

Geospatial Analysis of Changes in Holdridge's Life Zones in the Guayas Province

Priscila Serrano, Ing.¹, Ma. Fernanda Calderón, Ph.D.¹

¹Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Facultad de Ciencias de la Vida, Campus Gustavo Galindo Km 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador, prserran@espol.edu.ec, mafercal@espol.edu.ec, psantos@espol.edu.ec.

Abstract— Ecosystems play an important role for the environmental and sustainability, that makes mandatory to comprehend the effects of them due to climate change to assess the conservation status, vulnerability and take mitigations measures. This paper aims to analyse the Holdridge life zone changes in the Guayas province (Ecuador) by using geospatial analysis between 1978 and 2000. The methodology was structured in three components that were: climatic indicator determination of precipitation and temperature, Holdridge life zone classification and Holdridge life zone changes evidence occurred in the studied years.

The results showed that in 2000 classification had six life zones which are also included in the 1978's work, unlike the latter, lower montane moist forest and tropical thorn stepped have disappeared, while dry tropical forest increased its surface on a share of the tropical very dry forest. At the same time, the pre montane moist forest and the tropical moist forest recorded a minimal increase in their surface. In addition, the most affected ecosystems were conservative and protective zones.

Keywords-- Geographic Information System (GIS), Holdridge life zone, climate change.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2016.1.1.185>

ISBN: 978-0-9822896-9-3

ISSN: 2414-6390

Análisis geoespacial del cambio de las zonas de vida de Holdridge en la provincia del Guayas

Priscila Serrano, Ing.¹, Ma. Fernanda Calderón, Ph.D.¹

¹Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Facultad de Ciencias de la Vida, Campus Gustavo Galindo Km 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador, prserran@espol.edu.ec, mafercal@espol.edu.ec, psantos@espol.edu.ec.

Resumen— Los ecosistemas cumplen un papel importante en la función del medio ambiente y la sostenibilidad, haciendo necesario conocer los efectos del cambio climático para evaluar el estado de conservación, vulnerabilidad y tomar medidas de mitigación. El presente documento tiene como finalidad determinar los cambios ocurridos en las zonas de vida de Holdridge en la provincia del Guayas (Ecuador), mediante un análisis geoespacial entre los años 1978 y 2000. La metodología se estructuró en tres componentes: la determinación de los indicadores climáticos de temperatura y precipitación, la clasificación de las zonas de vida de Holdridge y por último evidenciar los cambios en las zonas de vida en los años en estudio.

Los resultados mostraron que la clasificación del 2000 presenta seis zonas de vida respecto a las ocho zonas descritas en el trabajo de 1978, a diferencia de este último se evidencia que las áreas de bosque húmedo montano bajo y monte espinoso tropical desaparecieron, mientras que, el bosque seco tropical incrementó su superficie sobre una parte del bosque muy seco tropical. Al mismo tiempo, el bosque húmedo pre montano y el bosque húmedo tropical registraron un aumento mínimo en su superficie.

Por otro lado, los ecosistemas que se vieron mayormente afectados corresponden a las zonas de conservación y protección.

Palabras claves-- Sistemas de Información Geográfica (SIG), zonas de vida de Holdridge, cambio climático.

I. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas mantienen una relación recíproca con el cambio climático, ya que los sistemas naturales son afectados por la variación del clima y este a su vez, es afectado por los cambios en los ecosistemas causados por las emisiones de los gases efecto invernadero [1]. En virtud del papel importante que tienen los ecosistemas en la función del medio ambiente y la sostenibilidad, así como, en la proporción de servicios al ser humano [2]; numerosos estudios evalúan la potencial respuesta de los ecosistemas naturales frente al cambio climático [3], [4], [5], [6], [7].

En los últimos tiempos, los avances científicos y computacionales han permitido un desarrollo más detallado y rigurosos de modelos de distribución dedicados a este tipo de análisis [8], [9]. A pesar de estos avances el modelo de zonas de vida de Holdridge continúa a ser ampliamente utilizado en estudios de cambios climáticos debido a su practicidad y accesibilidad universal [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15].

A este propósito, a escala nacional se han aplicado algunos modelos de clasificación bioclimática [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22]; y en algunos casos los autores integran tecnologías como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para realizar un análisis más detallado de las variables implicadas en los diferentes modelos. Asimismo, se han abordado temáticas como biodiversidad, biodiversidad y cambio climático, vulnerabilidad, para

determinar las áreas más susceptibles a estos cambios [23], [24], [25]. Sin embargo, no existen estudios sobre los efectos del cambio climático en la distribución de las zonas de vida a nivel nacional, puesto que, hasta el año 2012 no se contaba con un sistema de clasificación adoptado oficialmente como referencia para evaluar la evolución de los ecosistemas [21], [22].

Bajo este contexto, el presente trabajo tiene como finalidad determinar los impactos del cambio climático sobre la distribución de las zonas de vida de Holdridge en la provincia del Guayas, mediante un análisis geoespacial entre la clasificación del año 1978 [18]; y la clasificación del año 2000 realizada en el presente estudio.

II. METODOLOGÍA

A. Área de estudio

La provincia del Guayas (Fig. 1) se encuentra en la zona central de la región Litoral o Costa, ubicada geográficamente en la Zona 17 Sur y la posición astronómica es 2°12' latitud sur, 79°58' longitud occidental; con una superficie de 18.661km² [26].

Entre las características hidrográficas, es importante mencionar que Guayas hace parte de 17 cuencas hidrográficas de las cuales destacan las cuencas del río Daule y Babahoyo que conforman el río Guayas cuya desembocadura forma el sistema estuarino más complejo de la costa pacífica de suramericana [23]. Además, posee zonas de conservación como reservas marinas, ecológicas, de producción faunística, así como, de recreación.

Por otro lado, la riqueza natural en suelos y clima propician el desarrollo de la agricultura y ganadería, tanto que a nivel nacional se posiciona en el segundo puesto con una producción del 12,24 % de la superficie total, donde se concentra la mayor producción de caña de azúcar para azúcar [27].

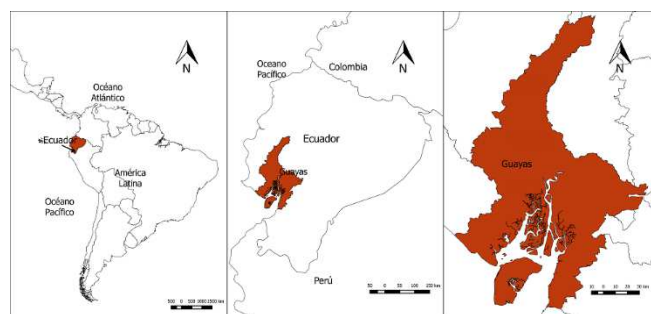


Fig. 1 Ubicación de la provincia del Guayas respecto al Ecuador.

Digital Object Identifier (DOI):<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2016.1.1.185>

ISBN: 978-0-9822896-9-3

ISSN: 2414-6390

B. Análisis geoespacial

El análisis geoespacial se estructuró en tres componentes (Fig. 2) y para el desarrollo de los mismos se utilizó los programas ArcGis 10.2.2 e Infostat versión 2008 [28], [29]. En el primer componente se determinó la distribución espacial de los índices climáticos (temperatura y precipitación) que el modelo de clasificación utiliza como información base.

En el segundo componente se determinó las zonas de vida de Holdridge para el año 2000, el cual, también incluyó el proceso de validación. Al respecto, si bien, se posee a nivel nacional información actualizada de las variables meteorológicas, la distribución y densidad no uniforme de las mismas comporta la necesidad de complementar la información con bases de datos obtenidas a través de modelos de predicción escala global del mismo periodo de análisis, razón por la cual no se extendió el análisis hasta el presente periodo.

Por último, el tercer componente se enfoca en el análisis de los cambios ocurridos en las zonas de vida de Holdridge para los años 1978 y 2000.

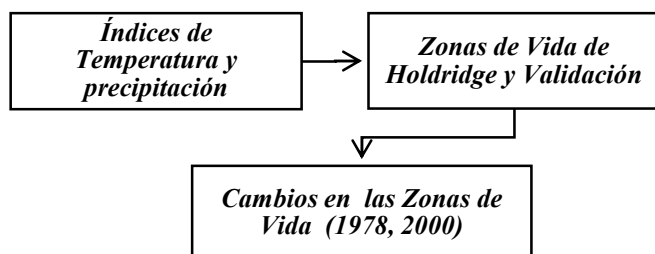


Fig. 2.- Diagrama de flujo del análisis geoespacial.

1) *Índices de Precipitación y Temperatura*: Para los propósitos de este estudio se utilizaron observaciones mensuales de precipitación (1981-2000) de 26 estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), para la provincia del Guayas y sus alrededores (Tabla I). Adicional a esto, se obtuvo, la precipitación media mensual (1950-2000) de la base de datos WorldClim – Global Climate Data (<http://www.worldclim.org/>), en formato ráster con una resolución espacial aproximada de 1km.

En base a esto, el análisis geoestadístico se concentró principalmente en el proceso de predicción espacial de la precipitación, ya que para establecer una óptima estimación de esta variable es necesario tener una adecuada distribución de medidores y aplicar la técnica adecuada [30].

En este sentido, se consideró en primera instancia la disponibilidad (densidad espacial y temporal) de las observaciones de las estaciones, como indicador en la elección del método de interpolación más eficiente. Razón por la cual, se empleó el algoritmo multivariado de cokriging [31],[32], que utiliza la correlación espacial y la correlación entre funciones aleatorias al mismo tiempo [31], [32], [33], [34]; donde, la variable principal está conformada por la precipitación media anual estimada en base a las observaciones de las estaciones en la superficie, mientras que, la variable secundaria está densamente muestreada y

corresponde al campo de precipitación media anual obtenida de la base de datos WorldClim – Global Climate Data.

TABLA I
ELEVACIÓN, LATITUD Y LONGITUD DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS DEL INAMHI UTILIZADAS EN EL PRESENTE ESTUDIO.

Estación	Elevación (m)	Latitud (°S)	Longitud (°O)
24 de Mayo (Jaboncillo)	115	1.30	80.40
Ancón Santa Elena	8	2.32	80.86
Babahoyo	10	1.79	79.53
Bahía de Caráquez	12	0.60	80.40
Colimes de Balzar	28	1.50	80.00
Colimes de Paján	200	1.58	80.51
Daule, La Capilla	20	1.70	80.00
El Corazón	1471	1.13	79.08
Guayaquil DAC	4	2.20	79.90
Guayaquil INOCAR	4	2.27	79.90
Ingenio San Carlos	35	2.20	79.44
Manta INOCAR	3	0.93	80.74
Milagro Ingenio Valdéz	13	2.12	79.60
Naranjal	50	2.70	79.50
Olmedo Manabí	50	1.40	80.21
Pichilingue	120	1.10	79.46
Portoviejo	46	1.04	80.46
Puerto Bolívar	4	3.27	80.00
Puerto Ila	319	0.48	79.34
Puerto Cayo	6	1.30	80.70
Puerto Inca Cañar	50	2.53	79.54
Puna INOCAR	45	2.74	79.91
Santo Domingo	554	0.25	79.20
Ventanas	52	1.44	79.47
Vinces	14	1.55	79.75
Zaruma	1100	3.69	79.62

Por otro lado, la temperatura mensual (°C) se obtuvo de las series históricas (1950-2000) de la base de datos de WorldClim – Global Climate Data (<http://www.worldclim.org/>) en formato ráster con resolución espacial aproximada de 1km, la misma que basa su cálculo en algoritmos de interpolación que relacionan la temperatura con la altura dado que la distribución y densidad de las estaciones meteorológicas en el área de estudio no fueron adecuadas para describir la temperatura en toda la provincia.

2) *Zonas de Vida de Holdridge y Validación*: El sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge (Fig. 3), relaciona los índices de biotemperatura y precipitación con 37 zonas de vida [36]. En este sentido, la biotemperatura anual promedia es un promedio de las temperaturas, donde ocurre el crecimiento de la vegetación y comprende el rango que va de 0°C a 30 °C, por tanto, se utiliza la siguiente formula:

$$BT = \sum T_i / 12, \quad (1)$$

Donde, T es la temperatura media mensual (0° < T < 30°C).

En este mismo orden de ideas, otro parámetro necesario para la clasificación es la precipitación que es el total anual promedio de agua en milímetros (mm).

La metodología incluye también una tercera variable que es cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP), sin

embargo, ésta es en función de la biotemperatura y precipitación, por consecuencia no es necesaria en el esquema de clasificación y no fue considerada en el proceso [8].

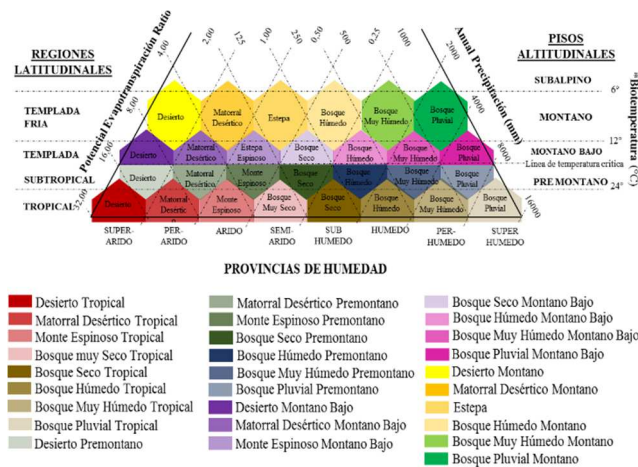


Fig. 3 Sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge [35].

La validación de la clasificación se realizó sobreponiendo la clasificación de Holdridge del año 2000 sobre el mapa nacional de cobertura y uso de la tierra del 2002 generado por el gobierno nacional [35], el cual nos permitió verificar el tipo de vegetación presente en cada zona de vida, siguiendo los lineamientos descritos por [20].

3) *Cambios en las Zonas de Vida de Holdridge (1978-2000)*: Para el análisis de los cambios de vida se utilizó el mapa de la clasificación de Holdridge realizada en el 1978 [18], mientras, que el mapa de la clasificación del 2000 fue realizado en el presente trabajo.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Índices Climáticos

El mapa de precipitación se obtuvo mediante la técnica de interpolación de cokriging, la aplicabilidad de este método geoestadístico requiere del cumplimiento de dos supuestos sobre la muestra; la normalidad de los datos y el cumplimiento de al menos la hipótesis intrínseca [33].

En este contexto, la normalidad de los datos se verificó a través de sus histogramas (Fig. 4 y Fig. 5) y mediante el test de Shapiro Wilks modificado [29], el mismo que mostró valores p de 0.22 y 0.21 para las observaciones en tierra y las series de WorldClim respectivamente, indicando que los datos siguen distribuciones normales. Mientras, el análisis de tendencia de los variogramas adireccionales mostró un comportamiento cuadrático acotado próximo al nivel de la varianzas totales, cumpliendo así al menos con la propiedad intrínseca [33]; indicando esto último, se estima esta propiedad mediante el modelo de kriging ordinario [37], [38], [39].

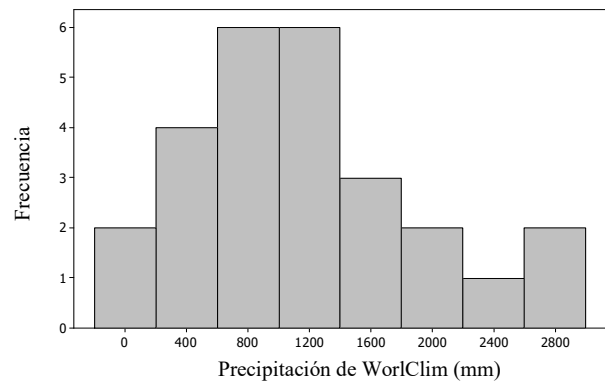


Fig. 4 Histograma de los datos de precipitación media anual de la base datos de WorldClim.

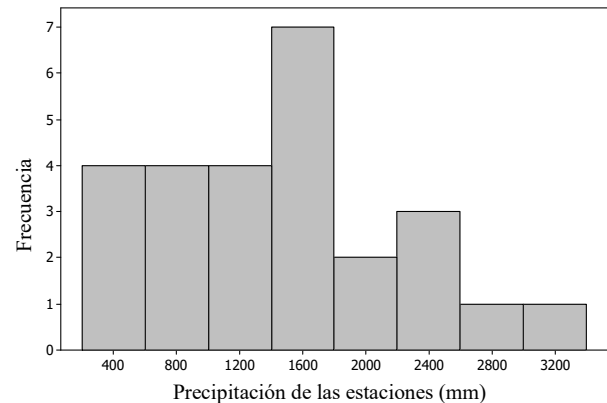


Fig. 5 Histograma de los datos de precipitación media anual de las estaciones meteorológicas.

Continuando con el análisis, en la Fig. 6 se observó que la correlación entre los valores de precipitación de las observaciones de superficie y los datos de WorldClim muestra un coeficiente de Pearson de 0.93, bastante alto, garantizando una adecuada estimación conjunta con el

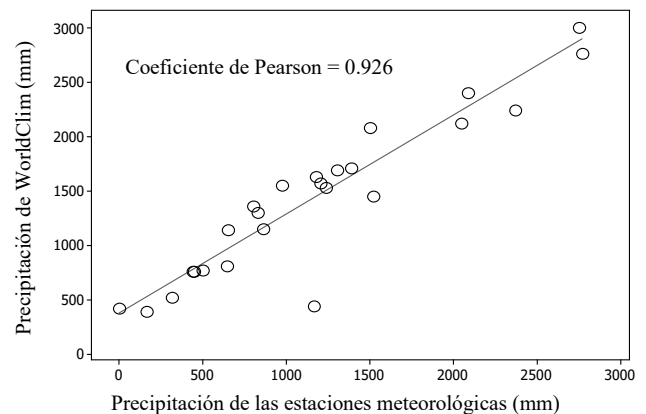


Fig. 6 Correlación lineal entre las observaciones de precipitación media anual y la precipitación media anual de la base datos de WorldClim.

La evaluación del modelo de predicción se realizó a través del método de validación cruzada [30], [32], [41], para lo cual, se correlacionó los valores de precipitación estimados por el variograma con los valores de precipitación de las observaciones. En este sentido, la Fig. 7 presentó una buena estimación de la precipitación con un coeficiente lineal de Pearson de 0.79.

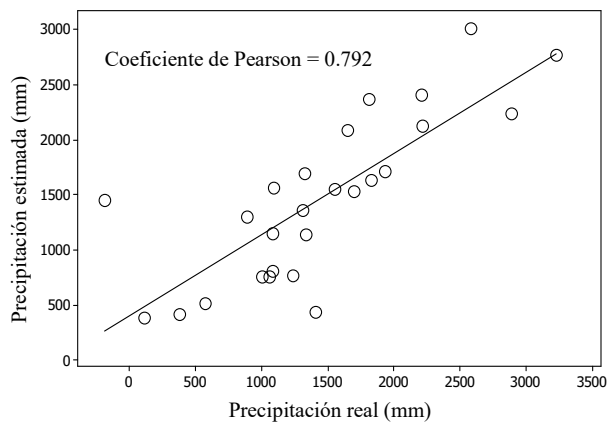


Fig. 7 Correlación lineal entre los datos de precipitación media anual de las estaciones meteorológicas y la precipitación estimada de acuerdo al modelo de cokriging ordinario.

Finalmente, el resultado de la interpolación espacial mostró que el área de estudio posee precipitaciones que van desde 607.95 mm a los 2.368,40 mm (Fig. 8), de las cuales se obtuvo tres clasificaciones según el triángulo de vida de Holdridge (Tabla II).

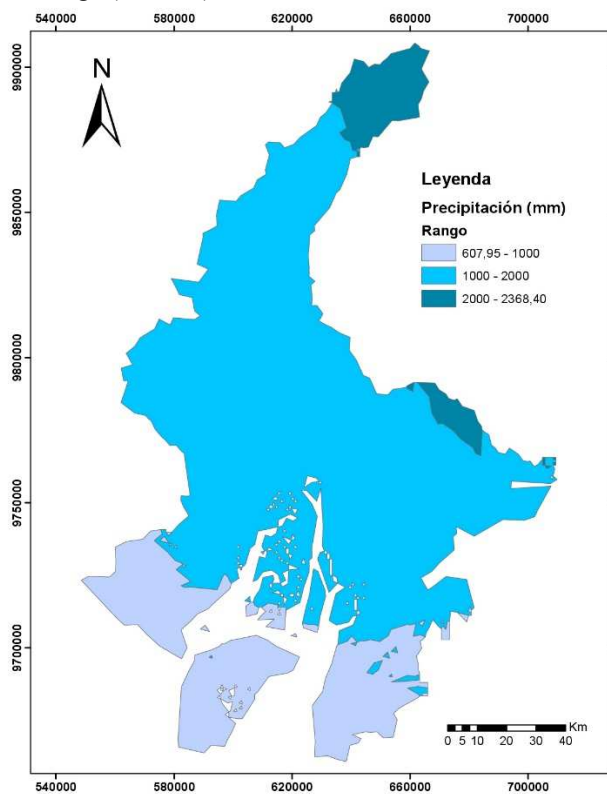


Fig. 8 Mapa de precipitación media anual de la provincia del Guayas del año 2000, obtenida a partir de los datos de precipitación de las estaciones meteorológicas y la base de datos WorldClim.

TABLA II
PORCENTAJE DE COBERTURA DE LOS RANGOS DE PRECIPITACIÓN OBTENIDOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Precipitación (mm)	Porcentaje de cobertura (%)
600-1000	19.24
1000-2000	79.83
2000-2368	5.93

La primera clasificación se corresponde al intervalo de 600 - 1000mm, este nivel de precipitaciones se debe, a que esta zona forma parte del sistema fluvial del Río Guayas y sus afluentes Río Daule y Babahoyo, por lo tanto, se ve influenciada por la corriente fría de Humboldt que porta vientos fríos cargados de poca humedad como evidencia [23]. Asimismo, esta zona posee áreas de conservación y protección como humedales, vegetación arbustiva y herbácea [35]; la segunda clasificación comprende el rango de 1000mm a 2000mm y representa gran parte del área de estudio con el 79.83%, estas condiciones de precipitación favorecen el desarrollo de la agricultura en general como descrito en [35]; y por último la tercera clasificación que va desde los 2000mm en adelante, se presenta en las áreas limítrofes de la provincia indicando la influencia de otras condiciones ambientales dadas principalmente por la hidrología y relieve de las provincias confinantes.

En cuanto a la biotemperatura, el mapa (Fig. 4) mostró que este índice está entre los 18° y 25.77°C. Lo que generó dos intervalos dentro de la clasificación de Holdridge: el tropical (24° - 25.77°C) que representó casi la totalidad del área de estudio con el 96% y el pre montano (18°-24°C) con un porcentaje mínimo de cobertura del 4% detectándose solo en la parte suroccidental de la provincia debido a que esta limita con el pie de la cordillera de los Andes influenciando así el comportamiento de la temperatura [23].

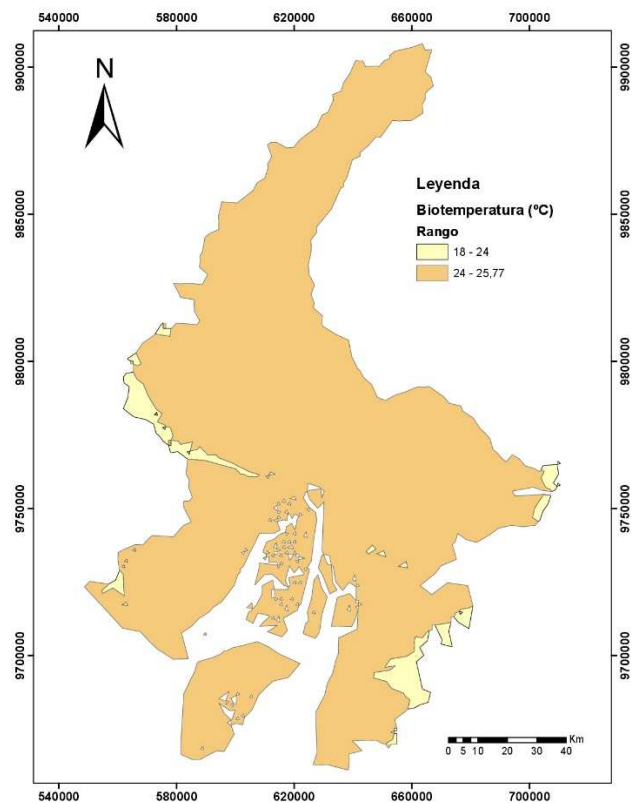


Fig. 9 Mapa de biotemperatura, creado a partir de la temperatura media mensual de la base de datos de WorldClim, de la provincia del Guayas del 2000.

B. Zonas de Vida de Holdridge y Validación

La combinación entre los índices de biotemperatura y precipitación, resultaron en seis zonas de vida de la clasificación de Holdridge para el año 2000 (Fig. 11), las cuales están distribuidas en dos pisos altitudinales tropical (96.2%) y pre montano (3.8%). Asimismo, las zonas de vida encontradas corresponden a provincias de humedad de semi árido (18.7%), sub húmedo (75.4%) y húmedo (5.9%).

En este mismo orden de ideas, se observó que la mayor parte del área de estudio está representada por el bosque seco tropical y el bosque muy seco tropical con el 73% y el 17% respectivamente, mientras, que los ecosistemas que tienen una presencia mínima son: el bosque húmedo pre montano, el bosque húmedo tropical, el bosque muy húmedo pre montano y el bosque seco pre montano que representan el 9.8% de cobertura total.

En cuanto a la validación, de acuerdo con el mapa de cobertura y uso de la tierra del 2002 se verificó que la zona de bosque muy seco tropical posee una dominancia de manglares, pasto y cultivos de ciclo corto; en la zona de bosque seco tropical se encontraron cultivos semi perennes y pastizales; en el bosque húmedo tropical fueron más representativos los cultivos perennes y áreas de pasturas; en la zona de bosque seco pre montano se observó el dominio de cultivos anuales o perennes además de vegetación arbustiva; mientras que en el bosque húmedo pre montano se verificó la presencia de cultivos perennes, pasto cultivado, arboricultura tropical, bosque natural y finalmente en el bosque muy húmedo pre montano se encontró principalmente bosques naturales, como descrito en su apartado de uso actual y potencial por [20].

Por lo tanto, cabe decir que el modelo de clasificación de Holdridge, bajo circunstancias de poca disponibilidad de información [8], mostró una buena aproximación de la distribución de la vegetación en el área de estudio concordando con lo expresado por [39].

C. Cambios en la Clasificación de Holdridge

De acuerdo a la clasificación de Holdridge realizada año 1978 se identificaron ocho zonas de vida presentes en el área de estudio (Fig. 10), las cuales están distribuidas en los pisos altitudinales tropical (65.5%), pre montano (4.4%) y montano bajo (0.1%). Mientras, que las provincias de humedad encontradas son: árido (7.8%), semi árido (38.8%), húmedo sub (47.9%) y húmedo (5.5%).

Las zonas de vida que destacan por su extensión (Tabla III) son: el bosque seco tropical con el 46.3%, el bosque muy seco tropical con el 37.7% y el bosque espinoso tropical con el 7.8%, respecto al total de la superficie del área de estudio.

En el otro extremo, están el bosque húmedo montano bajo, el bosque húmedo pre montano, el bosque muy húmedo pre montano y el bosque seco pre montano, los cuales se caracterizan por representar una superficie inferior al 5% del área de estudio, la presencia casi imperceptible de estas zonas hace que estas sean más susceptibles a los cambios por su pequeña extensión.

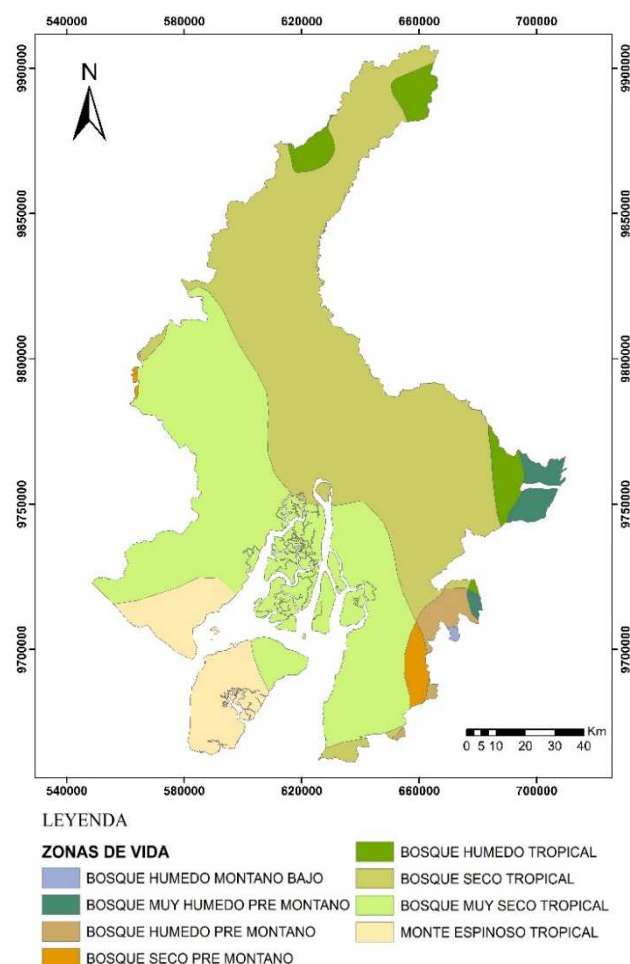


Fig. 10 Mapa de las zonas de vida Holdridge de la provincia del Guayas para el año 1978 [18]

TABLA III
PORCENTAJES DE COBERTURA DE LAS ZONAS DE VIDA DE HOLDRIDGE DE LA PROVINCIA DEL GUAYAS PARA LOS AÑOS 1978 Y 2000.

Zonas de Vida de Holdridge	1978 (%)	2000 (%)
Bosque húmedo montano bajo	0.1	-
Bosque húmedo pre montano	1.5	2.5
Bosque húmedo tropical	3.7	5.9
Bosque muy húmedo pre montano	1.8	0.1
Bosque muy seco tropical	37.7	17.4
Bosque seco pre montano	1.2	1.3
Bosque seco tropical	46.3	72.9
Monte espinoso tropical	7.8	-

Por otra parte, la clasificación del 2000 (Fig. 11), mostró seis zonas de vida, las cuales constan dentro de las ocho zonas descritas en el trabajo del 1978, sin embargo, las áreas de bosque húmedo montano bajo y monte espinoso tropical presentaron los cambios más drástico debido a que desaparecieron en la clasificación del año 2000. Asimismo, cabe mencionar que el bosque muy húmedo pre montano sigue la misma tendencia con una superficie casi imperceptible del 0.1% del total.

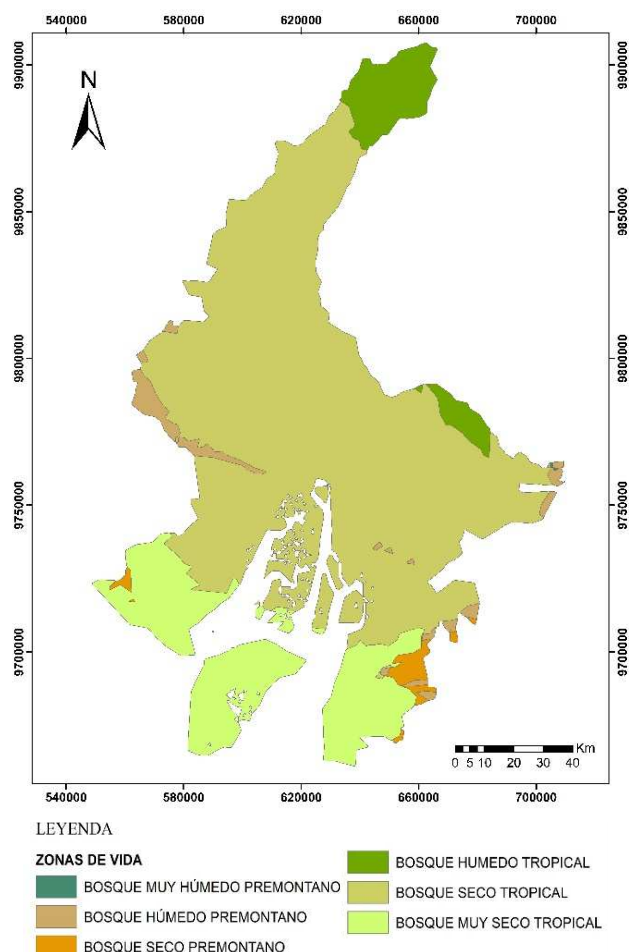


Fig. 11 Mapa de las zonas de vida de Holdridge de la provincia del Guayas para el año 2000.

En este mismo orden de ideas, también se evidenció, que el bosque seco tropical incrementó su superficie del 46.3% al 72.9% absorbiendo una parte del bosque muy seco tropical, el mismo que se redujo del 37.7% al 17%. Al mismo tiempo, el bosque húmedo pre montano registró un aumento mínimo en su superficie de 1.5% a 2.5%, y el bosque húmedo tropical pasó de 3.7 % a 5.9%, respecto al 1978 (Tabla III). Estos cambios muestran que algunas zonas de vida se extienden y otras disminuyen o desaparecen como lo expresado por [43] y [44].

Otro particular, que es importante mencionar, es que las zonas de vida del bosque muy seco tropical y parte del bosque seco tropical poseen ecosistemas vulnerables a los efectos del calentamiento global como lo son los bosques naturales, manglares y remanentes de prados nativos como reportado por [43].

Los cambios encontrados en la clasificación del año 2000 respecto al año 1978 son una evidente respuesta frente a la alteración en el comportamiento de los índices climáticos como el aumento de la temperatura y las variaciones en el régimen de precipitaciones como se muestra en [24], [45] y [46]. Por consiguiente, la alteración es estos índices no solo afecta la diversidad de las zonas de vida sino que también afecta las reservas de agua [9]. Asimismo, es importante mencionar que aunque si los cambios observados se atribuyen

al cambio climático, no se debe descartar la influencia negativa de las actividades antropogénicas sobre los ecosistemas [43], [44], [45], que en el presente estudio no fueron consideradas.

Por otro lado, a partir del presente estudio se puede determinar el nivel de vulnerabilidad de las especies que están ligadas a determinadas zonas de vida que bajo el efecto del cambio climático presentan cambios en sus áreas [44]. Para proponer estrategias con el fin de evaluar su estado de conservación, su vulnerabilidad y medidas de mitigación.

IV. CONCLUSIONES

La aplicabilidad de este modelo se mostró idóneo para representar los ecosistemas presentes en el área de estudio, sea por su practicidad que por la poca accesibilidad de la información base para estudios de cambio climático.

En este sentido, los cambios presentados en las zonas de vida entre los años 1978 y 2000, se evidenció que existen zonas de vida que aumentaron su superficie, otras se redujeron, mientras que otras desaparecieron. Por otro lado, los ecosistemas que se vieron mayormente afectados se corresponden a las zonas de conservación y protección.

Estos cambios son una consecuencia tangible del efecto del cambio climático sobre las zonas de vida de Holdridge, pero cabe destacar que existen otros factores como las actividades antropogénicas que influyen también estos cambios.

Por consiguiente, el presente estudio representa un insumo para futuras investigaciones direccionadas a determinar los efectos del cambio climático, así como, para la toma de decisiones de los gobiernos locales, en temas de gestión y planificación del territorio, conservación de áreas protegidas, planificación de estrategias ante el cambio climático, entre otras.

REFERENCIAS

- [1] H. Reid, B. Pisupati, and H. Baulch, "How biodiversity and climate change interact" (on line). Science and Development Net. Biodiversity Dossier Policy Brief. 2004. Consultado 20 nov. 2007, Available in <http://www.scidev.net/>
- [2] IPCC, *Informe Especial del Grupo de Trabajo II del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Impactos Regionales del Cambio Climático: Evaluación de la Vulnerabilidad. Resumen para responsables de políticas*. 1997. ISBN: 92-9169-310-3.
- [3] L.-R. Holdridge, "Determination of World Plant Formations from Simple Climatic Data," *Science* 105, 367–368, 1947.
- [4] L.-R. Holdridge, W.-C. Grenke, Hatheway, T. Liang, and J.-A Tosi, *Forest Environments in Tropical Life Zones: A Pilot Study*, Oxford Pergamon Press. 1971.
- [5] W.-R. Emanuel, H.-H. Shugart, and M.-P. Stevenson, "Climatic Change and the Broad-Scale Distribution of Terrestrial Ecosystem Complexes", *Clim. Change*, 7, 29–43. 1985a.
- [6] W.-R. Emanuel, H.-H. Shugart, and M.-P. Stevenson, "Comment on "Climatic Change and the Broad-Scale Distribution of Terrestrial Ecosystem Complexes," *Clim. Change*, 7, 455–456, 1985b.
- [7] M. Maroschek, *et al*, "Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems", *For. Ecol. and Manag.*, 259, 698–709, 2010.
- [8] D.-N. Yates, T.-G. Kittel, and R.-F. Cannon, "Comparing the correlative Holdridge model to mechanistic biogeographical models for assessing vegetation distribution response to climatic change". *Clim. Change* 44, 59–87, 2000.
- [9] Y. Zheng, Z. Xie, L. Jiang, H. Shimizu, and S. Drake, "Changes in Holdridge Life Zone diversity in the Xinjiang Uygur Autonomous

- Region (XUAR) of China over the past 40 years,” *J. of Arid Envir.* 66, 113–126, 2006.
- [10] A.-P. Kirilenko, N.-V. Belotelov, and B.-G. Bogatyrev, “Global model of vegetation migration: incorporation of climatic variability,” *Ecol. Modelling* 132: 125–133, 2000.
- [11] X. Chen, X.-S. Zhang, and B.-L. Li, “The possible response of life zones in China under global climate change,” *Global and Planetary Change*, 38, 327–337, 2003.
- [12] F. Mendoza, M. Chévez y B. González, “Sensibilidad de las zonas de vida de Holdridge en Nicaragua en función del cambio climático,” *Rev. For. Centroamericana*, 33, 17-22, 2001.
- [13] E. Alpizar, *Vulnerabilidad de bosques ante cambio climático puede simularse con sistema de zonas de vida*. Ambientico, 165, 28-30, 2007.
- [14] M. Jiménez Méndez, *Resiliencia de los ecosistemas naturales terrestres de Costa Rica al cambio climático*. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 2009, 140 p.
- [15] S. Saputri, S. Bambang, S. Indung and F. Akhmad, “Geospatial approach for ecosystem change study of Lombok Island under the influence of climate change”, *Procedia Environmental Sciences*. 165 – 173, 2015
- [16] M. Acosta Solís, Las divisiones fitogeográficas y las formaciones geobotánicas del Ecuador. *Rev. Acad. Colombiana*, 12, 401-447, 1966.
- [17] M. Acosta Solís, *Ecología y fitoecología*. Casa de la Cultura Ecuatoriana. Quito, 1977.
- [18] L. Cañadas, *Ecuador: Mapa Ecológico del Ecuador*. MAG, PRONAGREG-ORSTOM, 1978.
- [19] G. Harling, *The vegetation types of Ecuador-A brief survey*. En K. Larsen y B. HolmNielsen (Eds.). Tropical botany. Academic Press. Nueva York, 1979.
- [20] L. Cañadas, *El mapa bioclimático y ecológico del Ecuador*, Banco Central del Ecuador, 1983.
- [21] R. Sierra, *Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador continental*. Proyecto INEFAN/GEF-BIRF y EcoCiencia. Quito, Ecuador. 1999.
- [22] MAE, Metodología para la Representación Cartográfica de los Ecosistemas del Ecuador Continental, 2012.
- [23] R. Urquiza, L. Viejo, R. Carvajal, J. Salas y M. Bustamante, Biodiversidad del Guayas: conociendo nuestra verdadera riqueza. Gobierno Provincial del Guayas Dirección de Medio Ambiente. Poligráfica y Finding Species, Guayaquil, 2012, pp 224.
- [24] CIIFEN, *Fase I: Diagnóstico. Vulnerabilidad social, económica y ambiental de la provincia del Guayas. Informe Técnico. Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial del Guayas*. Dirección de Medio Ambiente. Guayaquil, Ecuador. 2012.
- [25] S. K. Herzog, et al., Efectos del cambio climático en la biodiversidad de los Andes tropicales: el estado del conocimiento científico. Resumen para tomadores de decisiones y responsables de la formulación de políticas públicas. Instituto Interamericano para la investigación del cambio climático global. San José dos Campos. Brasil, 2010.
- [26] Gobierno provincial del Guayas, Plan de ordenamiento territorial de la provincia del Guayas 2012-2021, 2013.
- [27] INEC, Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC, 2014.
- [28] ESRI (Environmental Scientific Research Institute), ArcGIS 10.1, Redlands, California. 2012.
- [29] J.-A. Di Rienzo, F. Casanoves, M.-G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada y C.-W. Robledo. InfoStat, version 2008. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. 2008.
- [30] M.-A. Zare Chahouki, A. Zare Chahouki, A. Malekian, R. Bagheri, and S. A. Vesali, “Evaluation of Different Cokriging Methods for Rainfall Estimation in Arid Regins (Central Kavir Basin in Iran). Desert 19-1 1-9, 2014.
- [31] P. Goovaerts, *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford University Press: New York. 1997.
- [32] A. Azareh, A. Nazari, M. Sianaki, and S. Salajegheh. “Estimation of Seasonal and Annual Precipitation using Multivariate Methods to identify areas prone to wind erosion (case study: Khorasan Razavi province)”. *Elixir Pollution*, 54: 2280-12284. 2013.
- [33] M. Díaz-Viera, G. Herrera-Zamarrón y A. Valdés-Manzanilla, “Un modelo de coregionalización lineal para la estimación espacial de la precipitación en el valle de la ciudad de México, combinando datos de pluviógrafos con imágenes de radar meteorológico,” Ing. Hidraul. en Méx., vol. xxiv, no. 3, pp. 63-90, Julio-Septiembre 2009.
- [34] F. Meer, *Introduction to geostatistics*, ITC Lecture Notes, 1993.
- [35] MAGAP, Cobertura y uso de la tierra, escala 1:250.000. 2002.
- [36] L. Holdridge, Life Zone Ecology, San José, Costa Rica: Tropical Science Center, 1967.
- [37] M. David, “The practice of kriging. Advanced geostatistics in the mining industry”. Guarascio et al., Reidel: Dordrecht, Holland, pp. 31-48, 1976.
- [38] A. Journel, Ch. Huijbregts, “Mining Geostatistics,” New York: Academic Press, pp. 590, 1978.
- [39] F. Samper y J. Carrera, *Geoestadística, aplicaciones a la hidrogeología subterránea Barcelona: Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería*, 1990, pp 484.
- [40] G. Song, J. Zhang, and K. Wang, “Selection of Optimal Auxiliary Soil Nutrient Variables for Cokriging Interpolation”. *Plos One* 9(6): e99695, 2014. doi:10.1371/journal.pone.0099695.
- [41] J.C. Brimelow, J.M. Hanesiak, R. Raddatz, “Validation of soil moisture simulations from the PAMII model, and an assessment of their sensitivity to uncertainties in soil hydraulic parameters,” *Agric For. Meteorol.*, 150, 100–114, 2010.
- [42] J. Alarcón y J. Pabón, “El cambio climático y la distribución espacial de las formaciones vegetales en Colombia,” *Colombia Forestal* vol. 16, no. 2. pp. 171-185, 2013.
- [43] J. Biringer, M.-R., et al, *Biodiversity in a changing climate: A framework for assessing vulnerability and evaluating practical responses, Tropical forests and adaptation to climate change in search of synergies*, Center for International Forestry Research (CIFOR), 2005.
- [44] M. Jiménez, A. Chain, y B. Locatelli, “Efectos del cambio climático en la distribución de zonas de vida en Centroamérica,” *Recursos Naturales y Ambiente*, vol. 59-60, pp. 32-40.
- [45] IPCC, *Cambio climático y biodiversidad, Documento técnico V del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*, 2002.
- [46] CIIFEN, INAMHI e INOCAR, *Información climática de amenazas hidrometeorológicas en las provincias costeras del Ecuador*. 2007.

Análisis geoespacial del cambio de las zonas de vida de Holdridge en la provincia del Guayas

Priscila Serrano¹, Ma. Fernanda Calderón, Ph.D.¹

¹Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Facultad de Ciencias de la Vida, Campus Gustavo Galindo Km 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador, prserran@espol.edu.ec, mafercal@espol.edu.ec, psantos@espol.edu.ec.

Resumen— Los ecosistemas cumplen un papel importante en la función del medio ambiente y la sostenibilidad, haciendo necesario conocer los efectos del cambio climático para evaluar el estado de conservación, vulnerabilidad y tomar medidas de mitigación. El presente documento tiene como finalidad determinar los cambios ocurridos en las zonas de vida de Holdridge en la provincia del Guayas (Ecuador), mediante un análisis geoespacial entre los años 1978 y 2000. La metodología se estructuró en tres componentes: la determinación de los indicadores climáticos de temperatura y precipitación, la clasificación de las zonas de vida de Holdridge y por último evidenciar los cambios en las zonas de vida en los años en estudio.

Los resultados mostraron que la clasificación del 2000 presenta seis zonas de vida respecto a las ocho zonas descritas en el trabajo de 1978, a diferencia de este último se evidencia que las áreas de bosque húmedo montano bajo y monte espinoso tropical desaparecieron, mientras que, el bosque seco tropical incrementó su superficie sobre una parte del bosque muy seco tropical. Al mismo tiempo, el bosque húmedo pre montano y el bosque húmedo tropical registraron un aumento mínimo en su superficie.

Por otro lado, los ecosistemas que se vieron mayormente afectados corresponden a las zonas de conservación y protección.

Palabras claves— Sistemas de Información Geográfica (SIG), zonas de vida de Holdridge, cambio climático.

Abstract— Ecosystems play an important role for the environmental and sustainability, that makes mandatory to comprehend the effects of them due to climate change to assess the conservation status, vulnerability and take mitigations measures. This paper aims to analyse the Holdridge life zone changes in the Guayas province (Ecuador) by using geospatial analysis between 1978 and 2000. The methodology was structured in three components that were: climatic indicator determination of precipitation and temperature, Holdridge life zone classification and Holdridge life zone changes evidence occurred in the studied years.

The results showed that in 2000 classification had six life zones which are also included in the 1978's work, unlike the latter, lower montane moist forest and tropical thorn stepped have disappeared, while dry tropical forest increased its surface on a share of the tropical very dry forest. At the same time, the pre montane moist forest and the tropical moist forest recorded a minimal increase in their surface. In addition, the most affected ecosystems were conservative and protective zones.

Keywords— Geographic Information System (GIS), Holdridge life zone, climate change.

I. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas mantienen una relación recíproca con el cambio climático, ya que los sistemas naturales son afectados por la variación del clima y este a su vez, es afectado por los cambios en los ecosistemas causados por las emisiones de los gases efecto invernadero [1]. En virtud del papel importante que tienen los ecosistemas en la función del medio ambiente

y la sostenibilidad, así como, en la proporción de servicios al ser humano [2]; numerosos estudios evalúan la potencial respuesta de los ecosistemas naturales frente al cambio climático [3], [4], [5], [6], [7].

En los últimos tiempos, los avances científicos y computacionales han permitido un desarrollo más detallado y rigurosos de modelos de distribución dedicados a este tipo de análisis [8], [9]. A pesar de estos avances el modelo de zonas de vida de Holdridge continúa a ser ampliamente utilizado en estudios de cambios climáticos debido a su practicidad y accesibilidad universal [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15].

A este propósito, a escala nacional se han aplicado algunos modelos de clasificación bioclimática [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22]; y en algunos casos los autores integran tecnologías como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para realizar un análisis más detallado de las variables implicadas en los diferentes modelos. Asimismo, se han abordado temáticas como biodiversidad, biodiversidad y cambio climático, vulnerabilidad, para determinar las áreas más susceptibles a estos cambios [23], [24], [25]. Sin embargo, no existen estudios sobre los efectos del cambio climático en la distribución de las zonas de vida a nivel nacional, puesto que, hasta el año 2012 no se contaba con un sistema de clasificación adoptado oficialmente como referencia para evaluar la evolución de los ecosistemas [21], [22].

Bajo este contexto, el presente trabajo tiene como finalidad determinar los impactos del cambio climático sobre la distribución de las zonas de vida de Holdridge en la provincia del Guayas, mediante un análisis geoespacial entre la clasificación del año 1978 [18]; y la clasificación del año 2000 realizada en el presente estudio.

II. METODOLOGÍA

A. Área de estudio

La provincia del Guayas (Fig. 1) se encuentra en la zona central de la región Litoral o Costa, ubicada geográficamente en la Zona 17 Sur y la posición astronómica es 2°12' latitud sur, 79°58' longitud occidental; con una superficie de 18.661km² [26].

Entre las características hidrográficas, es importante mencionar que Guayas hace parte de 17 cuencas hidrográficas de las cuales destacan las cuencas del río Daule y Babahoyo que conforman el río Guayas cuya desembocadura forma el sistema estuarino más complejo de la costa pacífica de suramericana [23]. Además, posee zonas de conservación como reservas marinas, ecológicas, de producción faunística, así como, de recreación.

Por otro lado, la riqueza natural en suelos y clima propician el desarrollo de la agricultura y ganadería, tanto que

a nivel nacional se posiciona en el segundo puesto con una producción del 12,24 % de la superficie total, donde se concentra la mayor producción de caña de azúcar para azúcar [27].

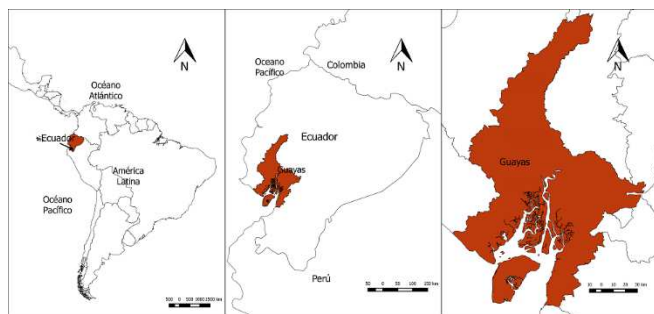


Fig. 1 Ubicación de la provincia del Guayas respecto al Ecuador.

B. Análisis geoespacial

El análisis geoespacial se estructuró en tres componentes (Fig. 2) y para el desarrollo de los mismos se utilizó los programas ArcGis 10.2.2 e Infostat versión 2008 [28], [29]. En el primer componente se determinó la distribución espacial de los índices climáticos (temperatura y precipitación) que el modelo de clasificación utiliza como información base.

En el segundo componente se determinó las zonas de vida de Holdridge para el año 2000, el cual, también incluyó el proceso de validación. Al respecto, si bien, se posee a nivel nacional información actualizada de las variables meteorológicas, la distribución y densidad no uniforme de las mismas comporta la necesidad de complementar la información con bases de datos obtenidas a través de modelos de predicción escala global del mismo periodo de análisis, razón por la cual no se extendió el análisis hasta el presente periodo.

Por último, el tercer componente se enfoca en el análisis de los cambios ocurridos en las zonas de vida de Holdridge para los años 1978 y 2000.

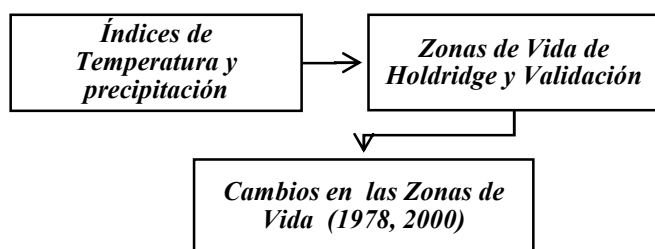


Fig. 2.- Diagrama de flujo del análisis geoespacial.

1) *Índices de Precipitación y Temperatura:* Para los propósitos de este estudio se utilizaron observaciones mensuales de precipitación (1981-2000) de 26 estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), para la provincia del Guayas y sus alrededores (Tabla I). Adicional a esto, se obtuvo, la precipitación media mensual (1950-2000) de la base de datos WorldClim – Global Climate Data

(<http://www.worldclim.org/>), en formato ráster con una resolución espacial aproximada de 1km.

TABLA I
ELEVACIÓN, LATITUD Y LONGITUD DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS DEL INAMHI UTILIZADAS EN EL PRESENTE ESTUDIO.

Estación	Elevación (m)	Latitud (°S)	Longitud (°O)
24 de Mayo (Jaboncillo)	115	1.30	80.40
Ancón Santa Elena	8	2.32	80.86
Babahoyo	10	1.79	79.53
Bahía de Caráquez	12	0.60	80.40
Colimes de Balzar	28	1.50	80.00
Colimes de Paján	200	1.58	80.51
Daule, La Capilla	20	1.70	80.00
El Corazón	1471	1.13	79.08
Guayaquil DAC	4	2.20	79.90
Guayaquil INOCAR	4	2.27	79.90
Ingenio San Carlos	35	2.20	79.44
Manta INOCAR	3	0.93	80.74
Milagro Ingenio Valdéz	13	2.12	79.60
Naranjal	50	2.70	79.50
Olmedo Manabí	50	1.40	80.21
Pichilingue	120	1.10	79.46
Portoviejo	46	1.04	80.46
Puerto Bolívar	4	3.27	80.00
Puerto Ila	319	0.48	79.34
Puerto Cayo	6	1.30	80.70
Puerto Inca Cañar	50	2.53	79.54
Puna INOCAR	45	2.74	79.91
Santo Domingo	554	0.25	79.20
Ventanas	52	1.44	79.47
Vinces	14	1.55	79.75
Zaruma	1100	3.69	79.62

En base a esto, el análisis geoestadístico se concentró principalmente en el proceso de predicción espacial de la precipitación, ya que para establecer una óptima estimación de esta variable es necesario tener una adecuada distribución de medidores y aplicar la técnica adecuada [30].

En este sentido, se consideró en primera instancia la disponibilidad (densidad espacial y temporal) de las observaciones de las estaciones, como indicador en la elección del método de interpolación más eficiente. Razón por la cual, se empleó el algoritmo multivariado de cokriging [31],[32], que utiliza la correlación espacial y la correlación entre funciones aleatorias al mismo tiempo [31], [32], [33], [34]; donde, la variable principal está conformada por la precipitación media anual estimada en base a las observaciones de las estaciones en la superficie, mientras que, la variable secundaria está densamente muestreada y corresponde al campo de precipitación media anual obtenida de la base de datos WorldClim – Global Climate Data.

Por otro lado, la temperatura mensual (°C) se obtuvo de las series históricas (1950-2000) de la base de datos de WorldClim – Global Climate Data (<http://www.worldclim.org/>) en formato ráster con resolución espacial aproximada de 1km, la misma que basa su cálculo en algoritmos de interpolación que relacionan la temperatura con la altura dado que la distribución y densidad de las

estaciones meteorológicas en el área de estudio no fueron adecuadas para describir la temperatura en toda la provincia.

2) *Zonas de Vida de Holdridge y Validación*: El sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge (Fig. 3), relaciona los índices de biotemperatura y precipitación con 37 zonas de vida [36]. En este sentido, la biotemperatura anual promedio es un promedio de las temperaturas, donde ocurre el crecimiento de la vegetación y comprende el rango que va de 0°C a 30 °C, por tanto, se utiliza la siguiente formula:

$$BT = \sum T_i / 12, \quad (1)$$

Donde, T es la temperatura media mensual ($0^\circ < T < 30^\circ\text{C}$).

En este mismo orden de ideas, otro parámetro necesario para la clasificación es la precipitación que es el total anual promedio de agua en milímetros (mm).

La metodología incluye también una tercera variable que es cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP), sin embargo, ésta es en función de la biotemperatura y precipitación, por consecuencia no es necesaria en el esquema de clasificación y no fue considerada en el proceso [8].

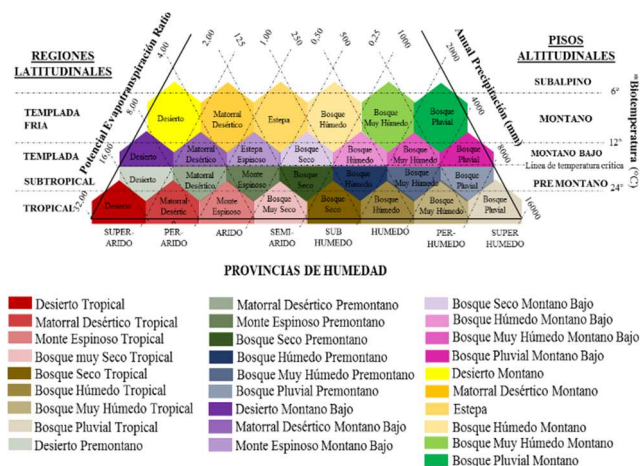


Fig. 3 Sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge [35].

La validación de la clasificación se realizó sobreponiendo la clasificación de Holdridge del año 2000 sobre el mapa nacional de cobertura y uso de la tierra del 2002 generado por el gobierno nacional [35], el cual nos permitió verificar el tipo de vegetación presente en cada zona de vida, siguiendo los lineamientos descritos por [20].

3) *Cambios en las Zonas de Vida de Holdridge (1978-2000)*: Para el análisis de los cambios de vida se utilizó el mapa de la clasificación de Holdridge realizada en el 1978 [18], mientras, que el mapa de la clasificación del 2000 fue realizado en el presente trabajo.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Índices Climáticos

El mapa de precipitación se obtuvo mediante la técnica de interpolación de cokriging, la aplicabilidad de este método geoestadístico requiere del cumplimiento de dos supuestos sobre la muestra; la normalidad de los datos y el cumplimiento de al menos la hipótesis intrínseca [33].

En este contexto, la normalidad de los datos se verificó a través de sus histogramas (Fig. 4 y Fig. 5) y mediante el test de Shapiro Wilks modificado [29], el mismo que mostró valores p de 0.22 y 0.21 para las observaciones en tierra y las series de WorldClim respectivamente, indicando que los datos siguen distribuciones normales. Mientras, el análisis de tendencia de los variogramas adireccionales mostró un comportamiento cuadrático acotado próximo al nivel de la varianzas totales, cumpliendo así al menos con la propiedad intrínseca [33]; indicando esto último, se estima esta propiedad mediante el modelo de kriging ordinario [37], [38], [39].

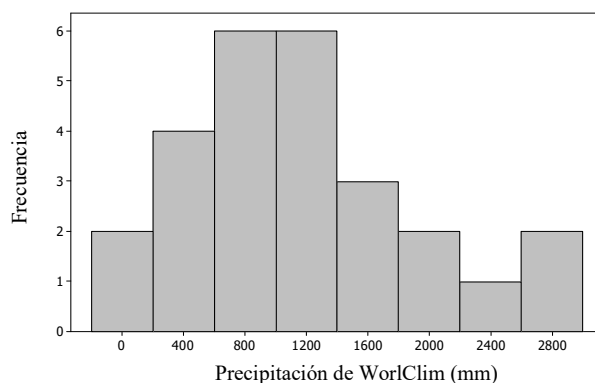


Fig. 4 Histograma de los datos de precipitación media anual de la base datos de WorldClim.

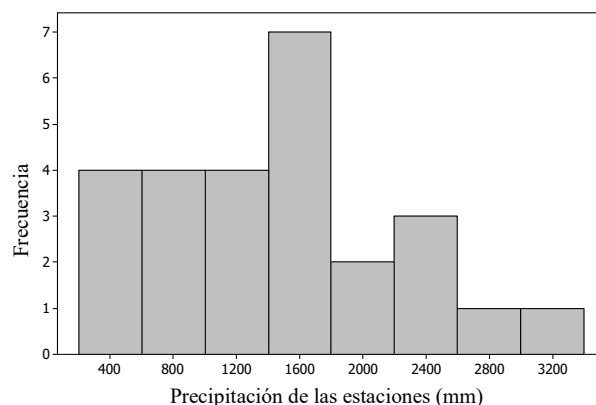


Fig. 5 Histograma de los datos de precipitación media anual de las estaciones meteorológicas.

Continuando con el análisis, en la Fig. 6 se observó que la correlación entre los valores de precipitación de las observaciones de superficie y los datos de WorldClim muestra un coeficiente de Pearson de 0.93, bastante alto, garantizando una adecuada estimación conjunta con el modelo de cokriging ordinario [31], [32], [40].

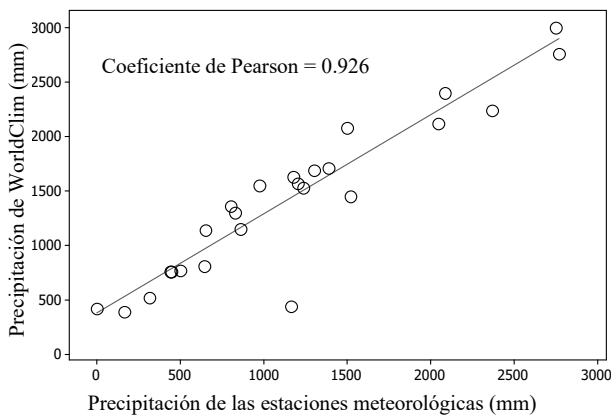


Fig. 6 Correlación lineal entre las observaciones de precipitación media anual y la precipitación media anual de la base datos de WorldClim.

La evaluación del modelo de predicción se realizó a través del método de validación cruzada [30], [32], [41], para lo cual, se correlacionó los valores de precipitación estimados por el variograma con los valores de precipitación de las observaciones. En este sentido, la Fig. 7 presentó una buena estimación de la precipitación con un coeficiente lineal de Pearson de 0.79.

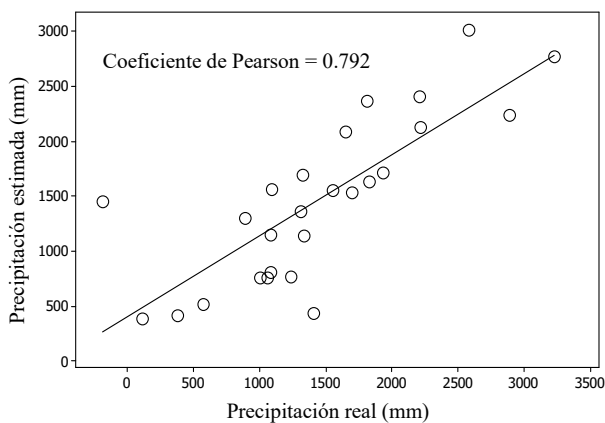


Fig. 7 Correlación lineal entre los datos de precipitación media anual de las estaciones meteorológicas y la precipitación estimada de acuerdo al modelo de cokriging ordinario.

Finalmente, el resultado de la interpolación espacial mostró que el área de estudio posee precipitaciones que van desde 607.95 mm a los 2.368,40 mm (Fig. 8), de las cuales se obtuvo tres clasificaciones según el triángulo de vida de Holdridge (Tabla II).

TABLA II
PORCENTAJE DE COBERTURA DE LOS RANGOS DE PRECIPITACIÓN
OBTENIDOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Precipitación (mm)	Porcentaje de cobertura (%)
600-1000	19.24
1000-2000	79.83
2000-2368	5.93

La primera clasificación se corresponde al intervalo de 600 - 1000mm, este nivel de precipitaciones se debe, a que esta zona forma parte del sistema fluvial del Río Guayas y sus afluentes Río Daule y Babahoyo, por lo tanto, se ve

influenciada por la corriente fría de Humboldt que porta vientos fríos cargados de poca humedad como evidencia [23]. Asimismo, esta zona posee áreas de conservación y protección como humedales, vegetación arbustiva y herbácea [35]; la segunda clasificación comprende el rango de 1000mm a 2000mm y representa gran parte del área de estudio con el 79.83%, estas condiciones de precipitación favorecen el desarrollo de la agricultura en general como descrito en [35]; y por último la tercera clasificación que va desde los 2000mm en adelante, se presenta en las áreas limítrofes de la provincia indicando la influencia de otras condiciones ambientales dadas principalmente por la hidrología y relieve de las provincias confinantes.

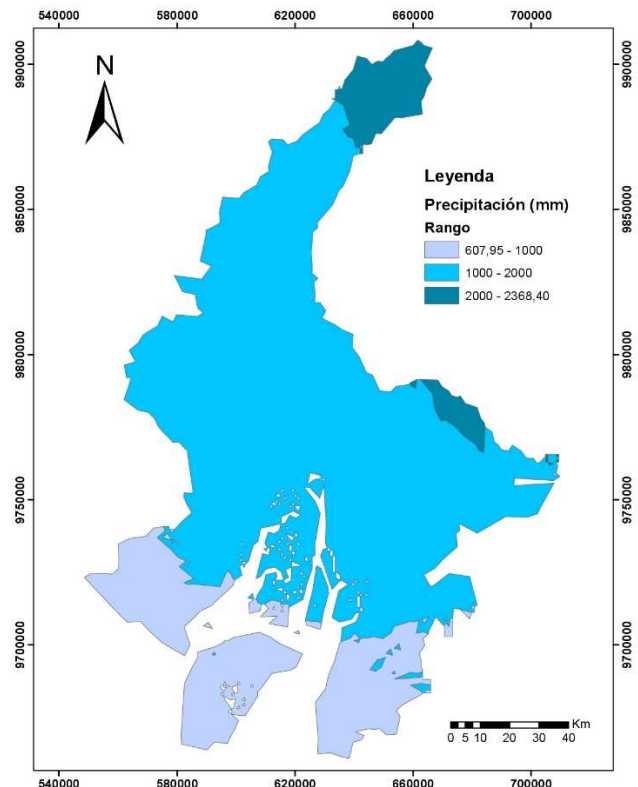


Fig. 8 Mapa de precipitación media anual de la provincia del Guayas del año 2000, obtenida a partir de los datos de precipitación de las estaciones meteorológicas y la base de datos WorldClim.

En cuanto a la biotemperatura, el mapa (Fig. 4) mostró que este índice está entre los 18° y 25.77°C. Lo que generó dos intervalos dentro de la clasificación de Holdridge: el tropical (24° - 25.77°C) que representó casi la totalidad del área de estudio con el 96% y el pre montano (18°-24°C) con un porcentaje mínimo de cobertura del 4% detectándose solo en la parte suroccidental de la provincia debido a que esta limita con el pie de la cordillera de los Andes influenciando así el comportamiento de la temperatura [23].

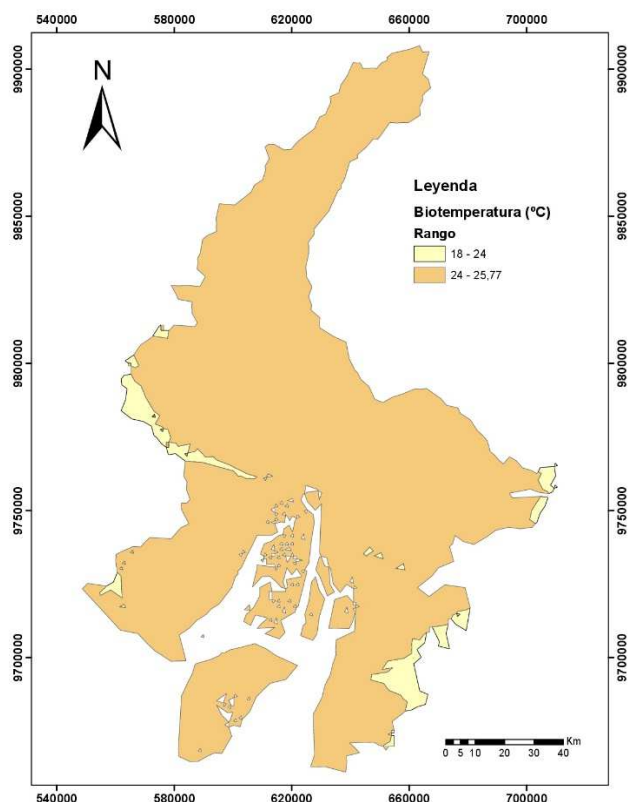


Fig. 9 Mapa de biotemperatura, creado a partir de la temperatura media mensual de la base de datos de WorldClim, de la provincia del Guayas del 2000.

B. Zonas de Vida de Holdridge y Validación

La combinación entre los índices de biotemperatura y precipitación, resultaron en seis zonas de vida de la clasificación de Holdridge para el año 2000 (Fig. 11), las cuales están distribuidas en dos pisos altitudinales tropical (96.2%) y pre montano (3.8%). Asimismo, las zonas de vida encontradas corresponden a provincias de humedad de semi árido (18.7%), sub húmedo (75.4%) y húmedo (5.9%).

En este mismo orden de ideas, se observó que la mayor parte del área de estudio está representada por el bosque seco tropical y el bosque muy seco tropical con el 73% y el 17% respectivamente, mientras, que los ecosistemas que tienen una presencia mínima son: el bosque húmedo pre montano, el bosque húmedo tropical, el bosque muy húmedo pre montano y el bosque seco pre montano que representan el 9.8% de cobertura total.

En cuanto a la validación, de acuerdo con el mapa de cobertura y uso de la tierra del 2002 se verificó que la zona de bosque muy seco tropical posee una dominancia de manglares, pasto y cultivos de ciclo corto; en la zona de bosque seco tropical se encontraron cultivos semi perennes y pastizales; en el bosque húmedo tropical fueron más representativos los cultivos perennes y áreas de pasturas; en la zona de bosque seco pre montano se observó el dominio de cultivos anuales o perennes además de vegetación arbustiva; mientras que en el bosque húmedo pre montano se verificó la presencia de cultivos perennes, pasto cultivado, arboricultura tropical, bosque natural y finalmente en el bosque muy húmedo pre montano se encontró

principalmente bosques naturales, como descrito en su apartado de uso actual y potencial por [20].

Por lo tanto, cabe decir que el modelo de clasificación de Holdridge, bajo circunstancias de poca disponibilidad de información [8], mostró una buena aproximación de la distribución de la vegetación en el área de estudio concordando con lo expresado por [39].

C. Cambios en la Clasificación de Holdridge

De acuerdo a la clasificación de Holdridge realizada año 1978 se identificaron ocho zonas de vida presentes en el área de estudio (Fig. 10), las cuales están distribuidas en los pisos altitudinales tropical (65.5%), pre montano (4.4%) y montano bajo (0.1%). Mientras, que las provincias de humedad encontradas son: árido (7.8%), semi árido (38.8%), húmedo sub (47.9%) y húmedo (5.5%).

Las zonas de vida que destacan por su extensión (Tabla III) son: el bosque seco tropical con el 46.3%, el bosque muy seco tropical con el 37.7% y el bosque espinoso tropical con el 7.8%, respecto al total de la superficie del área de estudio.

En el otro extremo, están el bosque húmedo montano bajo, el bosque húmedo pre montano, el bosque muy húmedo pre montano y el bosque seco pre montano, los cuales se caracterizan por representar una superficie inferior al 5% del área de estudio, la presencia casi imperceptible de estas zonas hace que estas sean más susceptibles a los cambios por su pequeña extensión.

TABLA III
PORCENTAJES DE COBERTURA DE LAS ZONAS DE VIDA DE HOLDRIDGE DE LA PROVINCIA DEL GUAYAS PARA LOS AÑOS 1978 Y 2000.

Zonas de Vida de Holdridge	1978 (%)	2000 (%)
Bosque húmedo montano bajo	0.1	-
Bosque húmedo pre montano	1.5	2.5
Bosque húmedo tropical	3.7	5.9
Bosque muy húmedo pre montano	1.8	0.1
Bosque muy seco tropical	37.7	17.4
Bosque seco pre montano	1.2	1.3
Bosque seco tropical	46.3	72.9
Monte espinoso tropical	7.8	-

Por otra parte, la clasificación del 2000 (Fig. 11), mostró seis zonas de vida, las cuales constan dentro de las ocho zonas descritas en el trabajo del 1978, sin embargo, las áreas de bosque húmedo montano bajo y monte espinoso tropical presentaron los cambios más drástico debido a que desaparecieron en la clasificación del año 2000. Asimismo, cabe mencionar que el bosque muy húmedo pre montano sigue la misma tendencia con una superficie casi imperceptible del 0.1% del total.

En este mismo orden de ideas, también se evidenció, que el bosque seco tropical incrementó su superficie del 46.3% al 72.9% absorbiendo una parte del bosque muy seco tropical, el mismo que se redujo del 37.7% al 17%. Al mismo tiempo, el bosque húmedo pre montano registró un aumento mínimo en su superficie de 1.5% a 2.5%, y el bosque húmedo tropical pasó de 3.7 % a 5.9%, respecto al 1978 (Tabla III). Estos cambios muestran que algunas zonas de vida se extienden y otras disminuyen o desaparecen como lo expresado por [43] y [44].

Otro particular, que es importante mencionar, es que las zonas de vida del bosque muy seco tropical y parte del bosque seco tropical poseen ecosistemas vulnerables a los efectos del calentamiento global como lo son los bosques naturales, manglares y remanentes de prados nativos como reportado por [43].

Los cambios encontrados en la clasificación del año 2000 respecto al año 1978 son una evidente respuesta frente a la alteración en el comportamiento de los índices climáticos como el aumento de la temperatura y las variaciones en el régimen de precipitaciones como se muestra en [24],[45] y [46]. Por consiguiente, la alteración en estos índices no solo afecta la diversidad de las zonas de vida sino que también afecta las reservas de agua [9]. Asimismo, es importante mencionar que aunque si los cambios observados se atribuyen al cambio climático, no se debe descartar la influencia negativa de las actividades antropogénicas sobre los ecosistemas [43], [44], [45], que en el presente estudio no fueron consideradas.

Por otro lado, a partir del presente estudio se puede determinar el nivel de vulnerabilidad de las especies que están ligadas a determinadas zonas de vida que bajo el efecto del cambio climático presentan cambios en sus áreas [44]. Para proponer estrategias con el fin de evaluar su estado de conservación, su vulnerabilidad y medidas de mitigación.

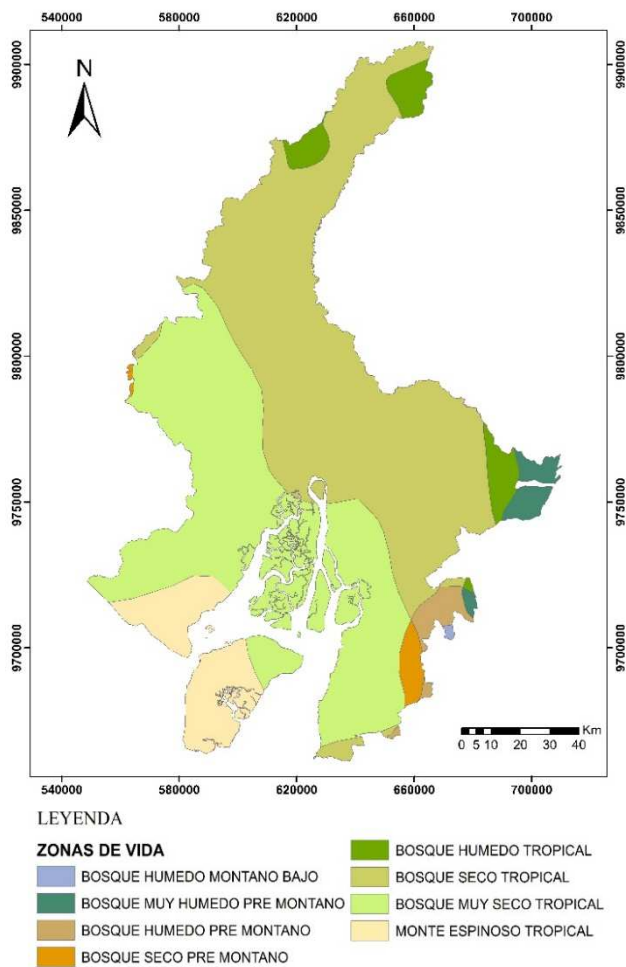


Fig. 10 Mapa de las zonas de vida Holdridge de la provincia del Guayas para el año 1978 [18].

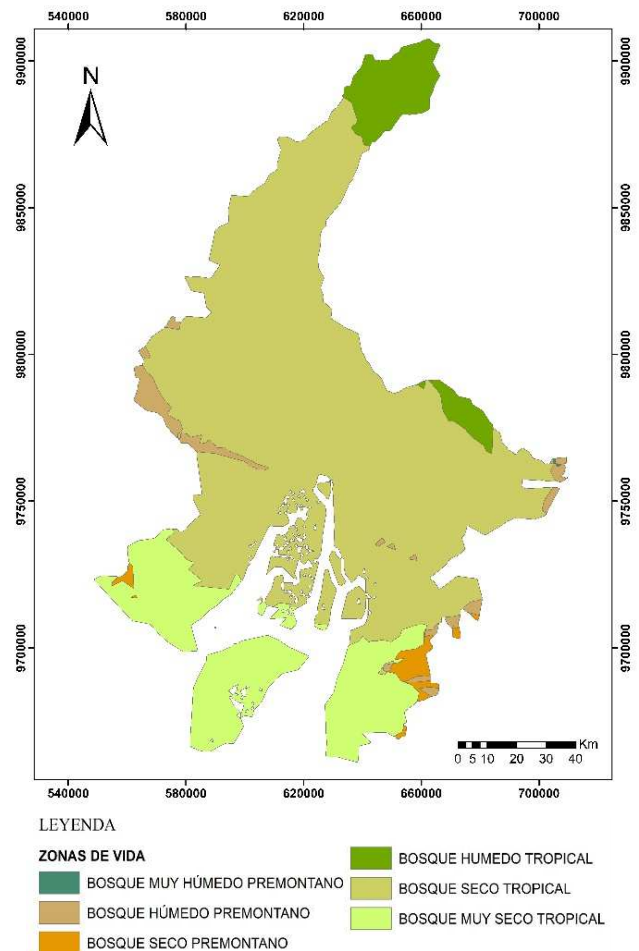


Fig. 11 Mapa de las zonas de vida de Holdridge de la provincia del Guayas para el año 2000.

IV. CONCLUSIONES

La aplicabilidad de este modelo se mostró idóneo para representar los ecosistemas presentes en el área de estudio, sea por su practicidad que por la poca accesibilidad de la información base para estudios de cambio climático.

En este sentido, los cambios presentados en las zonas de vida entre los años 1978 y 2000, se evidenció que existen zonas de vida que aumentaron su superficie, otras se redujeron, mientras que otras desaparecieron. Por otro lado, los ecosistemas que se vieron mayormente afectados se corresponden a las zonas de conservación y protección.

Estos cambios son una consecuencia tangible del efecto del cambio climático sobre las zonas de vida de Holdridge, pero cabe destacar que existen otros factores como las actividades antropogénicas que influyen también estos cambios.

Por consiguiente, el presente estudio representa un insumo para futuras investigaciones direccionadas a determinar los efectos del cambio climático, así como, para la toma de decisiones de los gobiernos locales, en temas de gestión y planificación del territorio, conservación de áreas protegidas, planificación de estrategias ante el cambio climático, entre otras.

REFERENCIAS

- [1] H. Reid, B. Pisupati, and H. Baulch, "How biodiversity and climate change interact" (on line). Science and Development Net. Biodiversity Dossier Policy Brief. 2004. Consultado 20 nov. 2007, Available in <http://www.scidev.net/>
- [2] IPCC, *Informe Especial del Grupo de Trabajo II del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Impactos Regionales del Cambio Climático: Evaluación de la Vulnerabilidad. Resumen para responsables de políticas*. 1997. ISBN: 92-9169-310-3.
- [3] L.-R. Holdridge, "Determination of World Plant Formations from Simple Climatic Data," *Science* 105, 367–368, 1947.
- [4] L.-R. Holdridge, W.-C. Grenke, Hatheway, T. Liang, and J.-A Tosi, *Forest Environments in Tropical Life Zones: A Pilot Study*, Oxford Pergamon Press. 1971.
- [5] W.-R. Emanuel, H.-H. Shugart, and M.-P. Stevenson, "Climatic Change and the Broad-Scale Distribution of Terrestrial Ecosystem Complexes", *Clim. Change*, 7, 29–43. 1985a.
- [6] W.-R. Emanuel, H.-H. Shugart, and M.-P. Stevenson, "Comment on "Climatic Change and the Broad-Scale Distribution of Terrestrial Ecosystem Complexes," *Clim. Change*, 7, 455–456. 1985b.
- [7] M. Maroschek, *et al.*, "Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems", *For. Ecol. and Manag.*, 259, 698–709, 2010.
- [8] D.-N. Yates, T.-G. Kittel, and R.-F. Cannon, "Comparing the correlative Holdridge model to mechanistic biogeographical models for assessing vegetation distribution response to climatic change". *Clim. Change* 44, 59–87, 2000.
- [9] Y. Zheng, Z. Xie, L. Jiang, H. Shimizu, and S. Drake, "Changes in Holdridge Life Zone diversity in the Xinjiang Uygur Autonomous Region (XUAR) of China over the past 40 years," *J. of Arid Envir.* 66, 113–126, 2006.
- [10] A.-P. Kirilenko, N.-V. Belotelov, and B.-G. Bogatyrev, "Global model of vegetation migration: incorporation of climatic variability." *Ecol. Modelling* 132: 125–133, 2000.
- [11] X. Chen, X.-S. Zhang, and B.-L. Li, "The possible response of life zones in China under global climate change." *Global and Planetary Change*, 38, 327–337. 2003.
- [12] F. Mendoza, M. Chévez y B. González, "Sensibilidad de las zonas de vida de Holdridge en Nicaragua en función del cambio climático". *Rev. For. Centroamericana*, 33, 17-22, 2001.
- [13] E. Alpizar, *Vulnerabilidad de bosques ante cambio climático puede simularse con sistema de zonas de vida*. Ambientico, 165, 28-30, 2007.
- [14] M. Jiménez Méndez, *Resiliencia de los ecosistemas naturales terrestres de Costa Rica al cambio climático*. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 2009, 140 p.
- [15] S. Saputri, S. Bambang, S. Indung and F. Akhmad, "Geospatial approach for ecosystem change study of Lombok Island under the influence of climate change". *Procedia Environmental Sciences*. 165 – 173, 2015
- [16] M. Acosta Solís, Las divisiones fitogeográficas y las formaciones geobotánicas del Ecuador. *Rev. Acad. Colombiana*, 12, 401-447. 1966.
- [17] M. Acosta Solís, *Ecología y fitoecología*. Casa de la Cultura Ecuatoriana. Quito, 1977.
- [18] L. Cañadas, *Ecuador: Mapa Ecológico del Ecuador*. MAG, PRONAGREG-ORSTOM, 1978.
- [19] G. Harling, *The vegetation types of Ecuador-A brief survey*. En K. Larsen y B. HolmNielsen (Eds.). Tropical botany. Academic Press. Nueva York, 1979.
- [20] L. Cañadas, *El mapa bioclimático y ecológico del Ecuador*, Banco Central del Ecuador, 1983.
- [21] R. Sierra, *Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador continental*. Proyecto INEFAN/GEF-BIRF y EcoCiencia. Quito, Ecuador. 1999.
- [22] MAE, Metodología para la Representación Cartográfica de los Ecosistemas del Ecuador Continental, 2012.
- [23] R. Urquiza, L. Viejo, R. Carvajal, J. Salas y M. Bustamante, Biodiversidad del Guayas: conociendo nuestra verdadera riqueza. Gobierno Provincial del Guayas Dirección de Medio Ambiente. Poligráfica y Finding Species, Guayaquil, 2012, pp 224.
- [24] CIIFEN, *Fase I: Diagnóstico. Vulnerabilidad social, económica y ambiental de la provincia del Guayas. Informe Técnico*. Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial del Guayas. Dirección de Medio Ambiente. Guayaquil, Ecuador. 2012.
- [25] S. K. Herzog, et al., Efectos del cambio climático en la biodiversidad de los Andes tropicales: el estado del conocimiento científico. Resumen para tomadores de decisiones y responsables de la formulación de políticas públicas. Instituto Interamericano para la investigación del cambio climático global. San José dos Campos. Brasil, 2010.
- [26] Gobierno provincial del Guayas, Plan de ordenamiento territorial de la provincia del Guayas 2012-2021, 2013.
- [27] INEC, Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC, 2014.
- [28] ESRI (Environmental Scientific Research Institute), ArcGIS 10.1, Redlands, California. 2012.
- [29] J.-A. Di Rienzo, F. Casanoves, M.-G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada y C.-W. Robledo. InfoStat, version 2008. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. 2008.
- [30] M.-A. Zare Chahouki, A. Zare Chahouki, A. Malekian, R. Bagheri, and S. A. Vesali, "Evaluation of Different Cokriging Methods for Rainfall Estimation in Arid Regins (Central Kavir Basin in Iran). Desert 19-1 1-9. 2014.
- [31] P. Goovaerts, *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford University Press: New York. 1997.
- [32] A. Azareh, A. Nazari, M. Sianaki, and S. Salajegheh. "Estimation of Seasonal and Annual Precipitation using Multivariate Methods to identify areas prone to wind erosion (case study: Khorasan Razavi province)". *Elixir Pollution*, 54: 2280-12284. 2013.
- [33] M. Díaz-Viera, G. Herrera-Zamarrón y A. Valdés-Manzanilla, "Un modelo de correogionalización lineal para la estimación espacial de la precipitación en el valle de la ciudad de México, combinando datos de pluviógrafos con imágenes de radar meteorológico," *Ing. Hidraul. en Méx.*, vol. xxiv, no. 3, pp. 63-90, Julio-Septiembre 2009.
- [34] F. Meer, *Introduction to geostatistics*, ITC Lecture Notes, 1993.
- [35] MAGAP, Cobertura y uso de la tierra, escala 1:250.000. 2002.
- [36] L. Holdridge, *Life Zone Ecology*, San José, Costa Rica: Tropical Science Center, 1967.
- [37] M. David, "The practice of kriging. Advanced geostatistics in the mining industry". Guarascio et al., Reidel: Dordrecht, Holland, pp. 31-48, 1976.
- [38] A. Journel, Ch. Huijbregts, "Mining Geostatistics," New York: Academic Press, pp. 590, 1978.
- [39] F. Samper y J. Carrera, *Geoestadística, aplicaciones a la hidrogeología subterránea Barcelona: Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería*, 1990, pp 484.
- [40] G. Song, J. Zhang, and K. Wang, "Selection of Optimal Auxiliary Soil Nutrient Variables for Cokriging Interpolation". *Plos One* 9(6): e99695, 2014. doi:10.1371/journal.pone.0099695.
- [41] J.C. Brimelow, J.M. Hanesiak, R. Raddatz, "Validation of soil moisture simulations from the PAMII model, and an assessment of their sensitivity to uncertainties in soil hydraulic parameters," *Agric For. Meteorol.*, 150, 100–114, 2010.
- [42] J. Alarcón y J. Pabón, "El cambio climático y la distribución espacial de las formaciones vegetales en Colombia," *Colombia Forestal* vol. 16, no. 2. pp. 171-185, 2013.
- [43] J. Biringer, M.-R., et al, *Biodiversity in a changing climate: A framework for assessing vulnerability and evaluating practical responses, Tropical forests and adaptation to climate change in search of synergies*, Center for International Forestry Research (CIFOR), 2005.
- [44] M. Jiménez, A. Chain, y B. Locatelli, "Efectos del cambio climático en la distribución de zonas de vida en Centroamérica," *Recursos Naturales y Ambiente*, vol. 59-60, pp. 32-40.
- [45] IPPC, *Cambio climático y biodiversidad, Documento técnico V del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*, 2002.
- [46] CIIFEN, INAMHI e INOCAR, *Información climática de amenazas hidrometeorológicas en las provincias costeras del Ecuador*. 2007.