

Impactos de la sequía hidráulica en el agroecosistema Valle de Caujerí, periodo 2018-2021

Esvillel Ferrer Pozo

E-MAIL: esvillel@gmail.com

Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos Guantánamo.

Liliana María Gómez Luna

E-MAIL: lilianag@uo.edu.cu

Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado. Universidad de Oriente.

Yudith González Díaz

Universidad de Oriente. Facultad de Ingeniería Química y Agronomía.

RESUMEN

En los últimos 30 años, los eventos de sequía hidráulica en Guantánamo se han intensificado de manera que han afectado los recursos hídricos disponibles, interfiriendo de manera brusca en el desarrollo de las principales actividades. El objetivo de la presente investigación es evaluar los impactos de la sequía hidráulica en el "Valle de Caujerí" mediante la aplicación de un índice sintético. Se analizó una serie temporal de cuatro años para caracterizar los eventos de sequía hidráulica con categorías de leves, moderadas, intensas y muy intensas, a partir de la aplicación de un novedoso Índice de sequía hidráulica, que corroboró la conveniencia y funcionalidad del mismo. Además, demostró que desde el 2018 hasta el 2021 el área de estudio sufre los efectos de una sequía persistente con daños considerables.

PALABRAS**CLAVES:**

agroecosistema, índice de sequía hidráulica (ISHdr), sequía hidráulica.

Impacts of hydraulic drought on the Caujerí Valley agroecosystem, period 2018-2021

ABSTRACT

In the last 30 years, the events of hydraulic drought in Guantánamo have intensified in such a way that they have affected the available water resources, abruptly interfering in the development of the main activities. The objective of this research is to evaluate the impacts of hydraulic drought in the "Caujerí Valley" by applying a synthetic index. A four-year time series was analyzed to characterize hydraulic drought events with categories of mild, moderate, intense and very intense, based on the application of an innovative hydraulic drought index, which corroborated its suitability and functionality. In addition, it demonstrated that from 2018 to 2021 the study area suffers the effects of a persistent drought with considerable damage.

KEYWORDS:

agroecosystem, hydraulic drought index (ISHdr), hydraulic drought.

01 INTRODUCCIÓN

La amenaza del cambio climático a nivel global ha causado preocupación entre los científicos, ya que los factores climáticos indispensables para el desarrollo, como son la precipitación y la temperatura, se verán severamente afectados (Nicholls y Altieri, 2010). Estos impactos ya son perceptibles, fundamentalmente en los países del trópico, donde también se espera una extensión de las sequías que producirá un aumento en la escasez de agua y por consiguiente daños en las producciones agropecuarias.

Uno de los efectos derivados del cambio climático es el aumento de la sequía, que puede ser de diferentes tipos: meteorológica, agrícola, hidrológica y socioeconómica (Valiente 2001), contándose en la actualidad un quinto tipo de sequía: la hidráulica. Todas representan un peligro por su significado, extensión, manifestación lenta y progresiva e impacto, de ahí la necesidad creciente de emplear herramientas para lograr su monitoreo y control.

Cuba enfatiza la gestión de riesgos hacia las sequías meteorológica y agrícola con el fin de fortalecer la capacidad de respuesta ante este tipo de amenaza, teniendo en cuenta las afectaciones provocadas a la economía y la sociedad (Varela et al. 2019) y para ello se han adoptado modelos de gestión diferenciados, dejando aún niveles de incertidumbre en las afectaciones de la sequía hidráulica en esferas de la economía como la industria y la agricultura.

En Guantánamo se ha venido analizando y diagnosticando a partir de la aplicación de diferentes índices existentes, las sequías meteorológica, agrícola e hidrológica, con los cuales se identifican las zonas afectadas, y se realizan acciones operativas para suplir el déficit (Gutiérrez et al. 2020). Sin embargo, los efectos de la sequía hidráulica en esta provincia con el transcurso del tiempo se han hecho más severos y se han afectado los recursos hídricos disponibles en embalses y acuíferos (INRH 2020). Esto hace indispensable controlar la disponibilidad de agua en sistemas de recursos hidráulicos, para determinar las pautas de actuación para corregirla.

El objetivo de la presente investigación consiste en evaluar los impactos de la sequía hidráulica en el agroecosistema "Valle de Caujerí" del municipio San Antonio del Sur en el periodo 2018 – 2021, mediante la aplicación de un índice sintético.

02 MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en los límites del agroecosistema "Valle de Caujerí" ubicado en el extremo más oriental de Cuba, en la provincia Guantánamo, específicamente entre los 20° 7' 15" y 20° 15' 16" de latitud norte y los 74° 31' 15" y 74° 43' 30" de longitud oeste (figura 1).

Ocupa un área aproximada de 173,3 km², un perímetro de 95,50 km y una altitud promedio de 408 m sobre el nivel medio del mar (msnm). Se ubica en la vertiente sur del parteaguas central de la Región Oriental, entre las estribaciones de dos grupos montañosos: por el norte - noreste se halla la Sierra del Purial y prolongaciones de la Sierra de Imías, y por el oeste, la Sierra de Caujerí y prolongaciones de la Sierra de Mariana.

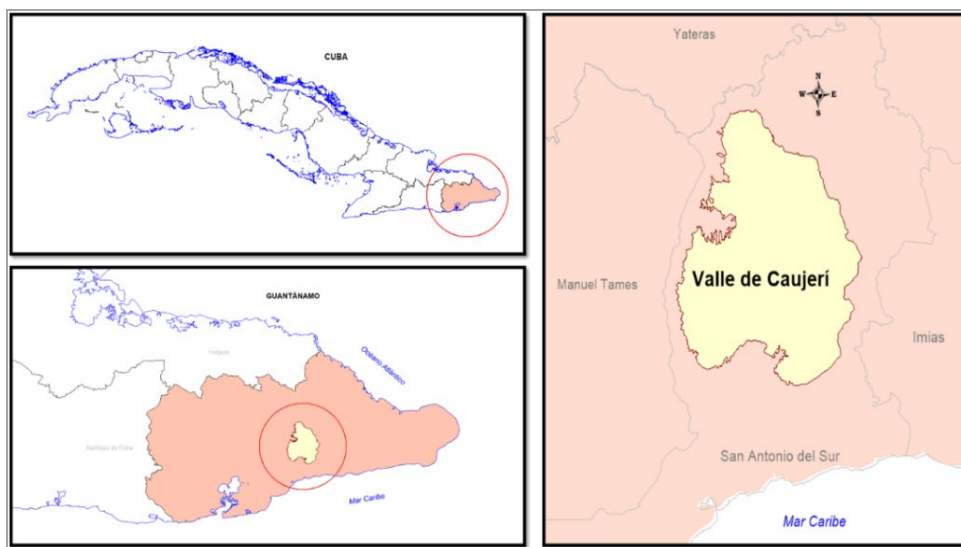


Figura 1. Esquema de localización del área de estudio. Fuente: elaborado por los autores, 2023.

SELECCIÓN DE LA HERRAMIENTA DE EVALUACIÓN DE LA SEQUÍA HIDRÁULICA

Para la evaluación de los impactos de la sequía hidráulica se emplea el Índice de Sequía Hidráulica (ISHdr) diseñado por Ferrer et al. (2015). Esta herramienta puede ser aplicada tanto a nivel de cuencas hidrográficas como de municipios. Su implementación ha demostrado una capacidad operativa elevada, en función de sus requerimientos de datos disponibles, además de su sencillez y rapidez de cálculo.

APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE SEQUÍA HIDRÁULICA ISHDR.

El ISHdr es un algoritmo que permite evaluar la sequía hidráulica de los sistemas de los recursos hidráulicos a partir del monitoreo y seguimiento del comportamiento de indicadores climáticos y físicos, hasta lograr una clasificación adecuada de sequía hidráulica. Establece criterios para determinar cuándo una sequía o un período seco se inicia y termina. Para su evaluación emplea indicadores ambientales seleccionados los cuales incluyen: la precipitación, los factores geológicos, la cobertura forestal, los niveles de los caudales de corrientes superficiales, los niveles de agua subterránea, los niveles de los embalses y la relación demanda disponibilidad.

CÁLCULO DEL ÍNDICE DE SEQUÍA HIDRÁULICA ISHDR.

El cálculo del ISHdr se realiza a partir de una fórmula que plantea la sumatoria de los pesos relativos de cada indicador, multiplicado por el valor ponderado según escala de puntuación para medir el grado o magnitud del comportamiento del indicador, y responde a (ecuación 1):

$$ISHdr = \sum_i^n P_i * E_i \quad (1)$$

Donde: i : indicador del 1 al 7, P_i : peso relativo de cada indicador, E_i : escala de puntuación para medir el grado o magnitud del comportamiento del indicador.

Cada indicador posee un valor que mantiene una relación con el efecto o grado de influencia en el comportamiento de la sequía hidráulica, como se muestra en la tabla 1. Para la asignación y jerarquización de pesos relativos para cada indicador se utilizó la opinión de expertos mediante el método Delphi, método que resulta muy conveniente cuando no existe posibilidad de que los

participantes acudan de conjunto a una sesión de trabajo o cuando resulta conveniente limitar al mínimo la interrelación entre los participantes de la sesión.

Tabla 1. Criterios o indicadores a considerar en la sequía hidráulica y pesos relativos.

No.	SIGLA	Indicador	Pesos relativos (método Delphi)
1	(FC)	Factores climáticos (lluvias)	0,16
2	(FG)	Factores geológicos	0,13
3	(NC)	Nivel del cauce de las corrientes superficiales de agua	0,13
4	(NA)	Nivel de las aguas subterráneas	0,15
5	(VE)	Volumen de los embalses	0,17
6	(CF)	Cobertura forestal	0,12
7	(DD)	Relación demanda-disponibilidad	0,14

Fuente: Elaborado por los autores, 2023.

Sustituyendo en la ecuación (1) i y P_i se tiene (ecuación 2):

$$\text{ISHdr} = 0,16 * \text{FC} + 0,13 * \text{F} + 0,13 * \text{NC} + 0,15 * \text{NAS} + 0,17 * \text{VE} + 0,12 * \text{CF} + 0,14 * \text{DD} \quad (2)$$

La flexibilidad del índice seleccionado en materia de escala temporal, permitirá evaluar y determinar sus relaciones con otras variables hidrológicas de modo que se puedan definir criterios de activación de fases de sequía apropiados. Los valores del ISHdr oscilan entre uno y diez, siendo más favorables los resultados mientras más cercanos estén a la unidad.

CLASIFICACIONES DE LA SEQUÍA HIDRÁULICA A PARTIR DEL ISHDR

La clasificación empleada se basa en cuatro categorías en orden ascendente y una escala de colores para la salida cartográfica del estado de la sequía hidráulica. El rango de valores del ISHdr se estableció basado en una escala de intervalos iguales, la que además de poseer la equivalencia de categorías y el ordenamiento interno entre ellas (Ferrer et al. 2015), tienen la característica de que la distancia entre sus intervalos está claramente determinada y que éstos son iguales entre sí.

Tabla 2. Clasificación de la sequía hidráulica.

Clase	Rango de valores del ISHdr	Clasificación	Categoría	Escala de colores
1	$0 < \text{ISHdr} < 2,5$	Leve	I	Verde
2	$2,5 \leq \text{ISHdr} < 5$	Moderada	II	Amarillo
3	$5 \leq \text{ISHdr} < 7,5$	Intensa	III	Anaranjado
4	$7,5 \leq \text{ISHdr} \leq 10$	Muy intensa	IV	Rojo

Fuente: Elaborado por los autores, 2023.

La determinación de cada una de estas fases permitirá tomar, en cada una de ellas, las medidas pertinentes según los intereses económicos o sociales de cada usuario que podría ser la protección de la población en primer lugar, la ganadería, el riego agrícola y los otros usos.

En el análisis del comportamiento de los indicadores que integran el ISHdr se tuvo en cuenta una sectorización del área de estudio, tomando como principios básicos las metodologías propuestas por (Priego et al., 2008), (Lagar, 2018) y (Ramón et al., 2009) relacionadas a la sectorización y determinación de unidades. Se parte del principio del área mínima cartografiable para escala 1:25 000, el reconocimiento de los tipos y procesos de relieve, su composición litológica, agrupamiento de suelos y la cobertura vegetal, constituyen el fundamento de la delimitación de las mismas.

Además, se tuvo en cuenta como nuevo elemento el límite de las circunscripciones. El software empleado fue el MapInfo versión 16.0 y resultaron un total de ocho zonas o sectores, según se muestra en la figura 2.

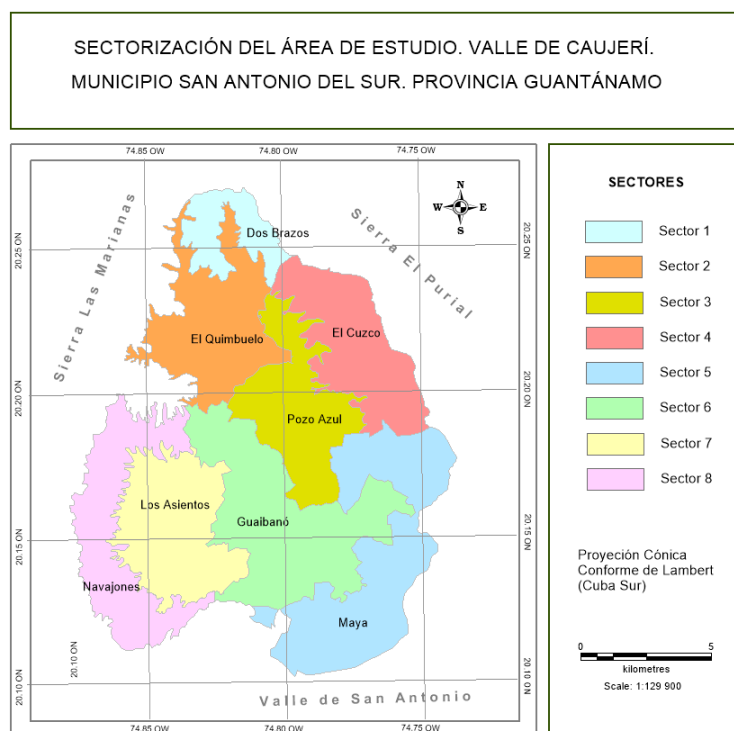


Figura 2. Sectorización del área de estudio. Fuente: Elaborado por los autores, 2023.

03 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS INDICADORES QUE INTEGRAN EL ISHDR

El último periodo de intensa sequía de la provincia culminó en el año 2021, por lo que para la aplicación del ISHDr se realizará el análisis para el año hidrológico que se extiende desde diciembre de 2020 hasta noviembre de 2021 con el propósito de analizar el impacto de la sequía hidráulica en un periodo en el que sus efectos se acrecentaron ocasionando daños significativos a la economía de la provincia.

Precipitaciones: el Valle de Caujerí durante el último año de estudio se caracterizó por un periodo lluvioso relativamente seco donde solo precipitó el 22% de la lluvia media anual y en la estación poco lluviosa, solo el 25 % de la lluvia media anual según se muestra en la tabla 3, con una tasa de evaporación alta con valores de 2 250 mm. Coincidentemente un estudio realizado por Ruiz y Melo en el 2022 arrojó que en el Valle del río Cauca en Colombia las condiciones climáticas muestran las mismas tendencias como efecto del cambio climático en los valles interiores (Ruiz y Melo, 2022). Ellos proponen un nuevo modelo objetivo para establecer tendencias en las áreas seleccionadas.

Atendiendo a los resultados del indicador y en correspondencia con la escala de valores que propone el índice desarrollado por Ferrer et al. (2015), se establecen 10 rangos o valores fronteras, clasificados desde extremadamente seco con lluvia = 0 % (escala 10) hasta extremadamente húmedo con valores de lluvias $\geq$ de 140% (escala 1) según los rangos empleados en el sistema INRH Guantánamo.

Tabla 3. Registros de las lluvias en %, red pluviométrica del área de estudio vs escala de valores.

No. Pluv.	Período seco					Período húmedo						
	2020	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021
	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	Ma y	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov
732	15,10	0,0	10,80	66,50	10,31	41,58	40,50	48,80	0,30	81,20	98,80	65,20
733	18,20	0,0	10,90	86,80	20,61	24,89	30,54	52,60	0,01	42,60	100,20	74,40
734	21,50	0,0	4,00	71,20	0,00	11,20	10,83	23,30	0,06	54,40	174,60	74,80
1345	42,20	0,0	0,80	91,60	41,06	10,10	10,40	85,20	0,80	98,50	144,80	66,50
1594	0,50	0,0	22,10	52,30	0,00	11,50	20,01	74,40	0,70	70,20	196,90	138,90
1647	1,62	0,0	0,40	55,40	0,40	60,10	57,02	55,30	1,17	62,50	192,50	121,20
1648	34,50	0,0	31,05	66,80	54,90	58,02	61,60	81,10	2,01	42,20	122,90	110,20
Prom.	19,09	0,0	11,44	70,09	18,18	31,06	32,99	60,10	0,72	64,51	147,24	93,03
Eval.	8	10	9	5	8	7	7	5	9	5	1	4

Fuente: elaborado por los autores, 2023.

A criterio del INRH (2021) en la provincia, el comportamiento de las lluvias fue muy inferior a lo esperado en una amplia zona en el área de estudio y para un largo período. Esta escasez de lluvias propició un déficit continuo en la escorrentía en superficie y se estima que alcanzó niveles inferiores de las aguas subterráneas.

Factor geológico (FG): afloran un total de 7 formaciones: Río Macío, Cauto, Maquey, San Luis, San Ignacio, Centeno y Farola. Con base en el mapa hidrogeológico se determinó para el Valle de Caujerí el litofacial predominante, estableciendo la consiguiente correlación entre la permeabilidad de las rocas y la escala de valores correspondiente. Los litofaciales vulcanógenos, terrígeno y metamórficos no cárnicos coinciden con las áreas de naturaleza prácticamente impermeables y los sectores con litología cársica corresponden a las áreas de naturaleza permeable de sus rocas (tabla 4).

Para el caso del factor geológico la escala de valores que propone el índice aplicado, establece 10 rangos o valores fronteras, según el resultado de la aplicación de la ecuación de Darcy que clasifica los rangos desde Muy Permeable o alta permeabilidad con valores superiores a 200 miliDarcy para un valor escala de 1, hasta Impermeable con valores inferiores a 5 para escalas de 10.

Tabla 4. Comportamiento del indicador Factor geológico.

Sectores	Litofacial		Permeabilidad	Escala
Sector 1	Vulcanógeno	No Cársico	Impermeable	10
Sector 2	Carbonatado	Cársico	Muy Permeable	1
Sector 3	Clástico	No Cársico	Impermeables con juntas permeables	6
Sector 4	Vulcanógeno	No Cársico	Prácticamente impermeable	9
Sector 5	Clástico	No Cársico	Poco permeable	5
Sector 6	Carbonatado-terrígeno	Cársico	Prácticamente permeable	3
Sector 7	Terrígeno	No Cársico	Impermeable	10
Sector 8	Terrígeno	No Cársico	Impermeable	10

Fuente: elaborado por los autores, 2023.

Nivel del cauce de las corrientes superficiales de agua (NC): la principal fuente de alimentación de los ríos del valle de Caujerí son las precipitaciones. Durante el periodo evaluado las lluvias no fueron abundantes por lo que los escurrimientos hacia las aguas superficiales no fueron cuantiosos. Sucede un claro predominio de los caudales en descenso, caudales mínimos o estiajes y caudales mínimos extremos (escurrimientos ceros y corrientes superficiales secas).

Para el análisis de este indicador, se consideró el resultado del cálculo del coeficiente de escurrimiento (m^3/s) y se hizo corresponder con la escala de valores que propone el ISHdr que

clasifica 10 rangos para este indicador, que va desde Caudal mínimo extremo con valores entre 0 y 1 para una escala de 10 puntos, hasta el máximo Caudal con valores superiores a 10 para una escala de 1, según se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Comportamiento del Indicador Nivel del cauce. Valle de Caujerí.

Sectores	2020	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021
	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov
Sector 1	5	5	5	5	5	5	5	9	9	9	9	10
Sector 2	5	10	10	5	5	10	10	10	8	8	8	9
Sector 3	4	4	4	5	5	6	7	7	10	10	5	5
Sector 4	4	4	4	9	9	9	7	7	10	10	10	10
Sector 5	4	4	8	9	9	9	9	5	10	10	10	10
Sector 6	8	4	8	8	8	5	5	5	5	10	10	10
Sector 7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	10	10	10
Sector 8	10	10	10	10	5	5	5	5	5	5	5	5

Fuente: elaborado por los autores, 2023.

Nivel de aguas subterráneas (NAS): Las aguas subterráneas presentes en el territorio de estudio son pocas y la mayoría pertenece a la cuenca subterránea Gt-3 (INRH 2021). Basados en la observación sistemática, la evaluación de las aguas subterráneas se realiza a través del Gráfico de Control de Balance de Agua Subterránea. En el mismo se observan tres zonas de gran importancia que indican el estado del acuífero: zonas de entregas aumentadas, zonas de entrega garantizada, zonas de entregas reducidas. A partir de este método se estableció la escala de valores, la cual define diez rangos que van desde el Estado de entregas aumentadas de las fuentes subterráneas con valores superiores al 80 % de llenado desde la superficie hasta el espejo de agua para una escala de 1 punto, hasta el estado de emergencia de la fuente con valores inferiores al 5% de llenado asignando el valor escala de 10.

Según se muestra en la tabla 6 la mayor parte del área de estudio trascurrió el año 2021 en estado desfavorable y crítico, fundamentalmente en los meses desde junio hasta noviembre.

Tabla 6. Comportamiento del indicador Nivel de las aguas subterránea.

Sectores	2020	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021
	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov
Sector 1	5	5	5	5	5	5	9	9	9	9	9	9
Sector 2	5	10	10	5	10	10	10	10	5	9	5	7
Sector 3	5	5	5	5	5	5	10	10	9	9	5	5
Sector 4	10	10	5	7	7	5	5	8	8	9	5	7
Sector 5	5	3	3	3	7	7	5	5	8	3	7	7
Sector 6	10	10	10	7	7	5	5	8	8	5	5	5
Sector 7	5	10	10	5	10	10	10	8	8	9	7	7
Sector 8	5	5	3	3	3	3	5	5	10	10	7	5

Fuente: Elaborado por los autores, 2023.

Volumen de los embalses (VE): el comportamiento de este indicador está vinculado al comportamiento de los Gráficos de Despacho de los Embalses, según se muestra en la tabla 7. La escala de valores correspondiente a este indicador define diez rangos establecidos en la concepción del ISHdr que expresa el porcentaje de llenado de los embalses, desde el estado de entregas aumentadas con valores superiores al 95% para un valor escala de 1, hasta el estado de emergencia del embalse con valores por debajo del 10% para una escala de valor de 10 puntos.

El área de estudio comienza el año hidrológico con un déficit de 254 mm de precipitaciones, que no se transformaron en escurrimientos para los embalses del Valle de Caujerí. Estos embalses comienzan el periodo con bajos porcentos fundamentalmente el embalse Pozo Azul, el cual debido a los bajos escurrimientos y los ritmos de entrega a la agricultura experimenta un gradual descenso. En el caso de Los asientos sucede la misma tendencia, aunque posee un volumen de 6 hm³ subutilizados experimenta un gradual descenso hasta el mes de octubre.

Tabla 7. Porciento de llenado de los embalses respecto al volumen disponible. Valle de Caujerí.

Embalses	2020	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021
	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov
Los Asientos	32,2	38,8	37,63	34,22	33,1	14,22	12,38	14,54	11,25	12,3	14,5	34,2
Pozo Azul	17,8	14,2	12,34	18,17	16,1	10,17	8,63	8,25	7,85	6,52	6,15	16,4
Total	50	53	49,97	52,39	49,2	24,39	21,01	22,79	19,1	18,82	20,65	50,6
Escala	5	5	5	5	5	8	8	8	9	9	8	5

Fuente: elaborado por los autores, 2023.

Cobertura forestal (CF): La cubierta original de bosques del territorio ha sido degradada a vegetación secundaria, fundamentalmente en la zona de Guaibanó y Puriales, cuyos bosques se encuentran parcialmente degradados. Teniendo en cuenta el resultado de este indicador del cálculo de la cubierta de bosques con el empleo del Índice Normalizado (García et al. 2012) y en correspondencia con la escala de valores que propone el ISHdr (Ferrer et al. 2015), se establecen 10 rangos o valores fronteras, clasificados de cobertura crítica con valores por debajo del 5% para una escala de 10 puntos hasta una cobertura favorable con valores por encima del 80% y un valor escala de 1 punto.

La cobertura forestal durante el año 2021 no experimentó grandes variaciones. Los resultados del comportamiento de este indicador para el área de estudio se muestran en la tabla 8, donde se observa que en el Valle la cobertura forestal presente es del 40%, con tres sectores por encima del 50% y un sector por debajo del 10%.

Tabla 8. Comportamiento del indicador Cobertura forestal (%). Cierre 2021.

Sectores	Cobertura Forestal	Escala
Sector 1	86.6	1
Sector 2	54.1	4
Sector 3	12.2	8
Sector 4	90.9	1
Sector 5	22.5	7
Sector 6	19.9	8
Sector 7	18.8	8
Sector 8	9.8	9

Fuente: elaborado por los autores, 2023.

Relación demanda - disponibilidad (DD): este indicador posee su basamento en la relación de la demanda que realiza cada usuario y la disponibilidad de agua que existe en los sistemas de los recursos hidráulicos para satisfacerla. La escala de valores define diez rangos asociados a la satisfacción de la demanda planteada para cada usuario o cliente en el Balance de agua anual, que va desde la no satisfacción de la totalidad de la demanda (por debajo del 10% de la cifra aprobada) con un valor escala de 10, hasta la satisfacción de la totalidad de la demanda (por encima del 95% de la cifra aprobada) con un valor escala de 1 punto.

El balance de agua para los ocho sectores definidos del área de estudio, durante el periodo de análisis, se encontraba con bajos niveles de satisfacción de la demanda, producto a la disponibilidad del recurso hídrico en el área de estudio. Como se observa en la tabla 9, pocas veces en el año se logra la satisfacción de la demanda, en el caso del sector 8 todos los usuarios están asociados a fuentes no reguladas y sus demandas son ínfimas, y para todos los sectores acontece una mejoría al final del periodo asociadas al comienzo de la recuperación de las fuentes reguladas y las no reguladas.

Tabla 9. Comportamiento del indicador Disponibilidad-Demanda. Satisfacción de la demanda

Sectores	2020	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021
	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov
Sector 1	8	8	6	6	6	8	8	8	5	5	4	3
Sector 2	8	8	8	6	6	6	5	5	5	5	1	1
Sector 3	9	9	9	9	5	5	5	5	5	4	1	1
Sector 4	7	7	7	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Sector 5	10	10	10	9	5	7	7	9	9	5	5	5
Sector 6	10	10	10	5	5	9	9	9	9	5	4	3
Sector 7	10	10	10	9	9	8	8	6	6	5	4	3
Sector 8	3	3	3	4	3	5	5	5	5	4	4	4

Fuente: Elaborado por los autores, 2023.

Como resultado de la escasez de lluvias del 2020-2021 acontece en el área de estudio una disminución de los rendimientos agrícolas, condiciones inadecuadas de pastoreo, baja rentabilidad de las inversiones agrícolas, menor disponibilidad de madera para la combustión, incremento de la probabilidad de ocurrencia de incendios, alto riesgo de desertificación y la ocurrencia de impactos socio económicos negativos ligados a la sequía, incluida la inseguridad en los suministros alimentarios.

CÁLCULO DEL ISHDR

Una sequía hidráulica se produce en la medida que los valores aportados por el ISHDr se alejan del valor 0 siempre positivamente, y alcanza su máxima intensidad en el valor 10. Evaluado el comportamiento de cada indicador que forma parte del índice, se establecieron las escalas de valores y, por tanto, se procede al cálculo del índice de sequía hidráulica según la ecuación general, en el área de estudio.

RESULTADO DE LA APLICACIÓN DEL ISHDR EN EL VALLE DE CAUJERÍ

Con el cálculo del ISHDr se determinó que durante el período de evaluación el área de estudio fue afectada por una sequía hidráulica intensa casi persistente, desde el 2018 hasta el 2021 resaltando que a partir del mes de agosto los indicadores comenzaron a mejorar gradualmente y según los cálculos realizados.

La tabla 10 muestra el resultado de la aplicación del ISHDr para el último año hidrológico del periodo 2018-2021. Se refleja el comportamiento de la sequía por meses, desde diciembre del 2020 hasta noviembre 2021.

Tabla 10. Resultado del cálculo del ISHdr. en el Valle de Caujerí.

Indicador	Pi	P. Seco					P. Húmedo						
		Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.
FC	0,2	8	10	9	5	8	7	7	5	9	5	1	4
FG	0,1	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
NC	0,1	6	6	10	7	7	7	7	8	8	9	8	9
NAS	0,2	6	7	8	5	7	6	8	9	9	8	4	4
VE	0,2	5	5	5	5	5	8	8	8	9	9	8	5
CF	0,1	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7	7
DD	0,1	8	9	8	7	6	7	9	9	6	5	1	1
ISHdr $= \sum_{i=1}^7 P_i \times E_i$		6,8	7,5	7,7	5,9	6,7	7,1	7,7	7,6	8,3	7,3	4,9	4,96
Categoría		III	IV	IV	III	III	III	IV	IV	IV	III	II	II

Fuente: Elaborado por los autores, 2023.

La tabla muestra los indicadores de la sequía hidráulica obtenidos, los cuales permiten comparar los diferentes episodios, y revelan que a partir de enero del 2021 los dos primeros meses el Valle estuvo bajo condiciones de sequía hidráulica Muy Intensa hasta el mes de marzo, donde descendió a sequía Intensa por un periodo de tres meses. Debido a los efectos de las condiciones climáticas adversas, en los meses de junio, julio y agosto se acrecentaron los efectos de la sequía y cambio la categoría a sequía hidráulica Muy Intensa.

Las tablas mostradas (tabla 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9) describen, a modo de ejemplo, el comportamiento de los indicadores en el área de estudio y la determinación del índice para el año hidrológico 2020 - 2021. Este mismo análisis realizado para las series temporales que comprende desde el año 2018 hasta el 2021, indica que las sequías fueron recurrentes en los últimos cuatro años y más frecuentes a partir del año 2020. Las figuras 3, 4, 5 y 6 muestran la salida cartográfica de los resultados de los años que componen el período en estudio.

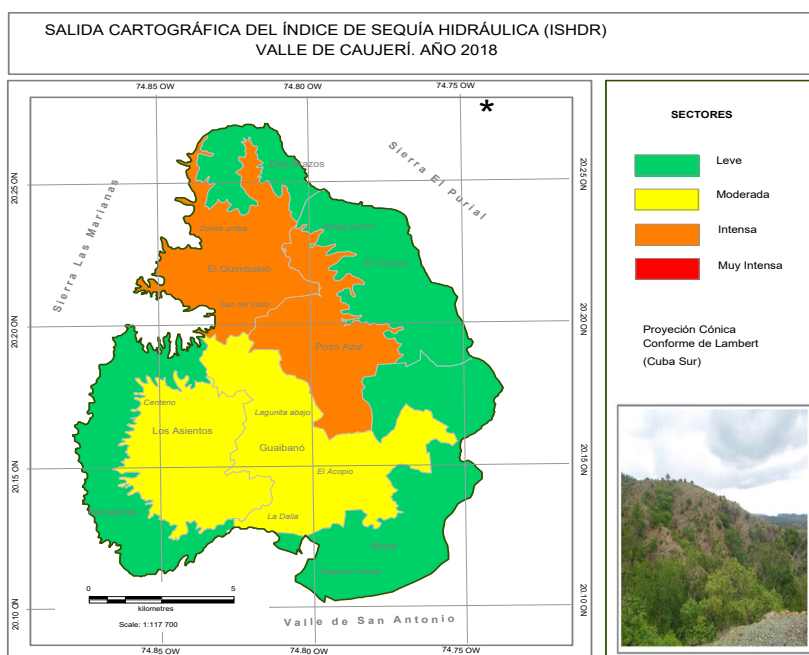


Figura 3. Salida cartográfica del ISHdr. en el área de estudio al cierre del 2018. Proyección Cónica Conforme de Lambert, Cuba Sur. Fuente: elaborado por los autores, 2023.

En el año 2018, el Valle de Caujerí experimentó los efectos de una sequía hidráulica leve en las partes altas, y en la parte central fue moderada e intensa. Los sectores más complicados en el área de estudio fueron los sectores 2, 3 y 5 ubicados en las inmediaciones del asentamiento de Puriales. En promedio general una sequía moderada con efectos impactantes en el sector de la agricultura que registra una magnitud de 6,5 meses y una intensidad de 5,6.

Este evento provocó impactos considerables en los sistemas agrícolas: en cultivos, pastizales, ganadería, suelos destinados a la producción, etc. Pero no solamente en la agricultura, también provocó efectos negativos en la población (INRH 2021). En este periodo la ausencia de precipitaciones provocó el traslado de 248 cabezas de ganado vacuno, equino y ovino-caprino. Se tomaron acciones como llevar agua a través de carros cisternas, y se emplearon otras acciones que no fueron realmente eficaces. Este evento ha provocado además afectaciones severas sobre 43 hectáreas de plantaciones forestales a las cuales les ha provocado defoliación y deterioro de las copas de los árboles. Estas especies son atacadas con más frecuencia, por plagas y enfermedades secundarias de insectos y hongos.

En el 2019 el 92% del área del valle estaba bajo la influencia de la sequía hidráulica en sus formas moderadas e intensas, con algunos sectores pequeños ubicados en la parte altas del Valle con categoría de sequía leve. Respecto al 2018 denota una expansión de la sequía moderada, condicionada fundamentalmente por la escasez de lluvia y la baja disponibilidad de agua en los embalses (ver figura 3). Este fenómeno tuvo una duración de 310 días, de ellos 85 sin registro de lluvias, fundamentalmente en los meses de febrero, abril, mayo y junio, hasta el día 12, donde se produjeron 25 mm en 24 horas y, a partir de ahí, ocurrieron lluvias esporádicas que no se transformaron en escurrimientos para la recuperación de los cuerpos de aguas.

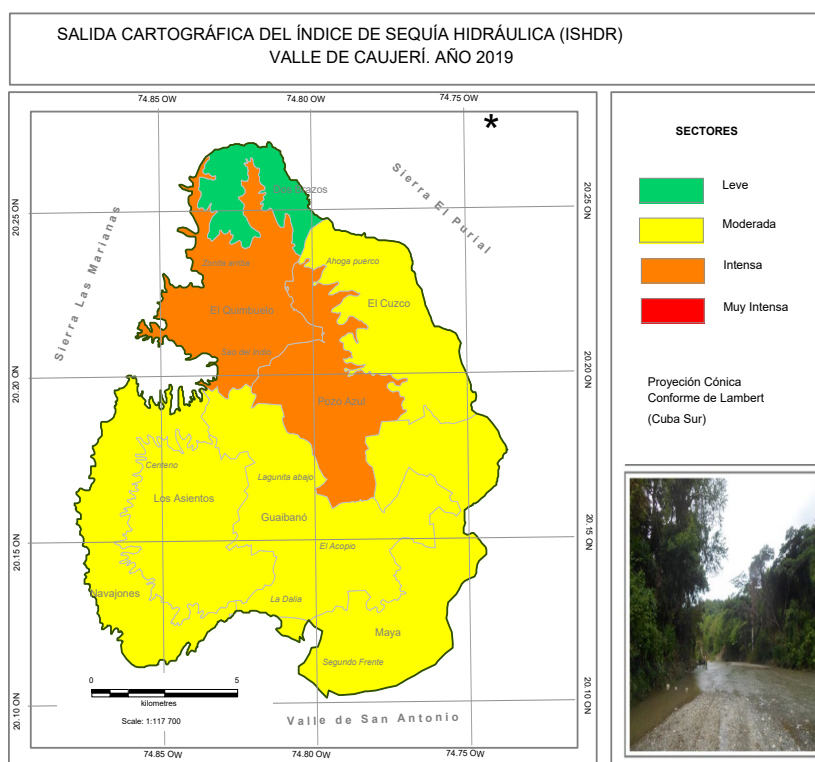
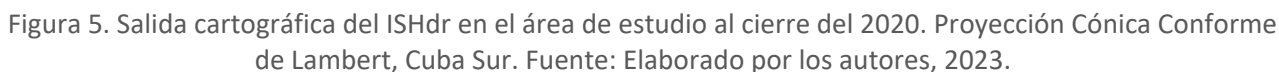
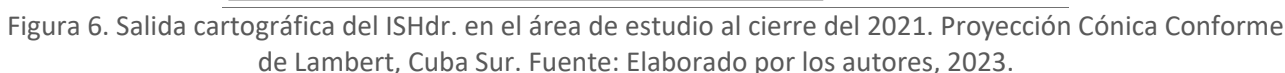


Figura 4. Salida cartográfica del ISHDr en el área de estudio al cierre del 2019. Proyección Cónica Conforme de Lambert, Cuba Sur. Fuente: Elaborado por los autores, 2023.



En el año 2021 hubo pocas variaciones respecto al año 2020, lo que evidencia el incremento de la intensidad de la sequía. El 70% del área de estudio está afectada por una sequía hidráulica muy intensa, como uno de los eventos más severo y de mayores afectaciones en los últimos 15 años, no solo en el área de estudio, sino en la región oriental del país (figura 6).

La sequía hidráulica del 2018 al 2021 ha provocado una de las que más cuantiosas pérdidas al sector agropecuario guatemalteco. El sector agrícola reportó pérdidas estimadas en 240 ton de cultivos varios y 40 ton de café. El sector ganadero reportó 150 animales evacuados, el suministro de agua en carros cisternas a más de 300 cabezas de ganado, en pérdidas de más de 30 mil litros de leche. Por concepto de sequía, el seguro de bienes agropecuarios fue el acápite de riesgo que mayor reembolso por indemnizaciones efectuó a sus asegurados, con un monto superior a 900 mil pesos.



04 CONCLUSIONES

Durante el periodo 2018 - 2021 se produjo una intensificación de la sequía hidráulica en el Valle de Caujerí, con eventos de sequía que variaron gradualmente en las áreas desde Leve a Muy Intensos, evidenciando un marcado incremento de las áreas afectadas con una concentración hacia el centro del Valle, provocando afectaciones económicas severas con pérdidas importantes de producciones de cultivos varios, afectaciones directas a la ganadería local e impactos negativos sobre la disponibilidad del recurso agua en los embalses.

05 REFERENCIAS

Ferrer E., Marzo Y. y Dinza Y. (2015). "Propuesta de una herramienta metodológica para monitoreo u control de la sequía hidráulica en la provincia Guantánamo". Gestión Administración Pública. Universidad de Guantánamo. 5 - 24. Disponible en el Archivo Central de la Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos (DPRH) Guantánamo.

- García J. M., Castro V. y Gutiérrez J.** (2012): Nueva herramienta para evaluar la gestión integrada de las cuencas hidrográficas cubanas. El índice simplificado de gestión de cuencas hidrográficas (IsGC. 1ª etapa). Revista Voluntad hidráulica, 106, pp 6 - 17.
- Gutiérrez J.E., Crespo V. y Hernández M.E.** (2020). "Intensidad y persistencia de la sequía en SW de Guantánamo: uso de índices ISA e IPS". Ingeniería Hidráulica y Ambiental. Versión impresa ISSN 1680-0338, riha, 41(1):3-17. La Habana, Cuba, extraído de: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382020000100003&lng=es&nrm=iso&tlng=es. en diciembre de 2022.
- Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH),** (2020). "Informe de Estrategia para la Gestión Integrada del Recursos Agua en condiciones de sequía hidráulica". 18-33. Archivo central de la Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos Guantánamo (Inédito).
- Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH),** (2021). "Informe de Estrategia para la Gestión Integrada del Recursos Agua en condiciones de sequía hidráulica según asentamientos de la provincia". 12-48. Archivo central de la Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos Guantánamo.
- Lagar D.** (2018): Methodology for the classification of units of the landscape in the Villuercas-Ibores-Jara Geopark. Departamento de Expresión Gráfica. Universidad de Extremadura. Revista Internacional Mapping, 23(164), 34-47, extraído de: https://ojs.revistamapping.com/MAPPING/issue/view/173/MAPPING_164. en septiembre 2022.
- Nicholls C. I y Altieri M. A.** (2010). "Cambio climático y agricultura campesina: impactos y respuestas adaptativas". Revista Agropecuaria.org. Disponible en: <http://agropecuaria.org/2015/12/cambio-climatico-y-agricultura-campesina-impactos-y-respuestas-adaptativas/>. en diciembre del 2022.
- Ramón A. M., Salinas E. y Remond R.** (2009): "Diseño metodológico para la elaboración de mapas de paisajes con el uso de los SIG: aplicación a la cuenca alta del río Cauto, Cuba". Revista digital del Grupo de Estudios sobre Geografía y Análisis Espacial con Sistemas de Información Geográfica (GESIG). Programa de Estudios Geográficos (PROEG). Universidad Nacional de Luján, Argentina. ISSN 1852-8031, 1(1), 95-108, extraído de: <https://docplayer.es/14967090-Diseno-metodologico-para-la-elaboracion-de-mapas.html>. en septiembre 2022.
- Priego A., Bocco G., Mendoza M. y Garrido A.** (2008): Propuesta para la generación semiautomatizada de unidades de paisaje. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Planeación Territorial. ISBN: 978-968, 98 p. Extraído de: <https://docplayer.es/36569093-Propuesta-para-la-generacion-semiautomatizada-de-unidades-de-paisajes.html>. en septiembre 2022.
- Ruiz J.F. y Melo J.Y.** (2022). "Informe de predicción climática a corto, mediano y largo plazo". Colombia. Grupo de modelamiento de tiempo y clima, subdirección meteorología-IDEAM", extraído de: http://bart.ideam.gov.co/wrfideam/new_modelo/cpt/informe/informe.pdf. en enero del 2023.
- Valiente O.** (2001). Sequía: definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional. Universidad de Barcelona. Investigaciones Geográficas, 26: 59-80. ISSN: 1989-989. Barcelona, España, extraído de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17602604>. en marzo del 2023.

Varela N., Oquendo H. D, Romero P. L. y Zúñiga L. M. (2019). "Toma de decisiones en la gestión integral del riesgo por sequía en Cuba". Retos de la Dirección, 13(1):48-68. ISSN 2306-9155. CITMA, Camagüey, Cuba. extraído de: <http://scielo.sld.cu/pdf/rdir/v13n1/2306-9155-rdir-13-01-48.pdf>. en marzo de 2023.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Esvillem Ferrer Pozo <https://orcid.org/0000-0003-1011-7424>

Conceptualización, análisis de datos, trabajo de campo, cartografía, gestión de software, validación, redacción del informe.

Liliana María Gómez Luna <https://orcid.org/0000-0002-1282-3392>

Metodología, análisis de los resultados, aplicación de las matrices del índice, redacción del informe original y revisión.

Yudith González Díaz <https://orcid.org/0000-0003-1240-1146>

Análisis de los resultados, redacción del informe original y revisión.