económicos y sociales generando un coste más alto (Arreguín-Cortés et al., 2016). En México las prioridades se centran en la sequía que deriva de eventos hidrometeorológicos. La PRONACOSE y el programa PMPMS ( Programa de medidas preventivas y de mitigación de la sequía) propone planes y acciones para aplicarlas ante un evento de escasez temporal de agua, minimizando impactos ambientales, económicos y sociales (CONAGUA, 2018).

Con las nuevas tecnologías actuales se puede predecir en que determinado tiempo habrá una sequía en una cierta región y tomar las medidas necesarias para proteger los sectores sociales, económicos y ambientales, permitiendo disminuir o mitigar las consecuencias devastadoras que una sequía puede provocar, estructurando planes de manejo y control. Existen numerosos índices de sequías que deben de ser monitoreados continuamente cuando se desea determinar el inicio y fin de los eventos de sequía y sus posibles efectos en la región.



## Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



Para determinar y poder seleccionar algún índice de sequía debe de basarse en la cantidad y calidad de variables hidrometeorológicas disponibles para la región, además de contar con la habilidad de los investigadores en detectar consistentemente variaciones espaciales y temporales en los eventos de sequía (Penalba & Rivera, 2015).

Los índices de sequía a través de las variables climáticas como la temperatura, precipitación y evaporación.

En la historia de México ha ocurrido muchas sequías catastróficas teniendo consecuencias económicas y sociales en la población, presentándose de forma cíclica en nuestro país.

En el tercer trimestre del siglo pasado se atendió como un problema a los eventos de sequía, estableciéndose planes y programas gubernamentales para atenderlos. Una de las acciones fue la generación de las grandes presas en México, para que el agua fuera el motor de desarrollo de una economía agrícola (Domínguez, 2016).

México es un país susceptible a las sequías porque el 52% está catalogado como árido o semiárido. Catorce estados del territorio nacional presentan zonas áridas y semiáridas. Estas áreas son territorios más propensos al fenómeno de las sequías porque son sitios con baja precipitación pluvial a lo largo del año, y esta condición provoca que las sequías se presenten de manera más frecuente y que haya una mayor presión sobre el agua existente cuando ocurren (Esparza, 2014).

En el siglo XX se registraron cuatro grandes periodos de sequía, el primero es de 194 a 1954, el segundo periodo fue entre 1960 a 1964, el cuarto periodo fue entre 1970 a 1978 y el ultimo registrado fue entre 1993 a 1996, además una sequía severa en 1998, principalmente a los estados del norte del país (CENAPRED, 2001).





## Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



Entre los años 1910 y 1977 se tiene un registro de 38 sequías, 20 de ellas etiquetadas como severas y 7 etiquetadas como extremadamente severas, 17 sequías se encuentran asociadas de forma directa con sequías mundiales, como la que se presentó en 1951, que afectó 3 continentes (Oceanía, Europa y Asia); la de 1956, que impactó severamente a Europa, Asia y América; y la de 1972, con efectos en Oceanía, Asia y América (CONAGUA, 2014).

Una de las sequías más catastróficas y con consecuencias graves para la agricultura es la de 1962, en los estados de Tamaulipas, Durango, Nuevo León, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nayarit, Sinaloa y Baja California (CONAGUA, 2014; J. V. Díaz et al., 2009). Por lo que, las sequías catalogadas como extremas por lo regular ocurren en el norte del país. Estas provocan efectos negativos en los cultivos y la economía de los agricultores. Además, los ganaderos han sido afectados porque la falta de agua provoca desnutrición y la muerte en el ganado. La disminución de la producción de carne genera la elevación de precios y siendo más difícil la compra de este alimento para las personas de clase baja.

Florescano Mayet (1980) menciona que en México se presentaron una serie de sequías en 1960, 1962 y 1969, generando una crisis en la agricultura, y después afectó los sectores económicos y sociales. Algunas de las sequías que más pérdidas económicas provocaron se desarrollaron entre 1947 y 1948, periodo en el que pereció 50% del ganado en el estado de Chihuahua.

Para disminuir o mitigar los daños ocasionados por las sequías el gobierno a implementando obras de infraestructura hidráulica como pozos profundos, norias y presas, además en temporada de sequías algunos estados de gobierno implementan la distribución de agua a las comunidades a las que es más inaccesible el agua y otras veces el ganado ubicado en zona de sequía es reubicado temporalmente para evitar pérdidas por muertes.



## Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



Los datos recabados catalogan a 1977 como el año más seco del siglo. Las pérdidas, al menos en el sector agrícola, fueron extremadamente costosas, al límite en que en algunos estados de la república se etiquetó como un año catastrófico para la agricultura. Inclusive sus efectos se extendieron más allá del años 1978 (Domínguez, 2016).

Iniciando los años 2000, se registraron una serie de eventos de sequía: un severo periodo entre 2000 y 2003, en 2006, entre 2007 y 2008 y en 2009 (Servicio Meteorológico Nacional, 2024). La sequía del verano de 2011, que afectó a la mayor parte del territorio nacional, se reportó como excepcional en 12 municipios urbanos de los estados de Chihuahua, Coahuila, Sonora y Tamaulipas. Esta misma sequía de 2011 fue considerada como extrema en 120 municipios urbanos de 15 estados de las 32 entidades federativas (Chihuahua, Coahuila, Distrito Federal, Durango, Guanajuato, Hidalgo, México, Michoacán, Nuevo León, Querétaro, Sonora, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz y Zacatecas) (Pineda-Pablos et al., 2016). En el mes de mayo el 90% de la superficie del país se consideraba afectada por la sequía (SEMARNAT, 2023).

Las sequías no siempre se hacen presentes en el mismo estado, esta varia ya sea considerada una zona seca o desértica, la mayoría de los estados de México principalmente siendo más intensas en los estados del norte están propensos a sequías, incluso puede presentarse en zonas donde nunca ha ocurrido una sequía.

Una de las consecuencias inducidas por la sequías son los incendios forestales, los datos más antiguos de incendios en el estado fue en el año 2005, se tiene registros de 32 incendios reportados con una duración de 21:38 h, en el años 2009 se registraron 85 incendios con duración de 35: 47 h, pero sorprendentemente en 2011 fueron registrados solo 6 incendios, pero estos tuvieron una duración promedio de 65: 33 h, durando más que los incendios anteriores a pesar de ser un número muy



## Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



reducido de incendios reportados en ese año. En el año 2015 solo fueron 26 pero no hay registros de duración (CONAFOR, 2016).

### OBJETIVO GENERAL

Estimar sequías meteorológicas anuales de un periodo de 40 años mediante el índice de reconocimiento de sequía (RDI, por sus siglas en ingles) en el municipio de Centro, Tabasco para establecer los años de sequía posteriores.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Construir la base de datos de los registros de los datos climatológicos de un periodo de 40 años en el municipio de Centro Tabasco.
2. Procesamiento estadístico de la base de datos.
3. Evaluación del índice de reconocimiento de sequía (RDI, por sus siglas en ingles).
4. Determinar las sequías meteorológicas y las tendencias de precipitación para generar herramientas para la gestión del agua, planeación y ordenamiento territorial en el Centro, Tabasco.



## CAPÍTULO 2

### EL FENÓMENO DE SEQUÍA

La sequía es uno de los procesos ambientales que impactan a los recursos hídricos la agricultura, ganadería, pesca y el desarrollo humano. Este fenómeno se presenta cuando existen periodos prolongados de escasez de precipitaciones (Seguido, 2019). En todo el mundo, la demanda de agua se ha multiplicado por el crecimiento poblacional, la expansión de la actividad industrial como la energética, agrícola e industrial, además el cambio climático y la contaminación generada por la industria son las causantes (Bates et al., 2008).

De acuerdo con Kiem et al. (2016), se estiman que las sequías a nivel mundial alcanzan valores entre \$US 6.000 y 8.000 millones al año en pérdidas agrícolas y las empresa relacionadas con la agricultura. La sequía afecta a varios de los sectores primarios, desencadenando una crisis alimentaria, sanitaria y perdidas de ecosistemas debido a la degradación de la tierra y desertificación afectando a muchas regiones del mundo (Smakhtin & Schipper, 2008). Los costos de mitigación o remediación de los efectos de sequía aumentan cuando se detecta una que ya está en desarrollo, esto dificulta la adaptación, el seguimiento del fenómeno las sequías (Parry et al., 2016).

De acuerdo con Podestá et al. (2015) el fenómeno de sequía puede ser de 4 tipos: Sequía Meteorológica, sequía hidrológica, sequía agrícola y sequía socioeconómica tal y cómo se muestra y definen en la tabla 1.





## Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



**Tabla 1. Clasificación de las sequías**

TIPO DE SEQUÍA	DESCRIPCIÓN
<b>SEQUÍA METEOROLÓGICA</b>	Déficit de precipitaciones en una región determinada en un periodo de tiempo donde son empleados análisis meteorológicos de las sequías respecto a valores medios, duración e intensidad.
<b>SEQUÍA HIDROLÓGICA</b>	Se relaciona con periodos de recursos hídricos insuficientes en cuencas superficiales y subterráneas. Para su estimación se manejan los registros de caudales históricos.
<b>SEQUÍA AGRÍCOLA</b>	Está relacionado con la carencia o disminución de la humedad del suelo de cultivo, además es influyente en las sequías meteorológicas.
<b>SEQUÍA SOCIOECONÓMICA</b>	Está asociada con la falta de suministros de agua y alimentos para satisfacer las demandas de la sociedad, debido a que el agua es considerada un bien económico.

Macedo García (2022), menciona que, la sequía inicia por un déficit de precipitaciones durante un determinado periodo, incluyendo zonas altas precipitaciones a esto se le denomina sequía meteorológica. La ausencia de precipitaciones produce una caída en la humedad del suelo, descenso en los mantos de agua subterránea y caudales superficiales, esto origina un déficit en la demanda hídrica y se conoce como sequía hidrológica (E. Díaz et al., 2016).

Cuando los cuerpos de agua de alguna zona predeterminada tienen problemas hidrológicos causa un descenso en la humedad del suelo afectando a los requerimientos energéticos de los cultivos y vegetación, generando pérdidas a los agricultores y ocasiona la sequía agrícola (Batista & R, 2016). Consecuentemente, la escasez de recursos alimenticios, provocando un incremento en precios a los diferentes sectores alimenticios y se conoce como sequía socioeconómica (Amauri et al., 2023). Como se observa, la sequía meteorológica es la de mayor importancia porque es la responsable de desencadenar el resto de las sequías.





## SEQUÍAS EN MÉXICO

En México el clima es influenciado por fuerza y posición de los sistemas de alta presión subtropical de los océanos pacífico y atlántico norte, así como la ubicación de la zona de convergencia intertropical ubicada al sur del país. Los vientos alisios húmedos prevalecen durante 6 meses centrado en el verano, la penetración de masas de aire continental polar de América del norte es dominante en las estaciones de invierno y primavera, dando como resultado un descenso de la temperatura en casi todo el país (LOPEZ, 2018; Mendoza et al., 2005).

Las precipitaciones máximas ocurren en junio, septiembre y octubre, mientras que las mínimas se presentan en julio y agosto; estos valores reflejan una distribución bimodal en verano que se relaciona con el MSD (sequía de mediado verano por sus siglas en ingles). En abril y mayo la máxima supera los 30 °C causando el inicio de la temporada de lluvias; además cuando aumenta la nubosidad provoca que la radiación solar y la temperatura máxima disminuyan a menos de 28 °C y cuando las precipitaciones de julio y agosto disminuyen, las máximas aumentan llegando a 28°C; conforme aumentan las precipitaciones en septiembre también aumenta la temperatura mínima y la temperatura máxima disminuye (Magaña et al., 1999).





## Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



En la Figura 1 se puede observar cómo va aumentando la intensidad de las sequías y su presencia en varios estados de la república mexicana en un periodo de 10 años.

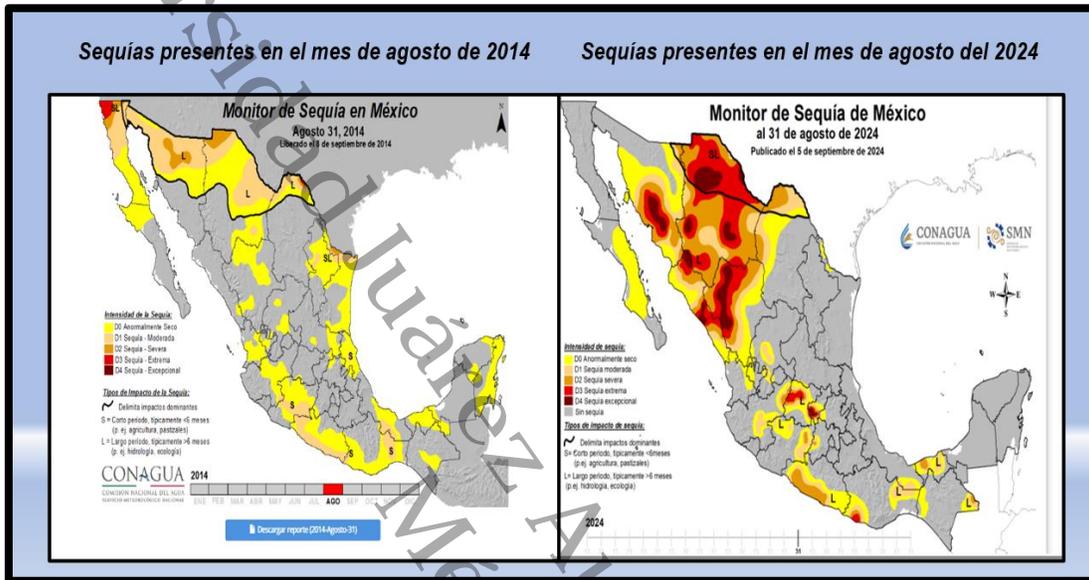


Figura 1. Comparación de las sequías presentadas en el territorio mexicano en un periodo de 10 años. Fuente: CONAGUA, (2024).



## ESTIMACIÓN DE SEQUÍAS METEOROLÓGICAS

En la estimación de sequías meteorológicas se obtienen parámetros como, la magnitud, duración, frecuencia, velocidad de implantación, extensión y dispersión espacial (Marcos Valiente, 2001; Mera & Elizabeth, 2020). La estimación de este trabajo no considera la estimación de la velocidad de implantación. Existen muchos métodos para estimar las sequías meteorológicas, en la siguiente tabla 2 se mencionan los índices utilizados con mayor frecuencia por año.

**Tabla 2. Índices utilizados para el control de la sequía meteorológica y frecuencia de uso por año. Fuente modificada: Ferrer Pozo & Gomez Luna, 2023.**

TIPO DE SEQUÍA	ÍNDICES/INDICADORES	FRECUENCIA DE USO POR AÑO
METEOROLÓGICA	1. Índice de Precipitaciones Estandarizadas (SPI) (McKee, 1993)	321
	2. Índice Normalizado de Precipitación (NPI) (Garrido, 1999)	44
	3. Índice de Precipitación Estandarizada Multivariada (MSPI) (Bazrafshan <i>et al.</i> , 2014)	70
	4. Porcentaje de Precipitación Normal PNP (MNDI) (Bhalme; Mooley, 1980)	58
	5. Índice de Precipitación Evapotranspiración Estandarizado (SPEI) (Vicente - Serrano <i>et al.</i> , 2010)	61
	6. Índice de Anomalía de Precipitación (RAI) (Van Rooy, 1965)	48
	7. Índice de Anomalía de Precipitación respecto a la moda (APMo) (García; Hernández, 1988)	24
	8. Índice Estandarizado de Sequía Pluviométrica (IESP) (Pita López, 2001)	157
	9. Índice Deciles de Precipitación (D) (Gibbs; Maher, 1967)	231
	10. Índice de Severidad de la Sequía (IS) (Tinajero <i>et al.</i> , 1986)	56
	11. Índice Global de Sequía Anual (ISA) (Gutiérrez, 2007)	36
	12. Índice de Persistencia de la Sequía (IPS) (Gutiérrez, 2007)	42
	13. Índice de Repetibilidad de la S. Meteorológica (IR) (Quintana; Álvarez, 2005)	92
	14. Índice de Aridez (Hare; Ogallo, 1993)	122
	15. Índice de Precipitación Efectiva (EP) (Byun; Wilhite, 1999)	22
	16. Índice de Sequía (IS) (Guerra; Almarza, 1996)	28
	17. Índice de Sequía (KBDI) (Keetch-Byram, 1968)	242
	18. Índice de Sequedad (Si) (Ped, 1975)	26
	19. Índice de Sequedad-Humedad (DM) (Meshcherskaya; Blazhevich, 1997)	22
	20. Índice de Condiciones de Temperatura (TCI) (Kogan, 1995)	28
	21. Índice de Zonas de Sequía (DAI) (Bhalme; Mooley, 1970)	35
	22. Índice Normalizado de Anomalías (SAI) (Kraus, 1970)	28



## Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



Ferrer-Pozo & Gomez Luna (2023) menciona que uno de los índices más utilizados con frecuencia es el Índice de precipitación estandarizado (SPI) y el Índice Deciles de Precipitación (DI), son un poco más fáciles de calcular ahorrando tiempo y dinero para predicciones futuras. Algunos índices requieren equipos especializados para poder medir ciertas variables y parámetros lo que los hace poco accesibles para algunas instituciones encargadas de medir y predecir sequías.

Los índices espectrales de sequía son herramientas creadas para estudiar las anomalías climatológicas que permiten medir la severidad, área de impacto, tiempo de duración y frecuencia (Huang et al., 2019). Estos son sensibles a cambios de las estaciones y exposición, lo que ayuda a medir su intensidad o extensividad, permitiendo descartar el riesgo de generalizar efectos de la sequía en sistema de diferentes condiciones climáticas o geológicas (Ballat et al., 2023; Yu et al., 2014; Gonçalves et al., 2021).

Núñez-Magaña et al. (2022) afirman que los índices de sequía más usados para la estimación y cuantificación de las sequías meteorológicas son el SPI (Índice estandarizado de precipitación), PDSI (Índice de severidad de la sequía de palmer), SPEI (Índice de Precipitación Evapotranspiración Estandarizada), RDI (Índice de reconocimiento de sequía) y CZI (Índice Z de China). Sin embargo, los índices espectrales de sequía que involucran la variable temperatura, la radiación solar incidente y la velocidad del viento ofrecen mejores resultados (Zhang et al., 2016).

La escala temporal de los Índices de sequía depende del periodo de evolución de la sequía que se desee observar. Algunas índices de sequía como los es el SPI y el PDSI generan datos incongruentes en un periodo de corto plazo, siendo poco precisos y fiables en periodos cortos, indicando que los índices de sequía son susceptibles a la escala temporal de evaluación (Mishra et al., 2009; Núñez-Magaña et al., 2022; Potopová & Mozny, 2011).





## Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



El RDI es utilizado en regiones áridas y semiáridas para monitorear las sequías, siendo creado para evitar las limitaciones del SPI (Svoboda et al., 2012; OMM 2012), porque el RDI toma en cuenta no únicamente las precipitaciones, sino igual la evapotranspiración, debido a que el agua evaporada es una pérdida para el sistema hidrológico, dando resultados más precisos y fiables en intensidad, duración y frecuencias (Romão, 2023).

### EL ÍNDICE DE RECONOCIMIENTO DE SEQUÍA (RDI)

El índice de reconocimiento de sequía (RDI, por sus siglas en inglés) es uno de los instrumentos más utilizados en la estimación de sequías meteorológicas (Altoom et al., 2024) y recomendado por la Organización Mundial de Meteorología (OMM).

Utiliza la evapotranspiración potencial (E) para la estimación de periodos húmedos y secos. Las escalas de evaluación van desde un paso de tiempo mensual, por estaciones o anual (OKSAL & Beden, 2023).

En la estimación del RDI se calculó mediante la ecuación 1 (Campos-Aranda, 2018; Tsakiris et al., 2007).

$$RDI_{st}^i = \frac{Z_i - \bar{Z}}{\sigma_Z} \quad (\text{ecuación 1})$$

Donde  $\bar{Z}$  es la media y  $\sigma_Z$  es la desviación estándar de los valores de  $Z_i$ .

$$Z_i = \ln(A) \quad (\text{ecuación 2})$$

$Z_i$  se definió como el  $\ln(A)$ , donde  $A$  depende de la precipitación mensual acumulada (P<sub>Ma</sub>) y la evapotranspiración (E<sub>a</sub>) se obtuvo, mediante la ecuación 3

$$A = \frac{P_{Ma}}{E_a} \quad (\text{ecuación 3})$$



## Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



Para estimar la evapotranspiración potencial anual ( $E_a$ ) se utilizó el método de Hargreaves-Samani. Esta se basa exclusivamente en la temperatura media ( $TM_a$ ) anual expresada en grados Fahrenheit y en la radiación solar incidente media diaria ( $R_{sai}$ ) anual expresada en milímetros de lámina de agua evaporada ( $mmH_2O$ ).

$$E_a = 2.7375 * R_{sa} * (1.8 * TM_a + 32) \quad (\text{ecuación 4})$$

Para la transformación de  $R_{sai}$  ha, lámina de agua evaporada  $R_{sa}$  por día se utiliza la siguiente expresión.

$$R_{sa} = \frac{10 * R_{sai}}{CL_{EV}} \quad (\text{ecuación 5})$$

En la estimación del calor latente de evaporación ( $CL_{EV}$ ) se utilizó la siguiente fórmula con unidades de calorías para evaporar 1 g o 1 cm<sup>3</sup>, con la temperatura media ( $TM_a$ ) anual en °C (Campos-Aranda, 2018).

$$CL_{EV} = 595.9 - 0.55 * TM_a \quad (\text{ecuación 6})$$

Los valores que se obtienen para el RDI se clasificaron de acuerdo con la clasificación de severidad tabla 3, esta cuenta con 8 escalas donde los valores negativos señalan periodos de sequía, mientras que, los valores positivos reflejan periodos de humedad.

**Tabla 3. Clasificación de severidad de acuerdo con la magnitud del RDI. Fuente modificada: OKSAL & Beden, 2023.**

CLASIFICACIÓN DE SEQUÍA	RDI
EXTREMADAMENTE HÚMEDO (HE)	$2 \leq$
MUY MOJADO (MM)	$< 2$
MODERADAMENTE MOJADO (HM)	$< 1,5$
LIGERAMENTE HÚMEDO (HL)	$< 0$
SEQUÍA LEVE (SL)	$< -1,0$
SEQUÍA MODERADA (SM)	$< -1,5$
SEQUÍA SEVERA (SS)	$- < -2$
SEQUÍA EXTREMA (SE)	$\leq -2$



## Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



La ventaja que nos dio el RDI fue que toma en cuenta variables de temperatura y tiene en cuenta la evapotranspiración. Además, otra ventaja que nos dio el RDI fue que su formulación considera la estimación del calor latente y la evaporación. Estos procesos son fundamentales para el análisis de la interacción entre la atmósfera-suelo y revelan información de regiones en transición entre climas secos y húmedos (Rosales et al., 2024).



## CAPÍTULO 3

### MATERIALES Y METODOLOGÍA

La figura 2 muestra los componentes principales, dentro de los que destacan son la delimitación del área en estudio, el implemento de los registros históricos diarios de las variables meteorológicas del “Daily Surface Weather an Climatological Summaries”( DAYMET, por sus siglas en ingles), el procesamiento de los registros históricos e implemento de del marco metodológico.

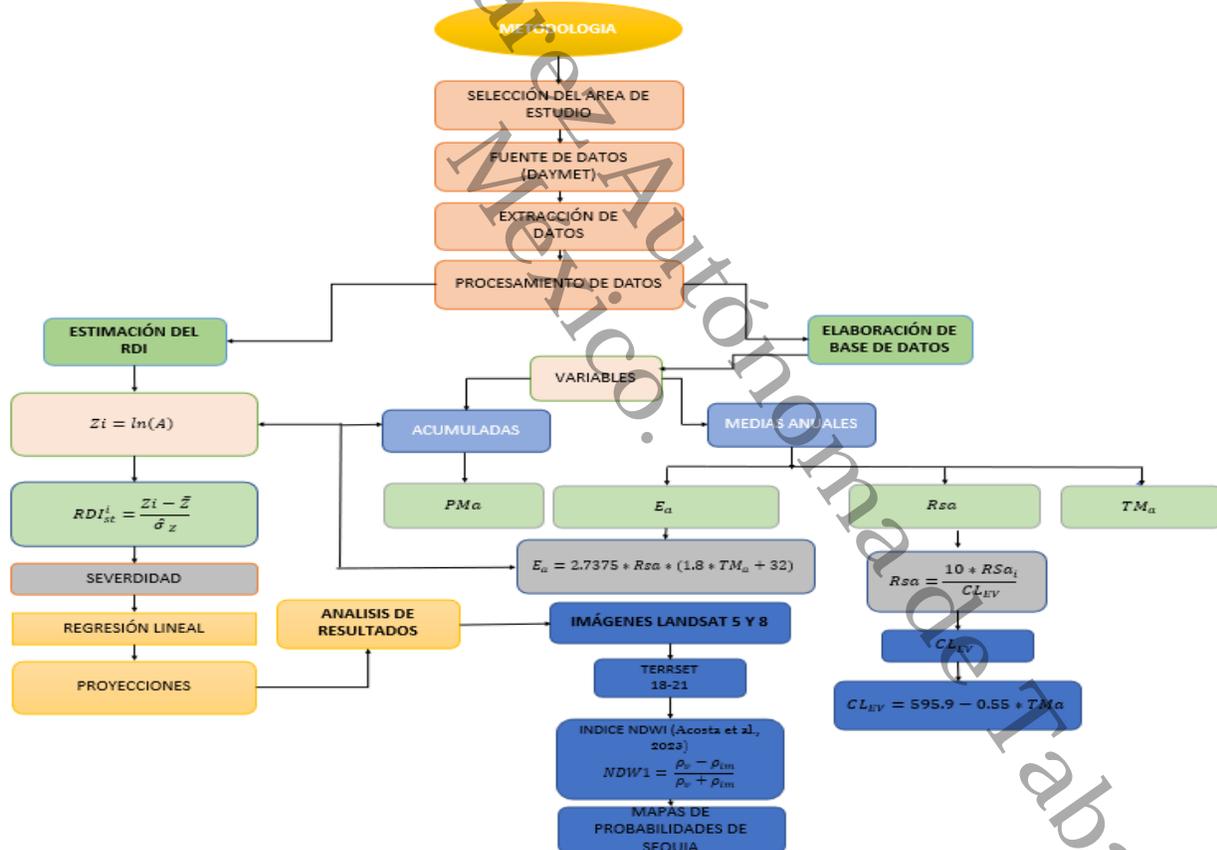


Figura 2. Estructura metodológica general implementada. Fuente: Elaboración propia.



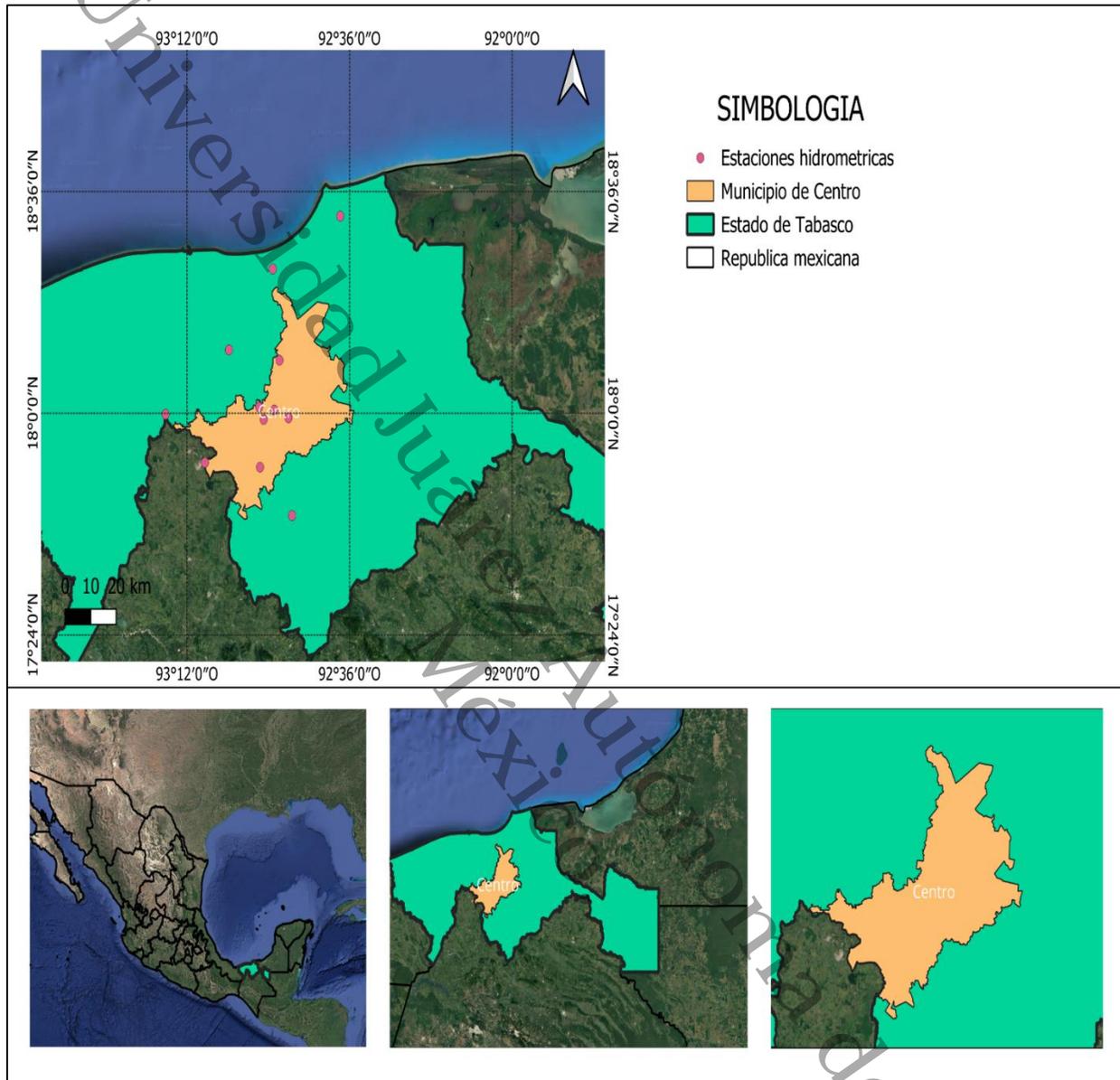
## ÁREA DE ESTUDIO

El municipio de Centro está ubicado en la zona centro del estado de Tabasco con las coordenadas geográficas  $17^{\circ} 59'$  latitud norte y  $92^{\circ} 56'$  longitud oeste, además en él se encuentra la cabecera municipal y capital del estado llamada Villahermosa. El municipio de Centro (Figura 3) se encuentra a 20 metros sobre el nivel del mar, además tiene un área de  $1,612 \text{ km}^2$ . Centro colinda hacia el norte con los municipios de Nacajuca y Centla, al sur con Jalpa de Méndez y Chiapas, al este con Macuspana y Centla y al Oeste con Cárdenas y Chiapas nuevamente. Según registros del INEGI en el año 2020 el municipio de Centro contó con 683, 607 habitantes. El clima se considera como cálido-húmedo, con un promedio de  $36^{\circ}\text{C}$  como temperaturas máximas alcanzadas en mayo y la mínima es de  $18.5^{\circ}\text{C}$  en enero (de la Cruz Pereyra, 2021).

Esta área fue seleccionada para estimar sequías meteorológicas anuales de un periodo entre 1980 – 2020 implementando el índice de reconocimiento de sequía RDI en el municipio de Centro, Tabasco para establecer los años de sequía posteriores. La selección de esta área fue debido a que es la zona con mayor densidad de población, y a pesar de encontrarse una región con riqueza hídrica y un clima cálido-húmedo, la región en los últimos años ha registrado un periodo de sequías inéditas (Servicio Meteorológico Nacional, 2024). Estas han ocasionados incendios afectando en el equilibrio de los ecosistemas, la ganadería, la agricultura y las actividades y salud humana.



## Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



*Figura 3. Localización de las estaciones hidrométricas consideradas para el área de estudio.*



## Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



En este estudio, se establecieron 12 puntos de observación para un mejor análisis de sitio observando la evolución y el comportamiento de las variables hidrometeorológicas en un periodo de 40 años. En los puntos de observación 7 de ellos se ubican en el municipio de Centro, 4 en las afueras del municipio (1 en Cunduacán, 1 en Jalpa de Méndez, 2 en Centla y una fuera el estado, en Chiapas.) (Figura 3). En la **tabla 4** se menciona el nombre de los puntos de observación y estudio de las variables para el cálculo del RDI.

**Tabla 4. Nombres de los puntos de observación para el cálculo de RDI**

ESTACIÓN (NOMBRE)	ESTACIÓN	MUNICIPIO	COORDENADAS	
			X	Y
FRONTERA	E1	Centla	18.533600	-92.633900
VICENTE-G	E2	Centla	18.390800	-92.883300
MACULTEPEC	E3	Centro	18.143600	-92.858300
JALPA-DE MÉNDEZ	E4	Jalpa de Méndez	18.171700	-93.045000
SAMARIA	E5	Cunduacán	17.997500	-93.278600
ESCUELA DE INGENIERÍA	E6	Centro	18.016700	-92.933300
PORVENIR	E7	Centro	18.008900	-92.877200
DOS MONTES	E8	Centro	17.987800	-92.825000
VHS	E9	Centro	17.983300	-92.916700
PLAYAS DEL ROSARIO	E10	Centro	17.854400	-92.930000
REFORMA	E11	Chiapas	17.866700	-93.133300
JALAPA	E12	Jalapa	17.723300	-92.811700

### FUENTE DE DATOS

Se establecieron 12 puntos de observación (Figura 2) homogéneamente espaciados (Núñez-Magaña et al., 2022), cuya localización concuerdan con las estaciones hidrométricas de la CONAGUA (ver tabla 3).



## Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



La observación de las variables hidrometeorológicas, tales como, la precipitación mensual acumulada ( $P_{ma}$ ), evapotranspiración potencial anual ( $E_a$ ), calor latente ( $CL$ ), radiación solar incidente ( $Rsa$ ) y temperatura media ( $TM_a$ ) fue considerada para el periodo 1980-2020.

La adquisición de datos fue a través de la plataforma DAYMET, disponible en <https://daymet.ornl.gov/single-pixel/>. Esta fuente de datos, proviene de registros el SMN y estaciones de la red climatológica histórica mundial (GHCN), donde una serie de algoritmos pondera datos meteorológicos las 24 horas mediante interpolación (Rodríguez-Campero et al., 2023). Otra plataforma de apoyo para la recopilación de los datos fue Earth Explorer, empleada para obtener imágenes satelitales Landsat 5 y 8 desde <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

### PROCESAMIENTO DE DATOS

Una vez que se obtuvieron los datos de las variables de los últimos 40 años en cada punto de estudio, se procedió a elaborar una base de datos con los registros históricos climatológicos para el tratamiento estadístico.

Inicialmente, se filtraron las variables no son necesarias en la estimación de RDI, para eliminar registros innecesarios, reducir el número de variables y facilitar la estimación de RDI. Posteriormente, en los registros históricos de cada punto de observación, se tomaron las medias mensuales de las variables  $P_{ma}$  y  $TM_a$  y anuales para  $Rsa_i$ , a lo largo de toda la serie (1980-2020) para estimar el calor latente ( $CL_{EV}$ ) y evapotranspiración potencial anual ( $E_a$ ) mediante las ecuaciones 4, 5 y 6.

Las imágenes Landsat 5 y 8 fueron empleadas para adquirir las reflectancias, la estimación de coberturas de agua con el índice NDWI (Acosta et al., 2023) y la



## Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



generación de mapas con probabilidades de sequías a través del software Terrset versión 18.21. Las imágenes que se utilizaron en un periodo de 40 años, están fechadas para una mejor clasificación en las tablas 4 y 5. La tabla 5 enlista 58 imágenes Landsat 5 recopiladas. Mientras que, la tabla 6 muestra 55 imágenes Landsat 8. Cada imagen fue seleccionada siguiendo el criterio de 5% de coberturas nubes en el área de estudio, con el objetivo de facilitar la adquisición de datos para la estimación del índice NDWI.



Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



Tabla 5 Fecha de captura de imágenes Landsat 5 de PATH (22) /ROW (47).

IMAGEN	FECHA DE CAPTURA
1	19880425
2	19881119
3	19900330
4	19900423
5	19920319
6	19930210
7	19930226
8	19930330
9	19930415
10	19930501
11	19930517
12	19930906
13	19931125
14	19940128
15	19940213
16	19940301
17	19941128
18	19941230
19	19950115
20	19950216
21	19950320
22	19950405
23	19950421
24	19950507
25	19950523
26	19960102
27	19960118
28	19960306
29	19960322
30	19960509
31	19960829
32	19970104
33	19970221
34	19970309
35	19970325
36	19970512
37	19970613
38	19980107
39	19980208



## Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



40	19980224
41	19980328
42	19980413
43	19990211
44	19990227
45	19990502
46	19990518
47	19991212
48	20000113
49	20000214
50	20000301
51	20000723
52	20000925
53	20001027
54	20010115
55	20010405
56	20010421
57	20110228
58	20110401

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.





## Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



*Tabla 6. Fecha de captura de imágenes Landsat 8 PATH (22) / ROW (47).*

IMAGEN	FECHA DE CAPTURA
1	20130625
2	20130727
3	20130828
4	20130929
5	20140220
6	20140308
7	20140324
8	20140425
9	20140527
10	20150412
11	20150514
12	20150802
13	20150903
14	20151224
15	20160109
16	20160125
17	20160313
18	20160430
19	20160601
20	20170212
21	20170228
22	20170401
23	20170503
24	20170519
25	20170807
26	20170924
27	20180404
28	20180725
29	20130625
30	20130727
31	20131031
32	20131202
33	20140220
34	20140308
35	20140425
36	20141002
37	20150122
38	20150701
39	20150802
40	20151005



## Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



41	20151224
42	20160109
43	20160125
44	20160313
45	20160430
46	20160601
47	20170212
48	20170228
49	20170401
50	20170503
51	20170519
52	20170807
53	20171213
54	20180404
55	20180725

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.





## ESTIMACIÓN DEL RDI

A partir de los registros históricos tratados en la base de datos, se determinaron cada uno de los componentes de la *ecuación 1*. Iniciando con, las medias mensuales  $P_{ma}$ ,  $Rsa_i$  y  $TM_a$ , para determinar los valores anuales  $CL_{EV}$  y  $E_a$  siguiendo las ecuaciones 4, 5 y 6. Después, estos valores fueron integrados a la *ecuación 1* para determinar la magnitud del RDI en cada uno de los puntos de observación (tabla 4). Luego, se ingresó a la tabla cada una de las magnitudes del RDI para determinar la severidad. A continuación, se proporcionan detalles de la evaluación de  $E_a$  y  $Rsa$  para llegar a la magnitud del RDI.

Con los registros históricos de  $Rsa_i$  obtenido en el DAYMET, se realizó la conversión de la radiación solar incidente ( $Rsa_i$ ) a lámina de agua evaporada ( $Rsa$ ) a partir de la ecuación 5, en ella se necesitaron los valores medios mensuales promedio de temperatura máximas, mínimas y el calor latente ( $CL_{EV}$ ). Luego, se evaluó la evapotranspiración con ayuda de la ecuación 4. Para ello, fue necesario aplicar los valores anuales de  $Rsa$  con unidades en  $\frac{mmH_2O}{dia}$  y la temperatura media anual en  $^{\circ}C$ .

El proceso que se utilizó para el cálculo utilizando la ecuación 4, fue el siguiente:

- Uso de valores de temperatura media mensual: inicialmente se utilizan los valores mensuales de la temperatura media ( $TM$ ), que se obtuvieron previamente para después sustituir.
- Sustitución de valores de la Radiación solar incidente ( $Rsa$ ): Después los valores de  $Rsa$  anuales son sustituidos en la ecuación 4.





## Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



Una vez que se obtuvo la evapotranspiración potencial anual ( $Ea$ ) se aplicó la ecuación 3, de los datos capturados de precipitación para calcular la  $PMa$  entre la  $Ea$ . Luego, con la (ecuación 1) se calculó el RDI, donde fue necesario agrupar datos para calcular la media aritmética ( $\bar{Z}$ ) y la desviación estándar ( $\sigma_z$ ) de los resultados de la (ecuación 2). Para interpretar los valores resultantes fue necesario la escala de severidad y saber qué tipo de sequía se presentó cada año durante 40 años. Finalmente, con los resultados se aplicó el método de regresión lineal para estimar los años posteriores al periodo de estudio (Fiallos, 2021; Lino Calle et al., 2024).

Esto consistió en la estimación de la precipitación acumulada media anual ( $PMa$ ), la temperatura media anual ( $TMa$ ) y para la radiación solar incidente anual ( $RSa$ ) por estación meteorológica.

Fue necesario calcular el calor latente de evapotranspiración ( $CL_{EV}$ ) como se muestra en la ecuación 6 usando una de las variables registradas en la base de datos, la  $TMa$ . Los resultados fueron sustituidos en la ecuación 5 para calcular la Radiación solar incidente media anual y realizar una conversión de unidades, donde son necesarias para poder calcular la evapotranspiración ( $Ea$ ) como se muestra en la ecuación 4.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los registros históricos diarios en cada una de las 12 estaciones meteorológicas fueron procesados para la integración del índice RDI.

·





## Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



La tabla 7 muestra los resultados anuales de un periodo de 40 años de los cálculos del RDI en el municipio de Centro. Los valores con signos positivos representaron años húmedos, mientras que, los valores negativos señalan años secos.

**Tabla 7. Resultados del RDI por estación.**

AÑO	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12
1980	1.272	1.325	1.325	1.312	1.284	1.453	1.286	1.687	1.332	0.950	0.954	0.726
1981	0.625	0.613	1.022	0.878	1.513	1.212	1.238	1.249	1.237	1.196	1.037	1.008
1982	-0.143	0.140	0.139	0.111	0.266	0.340	0.248	0.328	0.228	0.059	-0.412	0.281
1983	-0.818	-0.725	0.181	-0.710	-0.730	0.397	0.058	0.886	0.009	-0.033	-1.041	0.339
1984	0.300	0.679	0.921	0.664	0.773	0.864	0.850	0.922	0.762	0.673	0.128	0.656
1985	-2.026	-1.427	-0.350	-0.246	-0.592	-0.338	-0.285	-0.401	-0.260	-0.525	-0.469	0.013
1986	-1.044	-2.000	-0.864	-1.181	-0.390	-0.577	-0.549	-0.616	-0.549	-0.439	-0.296	-0.339
1987	0.569	-0.294	-0.054	-1.762	-2.525	-0.596	-0.738	-0.159	-0.803	-1.121	-0.829	0.255
1988	1.268	1.628	1.726	0.888	0.926	1.597	1.539	1.518	1.636	1.738	1.328	1.058
1989	0.675	0.636	0.398	0.457	0.353	0.189	0.134	0.193	0.135	-0.097	-0.109	0.554
1990	-0.334	-0.021	0.218	-0.031	0.353	0.406	0.290	0.426	0.326	-0.044	0.072	0.533
1991	0.904	0.719	0.542	0.599	0.503	0.496	0.614	0.338	0.621	0.329	0.054	0.289
1992	-0.299	0.349	1.540	1.189	0.979	1.666	1.577	1.675	1.334	1.216	1.026	1.099
1993	-0.996	-0.102	0.509	0.759	1.415	0.152	0.361	-0.065	0.329	0.010	0.974	0.345
1994	-1.249	-1.309	-0.564	-0.542	-0.402	-0.413	-0.451	-0.359	-0.390	-0.757	-1.647	-0.194
1995	1.618	1.720	1.901	2.222	1.109	1.675	1.689	1.471	1.631	0.981	0.619	1.112
1996	-0.462	0.161	0.507	0.362	0.492	0.485	0.360	0.413	0.342	0.080	0.368	0.486
1997	0.725	0.357	0.308	0.462	0.403	0.196	0.240	0.189	0.272	0.366	0.513	0.186
1998	0.328	0.538	-0.141	0.228	-0.269	-0.919	-0.629	-1.198	-0.574	0.004	-0.053	-0.765
1999	1.787	1.980	-0.107	1.338	1.110	0.547	0.920	0.059	0.990	1.415	1.682	1.015
2000	1.176	1.441	0.941	0.975	0.467	0.638	0.716	0.706	0.744	0.616	0.589	0.471
2001	0.945	0.882	0.592	0.838	0.867	0.655	0.682	0.784	0.648	0.833	1.047	0.803
2002	0.836	0.424	0.629	0.400	0.120	0.797	0.729	0.752	0.759	1.052	0.933	0.880
2003	-0.454	-1.088	-0.446	-0.597	-0.243	0.053	0.145	0.095	0.250	0.583	0.635	0.675
2004	-0.119	-0.327	-0.346	-0.339	-0.558	-0.223	-0.256	-0.283	-0.237	0.080	0.317	0.169
2005	1.191	0.684	0.497	0.173	-0.567	0.210	0.140	0.150	0.157	0.394	0.146	0.055
2006	0.156	0.048	-0.325	-0.015	0.429	-0.036	-0.010	-0.019	0.073	0.671	0.649	0.522
2007	-1.294	0.194	0.663	0.762	0.901	0.862	0.851	0.869	0.847	0.828	0.848	0.422
2008	-2.014	-0.552	-0.250	-0.080	0.417	-0.137	-0.035	0.073	0.043	0.397	0.779	0.450



## Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



<b>2009</b>	-0.928	-0.926	-1.812	-1.060	-0.596	-1.668	-1.678	-1.612	-1.628	-1.187	-1.093	-0.806
<b>2010</b>	1.024	0.751	0.860	0.607	0.311	0.724	0.747	0.545	0.759	1.007	0.885	0.778
<b>2011</b>	0.870	0.612	0.276	0.560	1.013	0.072	0.102	0.161	0.071	0.170	0.697	0.275
<b>2012</b>	-0.911	-0.664	-1.133	-0.278	0.065	-0.722	-0.570	-0.821	-0.584	-0.498	-0.131	-0.326
<b>2013</b>	0.867	0.492	-0.039	0.158	-0.023	-0.195	-0.207	-0.187	-0.239	-0.385	-0.241	-0.783
<b>2014</b>	-0.307	-0.855	-1.120	-1.084	-1.031	-1.096	-1.138	-1.081	-1.160	-1.236	-1.133	-1.574
<b>2015</b>	-0.301	-0.747	-1.226	-0.989	-1.253	-1.410	-1.438	-1.544	-1.461	-1.651	-1.372	-1.942
<b>2016</b>	-1.364	-1.833	-2.209	-2.065	-1.787	-2.175	-2.179	-2.111	-2.205	-2.147	-2.002	-2.398
<b>2017</b>	-0.245	-0.517	-0.999	-0.930	-1.035	-1.256	-1.278	-1.249	-1.308	-1.389	-1.292	-1.756
<b>2018</b>	-0.961	-1.519	-1.842	-1.970	-1.905	-1.978	-2.066	-1.913	-2.097	-2.088	-2.002	-2.322
<b>2019</b>	-0.869	-1.468	-1.946	-2.062	-2.168	-1.949	-2.010	-1.86	-2.039	-2.05	-2.158	-2.25
<b>2020</b>	-0.322	-0.541	-1.064	-0.7560	-0.760	-1.097	-1.059	-1.13	-1.055	-0.86	-0.635	-1.14

Posteriormente, siguiendo la tabla 3, se determinó la severidad en cada una de las 12 estaciones del área en estudio. El comportamiento anual del RDI en el municipio del Centro fue definido a partir de la severidad anual de mayor frecuencia.

Estos resultados se expresan en la tabla 8 y muestran las fluctuaciones que tuvieron las sequías en ese periodo de 40 años.

**Tabla 8. Valores medios anuales del RDI en el periodo 1980-2020**

AÑO	RDI	SEVERIDAD
<b>1980</b>	1.242	HM
<b>1981</b>	1.069	HM
<b>1982</b>	0.132	HL
<b>1983</b>	-0.182	SL
<b>1984</b>	0.683	HL
<b>1985</b>	-0.575	SL
<b>1986</b>	-0.737	SL
<b>1987</b>	-0.671	SL
<b>1988</b>	1.404	HM
<b>1989</b>	0.294	HL
<b>1990</b>	0.183	HL
<b>1991</b>	0.501	HL
<b>1992</b>	1.113	HM
<b>1993</b>	0.307	HL



## Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



1994	-0.690	SL
1995	1.479	HM
1996	0.300	HL
1997	0.351	HL
1998	-0.287	SL
1999	1.061	HM
2000	0.790	HL
2001	0.798	HL
2002	0.693	HL
2003	-0.033	SL
2004	-0.177	SL
2005	0.269	HL
2006	0.179	HL
2007	0.563	HL
2008	-0.076	SL
2009	-1.250	SM
2010	0.750	HL
2011	0.407	HL
2012	-0.548	SL
2013	-0.059	SL
2014	-1.068	SM
2015	-1.278	SM
2016	-2.040	SS
2017	-1.104	SM
2018	-1.889	SM
2019	-1.904	SM
2020	-0.870	SM

Otro de los resultados obtenidos fue el número de incidencias por escala de severidad desarrolladas en el periodo de estudio (tabla 9). El evento de mayor frecuencia fue HL (Ligeramente húmedo). Mientras que, los eventos de HS (humedad severa), HE (humedad extrema) y SE (sequía extrema) no se desarrollaron. Sin embargo, se tuvo 7 casos de SM (sequía moderada) y 1 de SS (sequía severa), donde se observa que es el evento más frecuente en la última década.



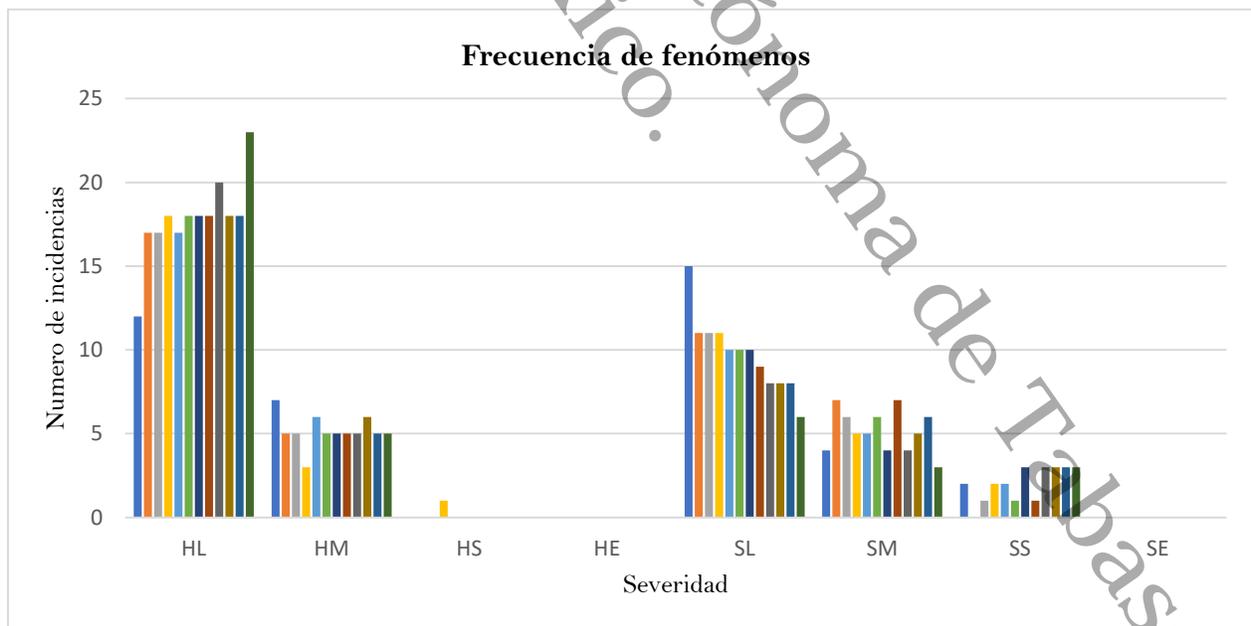
Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



Tabla 9. Resultados de sequías meteorológicas anuales 1980-2020.

ETIQUETA DE SEVERIDAD	NUMERO DE INCIDENCIAS
HL	16
HM	6
HS	0
HE	0
SL	13
SM	7
SS	1
SE	0

En la gráfica 1 se aprecia la frecuencia de los fenómenos de severidad, en el eje x se representan las etiquetas de escalas, de la escala de severidad y las 12 estaciones hidrométricas que se utilizaron para el estudio presente. En el eje y el número de incidencias presentes por estación.



Gráfica 1. Número de incidencias por escala de severidad.

Etiquetas de severidad del número de veces que se hicieron presentes en el periodo de 1980-2020 en las 12 estaciones hidrométricas de estudio.





## Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



Las proyecciones para predecir sequías en los siguientes 2 años posteriores al periodo de estudios se realizaron a través de extrapolación lineal usando la función del software Excel “PRONOSTICO LINEAL”, cabe mencionar que para poder realizar y obtener cálculos más precisos en la extrapolación se tomaron resultados de no más de 3 años de nuestros valores previamente calculados del RDI debido a que tiene valores lineales en periodos cortos, puesto que tomar más años afectaría seriamente las predicciones pues tiene picos altos, los resultados se plasman en la tabla 10.

*Tabla 10. Valores medios anuales de proyecciones de los 2 años posteriores al periodo de estudio del RDI*

AÑO	RDI	SEVERIDAD
2021	-0.536	SL
2022	0.264	HL

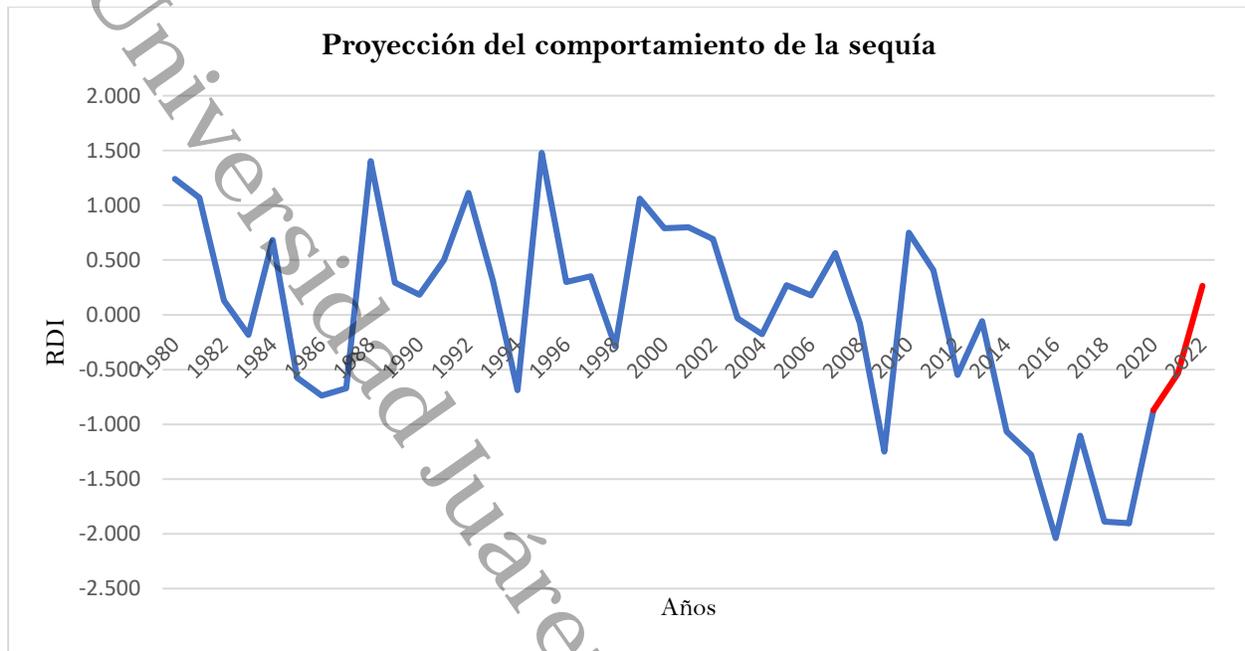
Los siguientes 2 años del periodo 2021-2022 presentan SL y HL, esto demuestra que se presentan variaciones en el cambio climático, es decir habrá años con sequías que con el pasar de los años serán más intensas y otros años en las que no se presentarán sequías en el municipio de Centro.

En la gráfica 2 se muestra las fluctuaciones de las sequías en el periodo 1980-2020, se percibe como en los primeros años de estudio abundan los periodos de humedad, con poca presencia de sequías, pero a partir del año 2009 se hacen más recurrentes la presencia de las sequías, siendo la de mayor intensidad en el 2016 presentándose con el pico más bajo en la gráfica. La parte sombreada de rojo representa las proyecciones del periodo 2021-2022, donde según las estimaciones muestran periodos de sequía y humedad leve en esos 2 años respectivamente. Se representa con el eje y en positivo y negativo debido a que los valores positivos presentan periodos de humedad o sin sequía y los negativos representan sequías.





## Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



**Gráfica 2. Comportamiento de las sequías en los 40 años de estudio y 2 de proyecciones.**

De las 55 imágenes landsat 5 y las 55 landsat 8 (tabla 5 y tabla 6) del periodo 1980-2020, se seleccionaron las que presentaban con mayor frecuencia por año periodos de sequías de acuerdo al grado de severidad que se aplica para el RDI (tabla 3) y de esta forma poder construir el mapa de acuerdo a los datos proporcionados por las imágenes landsat, apoyado de los softwares Terrset 18-21 y ArcGIS.

Los resultados del RDI en el municipio de Centro muestran probabilidades superiores a 80% de presentar sequías hacia el noreste del municipio del Centro, seguida de la región sur con probabilidades mayores a 50%.

Estos resultados concuerdan con los resultados del Sistema Meteorológico Nacional (2020), donde se registraron eventos de sequía de mayor frecuencia categorizada como sequías moderadas, afectando al municipio de Centro en prácticamente la mitad del año y en otras pequeñas zonas del estado como sequías





## Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



severas. En el 2021, no se presentó ningún rastro de sequías, solo en los últimos 3 meses del año, afectando nuevamente al municipio de Centro, pero esta vez con una baja intensidad y categorizada como anormalmente seco. El 2022 tuvo periodos de anormalmente secos, pero sin afectar el municipio de Centro con sequías prolongadas, y periodos en su mayoría húmedos.

Los siguientes años no se hizo una predicción en nuestra gráfica, pero fue necesario investigar cual era el comportamiento de las sequías según dadas por el SPI del servicio meteorológico nacional. En el 2023 los periodos de anormalmente secos se hicieron presentes y fueron aumentando su intensidad, pero sin afectar la zona Centro, pero se intensificaron aún más, pasando a sequía moderada afectando a casi todo el estado de Tabasco, bajando su intensidad al terminar el año. En 2024 tuvo afectaciones con una sequía moderada en casi todo el territorio tabasqueño, esto se intensifico al pasar los meses donde se presentó una sequía severa que duro varios meses, en la parte costera norte del territorio incluso se presentaron sequías catalogadas como extremas. Los meses posteriores presentaron periodos anormalmente secos. El informe más reciente del Servicio Meteorológico Nacional, (2025), posterior a este estudio dice que en los primeros meses del año 2025 el estado de Tabasco presenta el 50% de su territorio periodos anormales de sequía. *Monitor de Sequía en México (MSM)*. Disponible en: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>.

Se compararon estos informes con la tabla 10 y analizando detalladamente se aprecia que los valores son muy parecidos con los presentados en la tabla, además muestra que en el año 2020 se presentaron sequías y en 2021 periodos de humedad leve en el territorio tabasqueño y el municipio de Centro.





## Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



Esto quiere decir que el SPI y el RDI arrojan datos similares. Se menciona el SPI ya que es muy utilizado en el Servicio meteorológico nacional.

El RDI es un índice de sequía que tiene una interpretación similar al SPI, pero no se puede usar en regiones frías pues la evapotranspiración es igual a 0 en zonas frías (Ortiz-Gómez et al., 2018), pero nuestra región de estudio es conocida por tener clima cálido húmedo arrojando datos más acertados el RDI. Ambos índices son más precisos a medida que el tiempo transcurre, algunos autores recomiendan periodos mínimos de 30 años para usar estos índices (Lobato-Sánchez, 2016). El SPI es utilizado cuando se carece de datos de temperatura como sucede en algunas regiones semiáridas, además de ser menos complejo sus cálculos. El SPI necesita únicamente valores históricos de registros de precipitaciones mensuales, además se tiene la opción de manipular escalas de tiempo, facilitando la identificación de impactos de sequía en periodos cortos, medianos y largos (Olivares et al., 2016), en comparación con el RDI donde son necesarios más variables como temperatura, precipitación, evapotranspiración, etcétera.

Campos-Aranda (2020) menciona que algunos autores convergen en dos aspectos de vital importancia para poder aplicar el SPI, el registro de la amplitud y el uso en climas áridos. Además, dice que el SPI ignora datos importantes que son característicos de las sequías como la temperatura y la evapotranspiración.





## Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.

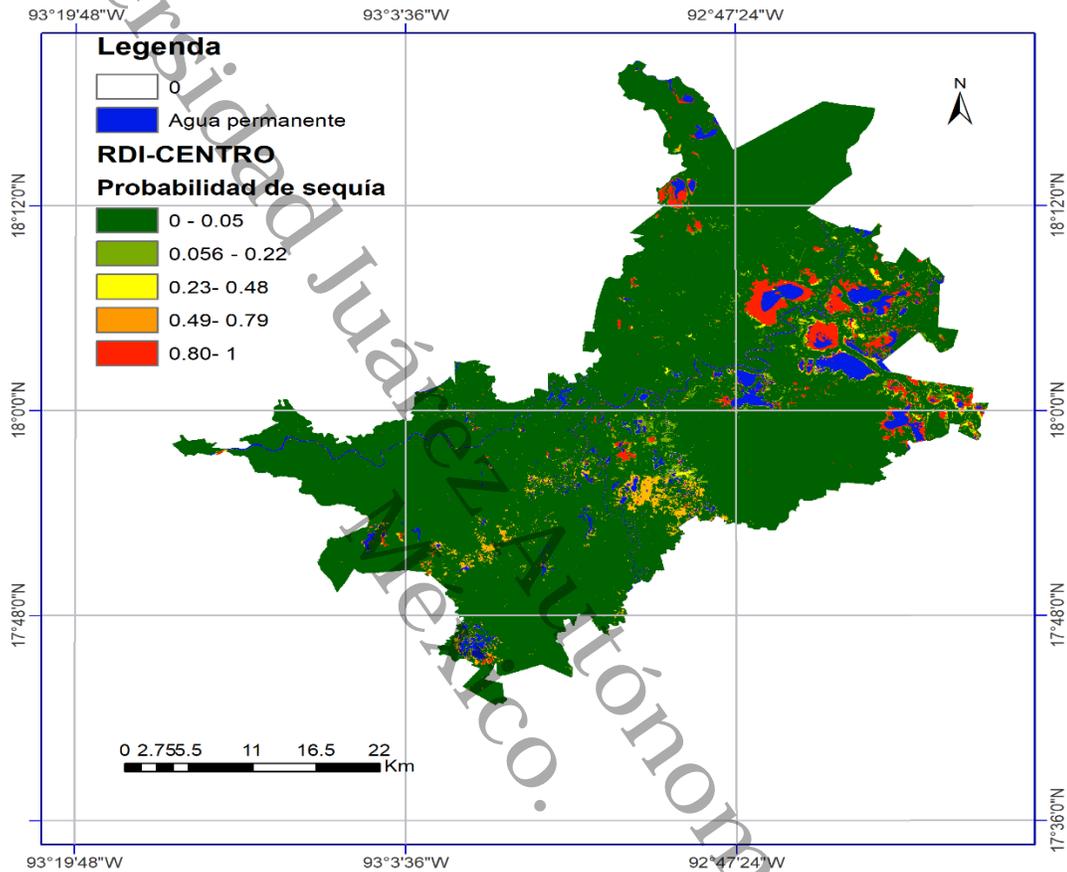


Figura 4. Resultados del RDI en Centro Tabasco (probabilidades de sequía).



## CONCLUSIONES

El RDI es uno de los índices de sequía más completos que se puede utilizar para predicciones de sequías meteorológicas en periodos prolongados, es incluso más preciso que el SPI, pues este se apoya de diferentes variables hidrometeorológicas. Para el caso expuesto del municipio de Centro Tabasco se analizaron 12 estaciones en un rango de 40 años, entre 1980 a 2020.

Los resultados calculados por el RDI mostraron que a través de los años el cambio climático a afectado paulatinamente el clima del municipio de Centro pues en los primeros 15 años del periodo de estudio no se tenían más que 2 registros de sequías con muy baja intensidad en la zona, además abundaban los periodos de humedad prolongada.

En el 2009 los problemas con sequías se presentaron más frecuentemente y año con año aumentando su intensidad, por lo consiguiente varios sectores de la región se vieron afectados. En Centro se han presentado sequías más intensas según las proyecciones catalogadas como SM, pero estas con los años incrementaran hasta categorizarse como SS y SE. En los 40 años solo hubo presencia de una sequía SS.

A pesar que Centro es una zona baja donde abundan los cuerpos de agua no está exenta de la presencia de sequías que año con año aumentaran su intensidad y prolongación que podría causar un desequilibrio ecológico en la zona.



## REFERENCIA

- Acosta, R., Carol, E. S., Borzi, G. E., Leal, M. P., & Alvarez, M. del P. (2023). *Análisis del efecto de la variabilidad climática en la extensión de humedales lagunares a partir del índice NDWI*.  
<https://naturalis.fcnym.unlp.edu.ar/handle/628872547/56926>
- Acosta, V. G. (1993). Las sequías históricas de México. *Revista semestral de la Red de estudios sociales en prevención de desastres en América Latina*.
- Agua, C. N. del. (s/f). *Programas de Medidas Preventivas y de Mitigación a la Sequía (PMPMS) por Consejo de Cuenca*. gob.mx. Recuperado el 28 de febrero de 2025, de <http://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/programas-de-medidas-preventivas-y-de-mitigacion-a-la-sequia-pmpms-por-consejo-de-cuenca>
- Altoom, M. B., Adam, E., Ali, K. A., & Jackson, C. M. (2024). The Spatiotemporal Analysis of Drought and Impact on Millet Production across North Darfur State using Standardized Precipitation Index (SPI) and Reconnaissance Drought Index (RDI). *South African Journal of Geomatics*, 13(1), Article 1.
- Amauri, D. la P. M., Rosa Moraima, R. D., Jorge Felix, R. H., & Pablo, H. F. (2023, julio 12). Propuesta de un Sistema de Vigilancia de la Sequía Socioeconómica en el Abasto de Agua en La Habana. *Jornada Ensap 2023*. Jornada Ensap 2023.  
<https://eventosensap.sld.cu/index.php/ensap23/2023/paper/view/108>
- Arreguín-Cortés, F. I., López-Pérez, M., Ortega-Gaucin, D., & Ibañez-Hernández, Ó. (2016). La política pública contra la sequía en México: Avances, necesidades y perspectivas. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(5), 63–76.



## Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



Ballat, Y. G., Manrique, O. B., & Tamayo, M. Á. (2023). Análisis de los impactos provocados por la sequía agrícola en los cultivos de maíz y frijol en áreas agrícolas del municipio Venezuela, Ciego de Ávila, Cuba. *Sociedade & Natureza*, 30, 96–115. <https://doi.org/10.14393/SN-v30n2-2018-5>

Bates, B., Kundzewicz, Z. W., & IPCC (Eds.). (2008). *Climate change and water*.

Batista, P.-D., & R, D. (2016). Algunas consideraciones sobre el comportamiento de la sequía agrícola en la agricultura de Cuba y el uso de imágenes por satélites en su evaluación. *Cultivos Tropicales*, 37(3), 22–41.

<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4591.3843>

Bravo Velásquez, E. (2014). *La biodiversidad en el Ecuador*. Abya-Yala/UPS.

Campos-Aranda, D. F. (2018). Detección de sequías meteorológicas anuales en el estado de Zacatecas, México, con base en índices de anomalía estandarizada.

*Tecnología y ciencias del agua*, 9(1), 135–149. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-01-10>

Campos-Aranda, D. F. (2020). Evolución de los índices comunes de detección y seguimiento de sequías meteorológicas. *Tecnología y ciencias del agua*, 11(1), 375–409. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2020-01-10>

Cantos, J. O., Gil, A. M., & Amorós, A. M. R. (2000). Diferentes percepciones de la sequía en España: Adaptación, catastrofismo e intentos de corrección.

*Investigaciones Geográficas (España)*, 23, 5–46.

Castillo-Castillo, M., Ibáñez-Castillo, L. A., Universidad Autónoma Chapingo, México, Valdés, J. B., The University of Arizona, USA, Arteaga-Ramírez, R., Universidad Autónoma Chapingo, México, Vázquez-Peña, M. A., & Universidad Autónoma Chapingo, México. (2017). Análisis de sequías meteorológicas en la



## Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



cuenca del río Fuerte, México. *Tecnología y ciencias del agua*, 08(1), 35–52.

<https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-01-03>

Castorena, G. (1980). *Análisis histórico de las sequías en México*. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Comisión del Plan Nacional ....

CONAFOR. (2016). *INFORME DE ENCENDIOS*. <https://www.gob.mx/conafor>

CONAGUA. (2014). *Estadísticas del agua*.

Coronel, A. (2013). Sequía: Concepto e índices de monitoreo. Propuesta de un nuevo índice. *Revista Agromensajes*, 37(1), 1–3.

de la Cruz Pereyra, D. (2021). *Municipio de Centro*.

Díaz, E., Rodríguez, A., Dölling, O., Bertoni, J. C., Smrekar, M., Díaz, E., Rodríguez, A., Dölling, O., Bertoni, J. C., & Smrekar, M. (2016). Identificación y caracterización de sequías hidrológicas en Argentina. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(1), 125–133.

Díaz, J. V., Fulé, P. Z., Paredes, J. C., Ávalos, J. E., & Cohen, I. S. (2009). Reconstrucción de la precipitación estacional para el barlovento de la Sierra Madre Occidental con anillos de crecimiento de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 34(105), 39–71.

Domínguez, J. (2016). Revisión histórica de las sequías en México: De la explicación divina a la incorporación de la ciencia. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(5), 77–93.

Esparza, M. (2014). La sequía y la escasez de agua en México: Situación actual y perspectivas futuras. *Secuencia*, 89, 193–219.





## Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



Estrada-Medina, H., Cobos-Gasca, V., Acosta-Rodríguez, J. L., Peña Fierro, S., Castilla-Martínez, M., Castillo-Carrillo, C., Franco-Brito, S., López-Castillo, D., López-Díaz, M., Luna-Flores, W., Maldonado-Repetto, A., Álvarez-Rivera, O., Cámara-Romero, J. L., Morales-Guadarrama, A., Moreno-Arjona, A. M., Pérez-Niño, B., Rodríguez-Lara, P., Zapata-Luna, R. L., Estrada-Medina, H., ... Zapata-Luna, R. L. (2016). La sequía de la península de Yucatán. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(5), 151–165.

Feldman, I. (2017). Recurrencia de sequías e inundaciones en llanuras argentinas. *Revista de Divulgación Técnica Agropecuaria, Agroindustrial y Ambiental, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Lomas de Zamora*, 4(1), 56–66.

Ferrer Pozo, E., & Gomez Luna, L. M. (2023). Herramientas para el monitoreo y control de sequías: Un metaanálisis en contexto. *Agua y territorio = Water and Landscape*, 22, 5.

Fiallos, G. (2021). La Correlación de Pearson y el proceso de regresión por el Método de Mínimos Cuadrados. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(3), Article 3. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v5i3.466](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i3.466)

Florescano Mayet, E. (1980). *Las sequías en México: Historia, características y efectos*.

García, L. I. (2001). Los sacrificios humanos. Una explicación desde la teoría histórica-genética. *Estudios de Cultura Náhuatl*, 32.

<https://nahuatl.historicas.unam.mx/index.php/ecn/article/view/9260>

Gonçalves, S. T. N., Vasconcelos Junior, F. das C., Sakamoto, M. S., Silveira, C. da S., & Martins, E. S. P. R. (2021). Índices e metodologias de monitoramento de Secas: Uma revisão. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 36, 495–511.





## Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



- Gran Castro, J. A. (2020). El impacto de la urbanización en la distribución socioespacial de la vulnerabilidad al cambio climático. *Letras Verdes, Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, 27, 134–147.
- Huang, S., Wang, L., Wang, H., Huang, Q., Leng, G., Fang, W., & Zhang, Y. (2019). Spatio-temporal characteristics of drought structure across China using an integrated drought index. *Agricultural Water Management*, 218, 182–192. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.03.053>
- Jiménez Marce, R. (2013). El gran calentamiento: Cómo influyó el cambio climático en el apogeo y caída de las civilizaciones. *Secuencia*, 85, 185–189.
- Kiem, A. S., Johnson, F., Westra, S., van Dijk, A., Evans, J. P., O'Donnell, A., Rouillard, A., Barr, C., Tyler, J., Thyer, M., Jakob, D., Woldemeskel, F., Sivakumar, B., & Mehrotra, R. (2016). Natural hazards in Australia: Droughts. *Climatic Change*, 139(1), 37–54. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1798-7>
- Lino Calle, V. A., Carvajal Rivadeneira, D. D., Sornoza Parrales, D., Vergara Ibarra, J. L., Intriago Delgado, Y. M., Lino Calle, V. A., Carvajal Rivadeneira, D. D., Sornoza Parrales, D., Vergara Ibarra, J. L., & Intriago Delgado, Y. M. (2024). Herramienta tecnológica Jamovi en el análisis e interpretación de datos en proyectos de Ingeniería Civil. *Revista Innovaciones Educativas*, 26(41), 151–165. <https://doi.org/10.22458/ie.v26i41.5145>
- Liu, Z., Yao, Z., & Wang, R. (2016). Assessing methods of identifying open water bodies using Landsat 8 OLI imagery. *Environmental Earth Sciences*, 75(10), 873. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5686-2>
- Lobato-Sánchez, R. (2016). [Http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2007-](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-)





## Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



24222016000500197&lng=es&nrm=iso&tlng=es. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(5), 197–211.

LOPEZ, A. K. R. (2018). *Dinámica atmosférica en la topografía ondulante de la Curvatura de Monterrey*.

Macedo García, H. S. (2022). Relación entre la sequía meteorológica e hidrológica en la subcuenca Chancos, Ancash. *LLamkasun: Revista de Investigación Científica y Tecnológica*, 3(1), 20–28.

Magaña, V., Amador, J. A., & Medina, S. (1999). *The Midsummer Drought over Mexico and Central America*.

[https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/12/6/1520-0442\\_1999\\_012\\_1577\\_tmdoma\\_2.0.co\\_2.xml](https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/12/6/1520-0442_1999_012_1577_tmdoma_2.0.co_2.xml)

Marcos Valiente, O. (2001). Sequía: Definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. *Investigaciones Geográficas (España)*, 26, 59–80.

Márquez Calle, G. (2008). *Doble historia de las inundaciones: Entre la fertilidad y la catástrofe*.

<http://repositorios.cihac.fcs.ucr.ac.cr/cmelenendez/handle/123456789/1253>

Mendoza, B., Jáuregui, E., Diaz-Sandoval, R., García-Acosta, V., Velasco, V., & Cordero, G. (2005). *Historical Droughts in Central Mexico and Their Relation with El Niño*. <https://doi.org/10.1175/JAM2210.1>

Mera, Z., & Elizabeth, Y. (2020). *Determinación de medidas de gestión de sequías en climas tropicales. Aplicación a la Demarcación Hidrográfica de Manabí—Ecuador* [Tesis doctoral, Universitat Politècnica de València].

<https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/149400>





## Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



- Mishra, A. K., Singh, V. P., & Desai, V. R. (2009). Drought characterization: A probabilistic approach. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 23(1), 41–55. <https://doi.org/10.1007/s00477-007-0194-2>
- Monreal, T. E. (2006). La gestión de las sequías en España. *Ingeniería y Territorio*, 74, 52–57.
- Naciones Unidas. (2015). *Agua y saneamiento: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- Núñez-Magaña, T. G., Ruíz-Acosta, S. D. C., Palomeque-de La Cruz, M. Á., & Galindo- Alcántara, A. (2022). Comportamiento de índices de sequía meteorológica a través de las dimensiones espaciales y temporales. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 9(2). <https://doi.org/10.19136/era.a9n2.3298>
- OKSAL, N., & Beden, N. (2023). Drought analysis based on SPI and RDI drought indices in the Burdur Basin. *Turkish Journal of Engineering*, 8. <https://doi.org/10.31127/tuje.1326875>
- Olivares, B. O., Cortez, A., Lobo, D., Parra, R. M., Rey, J. C., & Rodríguez, M. F. (2016). Estudio de la sequía meteorológica en localidades de los llanos de Venezuela mediante el índice de precipitación estandarizado. *Acta Nova*, 7, 266.
- Ortega-Gaucin, D. (2018). Medidas para afrontar la sequía en México: Una visión retrospectiva. *Revista de El Colegio de San Luis*, 8(15), 77–105.
- Ortiz-Gómez, R., Cardona-Díaz, J. C., Ortiz-Robles, F. A., Alvarado-Medellin, P., Ortiz-Gómez, R., Cardona-Díaz, J. C., Ortiz-Robles, F. A., & Alvarado-Medellin, P. (2018). Caracterización de las sequías mediante la comparación de tres índices





## Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



multiescalares en Zacatecas, México. *Tecnología y ciencias del agua*, 9(3), 47–91.

<https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-03-03>

Paredes, F. J., Barbosa A, H., & Guevara, E. (2015). Análisis espacial y temporal de las sequías en el nordeste de Brasil. *Agriscientia*, 32(1), 1–14.

Parry, S., Prudhomme, C., Wilby, R. L., & Wood, P. J. (2016). Drought termination: Concept and characterisation. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 40(6), 743–767. <https://doi.org/10.1177/0309133316652801>

Penalba, O. C., & Rivera, J. A. (2015). Comparación de seis índices para el monitoreo de sequías meteorológicas en el sur de Sudamérica. *Meteorologica*, 40(2), 33–57.

Pineda-Pablos, N., Salazar-Adams, A., Pineda-Pablos, N., & Salazar-Adams, A. (2016). Ciudades y sequía en México. La gestión del agua como estrategia crítica de mitigación. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(5), 95–113.

Potopová, V., & Mozny, M. (s/f). *THE APPLICATION A NEW DROUGHT INDEX -STANDARDIZED PRECIPITATION EVAPOTRANSPIRATION INDEX IN THE CZECH REPUBLIC.*

Rodríguez-Campero, C., Garfias, J., Martel, R., Navarro-de León, I., Rodríguez-Campero, C., Garfias, J., Martel, R., & Navarro-de León, I. (2023). Estimación espacio-temporal de la distribución de la recarga potencial en el Valle de Toluca. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 75(2).

<https://doi.org/10.18268/bsgm2023v75n2a080523>

Romão, W. M. de O. (2023). *Índices SP1 e RDI via produto terraclimate aplicado às capitais do nordeste brasileiro.*





## Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



Rosales, D. A., Ruscica, R., & Sörensson, A. (2024). Interacción suelo-atmósfera en Sudamérica: Contribución de las componentes de la evapotranspiración. *Geoacta*, 46(1), Article 1.

*SciELO - Brasil—Índices e Metodologias de Monitoramento de Secas: Uma Revisão*  
*Índices e Metodologias de Monitoramento de Secas: Uma Revisão.* (s/f). Recuperado el 2 de octubre de 2024, de

<https://www.scielo.br/j/rbmet/a/rGqGprMLXW5F66b6R98D98j/>

Seguido, A. F. M. (2019). Galicia, ¿territorio adaptado a la sequía? *Cuadernos Geográficos*, 58(2), Article 2. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v58i2.7627>

SEMARNAT. (2023). *Informe del medio ambiente.*

<https://www.gob.mx/semarnat/articulos/dia-mundial-de-lucha-contra-la-desertificacion-y-la-sequia-2023?idiom=es>

Servicio Meteorológico Nacional. (2024). *Monitor de sequía en México.*

Servicio Meteorológico Nacional. (2025). *Monitor de sequía de México.*

Smakhtin, V. U., & Schipper, E. L. F. (2008). Droughts: The impact of semantics and perceptions. *Water Policy*, 10(2), 131–143.

Svoboda, M., Hayes, M., & Wood, D. (2012). Standardized Precipitation Index: User Guide. *Drought Mitigation Center: Faculty Publications.*

<https://digitalcommons.unl.edu/droughtfacpub/209>

Svoboda, M., LeComte, D., Hayes, M., Heim, R., Gleason, K., Angel, J., Rippey, B., Tinker, R., Palecki, M., Stooksbury, D., Miskus, D., & Stephens, S. (2002). *THE DROUGHT MONITOR.* <https://doi.org/10.1175/1520-0477-83.8.1181>





## Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.



- Tsakiris, G., Loukas, A., Pangalou, D., Vangelis, H., Tigkas, D., Rossi, G., & Cancelliere, A. (2007). Drought characterization. *Drought management guidelines technical annex*, 58, 85–102.
- Velasco, I., Ochoa, L., & Gutiérrez, C. (2005). Sequía, un problema de perspectiva y gestión. *Región y sociedad*, 17(34), 35–71.
- Wilhite, D. A. (2000). *Drought as a natural hazard*.
- Yu, M., Li, Q., Hayes, M. J., Svoboda, M. D., & Heim, R. R. (2014). Are droughts becoming more frequent or severe in China based on the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index: 1951–2010? *International Journal of Climatology*, 34(3), 545–558. <https://doi.org/10.1002/joc.3701>
- Yue, Y., Shen, S., & Wang, Q. (2018). Trend and Variability in Droughts in Northeast China Based on the Reconnaissance Drought Index. *Water*, 10(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/w10030318>
- Zaccagnini, M. E., Wilson, M., & Oszust, J. (2014). Manual de buenas prácticas para la conservación del suelo, la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos. *Área piloto Aldea Santa María, Entre Ríos. PNUD. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, INTA. Buenos Aires*.
- Zhang, J., Sun, F., Xu, J., Chen, Y., Sang, Y.-F., & Liu, C. (2016). Dependence of trends in and sensitivity of drought over China (1961–2013) on potential evaporation model. *Geophysical Research Letters*, 43(1), 206–213. <https://doi.org/10.1002/2015GL067473>



## Anexo 7

<b>Alojamiento de la Tesis en el Repositorio Institucional</b>	
<b>Título de Tesis:</b>	Evaluación del índice RDI para la estimación de periodos de sequía meteorológica en Centro, Tabasco.
<b>Autor de la Tesis:</b>	Luis Ricardo Guzmán Hernández
<b>ORCID:</b>	<a href="https://orcid.org/0009-0000-6044-5165">https://orcid.org/0009-0000-6044-5165</a>
<b>Resumen de la Tesis:</b>	<p>La sequía es un fenómeno causado por los efectos del cambio climático cada vez más frecuente y de mayor intensidad. En el estado de Tabasco se han presentado en los últimos años periodos anormalmente secos que afectan a sectores como el ganadero, el agrícola y las actividades económicas que dependen directamente. Además, el fenómeno de sequía aumenta el riesgo de incendios forestales que afectan tanto a la población como a la flora, fauna y servicios ecosistémicos. Por esta razón el objetivo de este estudio fue estimar sequías meteorológicas anuales de un periodo de 40 años mediante el índice de reconocimiento de sequía (RDI, por sus siglas en inglés) en el municipio de Centro Tabasco, para establecer los años de sequía posteriores, a través de imágenes landsat y el análisis de frecuencia hidrológica para la construcción de una base de datos de variables hidrométricas y la elaboración de mapas de probabilidades de sequías mediante el empleo de índices espectrales a través del software especializado Terrset 18-21.</p>
<b>Palabras claves de la Tesis:</b>	Sequía, precipitación, RDI, fenómenos climatológicos, índices de sequía, evapotranspiración, sequía meteorológica

**Referencias  
citadas:**

- Acosta, R., Carol, E. S., Borzi, G. E., Leal, M. P., & Alvarez, M. del P. (2023). *Análisis del efecto de la variabilidad climática en la extensión de humedales lagunares a partir del índice NDWI*.  
<https://naturalis.fcnym.unlp.edu.ar/handle/628872547/56926>
- Acosta, V. G. (1993). Las sequías históricas de México. *Revista semestral de la Red de estudios sociales en prevención de desastres en América Latina*.
- Agua, C. N. del. (s/f). *Programas de Medidas Preventivas y de Mitigación a la Sequía (PMPMS) por Consejo de Cuenca*. gob.mx. Recuperado el 28 de febrero de 2025, de <http://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/programas-de-medidas-preventivas-y-de-mitigacion-a-la-sequia-pmpms-por-consejo-de-cuenca>
- Altoom, M. B., Adam, E., Ali, K. A., & Jackson, C. M. (2024). The Spatiotemporal Analysis of Drought and Impact on Millet Production across North Darfur State using Standardized Precipitation Index (SPI) and Reconnaissance Drought Index (RDI). *South African Journal of Geomatics*, 13(1), Article 1.
- Amauri, D. la P. M., Rosa Moraima, R. D., Jorge Felix, R. H., & Pablo, H. F. (2023, julio 12). Propuesta de un Sistema de Vigilancia de la Sequía Socioeconómica en el Abasto de Agua en La Habana. *Jornada Ensap 2023*. Jornada Ensap 2023.  
<https://eventosensap.sld.cu/index.php/ensap23/2023/paper/view/108>
- Arreguín-Cortés, F. I., López-Pérez, M., Ortega-Gaucin, D., & Ibañez-Hernández, Ó. (2016). La política pública contra la sequía en México: Avances, necesidades y perspectivas. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(5), 63–76.
- Acosta, R., Carol, E. S., Borzi, G. E., Leal, M. P., & Alvarez, M. del P. (2023). *Análisis del efecto de la variabilidad climática en la extensión de humedales lagunares a partir del índice NDWI*.  
<https://naturalis.fcnym.unlp.edu.ar/handle/628872547/56926>
- Acosta, V. G. (1993). Las sequías históricas de México. *Revista semestral de la Red de estudios sociales en prevención de desastres en América Latina*.

Agua, C. N. del. (s/f). *Programas de Medidas Preventivas y de Mitigación a la Sequía (PMPMS) por Consejo de Cuenca*. gob.mx. Recuperado el 28 de febrero de 2025, de <http://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/programas-de-medidas-preventivas-y-de-mitigacion-a-la-sequia-pmpms-por-consejo-de-cuenca>

Altoom, M. B., Adam, E., Ali, K. A., & Jackson, C. M. (2024). The Spatiotemporal Analysis of Drought and Impact on Millet Production across North Darfur State using Standardized Precipitation Index (SPI) and Reconnaissance Drought Index (RDI). *South African Journal of Geomatics*, 13(1), Article 1.

Amauri, D. la P. M., Rosa Moraima, R. D., Jorge Felix, R. H., & Pablo, H. F. (2023, julio 12). Propuesta de un Sistema de Vigilancia de la Sequía Socioeconómica en el Abasto de Agua en La Habana. *Jornada Ensap 2023*. Jornada Ensap 2023. <https://eventosensap.sld.cu/index.php/ensap23/2023/paper/view/108>

Arreguín-Cortés, F. I., López-Pérez, M., Ortega-Gaucin, D., & Ibañez-Hernández, Ó. (2016). La política pública contra la sequía en México: Avances, necesidades y perspectivas. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(5), 63–76.

Ballat, Y. G., Manrique, O. B., & Tamayo, M. Á. (2023). Análisis de los impactos provocados por la sequía agrícola en los cultivos de maíz y frijol en áreas agrícolas del municipio Venezuela, Ciego de Ávila, Cuba. *Sociedade & Natureza*, 30, 96–115. <https://doi.org/10.14393/SN-v30n2-2018-5>

Bates, B., Kundzewicz, Z. W., & IPCC (Eds.). (2008). *Climate change and water*.

Batista, P.-D., & R, D. (2016). Algunas consideraciones sobre el comportamiento de la sequía agrícola en la agricultura de Cuba y el uso de imágenes por satélites en su evaluación. *Cultivos Tropicales*, 37(3), 22–41. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4591.3843>

Bravo Velásquez, E. (2014). *La biodiversidad en el Ecuador*. Abya-Yala/UPS.

Campos-Aranda, D. F. (2018). Detección de sequías meteorológicas

anuales en el estado de Zacatecas, México, con base en índices de anomalía estandarizada. *Tecnología y ciencias del agua*, 9(1), 135–149. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-01-10>

Campos-Aranda, D. F. (2020). Evolución de los índices comunes de detección y seguimiento de sequías meteorológicas. *Tecnología y ciencias del agua*, 11(1), 375–409. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2020-01-10>

Cantos, J. O., Gil, A. M., & Amorós, A. M. R. (2000). Diferentes percepciones de la sequía en España: Adaptación, catastrofismo e intentos de corrección. *Investigaciones Geográficas (España)*, 23, 5–46.

Castillo-Castillo, M., Ibáñez-Castillo, L. A., Universidad Autónoma Chapingo, México, Valdés, J. B., The University of Arizona, USA, Arteaga-Ramírez, R., Universidad Autónoma Chapingo, México, Vázquez-Peña, M. A., & Universidad Autónoma Chapingo, México. (2017). Análisis de sequías meteorológicas en la cuenca del río Fuerte, México. *Tecnología y ciencias del agua*, 08(1), 35–52. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-01-03>

Castorena, G. (1980). *Análisis histórico de las sequías en México*. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Comisión del Plan Nacional ....

CONAFOR. (2016). *INFORME DE ENCENDIOS*. <https://www.gob.mx/conafor>

CONAGUA. (2014). *Estadísticas del agua*.

Coronel, A. (2013). Sequía: Concepto e índices de monitoreo. Propuesta de un nuevo índice. *Revista Agromensajes*, 37(1), 1–3.

de la Cruz Pereyra, D. (2021). *Municipio de Centro*.

Díaz, E., Rodríguez, A., Dölling, O., Bertoni, J. C., Smrekar, M., Díaz, E., Rodríguez, A., Dölling, O., Bertoni, J. C., & Smrekar, M. (2016). Identificación y caracterización de sequías hidrológicas en Argentina. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(1), 125–133.

Díaz, J. V., Fulé, P. Z., Paredes, J. C., Ávalos, J. E., & Cohen, I. S. (2009). Reconstrucción de la precipitación estacional para el barlovento de la Sierra Madre Occidental con anillos de crecimiento de

<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); opacity: 0.3; font-size: 2em; font-weight: bold;">Universidade Federal do Rio de Janeiro</p>	<p><i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco. <i>Revista Mexicana de Ciencias Forestales</i>, 34(105), 39–71.</p> <p>Domínguez, J. (2016). Revisión histórica de las sequías en México: De la explicación divina a la incorporación de la ciencia. <i>Tecnología y ciencias del agua</i>, 7(5), 77–93.</p> <p>Esparza, M. (2014). La sequía y la escasez de agua en México: Situación actual y perspectivas futuras. <i>Secuencia</i>, 89, 193–219.</p> <p>Estrada-Medina, H., Cobos-Gasca, V., Acosta-Rodríguez, J. L., Peña Fierro, S., Castilla-Martínez, M., Castillo-Carrillo, C., Franco-Brito, S., López-Castillo, D., López-Díaz, M., Luna-Flores, W., Maldonado-Repetto, A., Álvarez-Rivera, O., Cámara-Romero, J. L., Morales-Guadarrama, A., Moreno-Arjona, A. M., Pérez-Niño, B., Rodríguez-Lara, P., Zapata-Luna, R. L., Estrada-Medina, H., ... Zapata-Luna, R. L. (2016). La sequía de la península de Yucatán. <i>Tecnología y ciencias del agua</i>, 7(5), 151–165.</p> <p>Feldman, V. (2017). Recurrencia de sequías e inundaciones en llanuras argentinas. <i>Revista de Divulgación Técnica Agropecuaria, Agroindustrial y Ambiental, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Lomas de Zamora</i>, 4(1), 56–66.</p> <p>Ferrer Pozo, E., &amp; Gomez Luna, L. M. (2023). Herramientas para el monitoreo y control de sequías: Un metaanálisis en contexto. <i>Agua y territorio = Water and Landscape</i>, 22, 5.</p> <p>Fiallos, G. (2021). La Correlación de Pearson y el proceso de regresión por el Método de Mínimos Cuadrados. <i>Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar</i>, 5(3), Article 3. <a href="https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i3.466">https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i3.466</a></p> <p>Florescano Mayet, E. (1980). <i>Las sequías en México: Historia, características y efectos</i>.</p> <p>García, L. I. (2001). Los sacrificios humanos. Una explicación desde la teoría histórica-genética. <i>Estudios de Cultura Náhuatl</i>, 32. <a href="https://nahuatl.historicas.unam.mx/index.php/ecn/article/view/9260">https://nahuatl.historicas.unam.mx/index.php/ecn/article/view/9260</a></p> <p>Gonçalves, S. T. N., Vasconcelos Junior, F. das C., Sakamoto, M. S., Silveira, C. da S., &amp; Martins, E. S. P. R. (2021). Índices e metodologias de monitoramento de Secas: Uma revisão. <i>Revista Brasileira de Meteorologia</i>, 36, 495–511.</p>
--	---

	<p>Gran Castro, J. A. (2020). El impacto de la urbanización en la distribución socioespacial de la vulnerabilidad al cambio climático. <i>Letras Verdes, Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales</i>, 27, 134–147.</p> <p>Huang, S., Wang, L., Wang, H., Huang, Q., Leng, G., Fang, W., &amp; Zhang, Y. (2019). Spatio-temporal characteristics of drought structure across China using an integrated drought index. <i>Agricultural Water Management</i>, 218, 182–192.  <a href="https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.03.053">https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.03.053</a></p> <p>Jiménez Marce, R. (2013). El gran calentamiento: Cómo influyó el cambio climático en el apogeo y caída de las civilizaciones. <i>Secuencia</i>, 85, 185–189.</p> <p>Kiem, A. S., Johnson, F., Westra, S., van Dijk, A., Evans, J. P., O'Donnell, A., Rouillard, A., Barr, C., Tyler, J., Thyer, M., Jakob, D., Woldemeskel, F., Sivakumar, B., &amp; Mehrotra, R. (2016). Natural hazards in Australia: Droughts. <i>Climatic Change</i>, 139(1), 37–54.  <a href="https://doi.org/10.1007/s10584-016-1798-7">https://doi.org/10.1007/s10584-016-1798-7</a></p> <p>Lino Calle, V. A., Carvajal Rivadeneira, D. D., Sornoza Parrales, D., Vergara Ibarra, J. L., Intriago Delgado, Y. M., Lino Calle, V. A., Carvajal Rivadeneira, D. D., Sornoza Parrales, D., Vergara Ibarra, J. L., &amp; Intriago Delgado, Y. M. (2024). Herramienta tecnológica Jamovi en el análisis e interpretación de datos en proyectos de Ingeniería Civil. <i>Revista Innovaciones Educativas</i>, 26(41), 151–165.  <a href="https://doi.org/10.22458/ie.v26i41.5145">https://doi.org/10.22458/ie.v26i41.5145</a></p> <p>Liu, Z., Yao, Z., &amp; Wang, R. (2016). Assessing methods of identifying open water bodies using Landsat 8 OLI imagery. <i>Environmental Earth Sciences</i>, 75(10), 873. <a href="https://doi.org/10.1007/s12665-016-5686-2">https://doi.org/10.1007/s12665-016-5686-2</a></p> <p>Lobato-Sánchez, R. (2016). <a href="http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&amp;pid=S2007-24222016000500197&amp;lng=es&amp;nrm=iso&amp;tlng=es">Http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&amp;pid=S2007-24222016000500197&amp;lng=es&amp;nrm=iso&amp;tlng=es</a>. <i>Tecnología y ciencias del agua</i>, 7(5), 197–211.</p> <p>LOPEZ, A. K. R. (2018). <i>Dinámica atmosférica en la topografía ondulante de la Curvatura de Monterrey</i>.</p> <p>Macedo García, H. S. (2022). Relación entre la sequía meteorológica e</p>
--	---

hidrológica en la subcuenca Chancos, Ancash. *LLamkasun: Revista de Investigación Científica y Tecnológica*, 3(1), 20–28.

Magaña, V., Amador, J. A., & Medina, S. (1999). *The Midsummer Drought over Mexico and Central America*.  
[https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/12/6/1520-0442\\_1999\\_012\\_1577\\_tmdoma\\_2.0.co\\_2.xml](https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/12/6/1520-0442_1999_012_1577_tmdoma_2.0.co_2.xml)

Marcos Valiente, O. (2001). Sequía: Definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. *Investigaciones Geográficas (España)*, 26, 59–80.

Márquez Calle, G. (2008). *Doble historia de las inundaciones: Entre la fertilidad y la catástrofe*.  
<http://repositorios.cihac.fcs.ucr.ac.cr/cmelenandez/handle/123456789/1253>

Mendoza, B., Jáuregui, E., Diaz-Sandoval, R., García-Acosta, V., Velasco, V., & Cordero, G. (2005). *Historical Droughts in Central Mexico and Their Relation with El Niño*.  
<https://doi.org/10.1175/JAM2210.1>

Mera, Z., & Elizabeth, Y. (2020). *Determinación de medidas de gestión de sequías en climas tropicales. Aplicación a la Demarcación Hidrográfica de Manabí—Ecuador* [Tesis doctoral, Universitat Politècnica de València]. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/149400>

Mishra, A. K., Singh, V. P., & Desai, V. R. (2009). Drought characterization: A probabilistic approach. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 23(1), 41–55.  
<https://doi.org/10.1007/s00477-007-0194-2>

Monreal, T. E. (2006). La gestión de las sequías en España. *Ingeniería y Territorio*, 74, 52–57.

Naciones Unidas. (2015). *Agua y saneamiento: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Desarrollo Sostenible.  
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>

Núñez-Magaña, T. G., Ruíz-Acosta, S. D. C., Palomeque-de La Cruz, M. Á., & Galindo- Alcántara, A. (2022). Comportamiento de índices de sequía meteorológica a través de las dimensiones espaciales y temporales. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 9(2).  
<https://doi.org/10.19136/era.a9n2.3298>

<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo</p>	<p>OKSAL, N., &amp; Beden, N. (2023). Drought analysis based on SPI and RDI drought indices in the Burdur Basin. <i>Turkish Journal of Engineering</i>, 8. <a href="https://doi.org/10.31127/tuje.1326875">https://doi.org/10.31127/tuje.1326875</a></p> <p>Olivares, B. O., Cortez, A., Lobo, D., Parra, R. M., Rey, J. C., &amp; Rodríguez, M. F. (2016). Estudio de la sequía meteorológica en localidades de los llanos de Venezuela mediante el índice de precipitación estandarizado. <i>Acta Nova</i>, 7, 266.</p> <p>Ortega-Gaucin, D. (2018). Medidas para afrontar la sequía en México: Una visión retrospectiva. <i>Revista de El Colegio de San Luis</i>, 8(15), 77–105.</p> <p>Ortiz-Gómez, R., Cardona-Díaz, J. C., Ortiz-Robles, F. A., Alvarado-Medellin, P., Ortiz-Gómez, R., Cardona-Díaz, J. C., Ortiz-Robles, F. A., &amp; Alvarado-Medellin, P. (2018). Caracterización de las sequías mediante la comparación de tres índices multiescalares en Zacatecas, México. <i>Tecnología y ciencias del agua</i>, 9(3), 47–91. <a href="https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-03-03">https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-03-03</a></p> <p>Paredes, F. J., Barbosa A. H., &amp; Guevara, E. (2015). Análisis espacial y temporal de las sequías en el nordeste de Brasil. <i>Agriscientia</i>, 32(1), 1–14.</p> <p>Parry, S., Prudhomme, C., Wilby, R. L., &amp; Wood, P. J. (2016). Drought termination: Concept and characterisation. <i>Progress in Physical Geography: Earth and Environment</i>, 40(6), 743–767. <a href="https://doi.org/10.1177/0309133316652801">https://doi.org/10.1177/0309133316652801</a></p> <p>Penalba, O. C., &amp; Rivera, J. A. (2015). Comparación de seis índices para el monitoreo de sequías meteorológicas en el sur de Sudamérica. <i>Meteorologica</i>, 40(2), 33–57.</p> <p>Pineda-Pablos, N., Salazar-Adams, A., Pineda-Pablos, N., &amp; Salazar-Adams, A. (2016). Ciudades y sequía en México. La gestión del agua como estrategia crítica de mitigación. <i>Tecnología y ciencias del agua</i>, 7(5), 95–113.</p> <p>Potopová, V., &amp; Mozny, M. (s/f). <i>THE APPLICATION A NEW DROUGHT INDEX -STANDARDIZED PRECIPITATION EVAPOTRANSPIRATION INDEX IN THE CZECH REPUBLIC.</i></p> <p>Rodríguez-Campero, C., Garfias, J., Martel, R., Navarro-de León, I.,</p>
---	--

Rodríguez-Campero, C., Garfias, J., Martel, R., & Navarro-de León, I. (2023). Estimación espacio-temporal de la distribución de la recarga potencial en el Valle de Toluca. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 75(2). <https://doi.org/10.18268/bsgm2023v75n2a080523>

Romão, W. M. de O. (2023). *Índices SP1 e RDI via produto terraclimate aplicado às capitais do nordeste brasileiro*.

Rosales, D. A., Ruscica, R., & Sörensson, A. (2024). Interacción suelo-atmósfera en Sudamérica: Contribución de las componentes de la evapotranspiración. *Geoacta*, 46(1), Article 1.

SciELO - Brasil—Índices e Metodologias de Monitoramento de Secas: Uma Revisão Índices e Metodologias de Monitoramento de Secas: Uma Revisão. (s/f). Recuperado el 2 de octubre de 2024, de <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/rGqGprMLXW5F66b6R98D98j/>

Seguido, A. F. M. (2019). Galicia, ¿territorio adaptado a la sequía? *Cuadernos Geográficos*, 58(2), Article 2. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v58i2.7627>

SEMARNAT. (2023). *Informe del medio ambiente*. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/dia-mundial-de-lucha-contr-la-desertificacion-y-la-sequia-2023?idiom=es>

Servicio Meteorológico Nacional. (2024). *Monitor de sequía en México*.

Servicio Meteorológico Nacional. (2025). *Monitor de sequía de México*.

Smakhtin, V. U., & Schipper, E. L. F. (2008). Droughts: The impact of semantics and perceptions. *Water Policy*, 10(2), 131–143.

Svoboda, M., Hayes, M., & Wood, D. (2012). Standardized Precipitation Index: User Guide. *Drought Mitigation Center: Faculty Publications*. <https://digitalcommons.unl.edu/droughtfacpub/209>

Svoboda, M., LeComte, D., Hayes, M., Heim, R., Gleason, K., Angel, J., Rippey, B., Tinker, R., Palecki, M., Stooksbury, D., Miskus, D., & Stephens, S. (2002). *THE DROUGHT MONITOR*. <https://doi.org/10.1175/1520-0477-83.8.1181>

Tsakiris, G., Loukas, A., Pangalou, D., Vangelis, H., Tigkas, D., Rossi, G., & Cancelliere, A. (2007). Drought characterization. *Drought management guidelines technical annex*, 58, 85–102.

Velasco, I., Ochoa, L., & Gutiérrez, C. (2005). Sequía, un problema de

	<p>perspectiva y gestión. <i>Región y sociedad</i>, 17(34), 35–71.</p> <p>Wilhite, D. A. (2000). <i>Drought as a natural hazard</i>.</p> <p>Yu, M., Li, Q., Hayes, M. J., Svoboda, M. D., &amp; Heim, R. R. (2014). Are droughts becoming more frequent or severe in China based on the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index: 1951–2010? <i>International Journal of Climatology</i>, 34(3), 545–558.  <a href="https://doi.org/10.1002/joc.3701">https://doi.org/10.1002/joc.3701</a></p> <p>Yue, Y., Shen, S., &amp; Wang, Q. (2018). Trend and Variability in Droughts in Northeast China Based on the Reconnaissance Drought Index. <i>Water</i>, 10(3), Article 3. <a href="https://doi.org/10.3390/w10030318">https://doi.org/10.3390/w10030318</a></p> <p>Zaccagnini, M. E., Wilson, M., &amp; Oszust, J. (2014). Manual de buenas prácticas para la conservación del suelo, la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos. <i>Área piloto Aldea Santa María, Entre Ríos. PNUD. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, INTA. Buenos Aires.</i></p> <p>Zhang, J., Sun, F., Xu, J., Chen, Y., Sang, Y.-F., &amp; Liu, C. (2016). Dependence of trends in and sensitivity of drought over China (1961–2013) on potential evaporation model. <i>Geophysical Research Letters</i>, 43(1), 206–213. <a href="https://doi.org/10.1002/2015GL067473">https://doi.org/10.1002/2015GL067473</a></p>
--	---