

COMBINANDO MODELOS DE ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA LOCALIZACIÓN DE COSECHAS DE AGUA EN EL SUR DE HONDURAS, AÑO 2018

José Cáceres-Coello^{1,*}

¹Departamento de Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica, UNAH

Recibido: 02/agosto/2019

Aceptado: 14/octubre/2019

DOI: <https://doi.org/10.5377/ce.v12i1.9635>

RESUMEN

En Honduras 137 de los 298 municipios son considerados vulnerables a la sequía según el Plan de Acción Nacional de Lucha contra la desertificación y la sequía (PAN) que es el instrumento técnico y estratégico elaborado en el año 2005 por la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA). La captación de agua de lluvia, también denominada "cosecha de agua", puede ser una de las soluciones para enfrentar el reto que plantea la baja disponibilidad del líquido en diversas regiones del país. En esta investigación se compararon y combinaron dos modelos para seleccionar los sitios óptimos para el establecimiento de cosechas de agua en los municipios de Caridad, Aramecina, Goascorán, Langue y Alianza. El método de Combinación Lineal Ponderada (WLC) y Método Binario, se aplicó sobre seis criterios espaciales, y posteriormente se construyó un modelo combinando ambos resultados, obteniendo un 3% del total del área de estudio (3,529.28 Ha) con un potencial alto para la construcción de cosechas de agua.

Palabras clave: Ponderación Booleana, Combinación Lineal Ponderada, Sistemas de Información Geográfica, Cosechas de Agua, corredor seco.

ABSTRACT

In Honduras, 137 of the 298 municipalities are considered vulnerable to drought under the National Action Plan to Combat Desertification and Drought (PANLCD), which is the technical and strategic instrument developed in 2005. Rainwater harvesting, also known as "water harvesting", may be one of the solutions to meet the challenge posed by the low availability of liquid in various regions of the country. In this research, two models were compared and combined to select the optimal sites for the establishment of water harvests in the municipalities of Caridad, Aramecina, Goascorán, Langue and Alianza. The method of Weighted Linear Combination (WLC) and Binary Method were applied on six spatial criteria, and a model was subsequently constructed combining both results, obtaining 3% of the total area of study (3,529.28 Ha) with a high potential for construction of water crops.

Keywords: Boolean weighting, Linear Weighted Combination, Geographic Information Systems, water harvesting, dry corridor.

*jcaceres@unah.edu.hn

1 *Introducción*

En Honduras 137 de los 298 municipios son considerados vulnerables a la sequía según el Plan de Acción Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Sequía (PANLCD) que es el instrumento técnico y estratégico elaborado en el año 2005 (FAO, 2014).

De acuerdo al Informe de Evaluación de Impacto de la Sequía (FAO, 2014), en relación a las pérdidas de granos básicos en el ciclo de primera del 2014, se define que las familias en condiciones de extrema pobreza del Corredor Seco, son las más afectadas, familias que producen para la subsistencia y sin apoyos adicionales para la producción.

La zona denominada corredor seco de Honduras, comprende 132 municipios ubicados en 14 departamentos de la zona sur, occidental y central del país, y se le llama así debido a las pocas precipitaciones y una marcada época seca que causa la escasez de agua para los habitantes y para sus cultivos.¹ El corredor seco de Honduras, es también parte del corredor seco centroamericano (CESPAD y Trocaire, 2016).

Actualmente el gobierno de Honduras, a través del Ministerio de Agricultura y Ganadería, tiene planeado desarrollar una fuerte inversión en proyectos de cosecha de agua para mitigar los efectos de la sequía prolongada, sin embargo, la selección de estos sitios no responde a variables de localización espacial, ni se estudia la idoneidad de los sitios seleccionados, por lo cual el desarrollo de este proyecto permitirá la optimización de la inversión pública en este tipo de proyectos mediante de la identificación y selección de sitios que provean el mayor potencial de captación de agua lluvia (Cáceres, 2017).

En el año 2015 los problemas derivados por la Sequía en el Corredor Seco Hondureño se han agravado, según un informe de la (FAO, 2014). Honduras está en la lista de cuatro países centroamericanos que urgen ayuda internacional para paliar los efectos derivados por la prolongada canícula. Este es el segundo año consecutivo en que la cosecha de cereales (maíz) de la temporada principal en la región se ha visto afectada negativamente por la grave sequía relacionada con El Niño.

El fenómeno de la sequía es, entre las incertidumbres geográficas, la que ocasiona mayores pérdidas de producción en las regiones sin riego y, en muchas ocasiones, también en las que cuentan con él. La desertificación consiste en una degradación persistente de los ecosistemas de las tierras secas producida por las variaciones climáticas y la actividad del hombre. Las Cosechas de Agua son las captaciones de las aguas pluviales en las quebradas de invierno. Cada sistema implica estudios, diseño y ejecución de las obras hidráulicas y embalses para la captación y almacenamiento de aguas pluviales y líneas de conducción, así como el desarrollo y adopción de sistemas de riego de tipo complementario a nivel de la parcela de cada productor.

La captación de agua de lluvia puede ser una de las soluciones para enfrentar el reto que plantea la baja disponibilidad del líquido en diversas regiones del país donde la escasez de agua para consumo es producto de la falta de infraestructura para almacenamiento y de distribución del agua, la contaminación del agua superficial y subterránea y la ingobernabilidad en la gestión de este sector. Al captar y usar el agua de lluvia, con una tecnológica adecuada se puede contar con alternativas para el abastecimiento de agua a un bajo costo. La captación de agua de lluvia, también denominada “cosecha de agua”, consiste en colectar el agua de las precipitaciones pluviales en una superficie para su almacenamiento y posterior uso (Cáceres, 2017).

Para comprar y combinar los modelos para el establecimiento de cosechas de agua en la zona sur del país se abordarán los siguientes objetivos específicos:

- Generar la cartografía de los modelos de localización óptima existentes
- Comparar estadísticamente la correspondencia entre ambos modelos
- Construir un modelo integrado de localización óptima
- Generar la cartografía del modelo integrado final

2 Metodología

El agua es uno de los recursos naturales más importantes de las regiones áridas del mundo ([Allison et al., 1998](#)) y hay zonas del mundo que tienen una grave escasez de agua. La escasez de agua, tradicionalmente, ha restringido el desarrollo donde el mismo se basa en suministros suficientes, fiables y duraderos en términos de cantidad y calidad ([Dottridge y Gibbs, 1998](#); [Heathcote, 1983](#)).

El corredor seco de Honduras se caracteriza por precipitaciones irregulares, además, los períodos de canícula son más extensos, y se intensifican cuando está presente el fenómeno de El Niño, porque se reducen las lluvias entre un 30-40%. En el 79% de los 1,800 casos, dura 2 meses o menos, y solo en los eventos más críticos, la anomalía es aumentada por un déficit de precipitación total anual o se prolonga a todo el período de la postera (agosto a octubre) ([FAO, 2014](#)).

La búsqueda de nuevos recursos de agua tiene una alta prioridad en el país debido a la situación actual de los recursos hídricos disponibles. Entre estos recursos está la captación de agua por las presas y estanques. Captación de agua se aplica en las regiones áridas y semiáridas donde las precipitaciones son o no suficientes para mantener un buen crecimiento de los cultivos y pastos o cuando, debido a la naturaleza errática de precipitación, el riesgo de fracaso de la cosecha es muy alta ([Prinz y Singh, 2000](#)).

Antes de la construcción de nuevos esquemas de recolección de agua, los sitios óptimos para estos esquemas deben ser cuidadosamente seleccionados en base a los parámetros físicos y socio-económicos que caracterizan la zona específica. La capacidad de los SIG para manipular los datos geográficamente referenciados da a los tomadores de decisiones una excelente herramienta para elegir los mejores sitios para los esquemas de recolección de agua.

El alcance del estudio es la comparación de modelos para la identificación de zonas óptimas para el desarrollo de proyectos de cosecha de agua en la zona sur de Honduras.

El enfoque del estudio es estrictamente cuantitativo, ya que se pretende cuantificar la cantidad de área adecuada para el desarrollo de proyectos de cosecha de agua. Basado en un tipo de estudio correlacional, mediante la construcción de un modelo espacial multicriterio a partir de las variables seleccionadas para determinar la idoneidad de una zona para captar agua de lluvia.

La población del estudio la conforma el territorio de los municipios, que serán priorizados, pertenecientes al departamento de Valle.

Se realizó un análisis de correlación entre dos modelos de localización óptima de cosechas de agua generados previamente, método de ponderación lineal combinada (WLC) ([Cáceres, 2017](#)) y método booleano ([Cáceres, 2018](#)), para conocer la significancia estadística entre ambos modelos.

Luego se procedió a generar un modelo integrado entre ambos productos para obtener un modelo final de localización óptima considerando ambas metodologías.

3 Resultados

El área de estudio seleccionada se basó en previos estudios realizados en la zona del corredor seco, específicamente en cinco municipios de la cuenca baja del Río Goascorán, pertenecientes al departamento de Valle (ver figura 1). Estos municipios fueron clasificados como sequía moderada según el índice de sequía de Palmer. El área de estudio abarca los municipios de Caridad, Aramecina, Langue, Goascorán y Alianza, y cubre un área total de 68,533 hectáreas y se encuentra habitada por 54,699 habitantes distribuidos en 343 caseríos (INE, 2013).

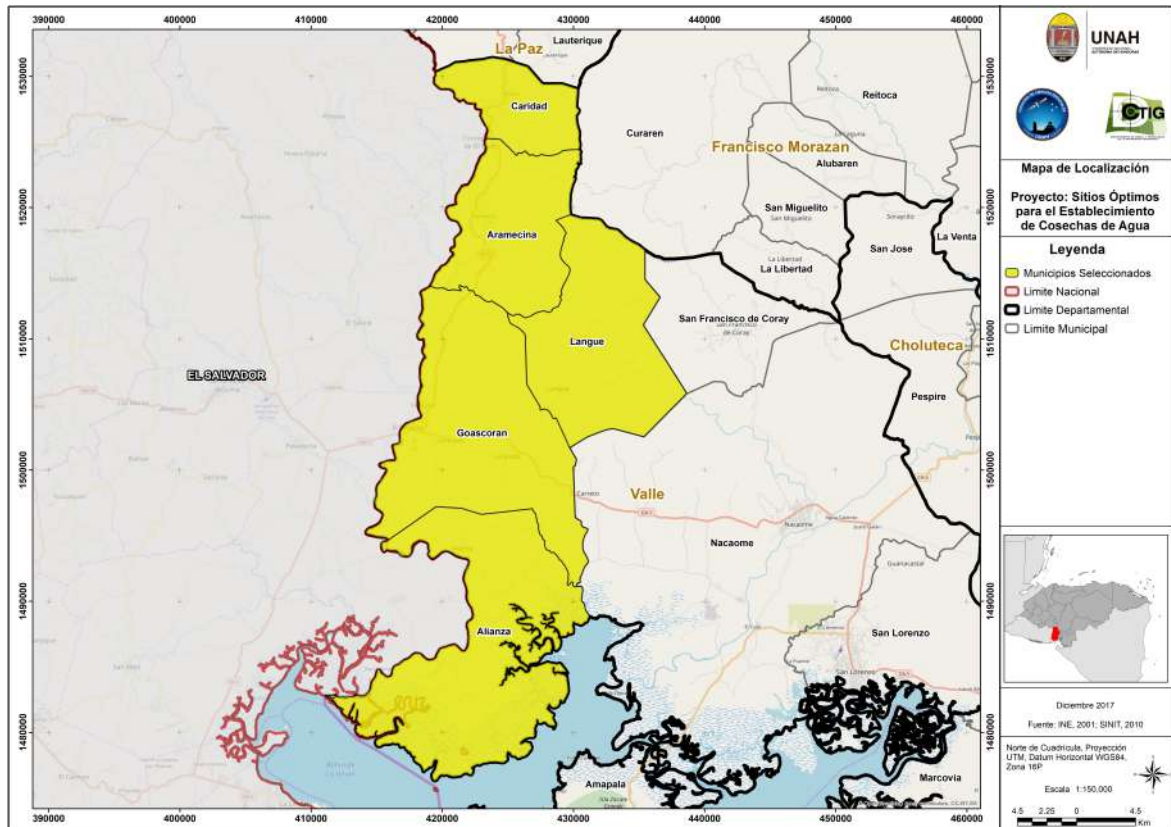


Figura 1: Área de estudio.

La cobertura forestal (ver figura 2) se tomó del Mapa Forestal y Cobertura del Suelo 2014 elaborado por el Instituto de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF) derivado de imágenes RapidEye. Según el Mapa, el área de estudio se compone principalmente de bosque latifoliado seco (34%), pastos y/o cultivos (30%), vegetación secundaria seca (18%), entre otros. Las precipitaciones varían de 1,780 a 2,060 mm anuales (ver figura 3), encontrándose las mayores precipitaciones en la parte norte del área de estudio y en el sur en la zona costera. La elevación de la zona de estudio varía de cero en la zona costera localizada al sur del área de estudio hasta los 1,260 m.s.n.m. en la parte norte (ver figura 4). La dirección del flujo de agua superficial es hacia el sur, siguiendo la pendiente natural del terreno (ver figura 5).

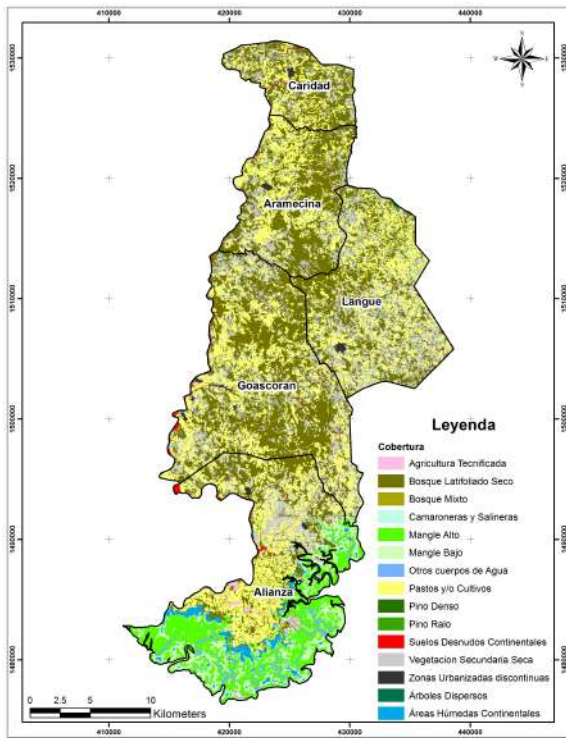


Figura 2: Cobertura forestal.

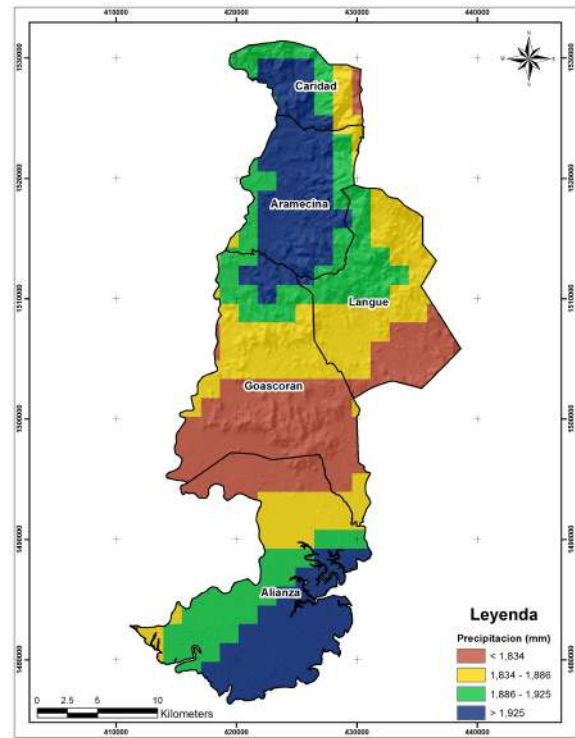


Figura 3: Precipitaciones.

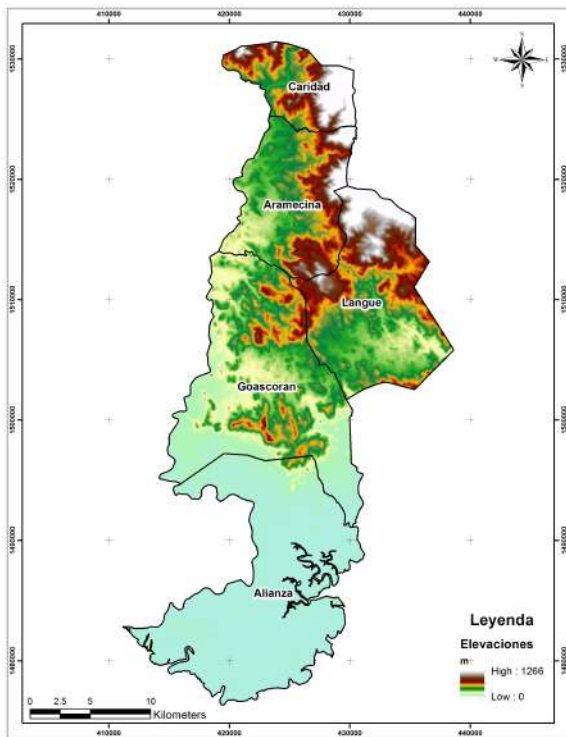


Figura 4: Elevaciones.

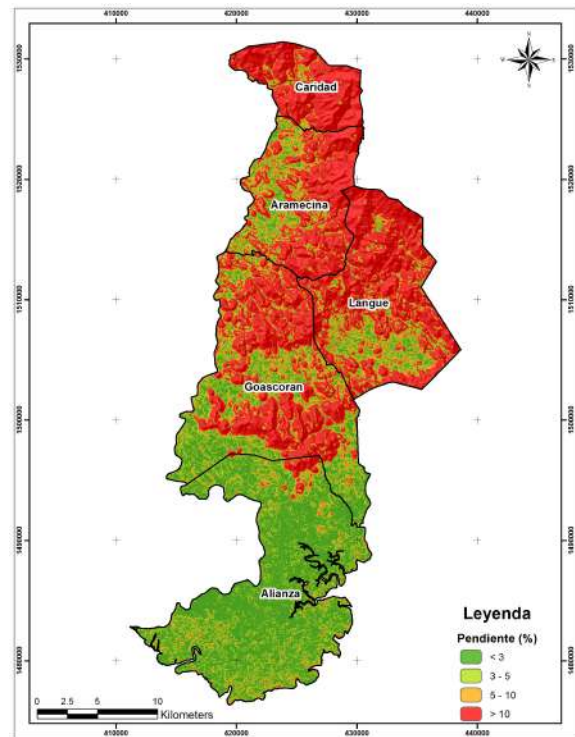


Figura 5: Pendientes.

Seis criterios en combinación lineal ponderada (WLC) y ponderación Binaria fueron usados en esta investigación para seleccionar los sitios óptimos para la construcción de sistemas de cosecha y conservación de agua dentro del área de estudio. Estos criterios incluyen, precipitación anual, pendiente (%), distancia a cuerpos de agua, cobertura del suelo, distancias a centros urbanos y distancia a red vial (Shatnawi, 2006; Giap *et al.*, 2003) tal y como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1: Pesos, Rangos y Ponderación de los seis criterios utilizados

Parámetros	Rangos	Ponderación WLC		Ponderación binaria
		Peso	Ponderación	
Precipitación anual (mm)	<1,834	6	1	0
	1,834 - 1886		2	0
	1,836 - 1925		3	1
	> 1925		4	1
Pendiente (%)	> 10	5	1	0
	5 - 10		2	0
	3 - 5		3	1
	>3		4	1
Cobertura de suelo	Bosques y superficies húmedas *	4	1	0
	Zonas productivas y/o urbanas **		2	0
	Zonas de transición ***		3	1
	Zonas no consolidadas ****		4	1
Distancia a cauces (m)	> 2,000	3	1	0
	1,000 - 2,000		2	0
	500 - 1,000		3	1
	< 500		4	1
Distancia a centros poblados (m)	> 2,000	2	1	0
	1,000 - 2,000		2	0
	500 - 1,000		3	1
	< 500		4	1
Distancia a red vial (m)	> 2,000	1	1	0
	1,000 - 2,000		2	0
	500 - 1,000		3	1
	< 500		4	1

***Bosque y superficies húmedas:** bosque latifoliado seco, bosque mixto, pino denso, pino rolo, mangle alto, mangle bajo, otros cuerpos de agua, camaroneras y salineras

****Zonas productivas y/ o urbanas:** agricultura tecnificada, zonas urbanizadas discontinuas

*****Zonas de transición:** pastos y/o cultivos, árboles disperso

******Zonas no consolidadas:** vegetación secundaria seca, suelos desnudos, áreas húmedas

Los criterios utilizados en la WLC y la ponderación Binaria fueron implementados utilizando programas especializados en el manejo de información geográfica, mediante el cual se utilizaron procesos de reclasificación para definir la ponderación pertinente para cada categoría según lo mostrado en la tabla 1. En las figuras 6 a 8 se muestran los resultados obtenidos al realizar los procesos de reclasificación en ambos

modelos.

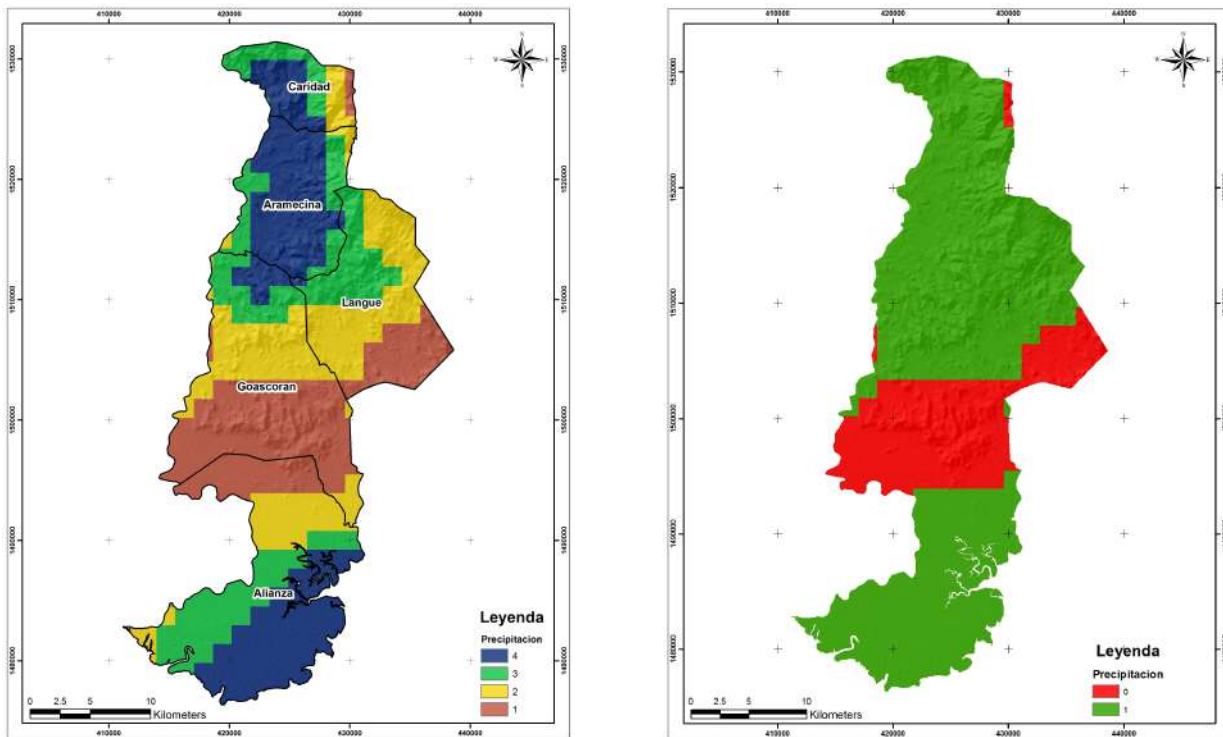


Figura 6: Precipitación Anual.

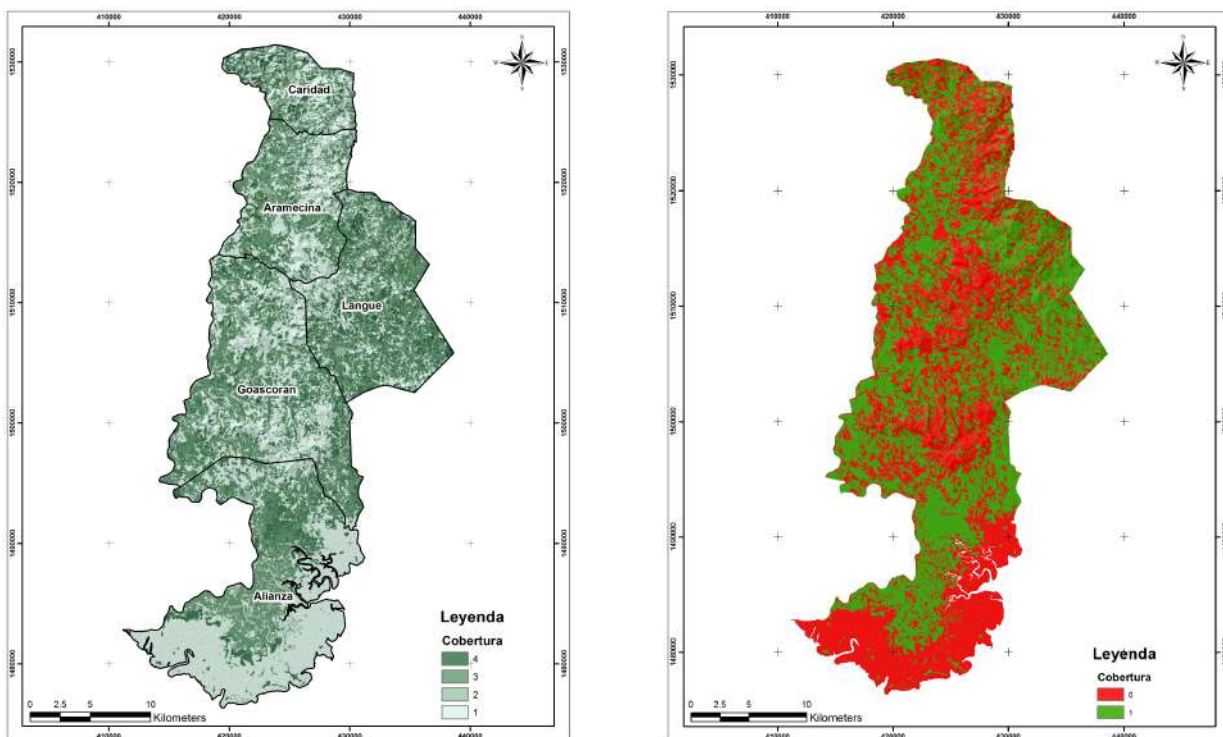


Figura 7: Cobertura del suelo.

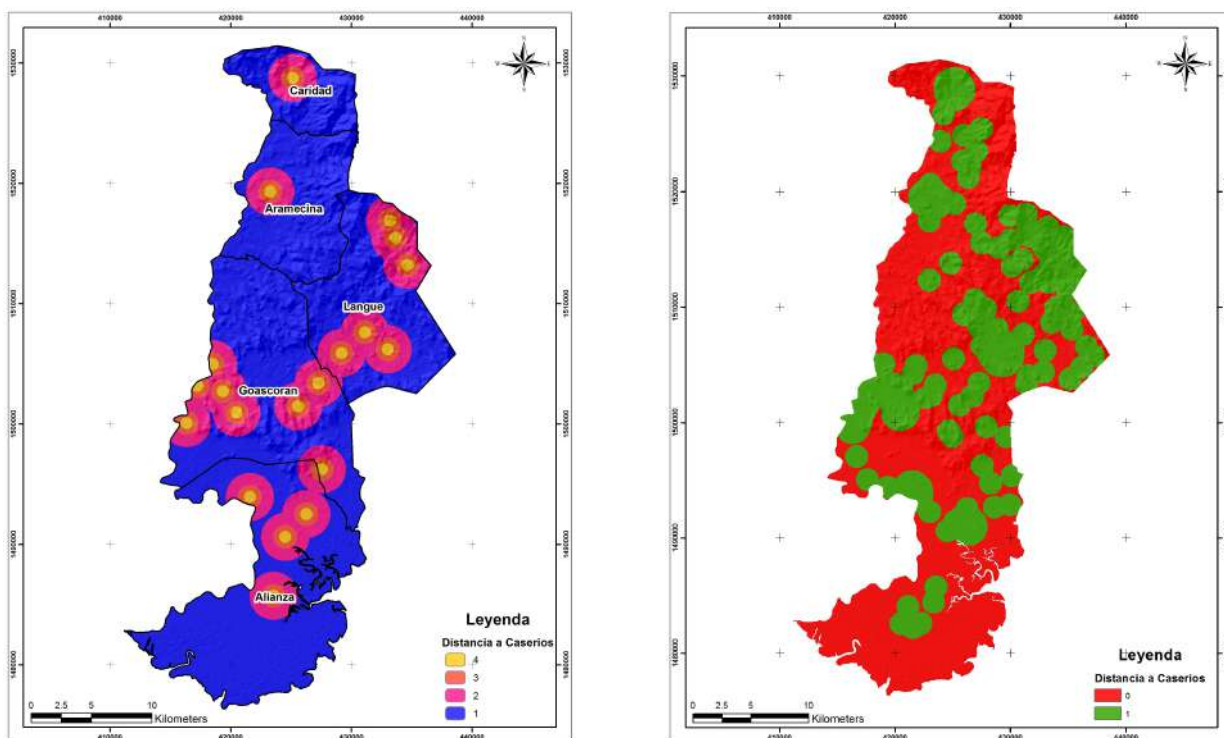


Figura 8: Distancia a centros poblados.

El valor mínimo calculado por el método WLC fue de 23, mientras que el máximo fue de 84, al mismo tiempo el valor mínimo calculado por el método Binario fue de 0, mientras que el máximo fue de 1. En base a los valores obtenidos se definieron dos categorías, como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2: Clasificación del nivel de adecuación y el resultado final del método WLC y modelo binario

Método					Total
	Clase	23 - 43.33	43.33 - 63.66	63.66 - 84	
WLC	Nivel de adecuación	No adecuado	Poco adecuado	Adecuado	
	Área (ha)	19,945.64	4,1467.02	7,116.3	68,529.49
	Porcentaje del total del área	29.11	60.50	10.39	100
					Total
	Clase	0	1		
Binario	Nivel de adecuación	No adecuado	Adecuado		
	Área (ha)	64,998.08	3,529.28		68,527.36
	Porcentaje del total del área	94.85	5.15		100

4 Discusión

Se realizó un análisis multivariado de ambos modelos, tomando 2,500 valores de forma aleatoria, para describir estadísticamente el comportamiento de los mismos, el resultado se presenta en la tabla 3. Esta

tabla muestra el resumen estadístico para cada una de las variables seleccionadas. Incluye medidas de tendencia central, de variabilidad, y de forma. De particular interés aquí es el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden usarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a $+2$ indican desviaciones significativas de la normalidad, las cuales tenderían a invalidar muchos de los procedimientos estadísticos que se aplican habitualmente a estos datos. Tanto el método binario como el WLC muestran curtosis estandarizada fuera del rango esperado:

Tabla 3: Resumen estadístico del análisis multivariado entre ambos modelos

	Binario	WLC
Recuento	2,500	2,500
Promedio	0.0576	0.8356
Desviación estándar	0.233032	0.596586
Coefficiente de variación	404.57 %	71.3961 %
Mínimo	0.0	0.0
Máximo	1.0	2.0
Rango	1.0	2.0
Sesgo estandarizado	77.566	1.49286
Curtosis estandarizada	127.062	-3.62315

Posteriormente se realizó un análisis de correlación para conocer la relación entre las variables, el resultado se presenta en la tabla 4. Esta tabla muestra las correlaciones momento producto de Pearson, entre cada par de variables. El rango de estos coeficientes de correlación va de -1 a $+1$, y miden la fuerza de la relación lineal entre las variables. También se muestra, entre paréntesis, el número de pares de datos utilizados para calcular cada coeficiente. El tercer número en cada bloque de la tabla es un valor p que prueba la significancia estadística de las correlaciones estimadas. Valores p abajo de 0.05 indican correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95.0 %. Tanto el modelo binario como el WLC tienen valores p por debajo de 0.05.

Tabla 4: Tabla de correlaciones momento producto de Pearson

	Parámetros	WLC
Binario	<i>Correlación</i>	0.3560
	<i>Tamaño de muestra</i>	(2500)
	<i>Valor-P</i>	0.0000

En esta investigación, se encontró que el valor mínimo calculado por el método combinado fue de 0, mientras que el máximo fue de 84. Con base a los valores obtenidos se definieron dos categorías, como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5: Clasificación del nivel de adecuación y el resultado final del método Combinado

Clase	0	50 - 67	67 - 84	Total
Nivel de adecuación	No adecuado	Poco adecuado	Adecuado	
Área (ha)	65,016.68	1,430.09	2,080.46	68,527.35
Porcentaje del total del área	94.88	2.09	3.04	100

Se encontró que las áreas óptimas para el establecimiento de cosechas de agua en la zona de estudio, según el modelo combinado, cubren un área de 2,080.46 ha (ver figura 9), lo cual representa un 3 % del total del área, mientras que las áreas restantes se clasifican como poco adecuado (2 %) y no adecuado (95 %).

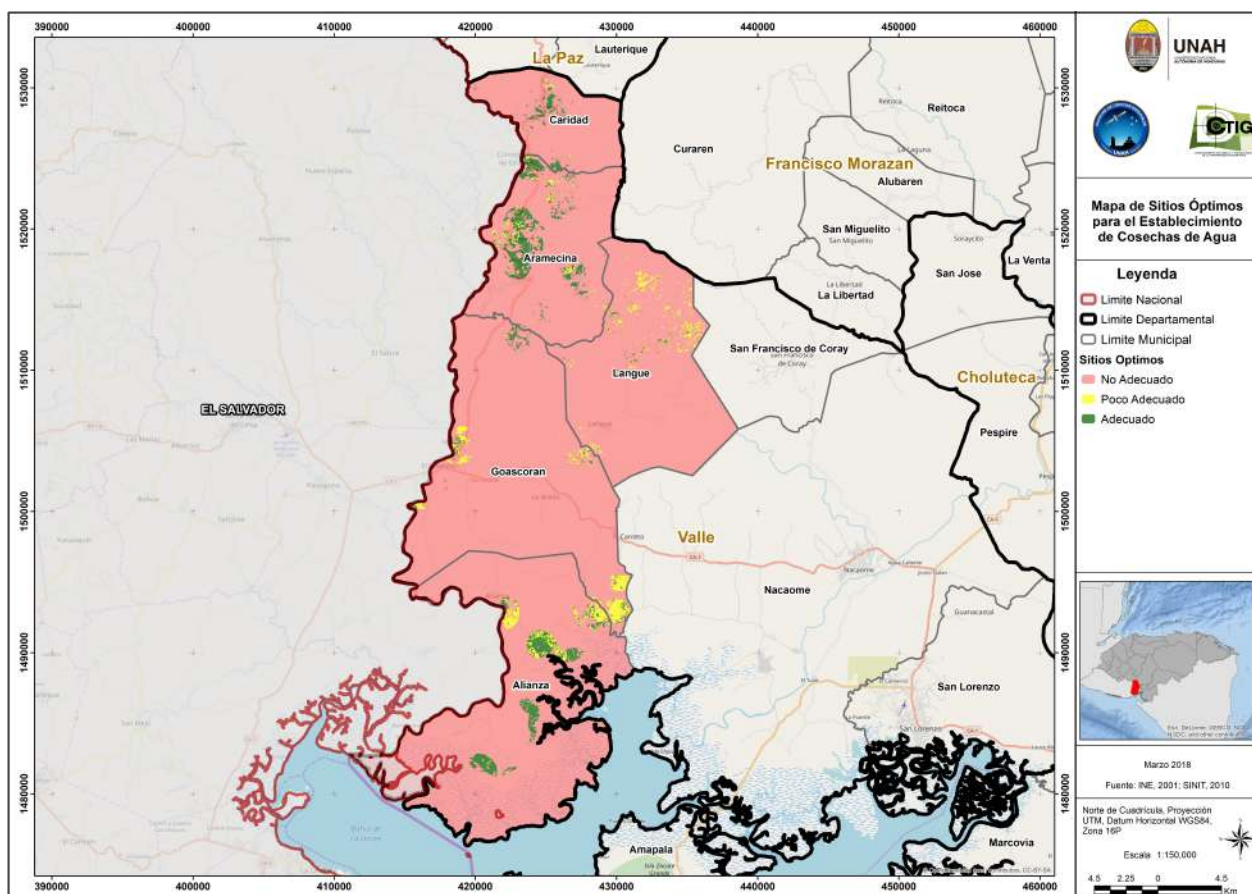


Figura 9: Mapa de localización de sitios óptimos.

5 Conclusiones

El corredor seco de Honduras, específicamente los municipios seleccionados pertenecientes al Departamento de Valle, es catalogado como una zona muy seca y con escasez de agua, sin embargo, tal y como se ha encontrado en este estudio, las precipitaciones de la zona son considerables, por lo cual se evidencia una falta de infraestructura para retener y aprovechar sosteniblemente el recurso agua de la zona. Los proyectos de cosecha de agua han sido utilizados en zonas donde no se posee infraestructura de gran envergadura, como alternativas viables para aprovechar las precipitaciones de la zona.

En esta investigación se compararon dos modelos análisis espacial para seleccionar los sitios óptimos para el establecimiento de cosechas de agua en los municipios de Caridad, Aramecina, Goascorán, Langué y Alianza. El método de Combinación Lineal Ponderada (WLC) y Método Binario, se aplicaron sobre seis criterios espaciales, y posteriormente se construyó un modelo combinando ambos resultados, resultando en la identificación de un 3% del total del área de estudio (3,529.28 ha) con un potencial alto para la construcción de cosechas de agua.

6 Referencias

- Allison, R., Higgit, D., Kirk, A., Whrburton, J., Al-Homoud, A., Sunna, B., y White, I. (1998). *Geology, Geomorphology, Hydrology, Groundwater and Physical Resources*, pp. 21–46. Arid land resources and their management: Jordan's desert margin.
- CESPAD y Trocaire (2016). Desde la mirada de sus pobladores: diagnóstico de la escasez de alimentos y la sequía en el corredor seco de Honduras. Technical report, Centro de Estudio para la Democracia.
- Cáceres, J. (2017). Localización óptima de zonas potenciales para cosecha de agua lluvia en la zona sur de Honduras, año 2016. *Revista Ciencias Espaciales*, 10(1). DOI: <http://dx.doi.org/10.5377/ce.v10i1.5819>.
- Cáceres, J. (2018). Localización óptima de zonas potenciales para cosecha de agua lluvia mediante criterio booleano en la zona sur de Honduras, año 2017. *Revista Ciencias Espaciales*, 11(1). DOI: <https://doi.org/10.5377/ce.v11i1.7172>.
- Dottridge, J. y Gibbs, B. (1998). *Water for sustainable development*, pp. 111–118. Arid land resources and their management: Jordan's desert margin.
- FAO (2014). Plan de acción nacional de lucha contra la desertificación (PAN-LCD) 2014-2022. Technical report, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Giap, D. H., Yi, Y., Cuòng, N. X., Diana, J. S., y Lin, C. K. (2003). Application of gis and remote sensing for assessing watershed ponds for aquaculture development in thai nguyen, vietnam. En *Application of GIS and Remote Sensing for Assessing Watershed Ponds for Aquaculture Development in Thai Nguyen, Vietnam*.
- Heathcote, R. (1983). *The arid lands: Their use and abuse*. London: Longman Group Limited.
- INE (2013). Censo de población y vivienda 2013. Obtenido de <http://170.238.108.229/index.php/catalog/69>. Honduras: Instituto Nacional de Estadística.
- Prinz, D. y Singh, A. (2000). Water resources in arid regions and their sustainable management. *Annals of Arid Zone*, 39.

Shatnawi, G. (2006). Determine the best sites for water harvesting projects (dams & hafirs) in northeastern badia using gis applications. Unpublished M.Sc. thesis, Al Al-Bayt University, Mafraqa.