



## **Informe técnico: Evaluaciones de riesgo de inundaciones y deslizamiento en República Dominicana informadas por las proyecciones de precipitaciones**

**Apoyo a la segunda ronda de contribuciones determinadas a nivel nacional**

**Octubre 2020**



## **AGRADECIMIENTOS**

El equipo consultor desea agradecer a la Sra. Sara Oppenheimer, a la Sra. Simone Lewis y a la Sra. Persis Ramírez, de la organización Global Water Partnership, a Jennifer Hanna Collado, Coordinadora de la NDC de la República Dominicana y a todos los socios y partes interesadas locales por sus respectivas contribuciones a este proyecto. Se extiende un reconocimiento especial al Instituto Nacional de Recursos Hídricos (INDRHI), Oficina Nacional de Meteorología (ONAMET), Oficina Nacional de Estadística (ONE), Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Centro de Operaciones de Emergencias (COE), Defensa Civil: Sistema Integrado Nacional de Información (SINI), Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra (PUCMM), Instituto Tecnológico de Santo Domingo (INTEC), The Nature Conservancy (TNC), Consejo Nacional del Cambio Climático y Mecanismo de Desarrollo Limpio (CNCCMDL), y la Unidad de Apoyo a la Asociación NDC en el República Dominicana

**Autores:** Dr. Ronald Roopnarine, Sra. Amrika Maharaj y Sra. Shivani Deonarine

Equipo consultor:

Dr. Ronald Roopnarine

Dr. Gaius Eudoxie

Dr. Kerian Ferreira

Lista de cuadros.....	v
Lista de figuras.....	v
Introducción.....	1
Evaluación de riesgo de peligros.....	1
Factores de inundación/inestabilidad.....	2
Precipitación.....	3
Pendiente.....	4
Elevación.....	4
Uso del suelo.....	4
Contenido de arcilla.....	5
Densidad aparente.....	5
Drenaje del suelo.....	5
Proximidad a los ríos.....	6
Proximidad a fallas.....	6
Proximidad a las carreteras.....	6
Preparación de capas de datos de factores causales.....	6
Clasificación de factores causales.....	7
Ponderación de factores causales.....	9
Proceso de jerarquía analítica (AHP).....	9
Verificación de consistencia.....	12
Modelado cartográfico.....	13
Análisis de susceptibilidad.....	14
Susceptibilidad a inundación de la línea de referencia húmeda y seca.....	14
Susceptibilidad a deslizamientos de tierra en la línea de referencia húmeda y seca.....	15
Validación del modelo.....	18
Evaluación de vulnerabilidades.....	19
Preparación de los factores de vulnerabilidad.....	19
Análisis del riesgo de inundación.....	22
Resumen.....	22
Línea de referencia húmeda y seca.....	22
Análisis del riesgo de inundación entre épocas.....	24
Análisis del riesgo de inundación de índices extremos.....	26
Resumen de resultados.....	27
Mapeo del riesgo de deslizamientos de tierra.....	28
Resumen.....	28

Informe técnico: Evaluaciones de riesgo de inundaciones y deslizamiento en República Dominicana informadas por las proyecciones de precipitaciones

Línea de referencia húmeda y seca .....	28
Análisis del riesgo de tierras entre épocas .....	30
Análisis del riesgo de deslizamientos de tierra de índices extremos .....	32
Resumen de resultados .....	33
Referencias.....	34
APÉNDICE.....	36

## Lista de cuadros

<i>Cuadro 1: Conjuntos de datos para factores causales contribuyentes.....</i>	<i>3</i>
<i>Cuadro 2: Esquema y rangos de clasificación de inundación.....</i>	<i>7</i>
<i>Cuadro 3: Esquema de clasificación y rangos de inestabilidad.....</i>	<i>8</i>
<i>Cuadro 4: La escala fundamental del 1 al 9 (Saaty, 2008) .....</i>	<i>11</i>
<i>Cuadro 5: Ponderaciones obtenidas por AHP para factores de inestabilidad.....</i>	<i>11</i>
<i>Cuadro 6: Ponderaciones derivadas por AHP para factores de inundación.....</i>	<i>12</i>
<i>Cuadro 7: Índice aleatorio (RI) utilizado para las relaciones de consistencia (CR) por computadora .....</i>	<i>13</i>
<i>Cuadro 8: Validación del modelo de susceptibilidad a las inundaciones del período de referencia.....</i>	<i>18</i>
<i>Cuadro 9: Validación del modelo de susceptibilidad a deslizamientos de tierra en el período de referencia.....</i>	<i>18</i>
<i>Cuadro 10: Lista de factores de inundación y fuentes de datos correspondientes.....</i>	<i>19</i>
<i>Cuadro 11: Esquema y rangos de clasificación de vulnerabilidad.....</i>	<i>20</i>
<i>Cuadro 12: Ponderaciones derivadas de AHP.....</i>	<i>20</i>
<i>Cuadro 13: Distribución porcentual de las clases de riesgo de inundación de la masa terrestre para el período de referencia .....</i>	<i>23</i>
<i>Cuadro 14: Porcentaje de riesgo de inundación Asignaciones de masa terrestre para los productos del modelo de riesgo (RCP 4.5 y RCP 8.5).....</i>	<i>25</i>
<i>Cuadro 15: Porcentaje de riesgo de inundaciones Asignación de tierras para los índices de precipitaciones extremas .....</i>	<i>26</i>
<i>Cuadro 16 : Porcentaje de riesgo de deslizamiento de tierra Distribución de la clase de riesgo de deslizamiento de tierra para el período de referencia .....</i>	<i>28</i>
<i>Cuadro 17: Deslizamiento de tierras Porcentaje de asignaciones de masa terrestre para todas las salidas del modelo de riesgo de inundación (RCP 4.5 y RCP 8.5).....</i>	<i>31</i>
<i>Cuadro 18: Riesgo de deslizamiento de tierras Porcentaje de asignación de masa terrestre para todos los índices de precipitación extrema.....</i>	<i>32</i>

## Lista de figuras

<i>Figura 1: Marco de evaluación de riesgos .....</i>	<i>2</i>
<i>Figura 2: Algoritmo AHP.....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 3: Factores de inundación Modelo Cartográfico .....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 4: Mapa que ilustra la variabilidad espacial de la Susceptibilidad a las inundaciones durante el período de referencia para la República Dominicana — a) Susceptibilidad a las inundaciones durante la temporada seca, panel izquierdo. b) Susceptibilidad a las inundaciones durante la temporada húmeda, panel derecho.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 5- Mapa que ilustra la variabilidad espacial de la susceptibilidad a los deslizamientos de tierra durante el período de referencia para la República Dominicana- a) Susceptibilidad a los deslizamientos de tierra durante la temporada seca (panel izquierdo), b) Susceptibilidad a los deslizamientos sobre la línea de referencia húmeda (panel derecho).....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 6: Mapas que ilustran los factores de vulnerabilidad en la República Dominicana- (a) Vulnerabilidad de la densidad de población (panel superior izquierdo) (b) Vulnerabilidad de la densidad de construcción (panel superior derecho) (c) Vulnerabilidad de la densidad de población (panel inferior).....</i>	<i>21</i>
<i>Figura7: Mapa que ilustra el riesgo de inundación durante el período de referencia para la República Dominicana — a) Riesgo de inundación durante la temporada seca, panel izquierdo. b) Riesgo de inundación durante la temporada húmeda, panel derecho.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 8: Mapa de ilustración del riesgo de deslizamiento de tierra durante la línea de referencia húmeda y seca en la República Dominicana- a) Mapa de riesgos de la línea de referencia seca (izquierda) b) Mapa de riesgos de la línea de referencia húmeda (derecha).....</i>	<i>29</i>

## **Introducción**

Debido a su ubicación geográfica, características geotécnicas y geomorfológicas, la República Dominicana es altamente susceptible a los peligros naturales, particularmente hidrometeorológicos y geofísicos (Banco Mundial, 2010). Las inundaciones y los deslizamientos de tierra son dos de los peligros más destacados que afectan a la República Dominicana (Dunn 2009). Estos son particularmente frecuentes durante la temporada de precipitaciones (junio a noviembre). Aparte de las características geofísicas, la situación de vulnerabilidad se ve aún más comprometida por el aumento de las pautas de exposición asociadas al cambio climático, la debilidad de los códigos de construcción, el estado de salud y otros factores socioeconómicos. Teniendo en cuenta los cambios proyectados en la frecuencia, la intensidad, la extensión espacial, la duración y el momento de los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos, como se esboza en Seneviratne et al. (2012), es fundamental comprender el riesgo actual y potencial en relación con estos dos peligros.

Este informe es el último entregable de un proyecto de colaboración entre The Global Water Partnership Caribbean (GWP-C) y la Alianza de Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC) en la República Dominicana para informar sobre la segunda ronda de NDC para la República Dominicana. Las estimaciones de precipitaciones proporcionadas en el informe anterior de Ferreira (2020) para el período de referencia: 1971-2000 y períodos futuros: décadas de 2030, 2050 y 2070 se utilizaron para informar modelos de susceptibilidad y riesgo heurístico tanto para deslizamientos de tierra como para inundaciones en la República Dominicana.

## **Evaluación de riesgo de peligros**

La República Dominicana tiene sucesos anuales de inundaciones, que varían en términos de intensidad y extensión espacial. Las inundaciones son comunes en muchas de las cuencas primarias a nivel nacional incluyendo Haina, Nizao, Ocoa, San Juan, Yaque del Sur, Yaque del Norte, Yuna, Soco, y las orillas de los ríos de las ciudades de Santo Domingo y Santiago (Dunn, 2009). Los deslizamientos de tierra también son comunes, particularmente con precipitaciones intensas y/o prolongadas en regiones montañosas como las cordilleras Septentrional, Central y Oriental y las sierras de Neiba y Bahoruco (Banco Mundial, 2012). Históricamente ambos peligros han tenido graves impactos socioeconómicos, lo que ha dado lugar a la pérdida de vidas y medios de subsistencia (Dunn, 2009). Por lo tanto, es fundamental comprender la susceptibilidad, la vulnerabilidad y el riesgo del país para una planificación y ordenación adecuadas de la tierra.

Un peligro puede considerarse como una situación previa al desastre en la que existe cierto riesgo de desastre, principalmente porque la población humana se ha colocado en una situación de vulnerabilidad (Alexander, 2001). La evaluación del riesgo asociado a los peligros es fundamental para lograr una reducción y una gestión de los riesgos eficaz. Para evaluar la

vulnerabilidad y el consiguiente riesgo asociado a un peligro, es necesario determinar la probabilidad de que ocurra. El análisis de susceptibilidad es uno de esos enfoques que puede emplearse, en el que la probabilidad de que se produzca un peligro definido se estima sobre la base de factores causales contribuyentes. El concepto se basa en la identificación de zonas susceptibles sobre la base de características geofísicas. Los mapas de susceptibilidad resultantes se pueden combinar con mapas de vulnerabilidad para producir mapas acumulativos de riesgos (por ejemplo, Roopnarine et al., 2018). Este enfoque se aplicó tanto a los deslizamientos de tierras como a las inundaciones. La Figura 1 ofrece una sinopsis del marco metodológico empleado.

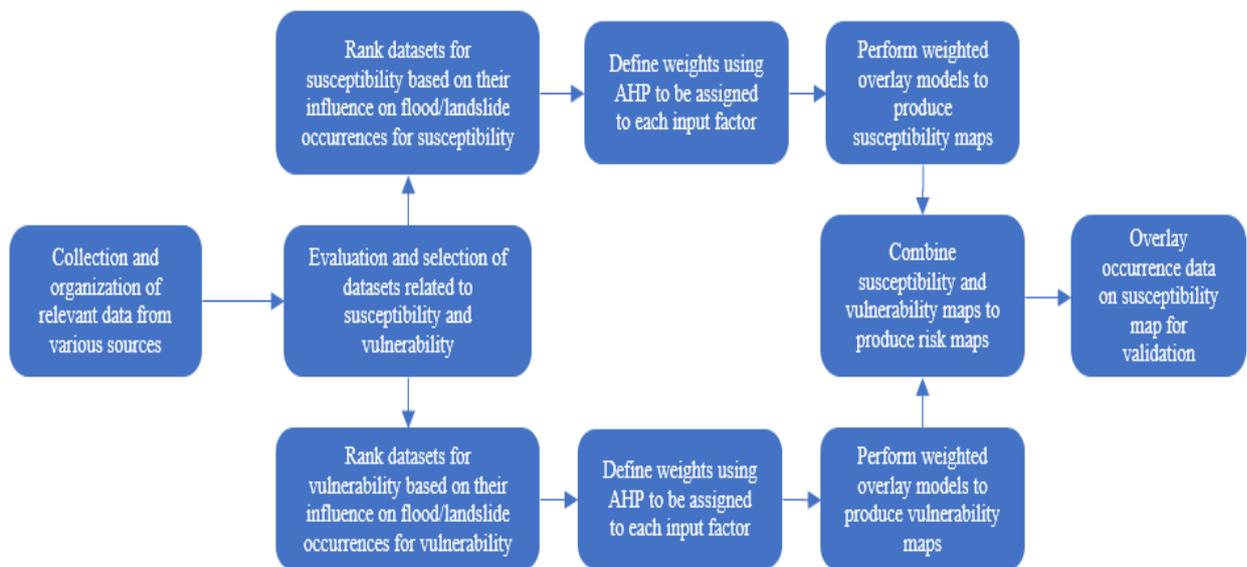


Figura 1: Marco de evaluación de riesgos

## Factores de inundación/inestabilidad

Se aplicó el análisis espacial en un entorno del Sistema de Información Geográfica (SIG) para la estimación de zonas de susceptibilidad. Los factores causales de riesgo se separaron en factores de inundación (utilizados para la susceptibilidad a inundaciones) y factores de inestabilidad (utilizados para la susceptibilidad a deslizamientos de tierra). Los factores causales incluidos en el análisis de susceptibilidad se muestran en el Cuadro 1. De los diez (10) factores causales contribuyentes, 5 (cinco) fueron comunes para ambos peligros actuando como factores de inundación e inestabilidad (ángulo de pendiente, densidad aparente, porcentaje de contenido de arcilla, drenaje del suelo y precipitaciones). Para la susceptibilidad a las inundaciones se incluyeron tres factores adicionales: uso del suelo, proximidad a los ríos y elevación, mientras que para la susceptibilidad a deslizamientos, proximidad a carreteras y proximidad a fallas. En cada caso se eligieron los factores causales (inundación e inestabilidad) sobre la base de las recomendaciones de la literatura, así como de la disponibilidad de datos. A

continuación, se proporcionan breves descripciones de cada uno de estos factores, incluida su influencia respectiva en los eventos de inundaciones y/o deslizamientos de tierra.

*Cuadro 1: Conjuntos de datos para factores causales contribuyentes*

<b>Factores de inundación/inestabilidad</b>	<b>Resolución/Extensión espacial/Formato</b>	<b>Fuente</b>
<i>Precipitación</i>	Ráster (.rst)	Proyecto actual
<i>Pendiente</i>	Vector (.shp)	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales
<i>Modelo digital de elevación (DEM)</i>	Ráster (.rst) 30 m	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales
<i>Ríos</i>	Vector (.shp)	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales
<i>Uso del suelo</i>	Ráster (img)	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales
<i>Contenido de arcilla</i>	Vector (.shp)	SOTER
<i>Densidad aparente</i>	Ráster (rst)	SOTER
<i>Drenaje del suelo</i>	Ráster (.rst)	SOTER
Fallas	Vector (.shp)	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Carreteras	Vector (.shp)	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

### ***Precipitación***

Las precipitaciones son un factor clave de inundación. Un evento de inundación está influenciado por las características inherentes de los episodios de precipitación, de tal manera que pueden ser producidos por precipitaciones convectivas de alta intensidad y corta duración o precipitaciones no convectivas prolongadas de baja intensidad, siendo las primeras más inclinadas a provocar inundaciones repentinas (pluviales) y las segundas inundaciones fluviales (fluviales). Básicamente, una vez que las tasas de precipitación superen las tasas de infiltración, habrá un aumento en la escorrentía superficial que en última instancia puede conducir a eventos de inundación (Seejata et al. 2018). En términos de deslizamientos de tierra, las precipitaciones se consideran uno de los principales factores desencadenantes, ya que los insumos de humedad disminuyen la cohesión interna del suelo, lo que lleva a una disminución de la resistencia al esfuerzo cortante, mientras que al mismo tiempo agrega peso adicional que conduce a aumentar el esfuerzo cortante. Las precipitaciones intensas y excesivas pueden desencadenar deslizamientos de tierra alterando las fuerzas mecánicas dentro de la pendiente (Ali et al.,

2018). Este proceso puede debilitar la masa de tierra y provocar un fallo de pendiente. Para los fines de este estudio, se analizaron las estimaciones de precipitaciones en cuatro (4) periodos de tiempo: referencia, las décadas de 2030, 2050 y 2070. Estas estimaciones incluían las cantidades totales de precipitaciones para cada período, así como las cantidades totales de precipitaciones procedentes de eventos intensos basados en dos índices de precipitación extrema: R95 y R99. Las estimaciones de precipitaciones para los tres (3) escenarios futuros utilizados en esta evaluación se desarrollaron utilizando productos modelo basados en dos (2) trayectorias de concentración representativas (RCP): RCP4.5 y RCP8.5 de la configuración del sistema terrestre del modelo ambiental global del Centro Hadley, versión 2 (HadGEM2-ES) y el modelo canadiense de sistemas terrestres (CanESM2) de segunda generación, promediados durante las temporadas húmedas y secas.

### ***Pendiente***

La pendiente influye en la tasa de flujo terrestre e impacta fuertemente el tiempo de desfase. Las pendientes más pronunciadas prohíben la infiltración, aumentan el flujo terrestre y el caudal a los arroyos, disminuyendo así el tiempo de desfase. Por el contrario, las pendientes más suaves, facilitan la infiltración y la percolación, aumentando así el tiempo de desfase. Una vez que los suelos se saturan, el agua se convierte en escorrentía superficial y corre hacia los canales fluviales más rápidamente, aumentando así la probabilidad de inundaciones (Seejata et al. 2018). En lo que respecta a los deslizamientos de tierra, la relación se invierte a medida que los ángulos de pendiente más altos dan lugar a un mayor potencial de deslizamiento y reducción del factor de seguridad. El ángulo de pendiente utilizado se derivó de los modelos digitales de elevación (DEM) y se clasificó en consecuencia para ambos peligros.

### ***Elevación***

La elevación y las inundaciones tienen una relación inversamente proporcional, de modo que cuanto menor sea la elevación, mayor será la susceptibilidad a un evento de inundación. La elevación es un indicador de la rapidez con que el agua llegará a los arroyos desde elevaciones más altas y también da una indicación de las áreas que son más propensas a inundarse (Chang, Lin, and Su 2008). En lo que respecta a deslizamientos de tierra, se prefiere el ángulo de pendiente a la elevación, ya que la elevación absoluta tiene una influencia limitada como factor de inestabilidad.

### ***Uso del suelo***

Dependiendo del tipo de vegetación que existe en una región, las precipitaciones se absorben, lo que da como resultado un aumento de las descargas fluviales o son interceptadas por la vegetación, lo que resulta en una descarga fluvial más baja (Elkhrachy 2015). En los sistemas agrícolas, el arado o el pastoreo excesivo pueden dejar el suelo desnudo y suelto. No sólo hay falta de interceptación, sino también erosión del suelo por el agua de lluvia. El suelo erosionado se deposita en el lecho del río, disminuyendo la capacidad de retención, aumentando el drenaje del río y la probabilidad de que se produzca una inundación (Lu et al. 2014). Los factores antropogénicos también pueden influir en la velocidad de descarga de los ríos. Las superficies impermeables en zonas urbanas como edificios, calzadas, carreteras, aceras e incluso sistemas

de drenaje dificultan la infiltración del agua en el suelo. Aumenta el flujo terrestre, lo que provoca inundaciones después de fuertes precipitaciones o donde se producen cuencas más pequeñas. Los fenómenos de deslizamiento de tierra también están influidos por el uso del suelo, donde la forma en que se utiliza el terreno puede aumentar o disminuir la estabilidad de la pendiente. Sin embargo, esta relación es compleja en todos los usos de la tierra y difícil de evaluar a menos que se disponga de conjuntos completos de datos. Por esta razón, el uso del suelo no se incluyó en la evaluación del riesgo de deslizamiento de tierras.

### ***Contenido de arcilla***

Al igual que el uso del suelo, el porcentaje de arcilla contenida en los suelos influye en la permeabilidad. Las rocas y suelos permeables y porosos permiten que el agua se infiltre, aumentando el tiempo de desfase de los eventos de inundación (Elkhrachy 2015). Sin embargo, los suelos con mayor contenido de arcilla son generalmente menos permeables y tienen un drenaje interno restringido. Esto da como resultado un aumento de la escorrentía superficial, disminución del tiempo de desfase y aumento de la descarga de la corriente. En términos de deslizamientos, la naturaleza de la relación es similar, ya que el aumento del contenido de arcilla conduce a una disminución del ángulo de fricción interna del suelo y a un aumento de la capacidad de retención de agua. Los ángulos de fricción más bajos del suelo hacen que los suelos sean menos resistentes al cizallamiento, mientras que el aumento de la capacidad de retención de agua da como resultado lubricación, reducción de la cohesión y aumento del peso (estrés normal).

### ***Densidad aparente***

La densidad aparente del suelo y la compactación son directamente proporcionales. Una mayor compactación se traduce en una disminución de la infiltración y un consiguiente aumento de la escorrentía superficial (Ali et al. 2018). La compactación del suelo en conjunto con los suelos que generalmente tienen una infiltración deficiente aumenta el potencial de eventos de inundación (Chang, Lin, and Su 2008). En el caso de deslizamientos, una menor densidad aparente del suelo aumenta el potencial de inestabilidad ya que los suelos son menos compactos. Además, los suelos en pendientes empinadas con alta capacidad de retención de agua y baja densidad aparente pueden provocar deslizamientos de tierra debido al peso combinado del agua y los materiales del suelo (Cabelin y Jadina 2019).

### ***Drenaje del suelo***

El movimiento del agua por, a través y fuera del suelo se denomina drenaje del suelo. Es característico de la frecuencia y la duración de los períodos húmedos que tienen condiciones similares a las que se formó el suelo. La humedad del suelo, el nivel freático y la morfología del suelo influyen en las clases de drenaje y también determinan la probabilidad de un evento de inundación (Wright 1994). En lo que respecta a los deslizamientos de tierra, el drenaje del suelo influye indirectamente en la capacidad de retención de agua, el flujo terrestre y la escorrentía. Los suelos excesivamente drenados son menos propensos a experimentar inundaciones e inestabilidad.

### ***Proximidad a los ríos***

Las áreas cercanas a los canales fluviales son más propensas a experimentar inundaciones fluviales después de precipitaciones prolongadas. Esto es particularmente cierto en los casos en que el desarrollo ha reducido la tasa de infiltración en la parte superior de la cuenca hidrográfica disminuyendo el tiempo de desfase, lo que resulta en una mayor descarga en períodos más cortos. La proximidad a los ríos sólo se consideró aplicable para la evaluación de la susceptibilidad a las inundaciones.

### ***Proximidad a fallas***

La presencia de estructuras tectónicas aumenta la probabilidad de inestabilidad ya que representan líneas de debilidad establecidas en los estratos rocosos, lo que favorece el proceso de erosión y el flujo de agua. Los deslizamientos de tierra también pueden ser provocados por terremotos, particularmente en las proximidades de fallas y a lo largo de pendientes empinadas. Por lo tanto, las zonas geográficas cercanas a las fallas se consideran más susceptibles a la aparición de deslizamientos de tierra. La proximidad a las fallas sólo se consideró aplicable a los deslizamientos de tierra.

### ***Proximidad a las carreteras***

Las construcciones de carreteras están relacionadas con extensas excavaciones, eliminación de vegetación y, a veces, la formación de pendientes empinadas (Kouli et al., 2014). El tráfico constante de vehículos produce vibraciones que también pueden actuar como factor desencadenante de deslizamientos de tierra. Por lo tanto, las zonas geográficas cercanas a las carreteras son más susceptibles a que se produzcan deslizamientos de tierra. La proximidad a las fallas sólo se consideró aplicable a los deslizamientos de tierra.

## **Preparación de capas de datos de factores causales**

Las capas de factores causales se examinaron para determinar la consistencia utilizando ArcGIS 10.6.1. La extensión espacial de cada factor se re proyectó cuando era necesario en un formato homogéneo para el procesamiento (WGS 84 UTM Zone 19N). Las capas de datos que consistían en cuadrículas que se extendían más allá de los límites de la República Dominicana se recortaron mediante la herramienta Administración de datos de ArcGIS 10.6.1. Los factores causales que compartían una relación de proximidad con los peligros respectivos fueron sometidos a un búfer de «*anillos múltiples*» para crear varios búferes a distancias especificadas para las clases de entidad pertinentes (ríos, carreteras y fallas). Las distancias almacenadas en búfer especificadas se enumeran en el Cuadro 2. Las capas resultantes para cada factor se convirtieron entonces de una entidad a una capa ráster y se clasificaron en cuatro (4) clases usando Jenks Natural Breaks en preparación para la «*herramienta de suma ponderada*». La clasificación Jenks Natural Breaks optimiza la disposición de los valores establecidos en clases naturales, minimizando así la varianza dentro de las clases y maximizando la varianza entre las

clases. Los valores numéricos de 1-4 se asignaron a cada una de las cuatro clases de susceptibilidad de la siguiente manera: Baja (1), Moderada (2), Alta (3) y Muy Alta (4).

## Clasificación de factores causales.

Los factores de inundación se clasificaron en función del potencial de provocar inundaciones. Las capas de precipitación se clasificaron en función de la distribución (totales mensuales), asignándose a las cantidades más altas una mayor susceptibilidad. La pendiente se clasificó en función del grado, asignando a los grados bajos una menor susceptibilidad. La elevación se clasificó según la distancia sobre el nivel del mar con una mayor susceptibilidad asignada a las elevaciones más altas. La proximidad a los ríos se clasificó en función de las distancias, a las mayores distancias fueron asignadas menor susceptibilidad. El uso del suelo se clasificó en función de las tasas teóricas de infiltración y absorción, y las áreas boscosas se consideraron las menos propensas a contribuir a las inundaciones, mientras que a las áreas desarrolladas, como la agricultura y los humedales, se les asignó una mayor susceptibilidad. El contenido de arcilla se clasificó en función del porcentaje, y a los porcentajes más altos se les asignó una mayor susceptibilidad. La densidad aparente se clasificó en función de la magnitud, y se asignó una susceptibilidad mayor a los mayores valores. El drenaje del suelo se clasificó en función del potencial de drenaje, con menor susceptibilidad asignada a suelos con potencial de drenaje reducido. Métodos similares de clasificación fueron utilizados por Pradhan (2010) y Forkuo (2011).

Del mismo modo, los factores de inestabilidad se clasificaron en función de su potencial para provocar fenómenos de deslizamiento de tierras. Las precipitaciones, el contenido de arcilla y el drenaje del suelo se clasificaron de la misma manera que para la susceptibilidad a las inundaciones. El ángulo de pendiente y la densidad aparente tienen una relación inversa con las ocurrencias de deslizamiento de tierra en comparación con las inundaciones y se clasificaron en consecuencia con una menor susceptibilidad asignada a los ángulos de pendiente más bajos y a mayores densidades aparentes. La proximidad a las fallas y carreteras se clasificó en función de las distancias, a las mayores distancias se les asignó menor susceptibilidad. El esquema detallado de clasificación, las clases de susceptibilidad y los rangos asignados para los factores de inundación y los factores de inestabilidad se muestran en los Cuadros 2 y 3, respectivamente.

Cuadro 2: Esquema y rangos de clasificación de inundación

Factores	Esquema de clasificación	Clase de susceptibilidad	Valores de rango
<i>Precipitaciones mensuales (mm)</i>	145.03 - 189.39	Baja	1
	189.39 - 216.06	Moderada	2
	216.06 - 245.64	Alta	3
	245.64 - 297.43	Muy alta	4

Informe técnico: Evaluaciones de riesgo de inundaciones y deslizamiento en República Dominicana informadas por las proyecciones de precipitaciones

<i>Elevación (m)</i>	1503-3143	Baja	1
	1503-850	Moderada	2
	850-357	Alta	3
	0-357	Muy alta	4
<i>Pendiente (m)</i>	26.62-76.66	Baja	1
	26.62-15.54	Moderada	2
	15.54-6.50	Alta	3
	0-6.50	Muy alta	4
<i>Proximidad a los ríos (m)</i>	500	Muy baja	1
	500-1000	Baja	2
	1000-1500	Moderada	3
	1500-2000	Alta	4
<i>Uso del suelo (clases)</i>	Bosque	Muy baja	1
	Agricultura	Baja	2
	Humedales	Moderada	3
	Urbano	Alta	4
<i>Contenido de arcilla (%)</i>	19-20	Baja	1
	20-25	Moderada	2
	25-30	Alta	3
	30-48	Muy alta	4
<i>Densidad aparente (g/ cm<sup>3</sup>)</i>	1.29	Baja	1
	1.29-1.40	Moderada	2
	1.40-1.48	Alta	3
	1.48-1.52	Muy alta	4
<i>Drenaje del suelo</i>	Algo excesivamente drenada	Baja	1
	Bien drenada	Moderada	2
	Moderadamente drenada	Alta	3
	Imperfectamente drenada	Muy alta	4

Cuadro 3: Esquema de clasificación y rangos de inestabilidad

<b>Factores</b>	<b>Esquema de clasificación</b>	<b>Clase de susceptibilidad</b>	<b>Valores de rango</b>
<i>Precipitaciones mensuales (mm)</i>	145.03 - 189.39	Baja	1
	189.39 - 216.06	Moderada	2
	216.06 - 245.64	Alta	3
	245.64 - 297.43	Muy alta	4
<i>Pendiente (Grado)</i>	0-6.47	Baja	1

	6.47-15.54	Moderada	2
	15.54-26.61	Alta	3
	26.61-76.66	Muy alta	4
<i>Proximidad a fallas (km)</i>	>30	Baja	1
	30	Moderada	2
	20	Alta	3
	10	Muy alta	4
<i>Proximidad a las carreteras (km)</i>	>4	Muy baja	1
	4	Baja	2
	2	Moderada	3
	1	Alta	4
<i>Contenido de arcilla (%)</i>	19-20	Baja	1
	20-25	Moderada	2
	25-30	Alta	3
	30-48	Muy alta	4
<i>Densidad aparente (g cm<sup>-3</sup>)</i>	1.48-1.52	Baja	1
	1.4-1.48	Moderada	2
	1.29-1.4	Alta	3
	1.29	Muy alta	4
<i>Drenaje del suelo</i>	Algo excesivamente drenada	Baja	1
	Bien drenada	Moderada	2
	Moderadamente drenada	Alta	3
	Imperfectamente drenada	Muy alta	4

## Ponderación de factores causales

Si bien se sabe que todos los factores elegidos tienen una relación causal con los peligros respectivos, no se puede suponer que su influencia sea igual. Como tal, se aplicó un esquema de ponderación objetiva, en el que se asignaban ponderaciones de 1 a 9 como puntajes de calificación. Las puntuaciones de calificación se utilizaron en el cálculo de la significación relativa de cada criterio en una comparación de matriz por pares para producir los factores de ponderación correspondientes utilizando el Proceso de jerarquía analítica (AHP) que se explica a continuación.

### *Proceso de jerarquía analítica (AHP)*

AHP es uno de los métodos de toma de decisiones multicriterio que fue desarrollado originalmente por Saaty (2008). El método se utiliza para derivar escalas de relación a partir

de comparaciones por pares. La Figura 2 ilustra el algoritmo AHP. El proceso comprende cuatro (4) pasos principales, que son los siguientes:

1. Descomponer el problema en una estructura jerárquica.
2. Emplear comparaciones por pares. Una comparación por pares es el proceso de comparar la importancia relativa, preferencia o probabilidad de dos elementos con respecto a otro elemento. Las comparaciones por pares se llevan a cabo para establecer prioridades. Los elementos de decisión en cada nivel de jerarquía se comparan de manera conjunta y luego se completa la matriz recíproca.
3. Determina la consistencia lógica y, si es  $> 10\%$ , revisar las clasificaciones por pares hasta que el índice de consistencia esté por debajo del  $10\%$ . En la implementación del AHP, a veces se enfrenta con criterios inconsistentes de los datos de entrada, lo que puede causar algunos efectos negativos en el proceso de decisión. Por ejemplo, A1 puede ser preferido a A2 y A2 a A3, pero A3 puede ser preferido a A1. Por lo tanto, Saaty (2008) definió una medida de desviación de la consistencia que se denomina Índice de Consistencia, como:  $CI = (\lambda_{max} - N)/(N-1)$ , donde N es la dimensión de la matriz y  $\lambda$  es el valor propio más grande de la matriz A. Saaty (2008) calculó una relación de consistencia (CR) como la relación del CI a un índice aleatorio (RI), que es el CI medio de conjuntos de criterios (de una escala de 1 a 9) para matrices recíprocas generadas aleatoriamente.
4. Estimar los pesos relativos combinando los criterios subjetivos individuales. El método del valor propio se aplicó utilizando la siguiente fórmula,  $W = \lambda_{max}$ , donde W es el peso del criterio.

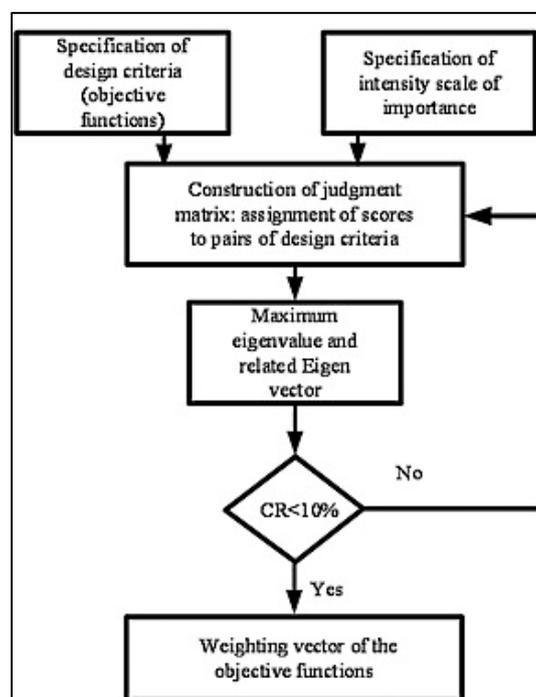


Figura 2: Algoritmo AHP

El núcleo de AHP es construir una matriz de criterios entre los diversos factores utilizando el método de escala de "1-9", es decir, utilizando enteros entre «1-9» y su recíproco como

valores de escala para indicar la importancia de la comparación por pares entre los factores de evaluación. El valor de la escala digital y la importancia del método de escala "«1-9» se muestran en el Cuadro 4.

*Cuadro 4: La escala fundamental del 1 al 9 (Saaty, 2008)*

<b>Intensidad de importancia</b>	<b>Definición</b>	<b>Explicación</b>
1	Igual importancia	Dos factores contribuyen por igual al objetivo.
3	Algo más importante	La experiencia y el criterio favorecen ligeramente a uno sobre el otro.
5	Mucho más importante	La experiencia y el criterio favorecen fuertemente a uno sobre el otro.
7	Muchísimo más importante	La experiencia y el criterio favorecen muy fuertemente a uno sobre el otro. Su importancia se demuestra en la práctica.
9	Absolutamente más importante	La evidencia que favorece a una sobre la otra es de la más alta validez posible.
2,4,6,8	Valores intermedios	Cuando se necesita un acomodo.

Los Cuadros 5 y 6 muestran las ponderaciones finales derivadas de los factores de inestabilidad e inundación del proceso AHP. En ambos casos se consideró que la precipitación era el factor más influyente que recibía las ponderaciones más altas.

*Cuadro 5: Ponderaciones obtenidas por AHP para factores de inestabilidad*

<b>Factores de inestabilidad</b>	<b>Pesos (%)</b>
Precipitación	33.7
Pendiente	21.65
Fallas	18.7
Carreteras	10.29
Drenaje del suelo	7.68
Densidad aparente	4.97
Contenido de arcilla	2.98

Cuadro 6: Ponderaciones derivadas por AHP para factores de inundación.

<b>Inundación Factores</b>	<b>Pesos (%)</b>
Precipitación	36.
Elevación	17
Pendiente	14
Ríos	12
Uso del suelo	9
Densidad aparente	5
Drenaje del suelo	5
Contenido de arcilla (%)	2

### **Verificación de consistencia**

La consistencia de la matriz de vectores propios creada para el AHP requiere evaluación para su validez. El nivel de consistencia requerido se evalúa utilizando el siguiente índice:

*Ecuación 1: Relación de consistencia*

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

**Donde:** *CR- la relación de consistencia*  
*CI- el índice de consistencia*  
*RI- el índice aleatorio*

Si la Relación de consistencia es superior a 0.1, los criterios no son confiables, ya que se consideran «demasiado cercanos a la aleatoriedad» y el ejercicio se considera sin valor y debe repetirse. Es fácil hacer un número mínimo de juicios después de los cuales se puede calcular el resto para hacer cumplir una consistencia tal vez irrealmente perfecta. El Cuadro 7 muestra el índice aleatorio (RI). Por lo tanto, para este proyecto, la CR aceptable debe ser < 0.1. El CI se calcula utilizando la Ec. (2) a continuación, donde se calcula  $\lambda_{max} = 11.41$ .

*Ecuación 2: Índice de consistencia*

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

El análisis reveló que la relación de consistencia calculada era aceptable en ambos casos.

*Cuadro 7: Índice aleatorio (RI) utilizado para las relaciones de consistencia (CR) por computadora*

Random Index (RI)															
<i>n</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.58

## Modelado cartográfico

Al finalizar la clasificación, jerarquización y ponderación, se crearon modelos cartográficos para determinar las clases finales de susceptibilidad para todos los factores causales, incluidas las proyecciones de precipitación desarrolladas por Ferreira (2020). Los modelos cartográficos incluyen un conjunto de conceptos metodológicos, convenciones y capacidades que normalizan el uso del Sistema de Información Geográfica (SIG) para la interpretación de datos de parámetros de factores causales geoespaciales. La Figura 3 muestra el modelo cartográfico de los factores de inundación, el mismo proceso se empleó para los factores de inestabilidad.

La «herramienta de suma ponderada» se utilizó para multiplicar los valores de campo designados para cada ráster de entrada por el peso especificado derivado del AHP (Cuadros 5 y 6). La herramienta se utilizó para sumar todos los rústeres de entrada juntos para crear un ráster de salida de susceptibilidad a inundaciones y susceptibilidad a deslizamientos de tierra para la República Dominicana.

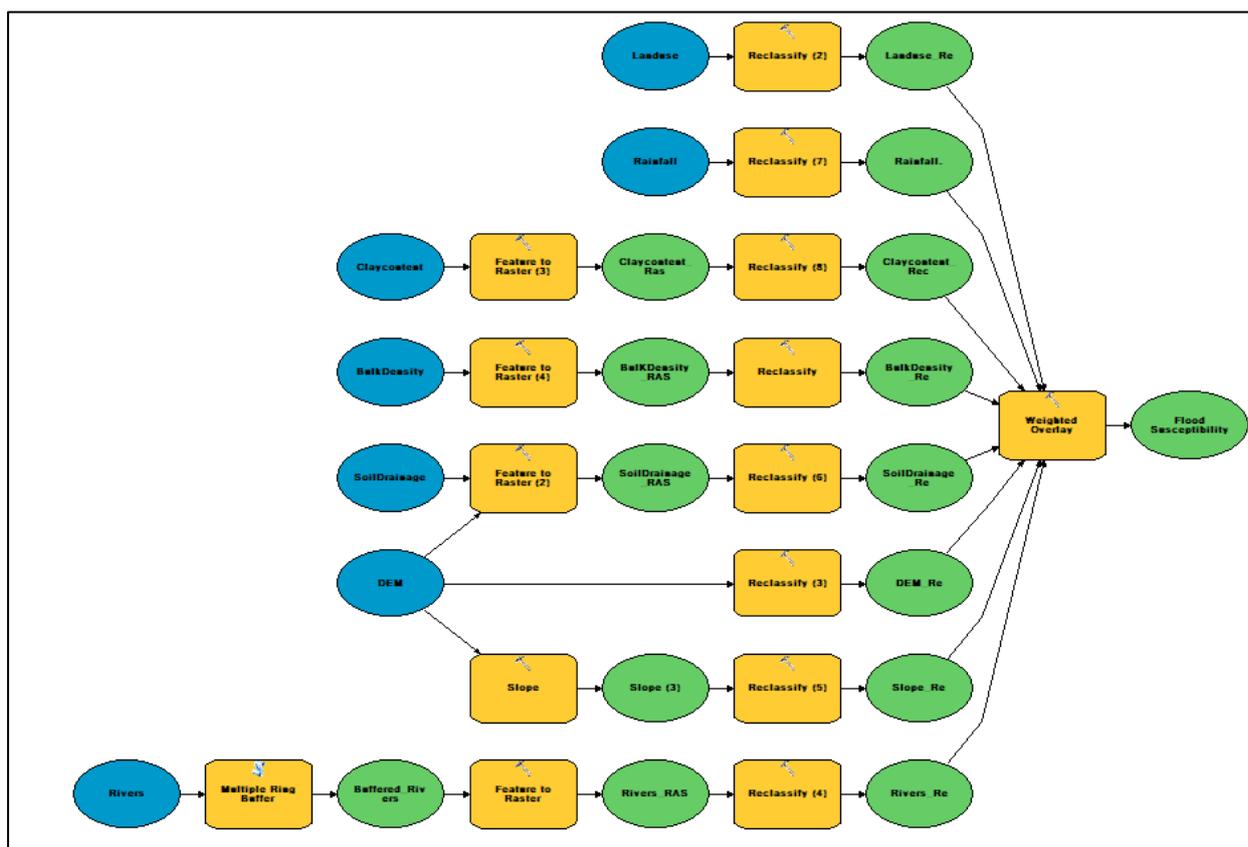


Figura 3: Factores de inundación Modelo Cartográfico

## Análisis de susceptibilidad

Las proyecciones multimodelo de precipitaciones para el siglo XXI basadas en los resultados de 5 modelos CMIP5 mostraron una dispersión considerable en las cantidades de precipitaciones, pero estuvieron en general de acuerdo con la variabilidad espacio-temporal proyectada. Por lo tanto, el análisis de susceptibilidad se realizó utilizando proyecciones de precipitación derivadas de dos modelos CanESM2 y HadGEM2-ES que representan los límites inferior y superior para el rango de proyecciones, respectivamente. A continuación, se presentan y se analizan brevemente los resultados de las salidas de susceptibilidad a inundaciones y deslizamientos de tierra para el período de referencia (temporada húmeda y temporada seca). Los Apéndice A1 y B1 contienen todos los demás productos de susceptibilidad a inundaciones y deslizamientos de tierra, respectivamente. Además, todas las capas de datos de entrada y las herramientas de modelado desarrolladas se proporcionarán en formato digital para uso local y manipulación cuando sea necesario.

## Susceptibilidad a inundación de la línea de referencia húmeda y seca

Las Figuras 4a y 4b ilustran la variabilidad espacial de los niveles de susceptibilidad a las inundaciones durante el período de referencia (1971-2000) para la temporada húmeda y seca.

Existe una considerable variabilidad espacial en toda la isla, y las diferencias en las precipitaciones muestran relación con los cambios de altitud. La línea de referencia húmeda, 4a (mayo a noviembre), muestra la susceptibilidad «Muy alta» en la parte sureste de la isla, así como pocas áreas en el lado suroeste. Los bajos niveles de susceptibilidad son prominentes en las zonas montañosas de gran altitud. La línea de referencia seca 4b (diciembre a abril) refleja la susceptibilidad «Muy alta» en la base suroeste de la isla, con algunas áreas dominantes en el noreste. Las áreas del noreste son representativas de altitudes más bajas, mayor contenido de arcilla y rangos de mayor densidad aparente, contribuyendo así al nivel de susceptibilidad. En contraste con el período de referencia húmedo, la línea de referencia seca contiene más áreas con susceptibilidad «Muy alta» y refleja la variabilidad espacial de las precipitaciones para la línea de referencia seca (Ferreira, 2020). En general, las zonas de interés se encuentran principalmente en el este de la isla en provincias como Monte Plata, Santo Domingo, San Pedro de Macorís, Hato Mayor y El Seibo.

## **Susceptibilidad a deslizamientos de tierra en la línea de referencia húmeda y seca**

La Figura 5 ilustra la variabilidad espacial a lo largo de los períodos de referencia para la temporada húmeda y seca. Los mapas de susceptibilidad de la línea de referencia húmeda mostraron una variabilidad espacial considerable en toda la isla. Las proyecciones de línea de referencia seca mostraron una mayor variabilidad espacial que la húmeda. Las regiones geográficas que fueron clasificadas como de «Muy alta» susceptibilidad se encuentran principalmente dentro de Santo Domingo y la cuenca alta de Hato Mayor y El Seibo. Las concentraciones de susceptibilidad «Muy alta» también son visibles en algunas áreas dentro de las provincias de Duarte y María Trinidad Sánchez, Independencia y San Cristóbal.

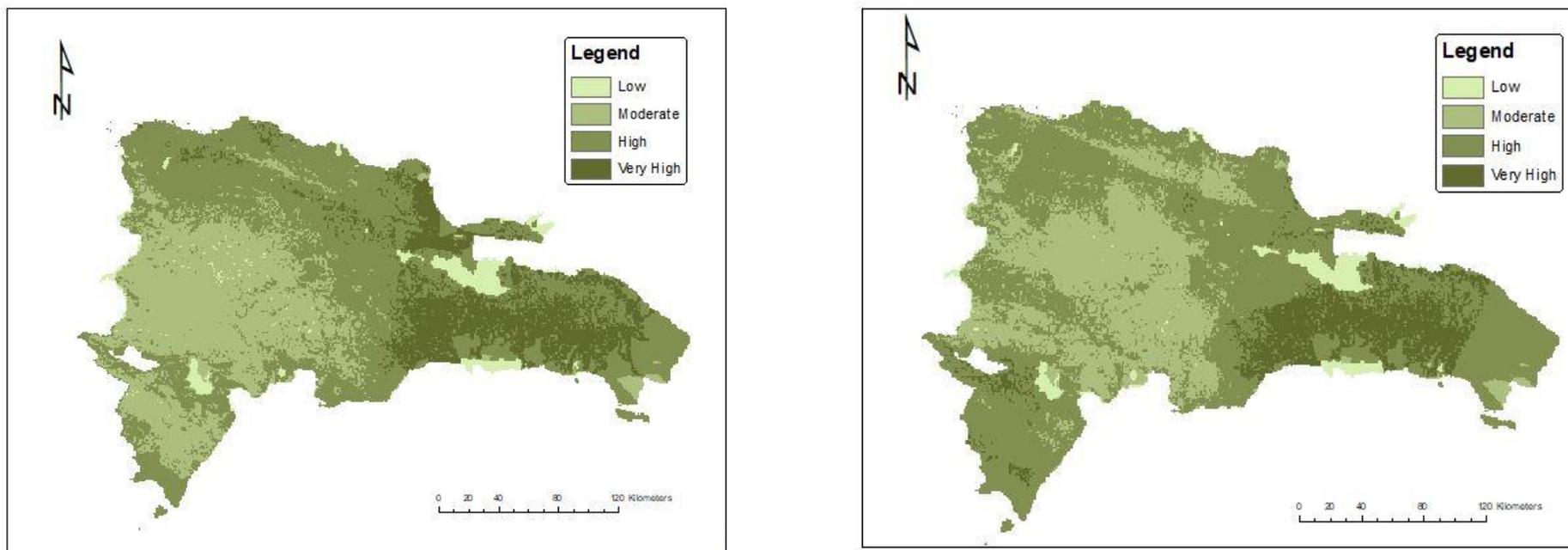
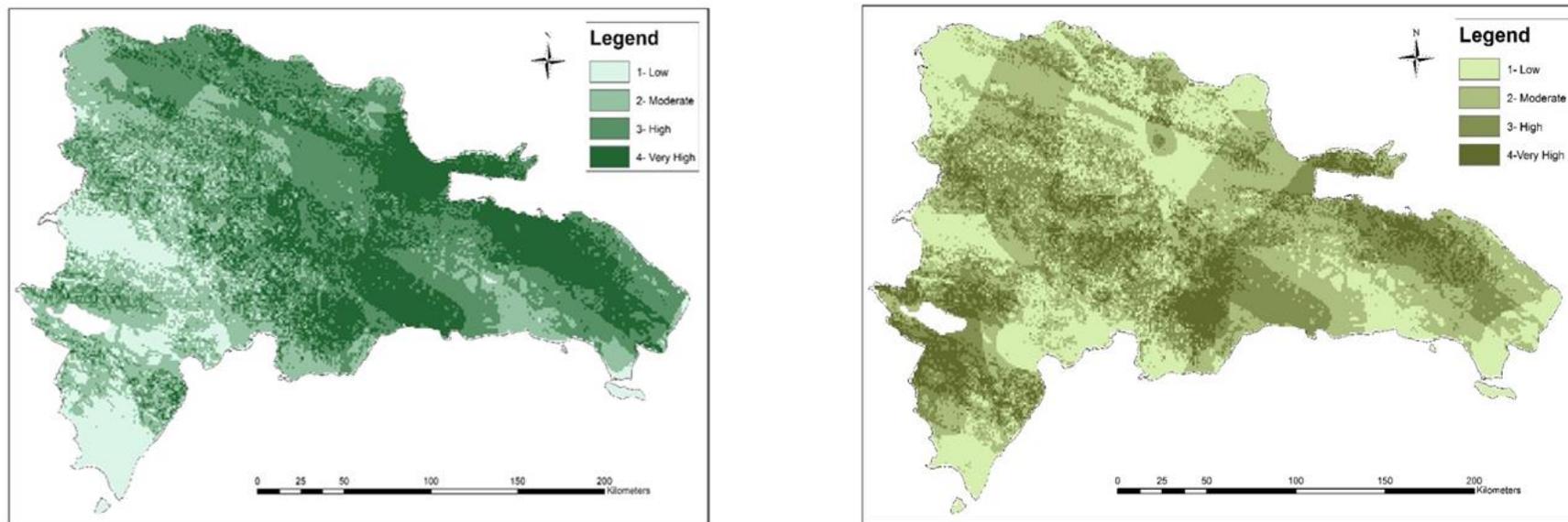


Figura 4: Mapa que ilustra la variabilidad espacial de la Susceptibilidad a las inundaciones durante el período de referencia para la República Dominicana — a) Susceptibilidad a las inundaciones durante la temporada seca, panel izquierdo. b) Susceptibilidad a las inundaciones durante la temporada húmeda, panel derecho.



*Figura 5- Mapa que ilustra la variabilidad espacial de la susceptibilidad a los deslizamientos de tierra durante el período de referencia para la República Dominicana- a) Susceptibilidad a los deslizamientos de tierra durante la temporada seca (panel izquierdo), b) Susceptibilidad a los deslizamientos sobre la línea de referencia húmeda (panel derecho)*

## Validación del modelo

La validación es el proceso documentado de demostrar que un sistema o proceso cumple con un conjunto definido de requisitos. Los resultados de susceptibilidad (deslizamientos de tierra e inundaciones) para el período de referencia se validaron utilizando análisis de intersección con datos anteriores sobre inundaciones y deslizamientos de tierra suministrados por la ONE. Este proceso permitió evaluar la precisión predictiva mostrando el porcentaje de eventos de peligro pasados que ocurrieron en las respectivas clases de susceptibilidad predictiva.

Los resultados de la validación del modelo de susceptibilidad a inundaciones mostraron que más del 85% de las ocurrencias pasadas cayeron en las clases de susceptibilidad «Alta» y «Muy alta» tanto para las temporadas húmedas como secas (Cuadro 8). Los resultados de validación de los modelos de susceptibilidad a los deslizamientos de tierra mostraron que aproximadamente el 80% y el 60% de los deslizamientos anteriores se produjeron en las categorías «Alta» y «Muy alta» para la temporada seca y la temporada húmeda respectivamente (Cuadro 9). Cuando el rango de clases predictivas se extiende a la clase de susceptibilidad «Moderada», los resultados indican que hay más del 90% de los eventos pasados de deslizamientos de tierra y el 99% de los eventos pasados de inundación ocurrieron en estas tres clases tanto para las temporadas húmedas como secas. Esto revela una precisión predictiva excepcional, confirmando la validez de la elección de los factores causales, así como las ponderaciones resultantes del proceso AHP.

*Cuadro 8: Validación del modelo de susceptibilidad a las inundaciones del período de referencia.*

	Modelos	Bajo (%)	Moderado (%)	Alto (%)	Muy alto (%)
Referencia	PD	0.11	8.16	62.24	29.48
	PW	0.22	12.20	64.53	23.05

*Cuadro 9: Validación del modelo de susceptibilidad a deslizamientos de tierra en el período de referencia.*

	Modelos	Bajo (%)	Moderado (%)	Alto (%)	Muy alto (%)
Referencia	PD	2.83	16.23	42.45	38.49
	PW	6.82	28.18	12.27	52.73

## Evaluación de vulnerabilidades

Los peligros naturales, como las inundaciones y los deslizamientos de tierra, pueden perturbar significativamente la vida y los medios de subsistencia. A nivel nacional, el riesgo potencial atribuido a un peligro natural depende de la susceptibilidad y vulnerabilidad de la nación. La vulnerabilidad describe las características y circunstancias de una comunidad, sistema o activo que la hacen susceptible a los efectos adversos de un peligro. Los efectos adversos también pueden extenderse más allá de los daños económicos y sociales a sitios culturales de gran valor arqueológico o zonas ecológicamente sensibles de importancia ecológica. El análisis exhaustivo de la vulnerabilidad implica comprender los activos físicos, sociales, económicos y ambientales de un país determinado. En la mayoría de los casos no se dispone de los datos necesarios para facilitar evaluaciones nacionales amplias de la vulnerabilidad y, por lo tanto, se basa en el uso de estimaciones utilizando conjuntos de datos y los indicadores sustitutivos (proxies) disponibles. A los efectos del presente estudio, se identificaron tres «activos» como factores de vulnerabilidad a partir de los conjuntos de datos disponibles que se consideraron pertinentes: Densidad de construcciones, Densidad de población y Zonas turísticas (Cuadro 10).

*Cuadro 10: Lista de factores de inundación y fuentes de datos correspondientes.*

<b>Parámetros de inundación</b>	<b>Resolución/Extensión espacial/Formato</b>	<b>Origen</b>
Densidad de construcciones	DR	Derivado
Densidad de población	DR	Derivado
Zona turística	Ráster	Oficina Nacional de Estadística (ONE)

## Preparación de los factores de vulnerabilidad

Se elaboró un mapa de vulnerabilidad de la población utilizando los datos demográficos de cada distrito. El shapefile de distritos proveniente de la ONE, se utilizó para establecer la extensión espacial y contener la información de atributos necesaria para el procesamiento. La capa resultante se re proyectó al sistema de coordenadas de las capas de susceptibilidad (WGS 1984 UTM Zona 19N). Se creó un campo en el cuadro de atributos, a saber, "Densidad de población" con un tipo de datos flotante, permitiendo números enteros y fracciones. La densidad de población se calculó dividiendo la población total de cada distrito por el área total del distrito. Fuentes de datos del Open Street Map (OSM) se utilizaron para obtener la densidad de construcciones de la República Dominicana. La capa de construcciones se unió espacialmente a la capa Distritos para determinar el número de construcciones en cada distrito. Se creó un campo dentro del shapefile de distrito, llamado «Densidad de construcción», con el

tipo de datos establecido como flotante como se hizo para la densidad de población. La densidad de construcción se calculó dividiendo el número total de edificaciones de cada distrito por el área de dicho distrito. La capa de datos de zona turística se sometió a la herramienta de búfer multianillo para crear centroides de distancias especificadas de las zonas turísticas establecidas. Cada capa de datos se reclasificó según el esquema de clasificación y se jerarquizó en consecuencia para obtener el nivel de vulnerabilidad (Cuadro 11). A continuación, se asignó una ponderación utilizando el AHP (Cuadro 12) y un producto de vulnerabilidad acumulada generada mediante la herramienta de suma ponderada. La Figura 6 muestra los resultados espaciales de cada factor de vulnerabilidad.

*Cuadro 11: Esquema y rangos de clasificación de vulnerabilidad*

<b>Factores de vulnerabilidad</b>	<b>Esquema de clasificación</b>	<b>Clase de susceptibilidad</b>	<b>Valores numéricos de rango</b>
Densidad de construcciones (km)	4.39-385.30	Baja	1
	385.30-1838.46	Moderada	2
	1838.46-4199.45	Alta	3
	4199.45-10544.90	Muy alta	4
Densidad de población (km)	0-5.03	Baja	1
	5.03-25.99	Moderada	2
	25.99-69.122	Alta	3
	69.122-166.21	Muy alta	4
Zonas turísticas (m)	3500-5000	Baja	1
	2000-3500	Moderada	2
	500-2000	Alta	3
	0-500	Muy alta	4

*Cuadro 12: Ponderaciones derivadas de AHP*

<b>Factores de vulnerabilidad</b>	<b>Criterios de ponderación</b>
Construcciones	0.727325306
Zona turística	0.2211648
Densidad de población	0.051509894

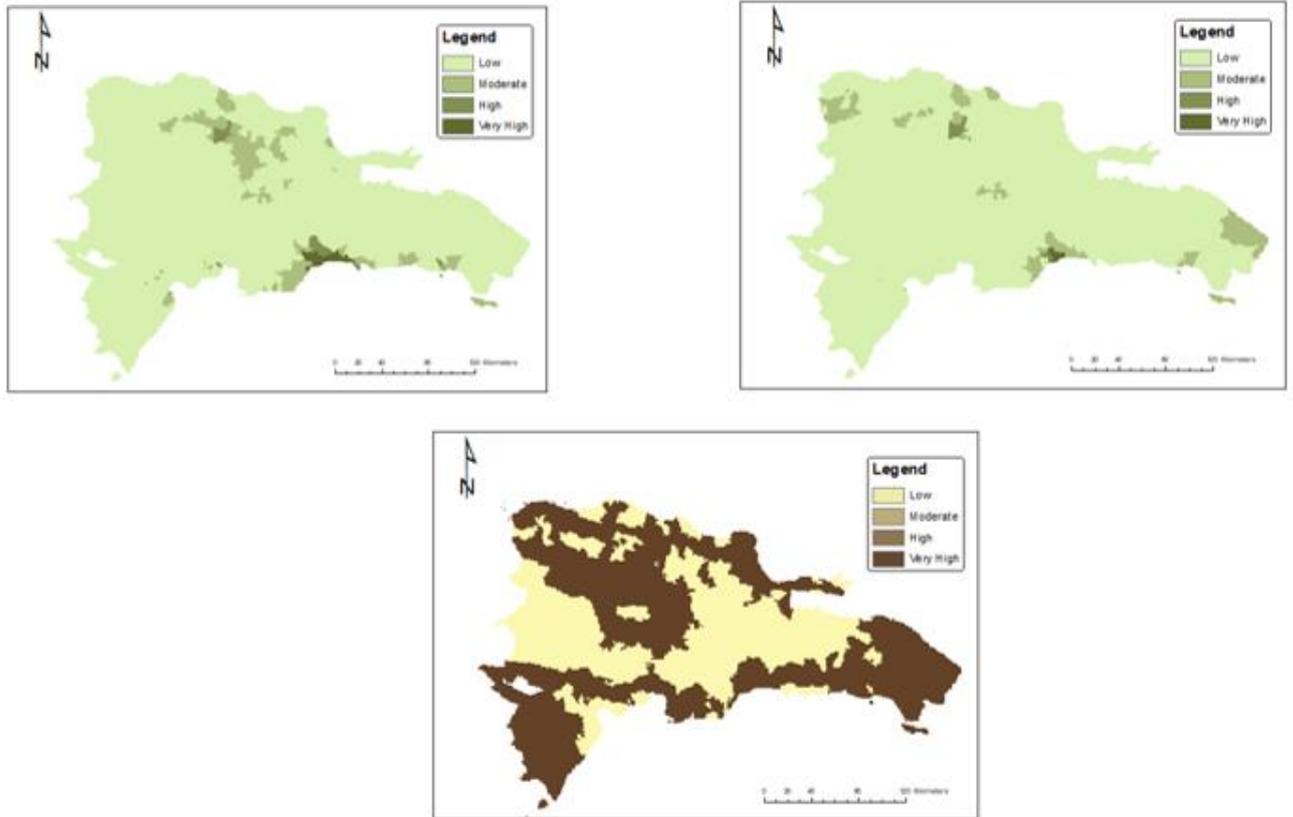


Figura 6: Mapas que ilustran los factores de vulnerabilidad en la República Dominicana- (a) Vulnerabilidad de la densidad de población (panel superior izquierdo) (b) Vulnerabilidad de la densidad de construcción (panel superior derecho) (c) Vulnerabilidad de la densidad de población (panel inferior).

## **Análisis del riesgo de inundación**

### **Resumen**

Para determinar el riesgo de inundación, los resultados de susceptibilidad se combinaron con los resultados de vulnerabilidad. Se creó un modelo cartográfico para determinar el riesgo de las proyecciones de precipitación para cada modelo de resultados, derivado de Ferreira (2020). El modelo contiene capas de datos de susceptibilidad a inundaciones y capas de vulnerabilidad. Las siguientes secciones describen los resultados de las proyecciones de precipitación basadas en la salida del modelo CanESM2 y HadGEM2-ES. La representación espacial de todos los resultados de los modelos de riesgo se puede encontrar en el Apéndice A2 (Inundaciones) y B2 (Deslizamientos de tierra). Para facilitar la comprensión, se añadieron los prefijos «PD» y «PW» a los nombres de modelos de proyección. «PD» se refiere a la precipitación en la temporada seca, mientras que «PW» se refiere a la precipitación en la temporada húmeda.

### **Línea de referencia húmeda y seca**

Los resultados de la temporada seca durante el período de referencia muestran una considerable variabilidad espacial en todo el país (Figura 7). Las zonas de riesgo «Muy alto» se concentran en los extremos Norte, Sur y Este del país, específicamente en las provincias de Monte Cristi, Dajabón, Santiago Rodríguez, Santiago, Valverde, Puerto Plata, Espaillat, María Trinidad Sánchez, El Seibo, La Romana, Santo Domingo, Peravia, Azua, Independencia y Pedernales. Aproximadamente el 69 % de la masa terrestre se clasificó como de riesgo «Muy alto» (Cuadro 13). Para la referencia de la temporada húmeda, hubo un menor porcentaje de zonas de riesgo «Muy altas», junto con una variabilidad espacial notablemente menor a lo largo del país. Algunas concentraciones de riesgo «Muy alto» se observan en las provincias del sureste como El Seibo, La Romana y Santo Domingo, en las provincias del suroeste como Independencia y Pedernales y en las provincias del noroeste como Monte Cristi, Valdesia y la cuenca alta del Yaque del Norte. El análisis espacial cuantitativo indicó que aproximadamente el 34 % de la masa terrestre del país estaba en riesgo «Muy alto». La mayoría de estas áreas se encuentran en las regiones urbanas y suburbanas del país, densamente pobladas. Los asentamientos en llanuras inundables también se destacan como una región de riesgo «Muy alto». Además, la mayoría de las provincias que se considera que tienen un riesgo «Muy alto» se encuentran en la parte septentrional y sureste del país, ya que estas regiones están considerablemente más desarrolladas.

*Cuadro 13: Distribución porcentual de las clases de riesgo de inundación de la masa terrestre para el período de referencia*

<b>Temporada</b>	<b>Bajo (%)</b>	<b>Moderado (%)</b>	<b>Alto (%)</b>	<b>Muy alto (%)</b>
<b>Seca</b>	0.19	20.28	10.57	68.96
<b>Húmeda</b>	0.31	42.25	23.84	33.87

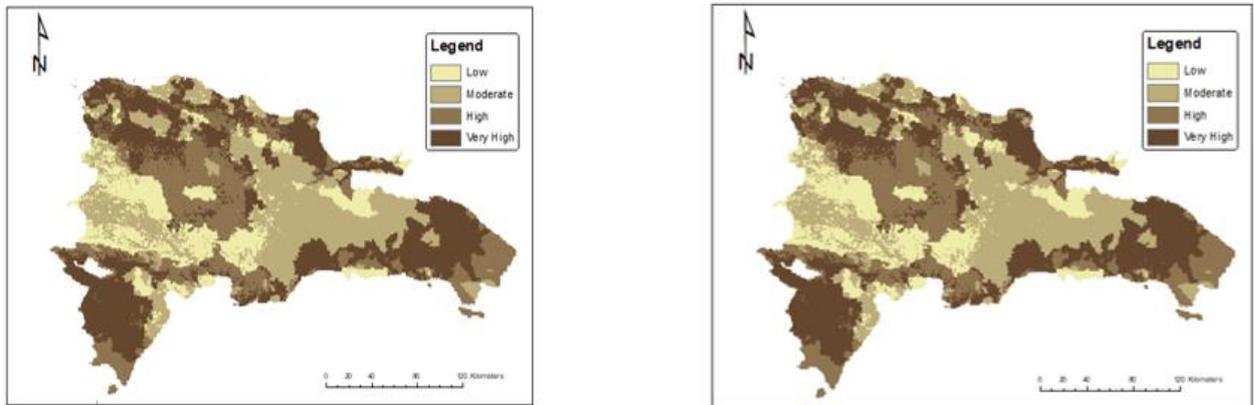


Figura7: Mapa que ilustra el riesgo de inundación durante el período de referencia para la República Dominicana — a) Riesgo de inundación durante la temporada seca, panel izquierdo. b) Riesgo de inundación durante la temporada húmeda, panel derecho.

## Análisis del riesgo de inundación entre épocas

En el Cuadro 14 se muestra el porcentaje de masa terrestre asignada a cada una de las cuatro clases de riesgo. Las salidas del modelo de riesgo para la RCP 4.5 y 8.5 muestran una variabilidad mínima en términos de distribución porcentual de la masa terrestre cuando se examinan a través de épocas. Los resultados de los modelos muestran un porcentaje medio de asignación de masa terrestre en las clases de riesgo «Alto» y «Muy alto» de aproximadamente 62.5 %, con una desviación estándar del 6.4 %. Todas las asignaciones porcentuales en estas clases estaban dentro de  $\pm 5\%$  de la media, aparte de las salidas en RCP 4.5 para PWHadGEM en la década de 2030 y PWCanESM en la década de 2050, y en RCP 8.5 para PWCanESM y PDHadGEM en la década de 2050. Bajo RCP 4.5 PWHadGEM en la década de 2030 y PWCanESM ambos produjeron resultados con diferencias respecto a la media de +19.7 % puntos y +9.45 % puntos, respectivamente. Bajo RCP 8.5, PWCanESM y PDHadGEM en la década de 2050 produjeron resultados con diferencias con la media de +9.4 % puntos. Si se compara con la referencia, hay una diferencia de  $< 5\%$  respecto a la media de la temporada húmeda, pero una diferencia notable de +17.03 % puntos para la temporada seca, lo que implica una disminución global de los niveles de riesgo en los escenarios futuros durante la temporada seca. En cuanto a la distribución espacial, existe una variabilidad limitada entre épocas, y las regiones del noroeste, el suroeste y el este de la isla se ubican sistemáticamente en las clases de riesgo «Alto» y «Muy alto». La representación espacial de todos los resultados de riesgo se puede encontrar en el Apéndice A2

Cuadro 14: Porcentaje de riesgo de inundación Asignaciones de masa terrestre para los productos del modelo de riesgo (RCP 4.5 y RCP 8.5)

RCP			Clases de riesgo (%)			
	Modelos	Época	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
RCP 4.5	<i>PDCanESM</i>	2030	0.15	37.47	57.09	5.3
	<i>PWCanESM</i>		0.17	37.99	59.2	2.65
	<i>PDHadGEM</i>		0.1	35.78	56.46	7.65
	<i>PWHadGEM</i>		0	17.73	66.36	15.9
RCP 4.5	<i>PDCanESM</i>	2050	0.1	42.65	20.15	37.11
	<i>PWCanESM</i>		0.04	28.01	32.4	39.55
	<i>PDHadGEM</i>		0.11	42.06	2.93	54.89
	<i>PWHadGEM</i>		7.57	33.85	17.6	40.98
RCP 4.5	<i>PDCanESM</i>	2070	0.18	36.7	56.46	6.66
	<i>PWCanESM</i>		0.25	40.66	56.56	2.53
	<i>PDHadGEM</i>		0.18	36.7	56.46	6.66
	<i>PWHadGEM</i>		0.33	40.27	55.61	3.79
RCP 8.5	<i>CanESM R95</i>	2030	0.06	42.3	22.95	34.7
	<i>CanESM R99</i>		0.07	41.53	22.76	35.63
	<i>HadGEM R95</i>		0.07	42.11	23.06	34.76
	<i>HadGEM R99</i>		0.05	42.14	22.97	34.84
RCP 8.5	<i>PDCanESM</i>	2050	0.07	32.65	63.16	4.12
	<i>PWCanESM</i>		0.02	27.99	60.41	11.58
	<i>PDHadGEM</i>		0.02	28.04	60.36	11.58
	<i>PWHadGEM</i>		0.08	33.89	61.99	4.04
RCP 8.5	<i>PDCanESM</i>	2070	0.06	42.3	22.95	34.7
	<i>PWCanESM</i>		0.07	41.53	22.76	35.63
	<i>PDHadGEM</i>		0.07	42.11	23.06	34.76
	<i>PWHadGEM</i>		0.05	42.14	22.97	34.84

## Análisis del riesgo de inundación de índices extremos

En el Cuadro 15 se muestra el porcentaje de masa terrestre asignada a cada una de las cuatro clases de riesgo. Los resultados del modelo de riesgo de los índices de precipitación extrema para la RCP 4.5 y 8.5 muestran una variabilidad mínima en términos de distribución porcentual de la masa terrestre cuando se examinan a través de épocas. Los resultados de los modelos muestran un porcentaje medio de asignación de masa terrestre en las clases de riesgo «Alto» y «Muy alto» del 60.2 % con una desviación estándar del 7.7 %. Todas las asignaciones porcentuales en estas clases estaban dentro de  $\pm 5$  % de la media, aparte de las salidas en RCP 4.5 para HadGem R99 en la década de 2030 y RCP 8.5 para HadGem R95 en la década de 2070, con la primera resultando en una diferencia con la media de -23.5 % puntos y la segunda diferencia de +11.63 % puntos. Si se compara con la referencia, hay una diferencia  $< 5$  % con respecto a la media de los productos de la temporada húmeda, pero una diferencia notable de +19.2 % puntos para la temporada seca, lo que implica una disminución global de los niveles de riesgo en los escenarios futuros durante la temporada seca, ya que se relaciona con predicciones asociadas con índices extremos. La distribución espacial de las clases de riesgo es similar a la de los modelos convencionales descritos anteriormente.

Cuadro 15: Porcentaje de riesgo de inundaciones Asignación de tierras para los índices de precipitaciones extremas

	Modelos	Época	Clases de riesgo (%)			
			Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
<b>Índices de precipitación extrema RCP 4.5</b>	<i>CanESM R95</i>	2030	0.08	43.82	22.94	33.16
	<i>CanESM R99</i>		0.08	44.21	22.82	32.89
	<i>HadGEM R95</i>		0.07	40.42	23.79	35.72
	<i>HadGEM R99</i>		5.42	38.88	14.71	22
<b>Índices de precipitación extrema RCP 4.5</b>	<i>CanESM R95</i>	2070	0.24	34.89	55.11	9.75
	<i>CanESM R99</i>		0.07	36.33	54.15	9.52
	<i>HadGEM R95</i>		0.27	35.34	52.46	11.93
	<i>HadGEM R99</i>		0.06	35.92	54.91	9.11
<b>Índices de precipitación extrema RCP 8.5</b>	<i>CanESM R95</i>	2030	0.06	42.3	22.95	34.7
	<i>CanESM R99</i>		0.07	41.53	22.76	35.63
	<i>HadGEM R95</i>		0.07	42.11	23.06	34.76
	<i>HadGEM R99</i>		0.05	42.14	22.97	34.84
<b>Índices de precipitación extrema RCP 8.5</b>	<i>CanESM R95</i>	2070	0.08	32.76	62.96	4.2
	<i>CanESM R99</i>		0.06	37.14	56.27	6.53
	<i>HadGEM R95</i>		0.02	28.07	60.33	11.58
	<i>HadGEM R99</i>		0.08	33.89	61.99	4.04

## Resumen de resultados

La susceptibilidad total a las inundaciones es la mayor en las regiones del Sureste, el Suroeste y el Noroeste, mientras que es la más baja en algunas de las provincias centrales. La variabilidad espacial entre los resultados del modelo está causalmente relacionada con la variabilidad proyectada de las precipitaciones.

Los resultados de la revisión bibliográfica y el análisis de la susceptibilidad a inundaciones y deslizamientos de tierra y eventos de riesgo conducen a las siguientes conclusiones:

- 1) Las inundaciones en la República Dominicana muestran contrastes espaciales y estacionales, así como variaciones decenales documentadas. La detección de tendencias pasadas y proyectadas a largo plazo se ve dificultada por la presencia de esta variabilidad natural.
- 2) El modelo tiene consistencia limitada en cuanto a la amplitud de los cambios proyectados. Existe una indicación general de que los niveles de riesgo de inundación disminuirán en las temporadas secas para escenarios futuros y seguirán siendo relativamente constantes para la temporada húmeda.
- 3) Los resultados también indicaron que los cambios más importantes en la mayoría de los casos se habrían producido en las décadas de 2030 y 2050 en comparación con el período de referencia, y las proyecciones de esos cambios continuaron o se revirtieron para la década de 2070. El patrón de las ocurrencias de las inundaciones puede interpretarse como variabilidad a largo plazo o cambio climático, como resultado de la variabilidad decenales para cada época. Los resultados de la RCP 4.5 2050 colocaron la mayor masa terrestre en la clase de riesgo «Muy alto» en comparación con todas las demás RCP en todas las épocas.
- 4) Se encontró que los múltiples centros de población, principalmente pequeñas comunidades agrícolas rurales, infraestructura como los sectores residenciales y comerciales, y canales de riego para la producción de arroz, incluida la actividad económica (principalmente la agricultura del arroz) a lo largo de la parte baja del río Yuna, la cuenca alta del Yaque del Norte y Santo Domingo son de riesgo «alto».
- 5) Las áreas generales de atención son las siguientes:
  - **Monte Cristi**
  - **Puerto Plata**
  - **Dajabón**
  - **Valverde**
  - **Santiago**
  - **María Trinidad Sánchez**
  - **Samaná**
  - **Santo Domingo**
  - **Independencia**
  - **Pedernales**
  - **El Seibo**
  - **Hato Mayor**
  - **San Cristóbal**
  - **Peravia**

## Mapeo del riesgo de deslizamientos de tierra

### Resumen

A fin de determinar el riesgo de deslizamiento de tierra, se utilizó el mismo enfoque descrito anteriormente para el riesgo de inundación, utilizando los resultados de susceptibilidad a deslizamientos de tierra.

### Línea de referencia húmeda y seca

Los resultados de la susceptibilidad a los deslizamientos de tierra de referencia de la temporada seca se combinaron con las capas de vulnerabilidad para determinar las zonas de riesgo de deslizamiento de tierra (Figura 8). La distribución espacial de los resultados mostró una fuerte relación con la topografía. Provincias como Santiago y La Vega en el interior, Santo Domingo, El Seibo y La Altagracia en el sur fueron clasificadas como riesgo «Alto» en los resultados de la temporada seca. Los resultados de la temporada húmeda muestran una extensión marginalmente mayor de zonas de riesgo «alto», con áreas al oeste como Perdernales e Independencia clasificadas en riesgo «alto». Ambos modelos de producción situaron más del 60 % de la masa terrestre en las clases de riesgo «Alto» y «Muy alto» (Cuadro 16).

*Cuadro 16 : Porcentaje de riesgo de deslizamiento de tierra Distribución de la clase de riesgo de deslizamiento de tierra para el período de referencia*

Período	Temporada	Bajo (%)	Moderado (%)	Alto (%)	Muy alto (%)
Referencia	Seca	5.48	35.27	29.59	29.66
	Húmeda	8.13	20.67	21.96	49.24

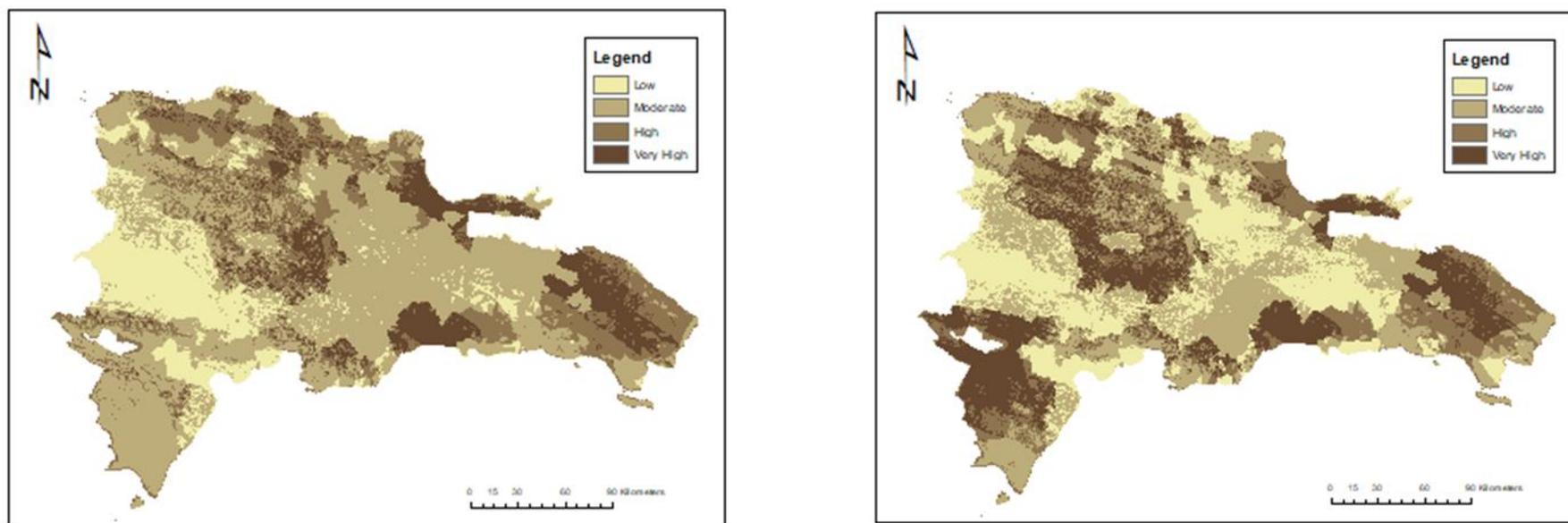


Figura 8: *Mapa de ilustración del riesgo de deslizamiento de tierra durante la línea de referencia húmeda y seca en la República Dominicana- a) Mapa de riesgos de la línea de referencia seca (izquierda) b) Mapa de riesgos de la línea de referencia húmeda (derecha)*

## **Análisis del riesgo de deslizamientos de tierra entre épocas**

En el Cuadro 17 se muestra el porcentaje de masa terrestre asignada a cada una de las cuatro clases de riesgo. Las salidas de los modelos de riesgo para RCP 4.5 y 8.5 muestran una variabilidad mínima en términos de distribución porcentual de la masa terrestre cuando se examinan a través de épocas, similar a lo que se observó para las inundaciones. Los resultados del modelo muestran un porcentaje medio de asignación de masa terrestre en las clases de riesgo «Alto» y «Muy alto» de aproximadamente 70.7 %, con una desviación estándar del 5.9 %. Esto representa un aumento de aproximadamente un 10 % en comparación con los productos del riesgo de inundación para las clases respectivas. Todas las asignaciones porcentuales en estas clases estaban dentro de  $\pm 5$  % de la media, aparte de las salidas para RCP 4.5 para PDHadGEM en las décadas de 2030 y 2050, lo que dio como resultado una diferencia con la media de -8.34 % puntos, PDHadGEM en la década de 2070 con una diferencia de -14.2 % puntos, y para RCP 8.5 PDHadGEM con una diferencia de -9.18 % puntos. Si se compara con la referencia, hay una diferencia  $< 5$  % con respecto a la media de la temporada húmeda, pero una diferencia considerable de -11.4 % puntos para la temporada seca, lo que implica un aumento global de los niveles de riesgo en los escenarios futuros durante la temporada seca. Esto contrasta con lo observado en las evaluaciones del riesgo de inundación, lo que sugiere que los cambios de temporada en la distribución de lluvias tienen un mayor impacto en los deslizamientos de tierra. En cuanto a la distribución espacial, existe una variabilidad limitada entre épocas para ambas RCP, con provincias como Santiago y La Vega en el interior, Santo Domingo, El Seibo y La Altagracia en el sur y Pedernales e Independencia en el oeste consistentemente en clases de riesgo «Muy alto».

Cuadro 17: Deslizamientos de tierra Porcentaje de asignaciones de masa terrestre para todas las salidas del modelo de riesgo de inundación (RCP 4.5 y RCP 8.5)

		Clases de riesgo (%)				
	Modelos	Época	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
<b>RCP 4.5</b>	<i>PDCanESM</i>	2030	6.44	21.06	19.79	52.71
	<i>PWCanESM</i>		5.25	19.72	48.41	26.62
	<i>PDHadGEM</i>		13.29	24.35	21.19	41.17
	<i>PWHadGEM</i>		6.69	19.2	23.66	50.45
<b>RCP 4.5</b>	<i>PDCanESM</i>	2050	6.44	21.06	19.79	52.71
	<i>PWCanESM</i>		5.25	19.72	48.41	26.62
	<i>PDHadGEM</i>		13.29	24.35	21.19	41.17
	<i>PWHadGEM</i>		6.69	19.2	23.66	50.45
<b>RCP 4.5</b>	<i>PDCanESM</i>	2070	16.51	26.79	27.52	29.18
	<i>PWCanESM</i>		7.47	18.59	23.82	50.12
	<i>PDHadGEM</i>		16.61	26.89	27.79	28.71
	<i>PWHadGEM</i>		7.41	18.57	23.71	50.31
<b>RCP 8.5</b>	<i>PDCanESM</i>	2030	6.86	22.47	22.06	48.61
	<i>PWCanESM</i>		8.65	19.3	25.14	46.91
	<i>PDHadGEM</i>		13.08	25.4	28.49	33.03
	<i>PWHadGEM</i>		18.97	18.99	24.34	49.34
<b>RCP 8.5</b>	<i>PDCanESM</i>	2050	6.93	18.59	20.67	53.82
	<i>PWCanESM</i>		7.35	19.16	24.27	49.23
	<i>PDHadGEM</i>		6.33	19.65	19.05	54.97
	<i>PWHadGEM</i>		6.76	19.65	24.21	49.39
<b>RCP 8.5</b>	<i>PDCanESM</i>	2070	6.93	18.59	20.67	53.82
	<i>PWCanESM</i>		7.26	18.89	23.32	50.54
	<i>PDHadGEM</i>		6.33	19.65	19.05	54.97
	<i>PWHadGEM</i>		6.76	19.65	24.21	49.39

## Análisis del riesgo de deslizamientos de tierra de índices extremos

En el Cuadro 18 se muestra el porcentaje de masa terrestre asignada a cada una de las cuatro clases de riesgo. Los resultados del modelo de riesgo de los índices de precipitación extrema para la RCP 4.5 y 8.5 muestran una variabilidad mínima en términos de distribución porcentual de la masa terrestre cuando se examinan a través de épocas. Los resultados de los modelos muestran un porcentaje medio de asignación de masa terrestre en las clases de riesgo «Alto» y «Muy alto» del 72.6 % con una desviación estándar del 1.3 %. Todas las asignaciones porcentuales en estas clases estaban dentro del  $\pm 5$  %, sin excepciones. Si se compara con la referencia, hay una diferencia  $< 5$  % con respecto a la media de la temporada húmeda, pero una diferencia notable de -11.35 % puntos para la temporada seca, lo que implica una disminución global de los niveles de riesgo en los escenarios futuros durante la temporada seca, ya que se relaciona con predicciones asociadas con índices extremos. La distribución espacial de las clases de riesgo es similar a los resultados de los modelos convencionales descritos anteriormente.

Cuadro 18: Riesgo de deslizamiento de tierras Porcentaje de asignación de masa terrestre para todos los índices de precipitación extrema

	Modelos	Época	Clases de riesgo (%)			
			Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
<b>Índices de precipitación extrema RCP 4.5</b>	<i>CanESM R95</i>	2030	7.62	20.71	21.54	50.13
	<i>CanESM R99</i>		7.14	20.09	22.05	50.72
	<i>HadGEM R95</i>		6.5	18.91	21.68	52.91
	<i>HadGEM R99</i>		6.16	22.29	20.26	51.29
<b>Índices de precipitación extrema RCP 4.5</b>	<b>Modelos</b>	<b>Época</b>	<b>Bajo</b>	<b>Moderado</b>	<b>Alto</b>	<b>Muy alto</b>
	<i>CanESM R95</i>	2070	6.91	19.61	21.31	52.16
	<i>CanESM 99</i>		6.03	19.54	20.48	53.95
	<i>HadGEM R95</i>		6.65	19.35	21.21	52.79
<i>HadGEM R99</i>	6.03		19.54	20.48	53.95	
<b>Índices de precipitación extrema RCP 8.5</b>	<b>Modelos</b>	<b>Época</b>	<b>Bajo</b>	<b>Moderado</b>	<b>Alto</b>	<b>Muy alto</b>
	<i>CanESM R95</i>	2030	7.52	20.51	22	49.96
	<i>CanESM R99</i>		7.65	20.46	22.01	49.87
	<i>HadGEM R95</i>		7.56	20.57	22.13	49.75
<i>HadGEM R99</i>	7.71		20.59	22.07	49.63	
<b>Índices de precipitación extrema RCP 8.5</b>	<b>Modelos</b>	<b>Época</b>	<b>Bajo</b>	<b>Moderado</b>	<b>Alto</b>	<b>Muy alto</b>
	<i>CanESM R95</i>	2070	7.25	19.39	22.41	50.96
	<i>CanESM R99</i>		8.74	19.96	23.46	47.84
	<i>HadGEM R95</i>		7.25	19.41	22.39	50.94
<i>HadGEMR99</i>	7.69		21.6	20.72	49.98	

## Resumen de resultados

- Se encontró que el riesgo de deslizamiento de tierras se concentraba en el corredor Este-Oeste y en las cordilleras al norte, con parches intermitentes en el sur. En general, la distribución espacial del riesgo es similar en los resultados del modelo. Los resultados de la revisión bibliográfica y el análisis de la susceptibilidad a deslizamientos de tierra y eventos de riesgo conducen a las siguientes conclusiones:
- Los modelos individuales muestran variaciones basadas en las cantidades de precipitación de los cambios proyectados, pero en general tiende a haber alguna indicación de que los deslizamientos de tierra aumentarán moderadamente en cada período, pero sobre todo en la temporada seca.
- Los resultados también indicaron que los cambios se distribuyen a través de épocas y, como tal, ninguna época puede ser aislada por tener el cambio más discernible desde la línea de referencia.
- La cuenca alta del Yaque del Norte, Santiago y Santo Domingo, se ubicaron sistemáticamente en la clase de riesgo «Muy alto» en todas las RCP y épocas.
- Existe un mayor riesgo de deslizamientos de tierra en escenarios futuros si se compara con la referencia.
- La evaluación del riesgo de deslizamiento de tierra colocó más masa de tierra en las clases «Alta» y «Muy alta» en comparación con las inundaciones, que mostraron una divergencia limitada con respecto a la línea de referencia en la temporada húmeda y una reducción del riesgo en la temporada seca.
- Las áreas principales de atención son las siguientes:
  - **El Seibo**
  - **La Romana**
  - **Santo Domingo**
  - **San Pedro de Macorís**
  - **Peravia**
  - **Pedernales**
  - **Independencia**
  - **Santiago**
  - **Valverde**
  - **Samaná**

## Referencias

- Alexander, David. Natural disasters. Routledge, 2018.
- Ali, Umair, Syed Ahmad Ali, Javed Iqbal, Mannan Bashir, Mohsen Fadhl, Mukeem Ahmad, Hamdi Al Dharab y Saleh Ali. 2018. "Soil Erosion Risk and Flood Behaviour Assessment of Sukhnag Catchment, Kashmir Basin: Using GIS and Remote Sensing." *Journal of Remote Sensing & GIS* 07 (01): 1-8. <https://doi.org/10.4172/2469-4134.1000230> .
- Cabelin, Jorge, y Beatriz Jadina. 2019. "Physical Characteristics Of Soils In The Landslide Areas Of Cadac-An Watershed In Leyte, Philippines". *Annals Of Tropical Research*, 115-129.
- Chang, Ling Fang, Chun Hung Lin, y Ming Daw Su. 2008. "Application of Geographic Weighted Regression to Establish Flood-Damage Functions Reflecting Spatial Variation." *Water SA* 34 (2): 209–16. <https://doi.org/10.4314/wsa.v34i2.183641>
- Dunn, L. "Enhancing Gender Visibility in Disaster Risk Management and Climate Change in the Caribbean Country Assessment Report for The Dominican Republic." Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (2009).
- Kouli, María, Constantinos Loupasakis, Pantelis Soupios y Filippou Vallianatos. "Landslide hazard zonation in high risk areas of Rethymno Prefecture, Crete Island, Greece." *Natural hazards* 52, no. 3 (2010): 599-621
- Elkhrachy, Ismail. 2015. "Flash Flood Hazard Mapping Using Satellite Images and GIS Tools: A Case Study of Najran City, Kingdom of Saudi Arabia (KSA)." *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* 18 (2): 261–78. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2015.06.007>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 2006. «Directrices para la descripción del suelo». Roma.
- Forkuo, Eric. 2011. "Flood Hazard Mapping Using Aster Image Data With GIS."
- Lu, Binbin, Martin Charlton, Paul Harris y A. Stewart Fotheringham. 2014. "Geographically Weighted Regression with a Non-Euclidean Distance Metric: A Case Study Using Hedonic House Price Data." *International Journal of Geographical Information Science* 28 (4): 660–81. <https://doi.org/10.1080/13658816.2013.865739>
- Pradhan, Biswajeet. 2010. "Application Of An Advanced Fuzzy Logic Model For Landslide Susceptibility Analysis". *International Journal Of Computational Intelligence Systems* 3 (3): 370.
- Roopnarine, R., Opadeyi, J., Eudoxie, G., Thongs, G., & Edwards, E. (2018). GIS-based Flood Susceptibility and Risk Mapping Trinidad Using Weight Factor Modeling. *Caribbean Journal of Earth Science*, 49, 1-9.

- Saaty, T.L. 2008. "Decision Making With The Analytic Hierarchy Process.". *International Journal Of Services Sciences* 1 (3).
- Seejata, Kamonchat, Aphittha Yodying, Tubtim Wongthadam, Nattapon Mahavik, y Sarintip Tantane. 2018. "Assessment of Flood Hazard Areas Using Analytical Hierarchy Process over the Lower Yom Basin, Sukhothai Province." *Procedia Engineering* 212: 340–47. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2018.01.044>
- Seneviratne, S., Nicholls, N., Easterling, D., Goodess, C., Kanae, S., Kossin, J., ... & Reichstein, M. (2012). Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment.
- Wright, Daniel. 1994. "Methods in Flood Hazard and Risk Management." *Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento/Banco Mundial* 2:2—4.
- Banco Mundial. 2012. "Disaster Risk Management in Latin America and the Caribbean Region: GFDRR Country Notes."

# APÉNDICE

## Apéndice A1: Resultados de susceptibilidad a inundaciones

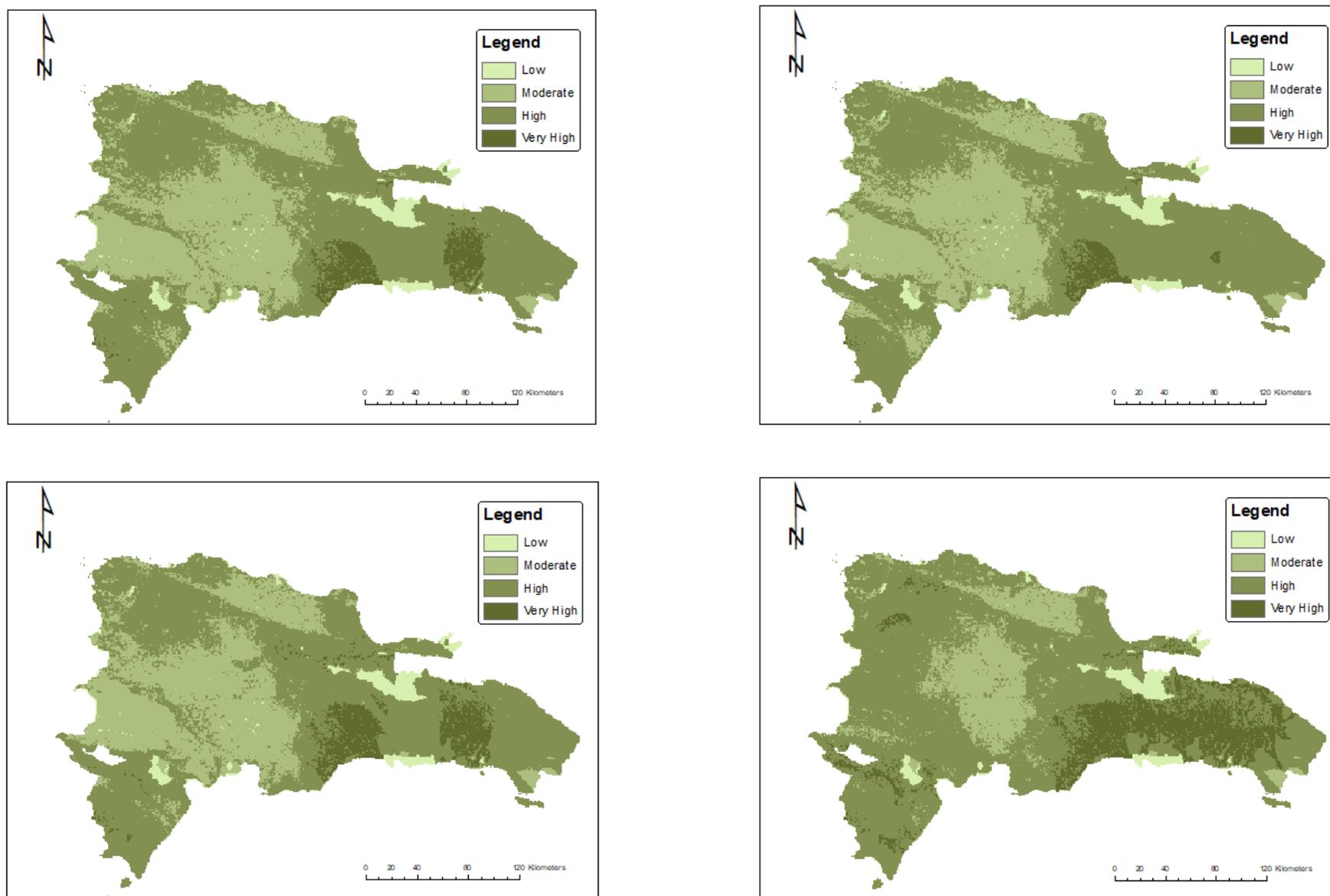


Figura 1: Mapa de susceptibilidad (índices de precipitación extrema RCP, 4.5 década de 2030), República Dominicana: (a) CanESM R95 década de 2030 (panel superior izquierdo) (b) CanESM R99 década de 2030 (panel superior derecho) (c) HadGEM R95 década de 2030 (panel inferior izquierdo) y (d) HadGEM R99 década de 2030 (panel inferior derecho).

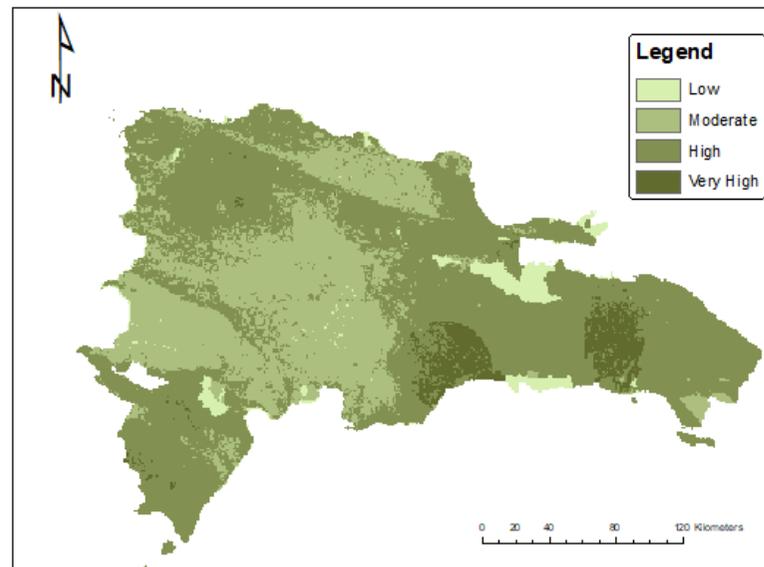
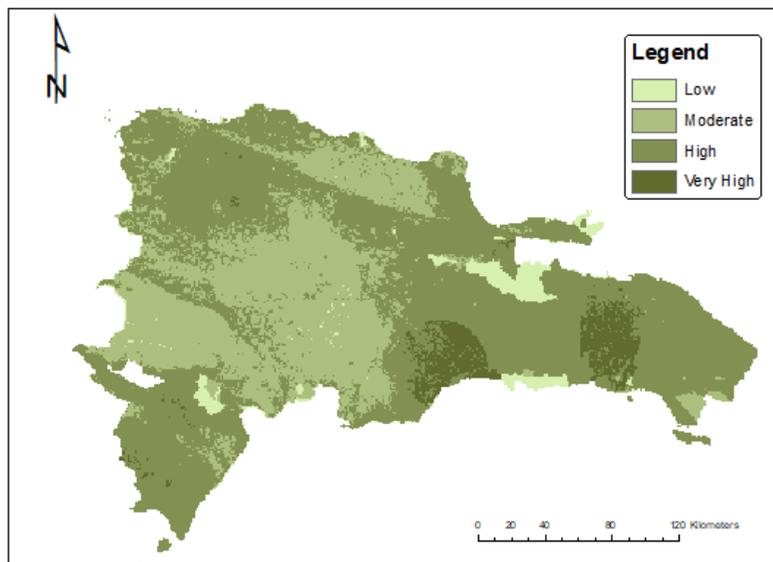
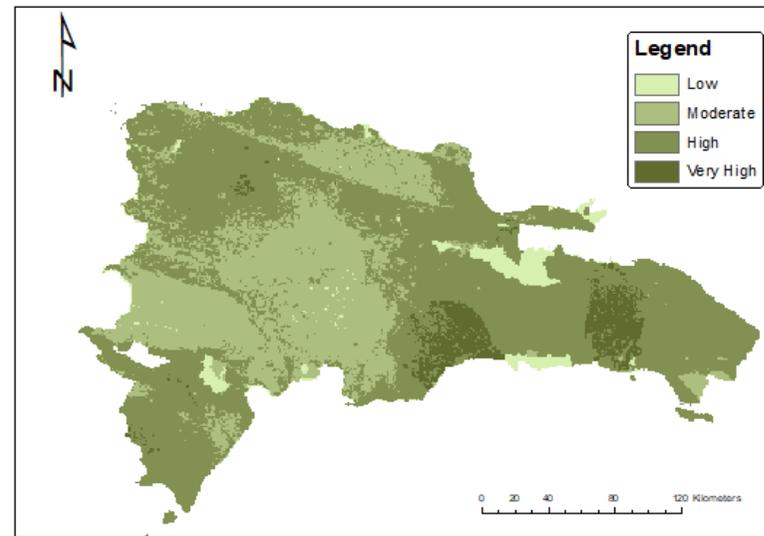
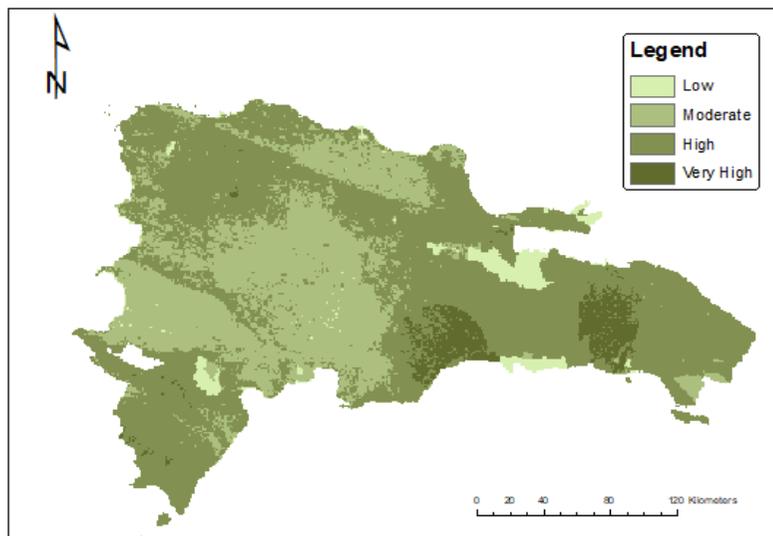


Figura 2: Mapa de susceptibilidad (índices de precipitación extrema RCP, 8.5 década de 2030), República Dominicana: (a) CanESM R95 década de 2030 (panel superior izquierdo) (b) CanESM R99 década de 2030 (panel superior derecho) (c) HadGEM R95 década de 2030 (panel inferior izquierdo) y (d) HadGEM R99 (panel inferior derecho).

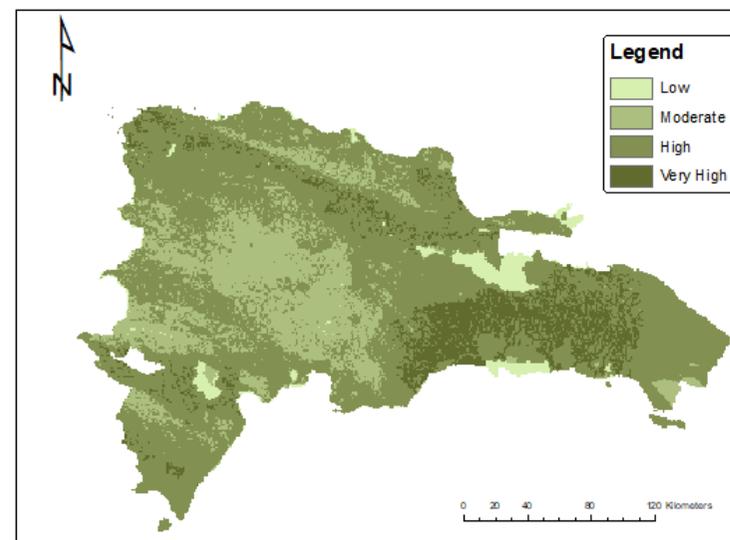
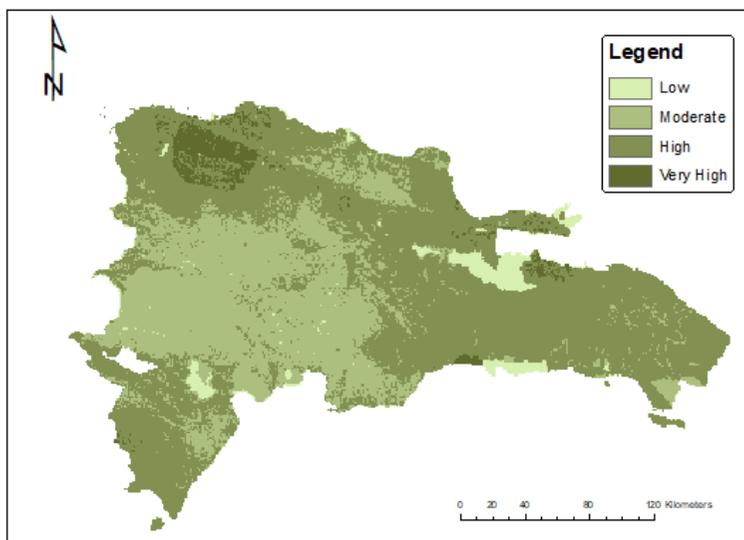
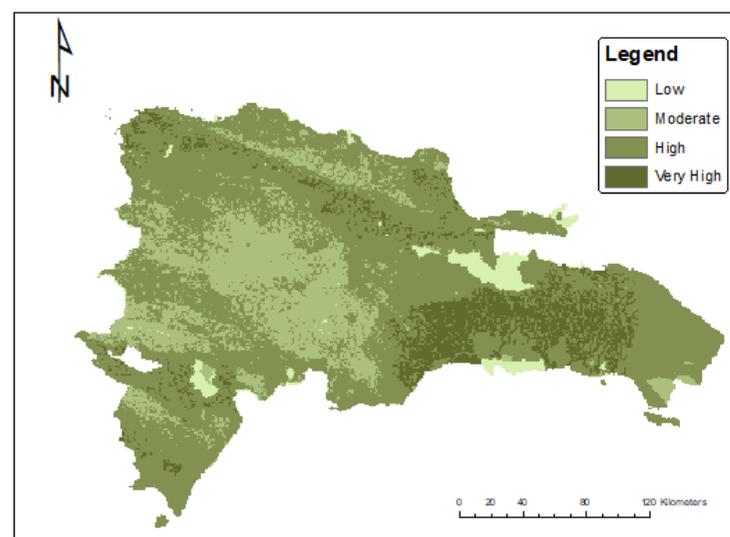
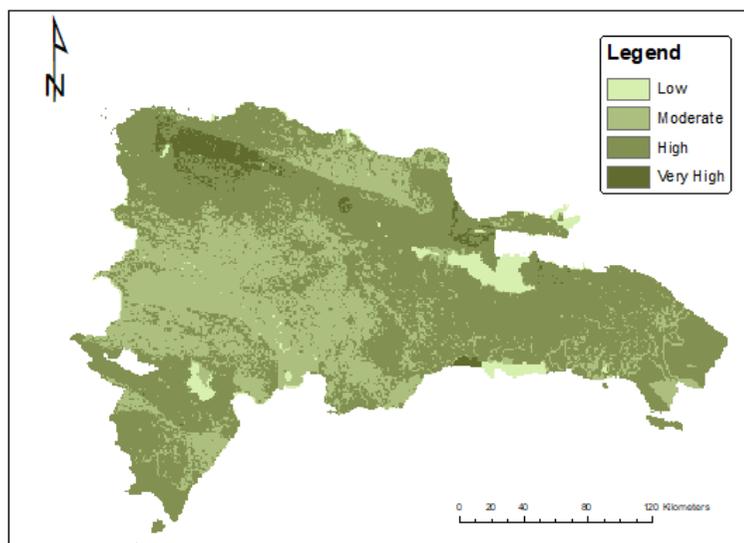


Figura 3: Mapa de susceptibilidad (RCP 4.5 década de 2030), República Dominicana: (a) PDCanESM década de 2030 (panel superior izquierdo) (b) PWCAnESM década de 2030 (panel superior derecho) (c) PDHadGEM década de 2030 (panel inferior izquierdo) y (d) PWHadGEM (panel inferior derecho).

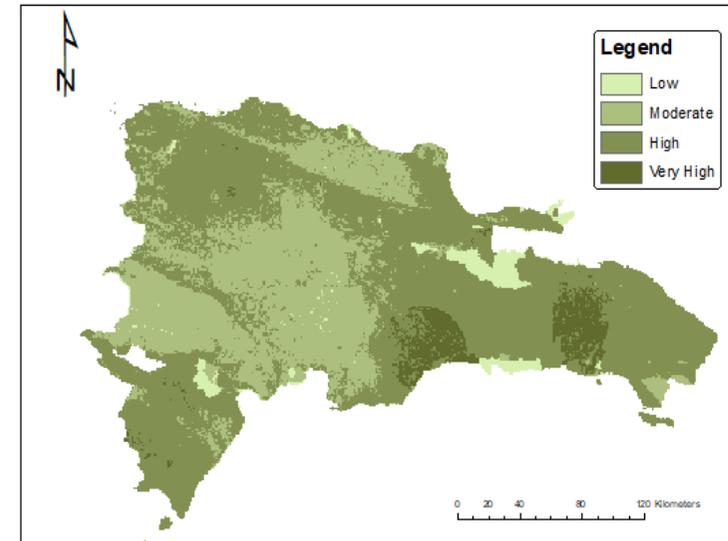
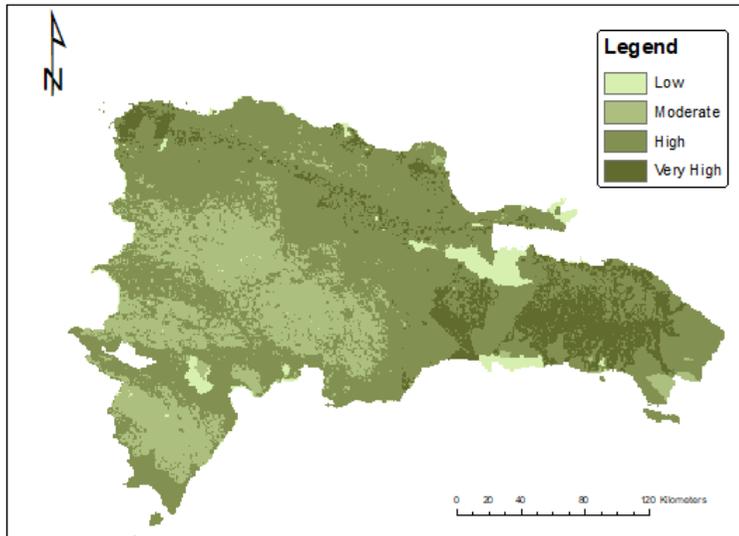
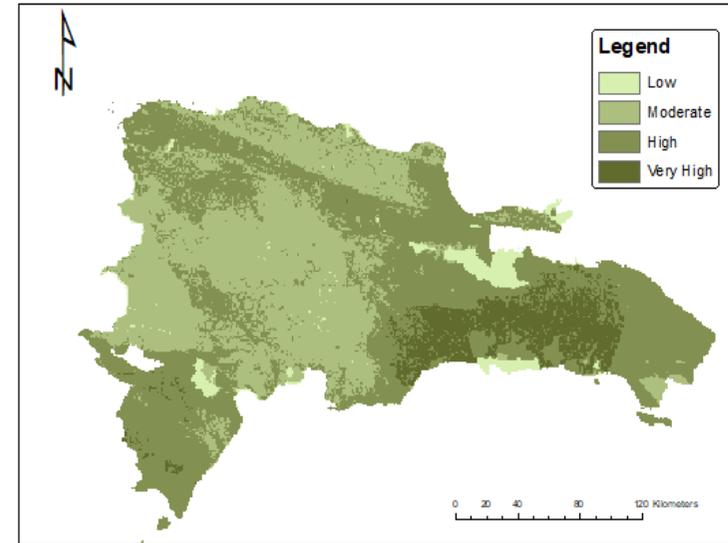
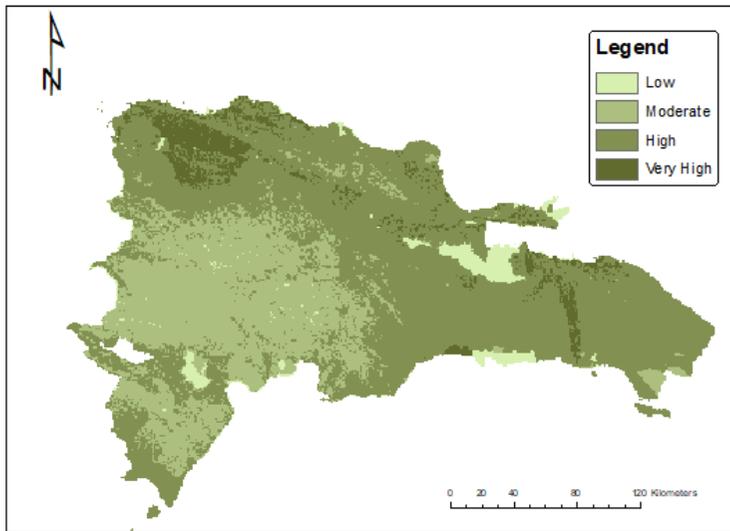


Figura 4: Mapa de susceptibilidad (RCP 8.5 década de 2030), República Dominicana: (a) PDCanESM 2030 (panel superior izquierdo) (b) PWCanESM 2030 (panel superior derecho) (c) PDHadGEM 2030 (panel inferior izquierdo) y (d) PWHadGEM 2030 (panel inferior derecho).

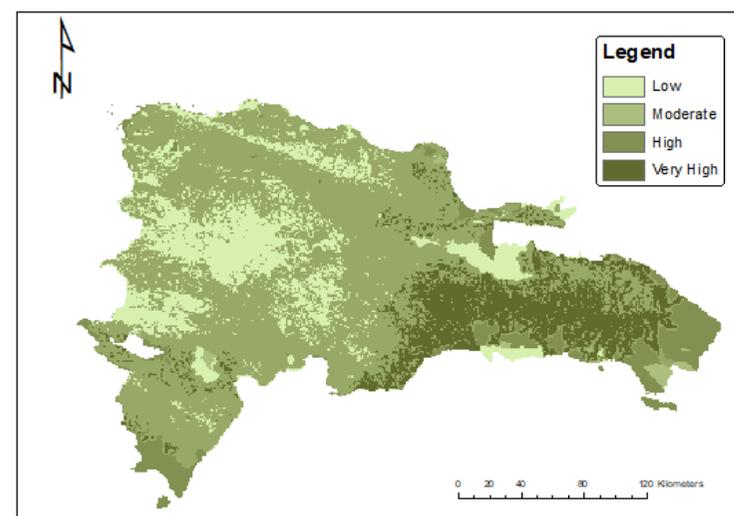
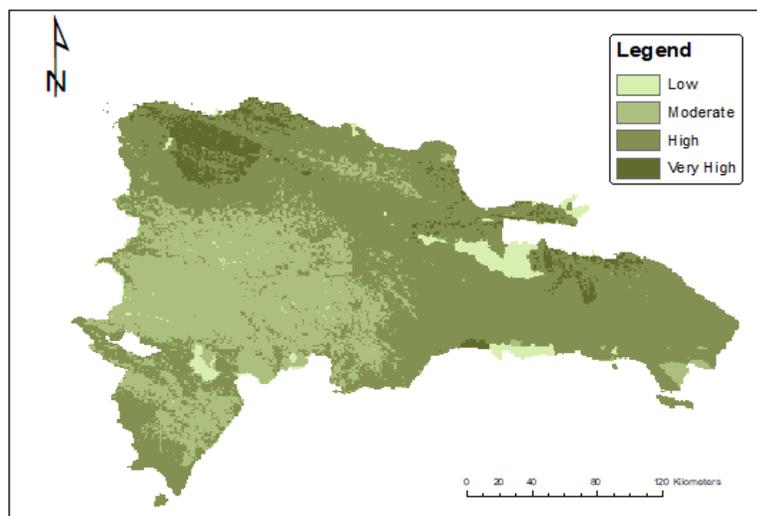
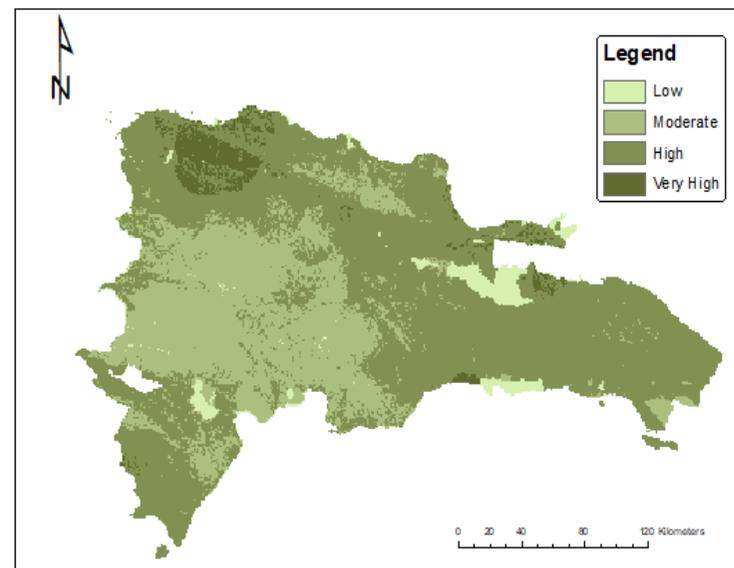
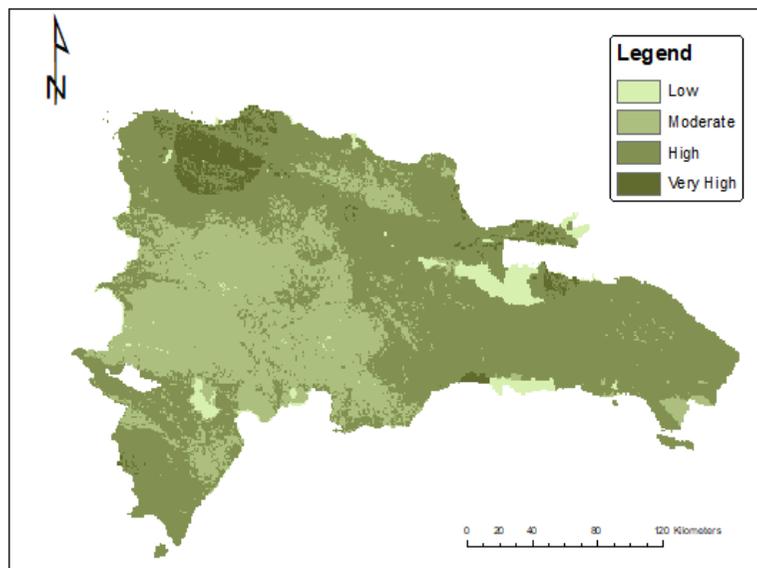


Figura 5: Mapa de susceptibilidad (RCP 4.5 década de 2050), República Dominicana: (a) PDCanESM década de 2050 (panel superior izquierdo) (b) PWCanESM década de 2050 (panel superior derecho) (c) PDHadGEM década de 2050 (panel inferior izquierdo) y (d) PWHadGEM década de 2050 (panel inferior derecho).

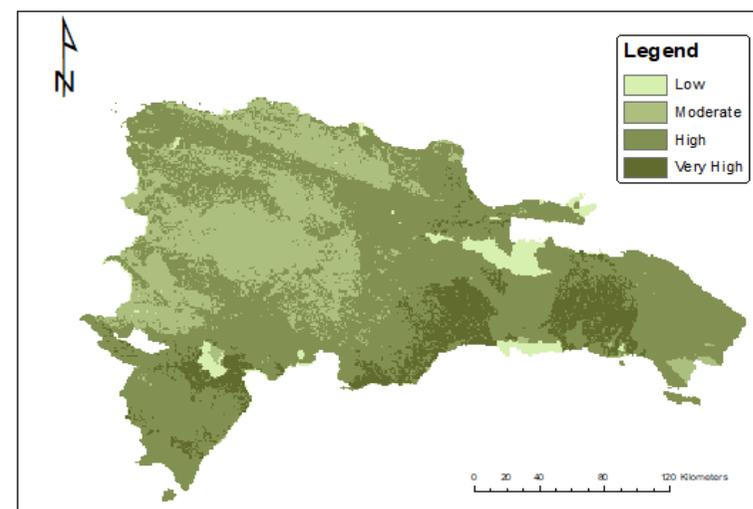
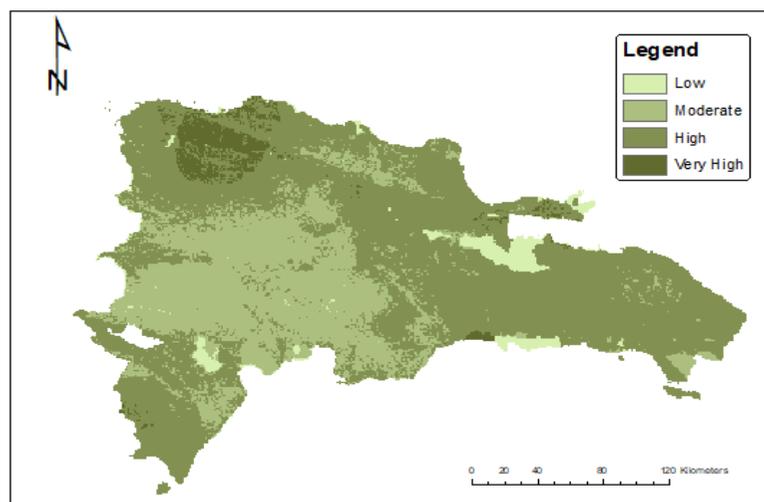
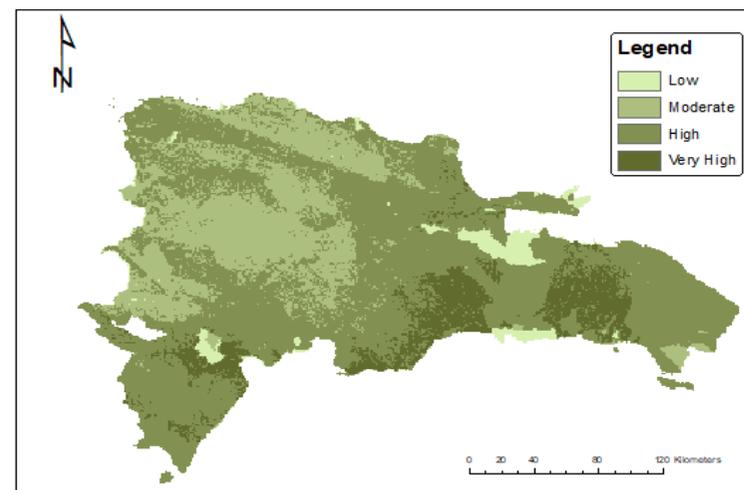
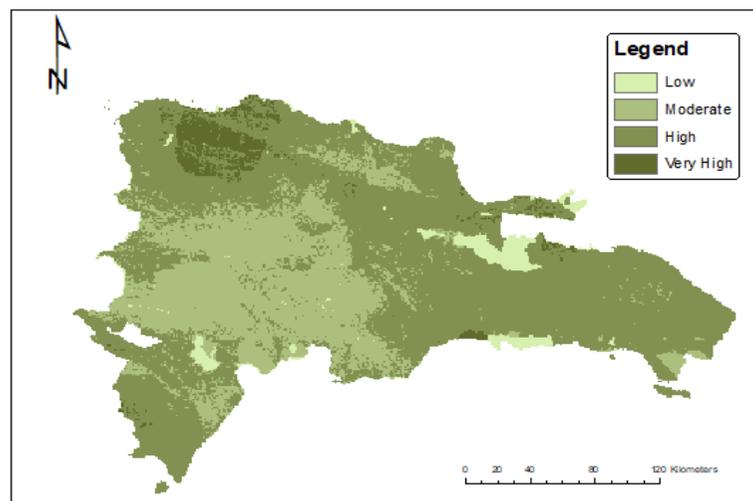


Figura 6: Mapa de susceptibilidad (RCP 8.5 década de 2050), República Dominicana: (a) PDCanESM década de 2050 (panel superior izquierdo) (b) PWCanESM década de 2050 (panel superior derecho) (c) PDHadGEM década de 2050 (panel inferior izquierdo) y (d) PWHadGEM década de 2050 (panel inferior derecho).

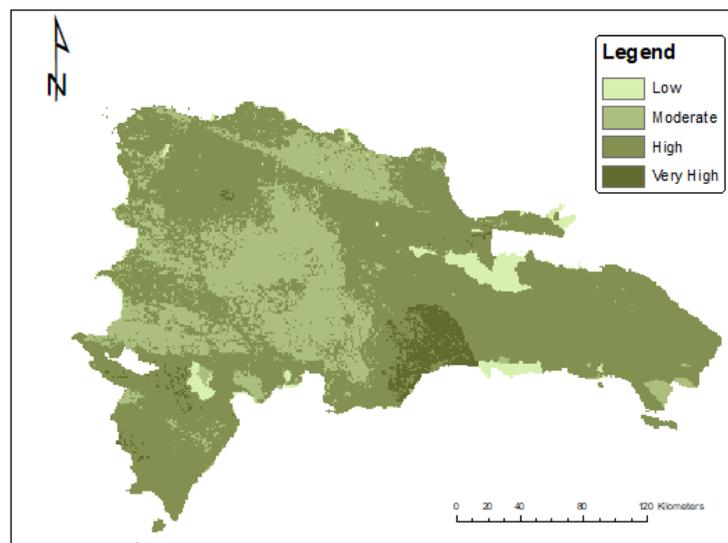
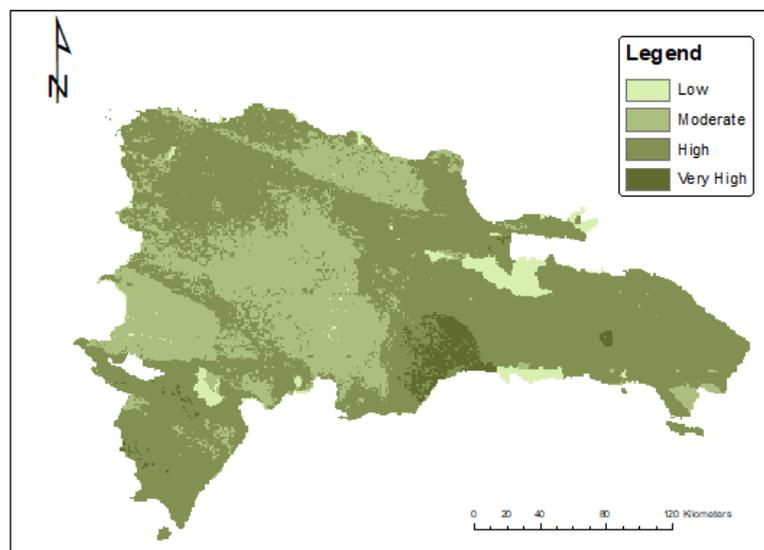
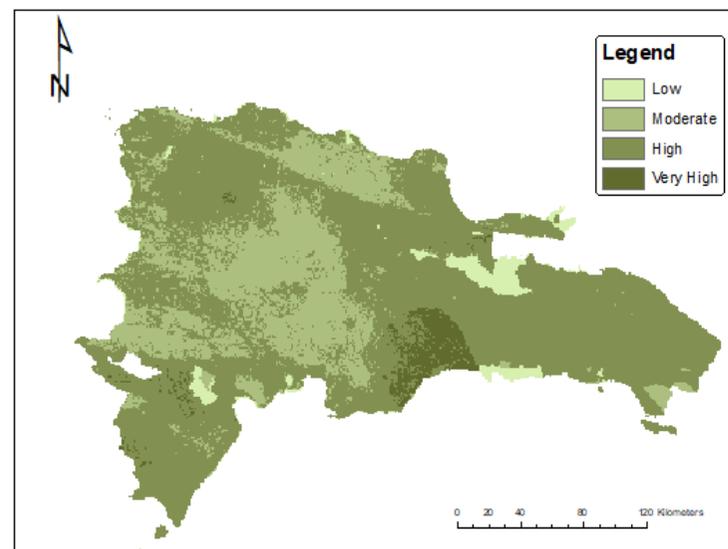
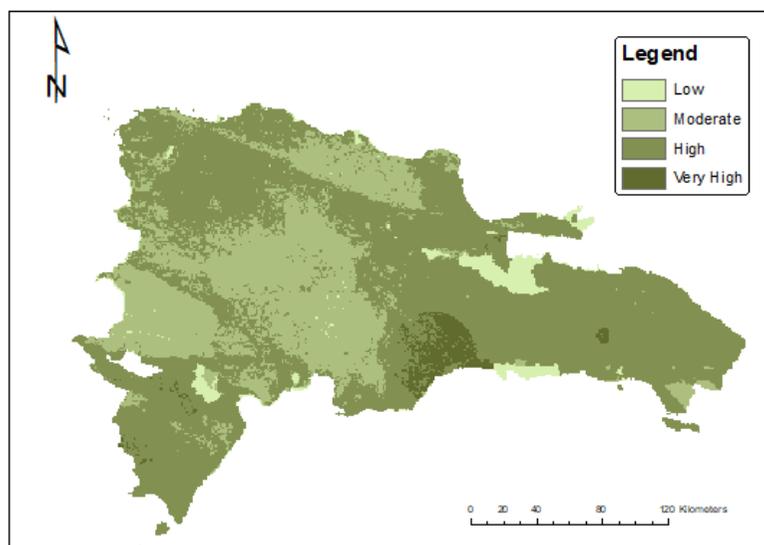


Figura 7: Mapa de susceptibilidad (índices de precipitación extrema RCP, 4.5 década de 2070), República Dominicana: (a) CanESM R95 década de 2070 (panel superior izquierdo) (b) CanESM R99 década de 2070 (panel superior derecho) (c) HadGEM R95 década de 2070 (panel inferior izquierdo) y (d) HadGEM R99 década de 2070 (panel inferior derecho).

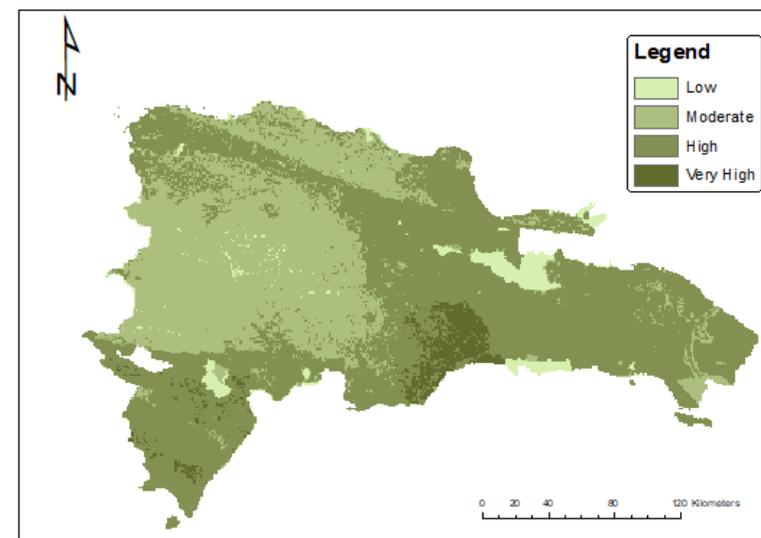
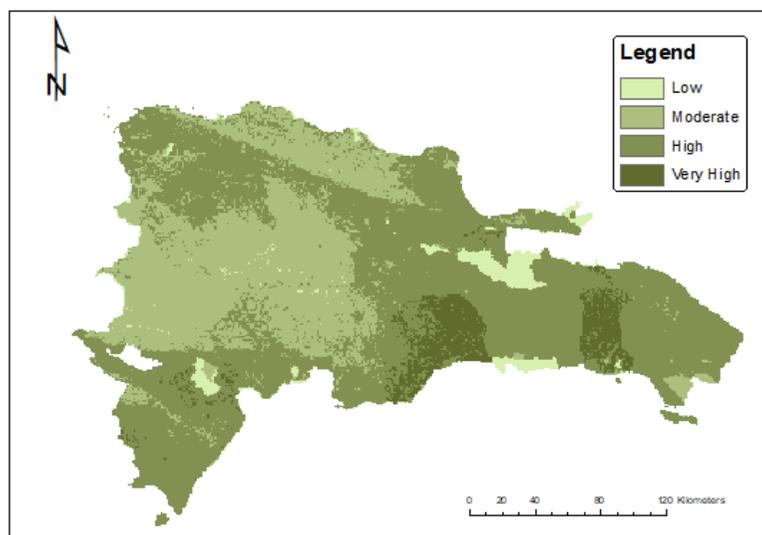
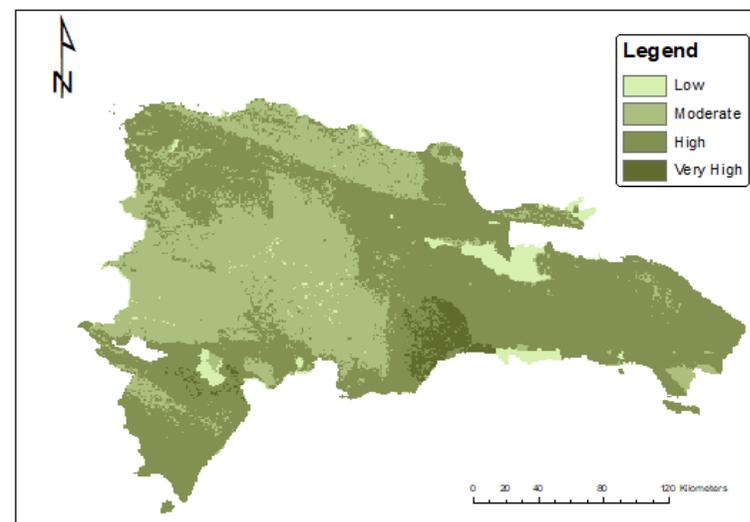
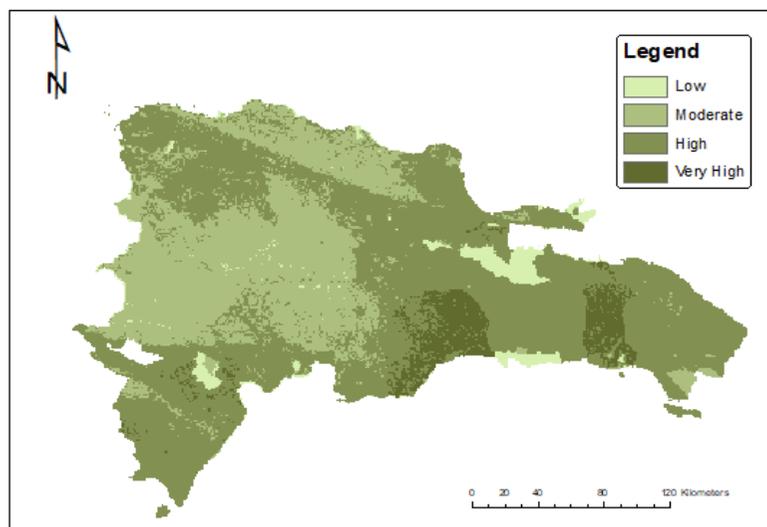


Figura 8: Mapa de susceptibilidad (índices de precipitación extrema RCP, 8.5 década de 2070), República Dominicana: (a) CanESM R95 década de 2070 (panel superior izquierdo) (b) CanESM R99 década de 2070 (panel superior derecho) (c) HadGEM R95 década de 2070 (panel inferior izquierdo) y (d) HadGEM R99 década de 2070 (panel inferior derecho).

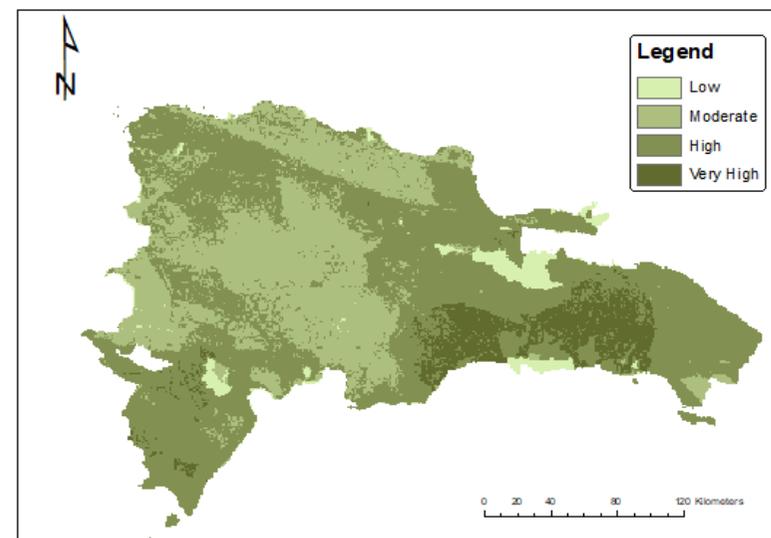
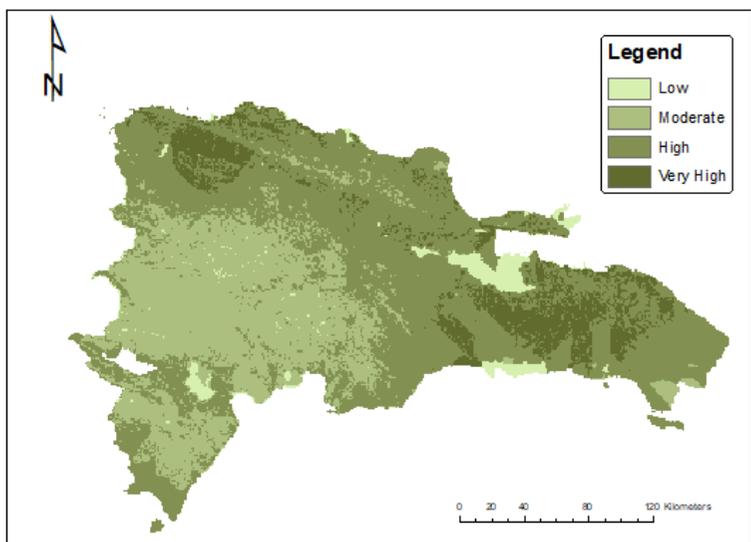
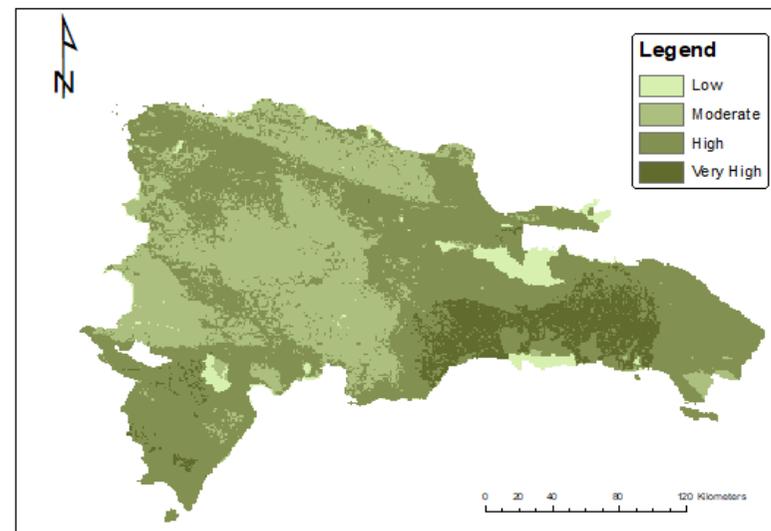
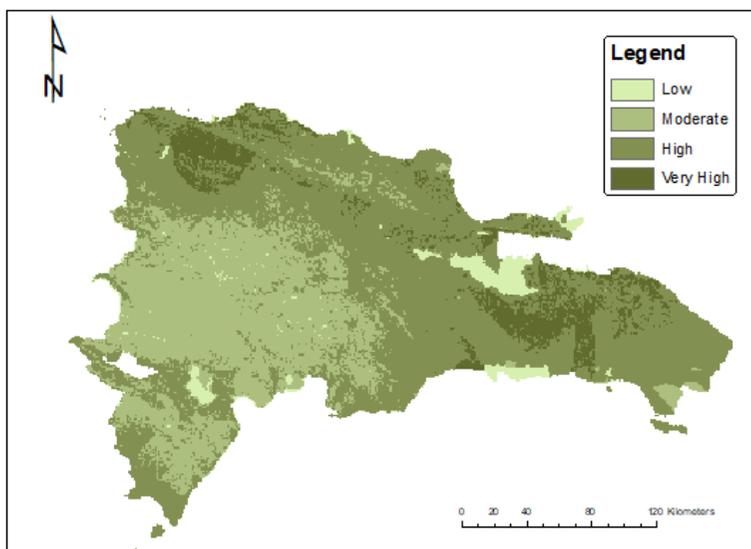


Figura 9: Mapa de susceptibilidad (RCP 4.5 década de 2070), República Dominicana: (a) PDCanESM década de 2070 (panel superior izquierdo) (b) PWCanESM década de 2070 (panel superior derecho) (c) PDHadGEM década de 2070 (panel inferior izquierdo) y (d) PWHadGEM década de 2070 (panel inferior derecho).

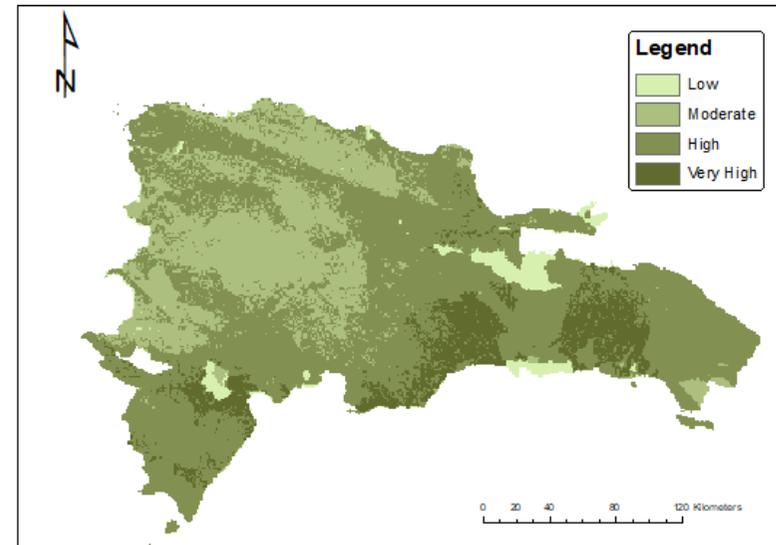
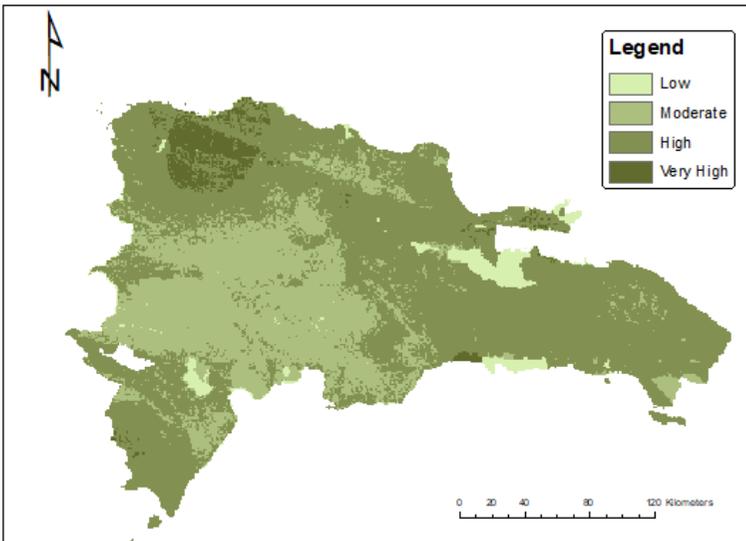
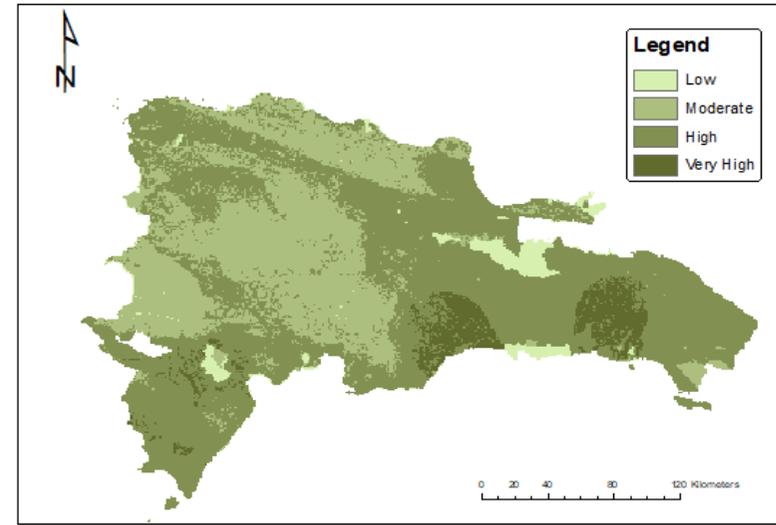
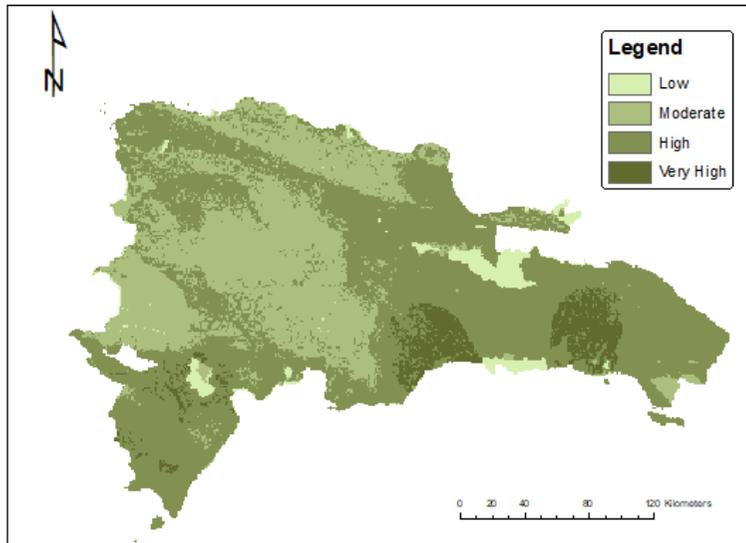


Figura 10: Mapa de susceptibilidad (RCP 8.5 década de 2070), República Dominicana: (a) PDCanESM década de 2070 (panel superior izquierdo) (b) PWCanESM década de 2070 (panel superior derecho) (c) PDHadGEM década de 2070 (panel inferior izquierdo) y (d) PWHadGEM década de 2070 (panel inferior derecho).

## Apéndice A2: Resultados de riesgo de inundación

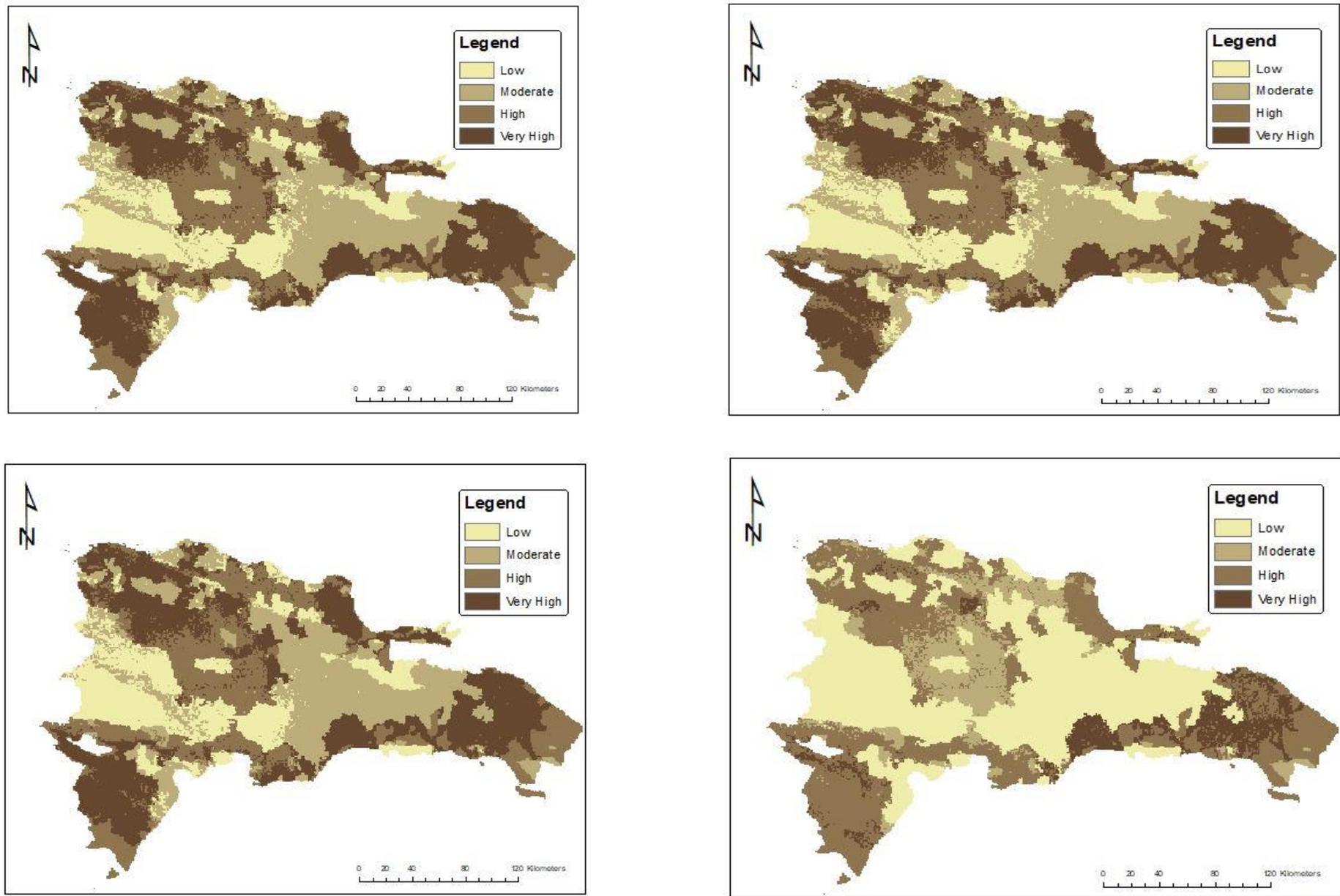


Figura 11: Mapa de riesgo (índices de precipitación extrema 4.5, década de 2030), República Dominicana: (a) CanESM R95 década de 2030 (panel superior izquierdo) (b) CanESM R99 década de 2030 (panel superior derecho) (c) HadGEM R95 década de 2030 (panel inferior izquierdo) y (d) HadGEM R99 (panel inferior derecho).

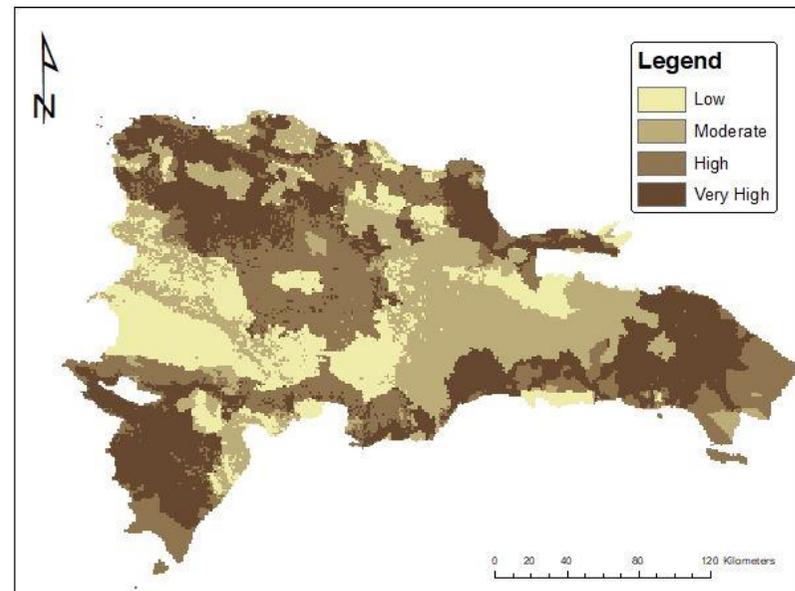
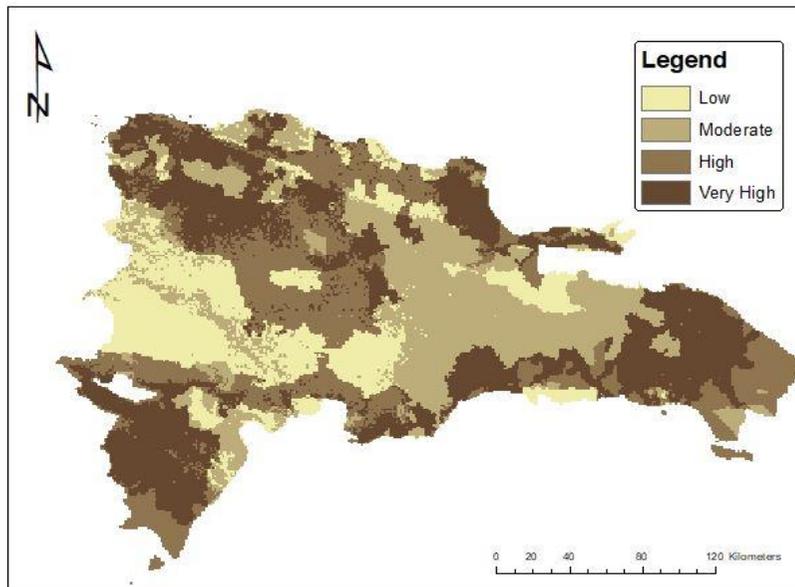
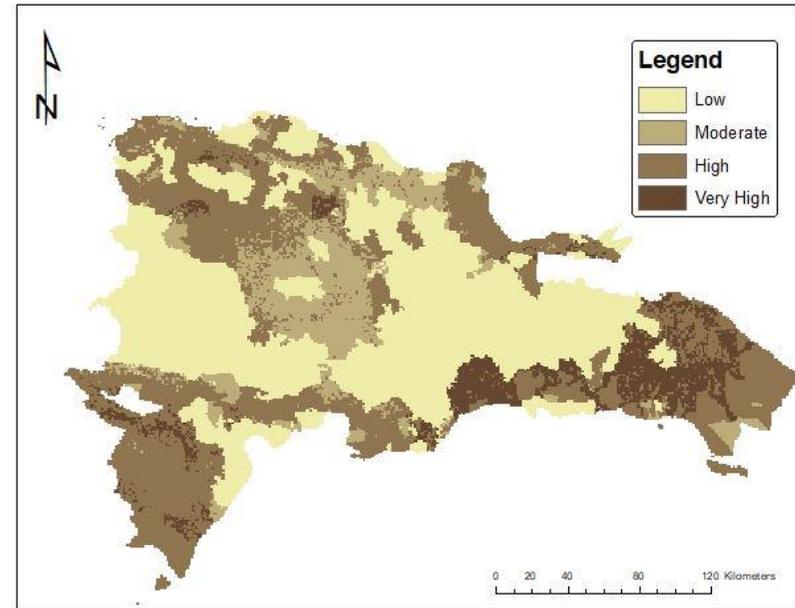
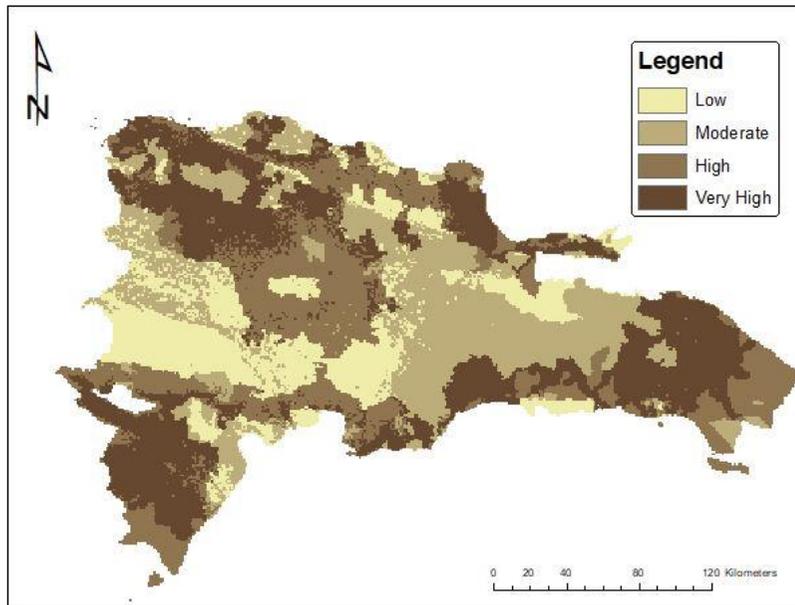


Figura 12: Mapa de riesgo (índices de precipitación extrema RCP, 4.5 década de 2030), República Dominicana: (a) Mapa de riesgo de CanESM R95 década de 2030 (panel superior izquierdo) (b) CanESM R99 década de 2030 (panel superior derecho) (c) HadGEM R95 década de 2030 (panel inferior izquierdo) y (d) HadGEM R99 década de 2030 (panel inferior derecho).

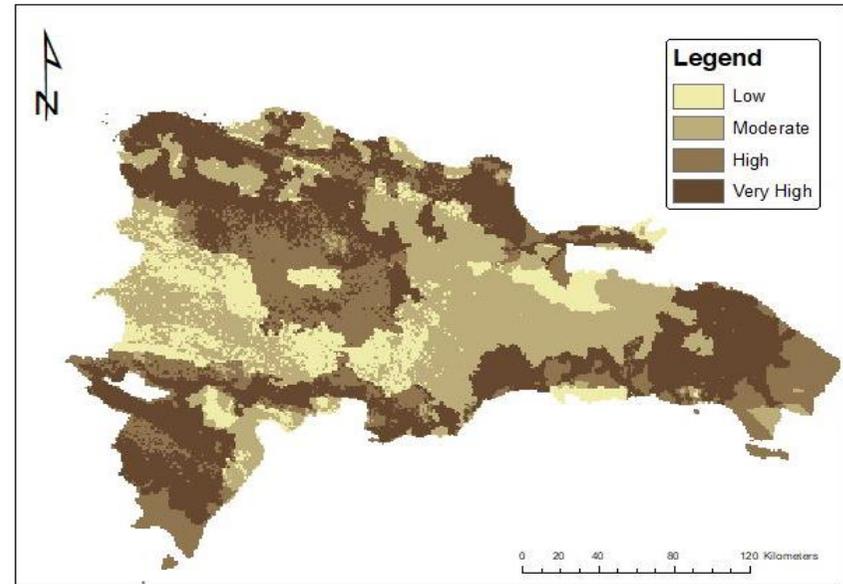
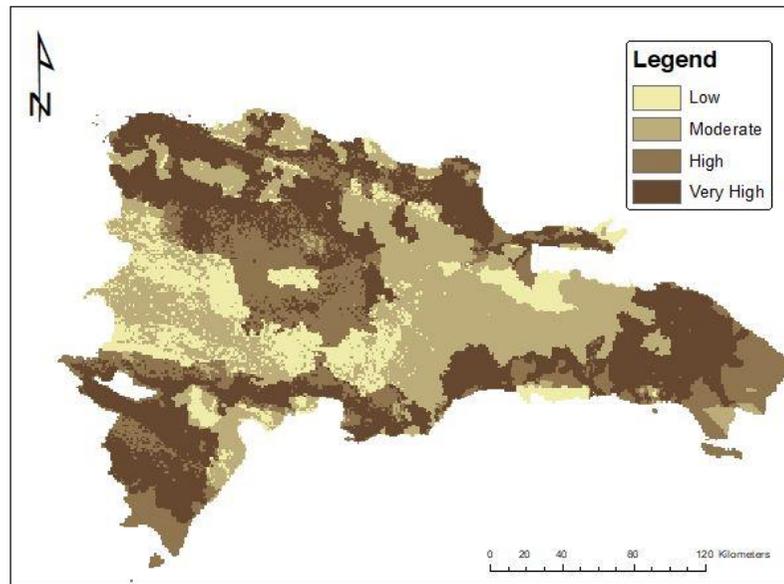
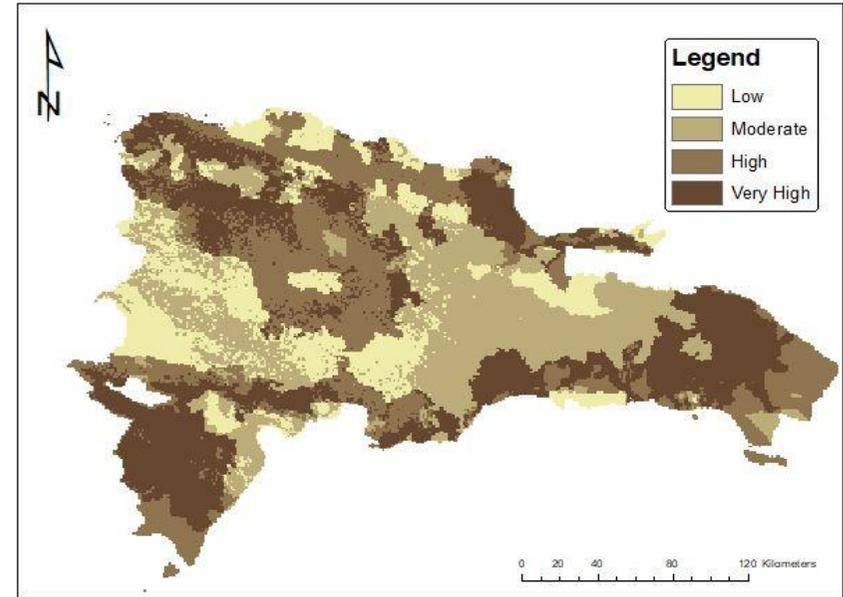
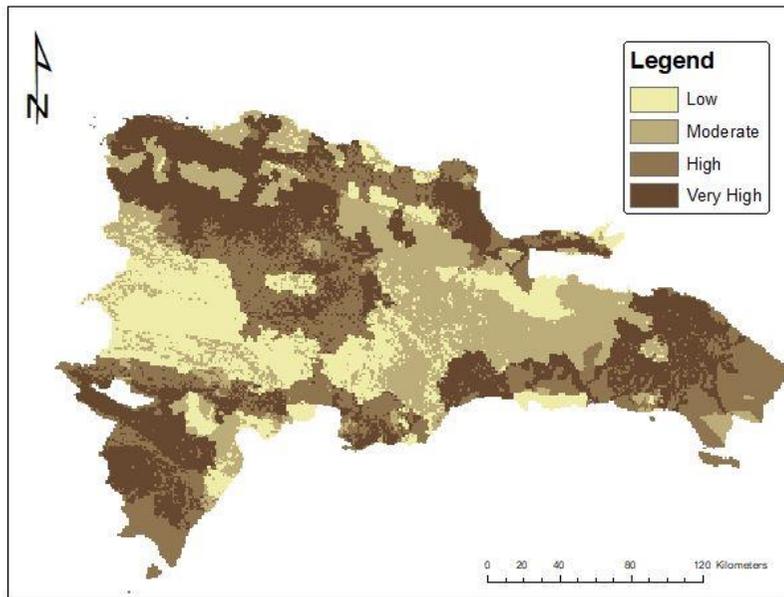


Figura 13: Mapa de riesgo (RCP 4.5 década de 2030), República Dominicana: (a) PDCanESM década de 2030 (panel superior izquierdo) (b) PWCanESM década de 2030 (panel superior derecho) (c) PDHadGEM década de 2030 (panel inferior izquierdo) y (d) PWHadGEM década de 2030 (panel inferior derecho).

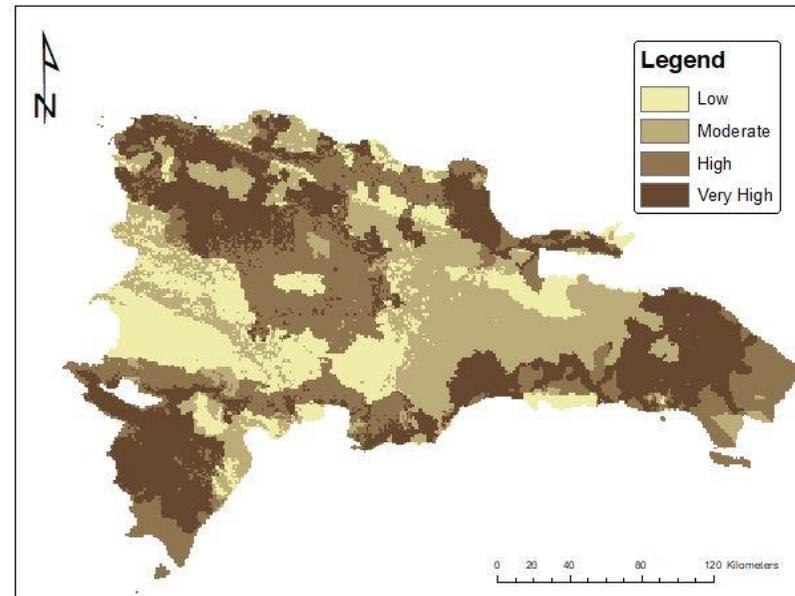
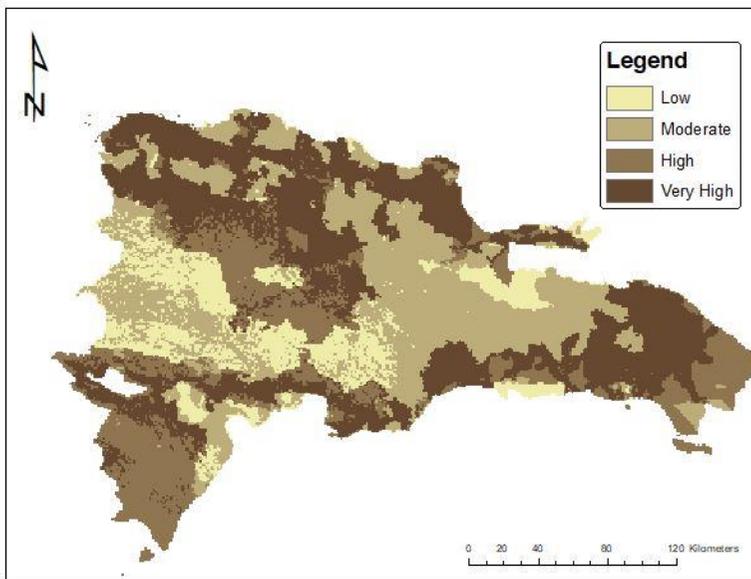
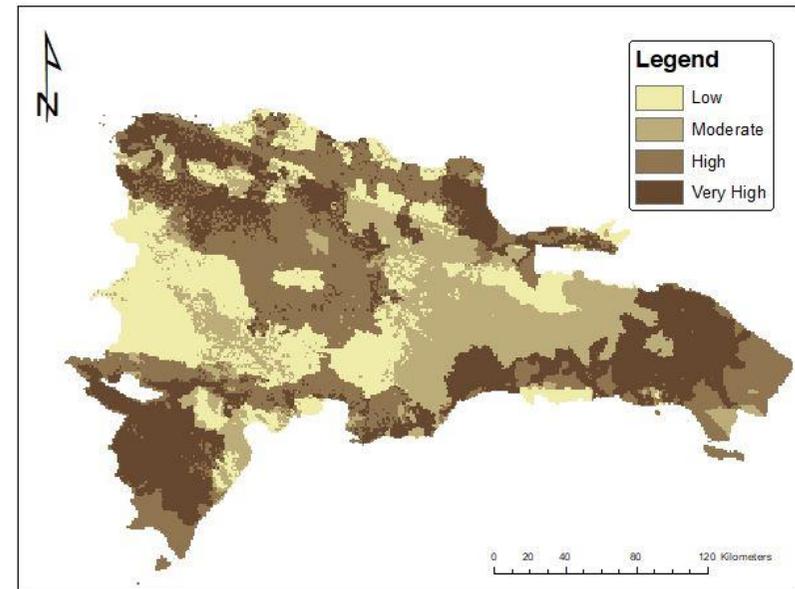
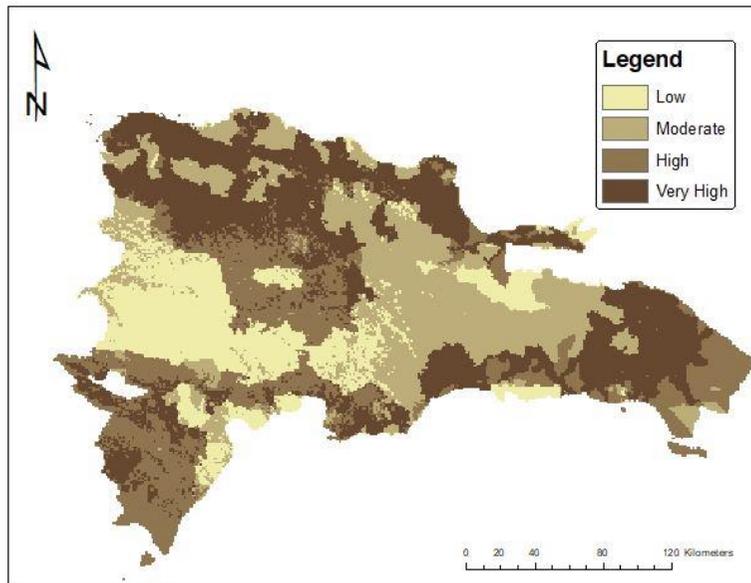


Figura 14: Mapa de riesgo (RCP 8.5 década de 2030), República Dominicana: (a) PDCanESM 2030 (panel superior izquierdo) (b) PWCANESM 2030 (panel superior derecho) (c) PDHadGEM 2030 (panel inferior izquierdo) y (d) PWHadGEM 2030 (panel inferior derecho).

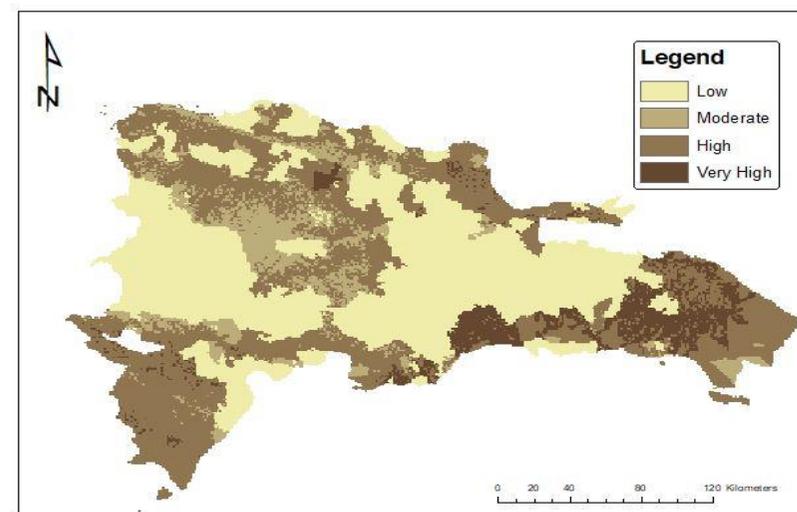
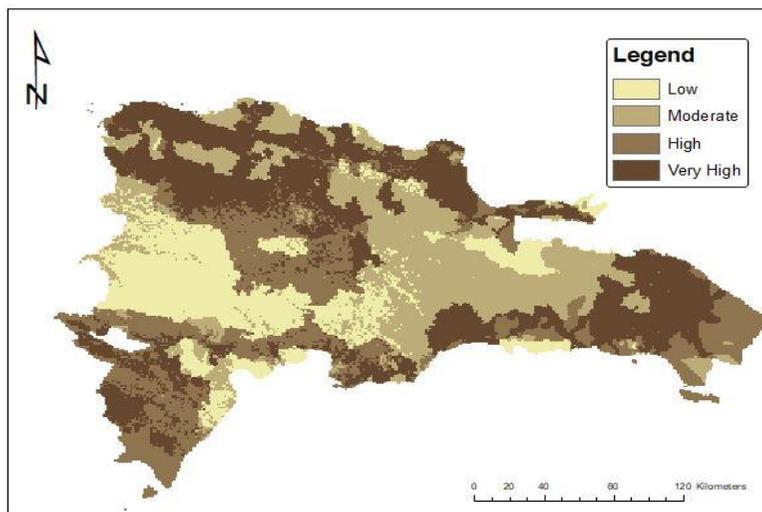
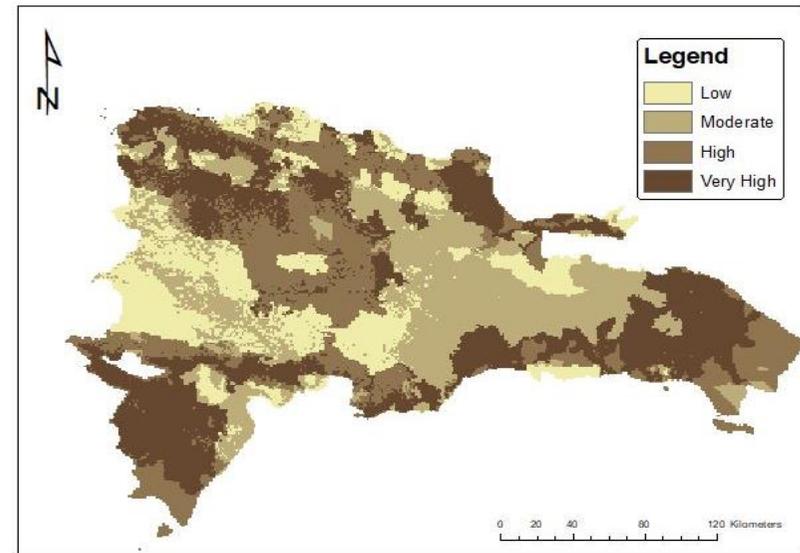
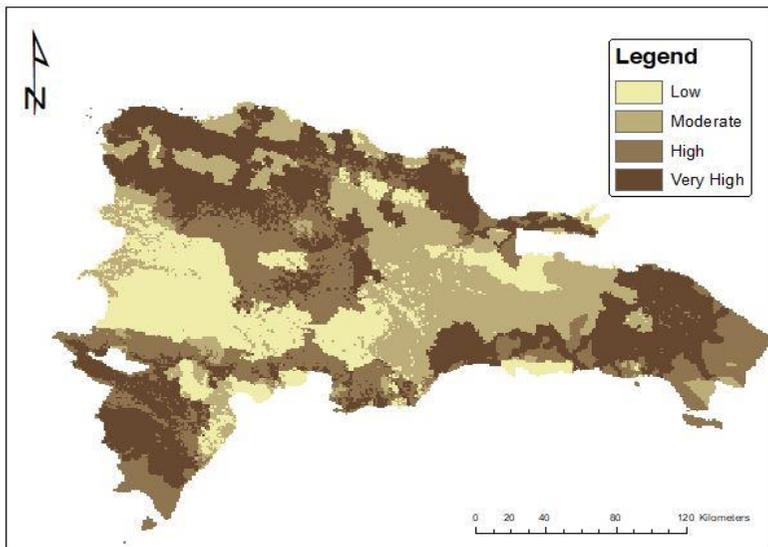


Figura 15: Mapa de riesgo (RCP 4.5 década de 2050), República Dominicana: (a) PDCanESM década de 2050 (panel superior izquierdo) (b) PWCAnESM década de 2050 (panel superior derecho) (c) PDHadGEM década de 2050 (panel inferior izquierdo) y (d) PWHadGEM década de 2050 (panel inferior derecho). 51

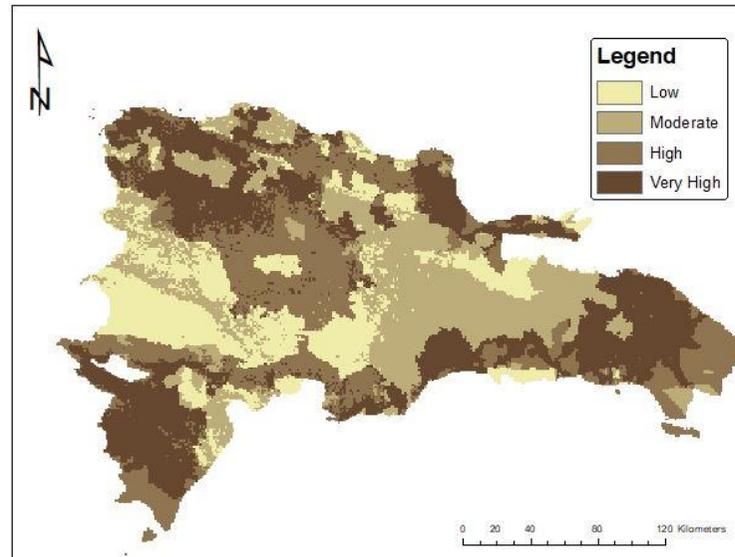
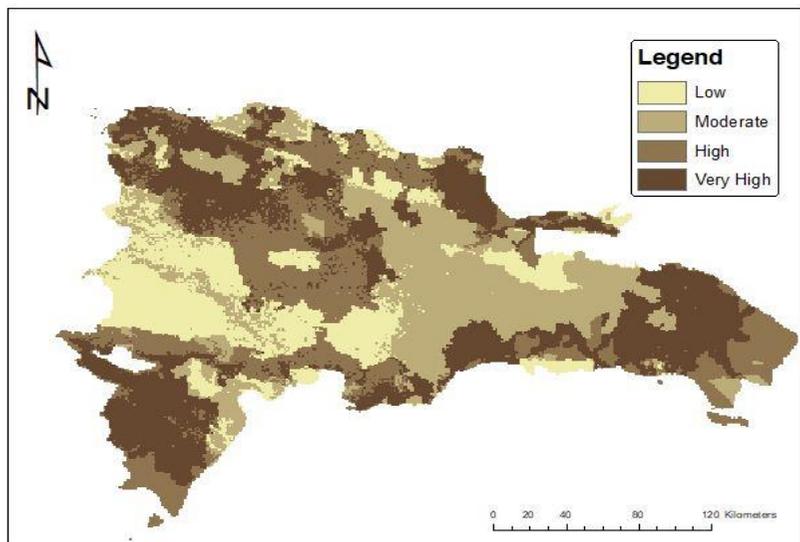
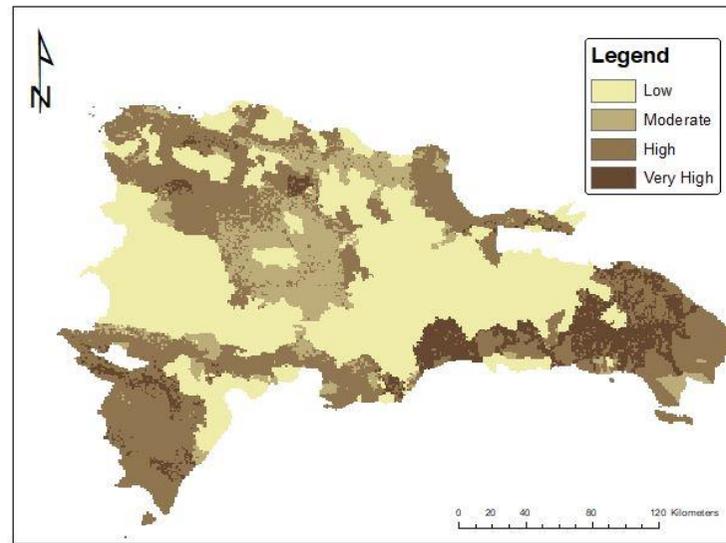
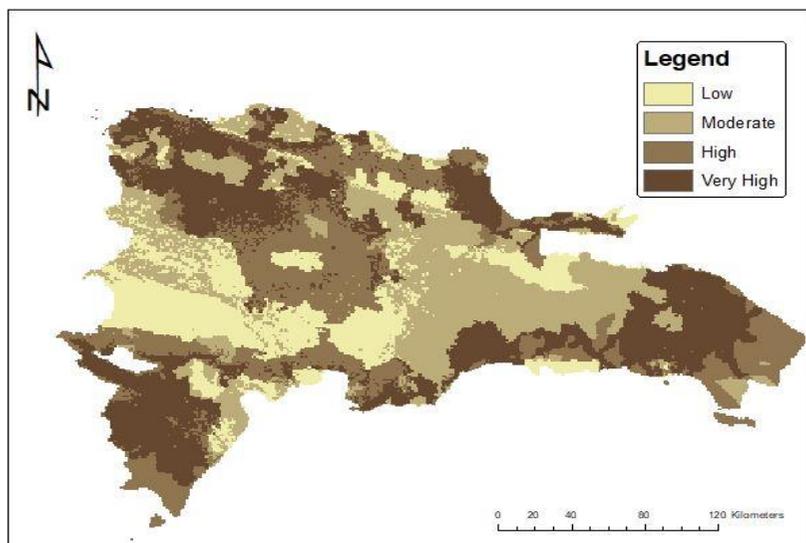


Figura 16: Mapa de riesgo (RCP 8.5 2050), República Dominicana: (a) PDCanESM 2050 (panel superior izquierdo) (b) PWCanESM 2050 (panel superior derecho) (c) PDHadGEM 2050 (panel inferior izquierdo) y (d) PWHadGEM (panel inferior derecho).

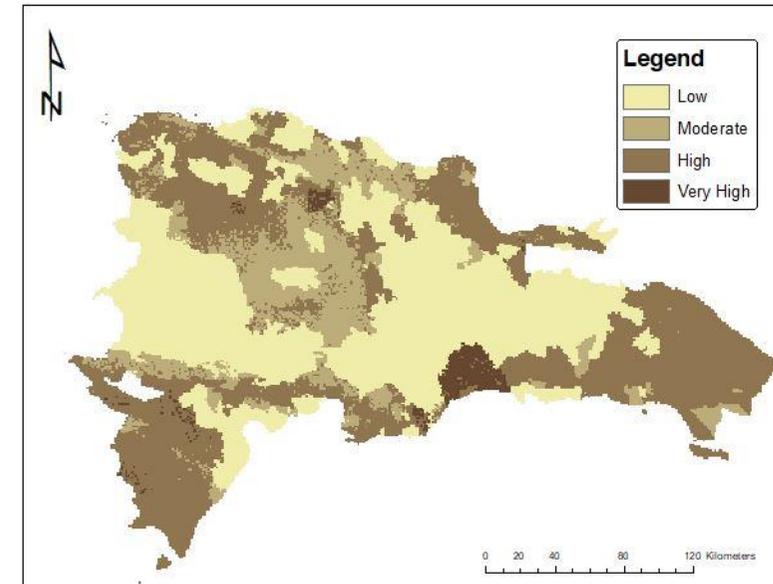
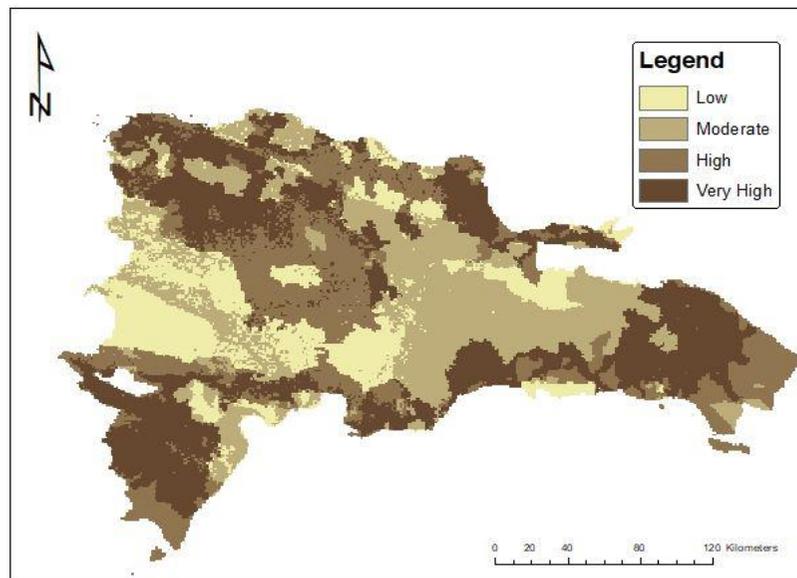
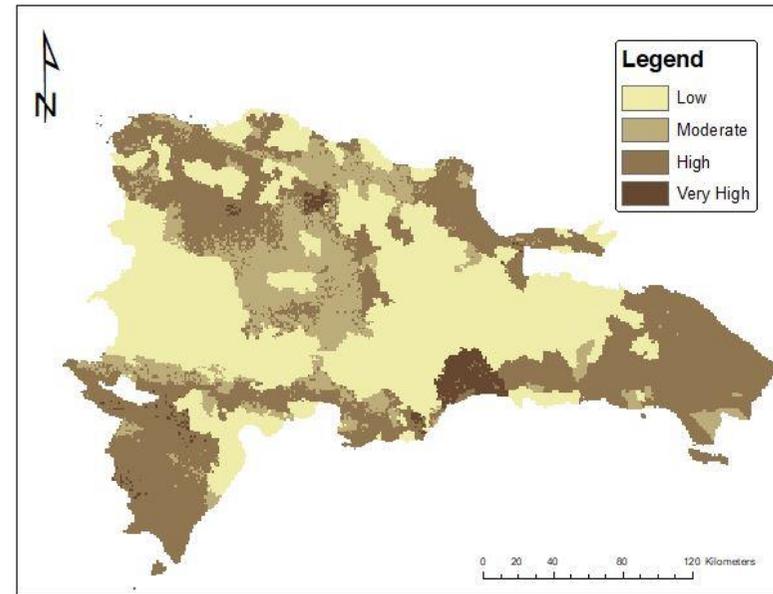
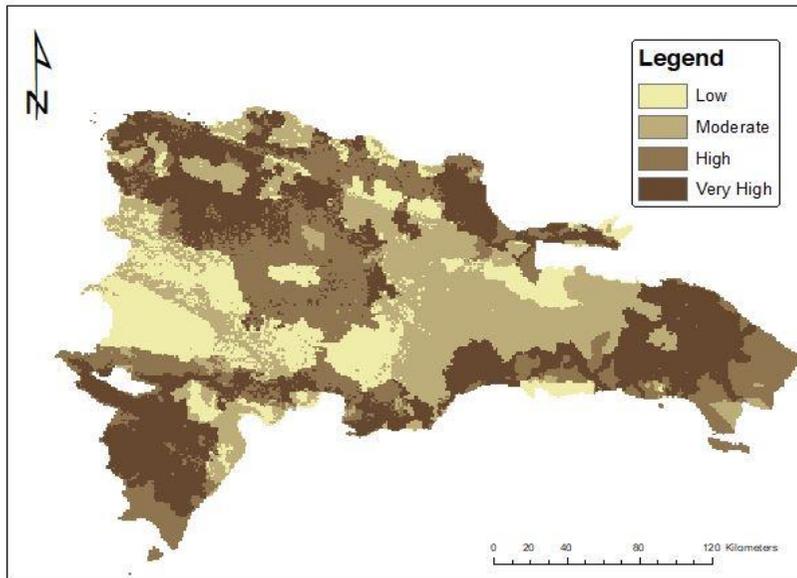


Figura 17: Mapa de riesgo (Precipitación extrema RCP 4.5 2070), República Dominicana: (a) CanESM R95 2070 (panel superior izquierdo) (b) CanESM R99 2070 (panel superior derecho) (c) HadGEM R95 2070 (panel inferior izquierdo) y (d) HadGEM R99 (panel inferior derecho).

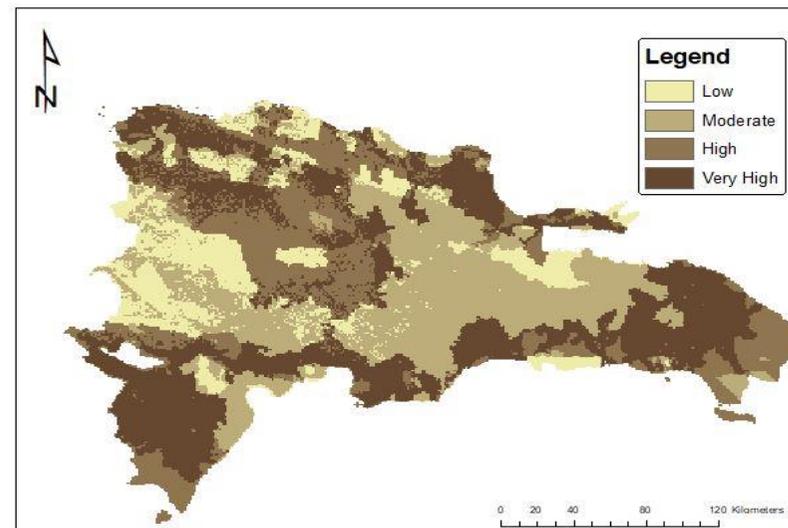
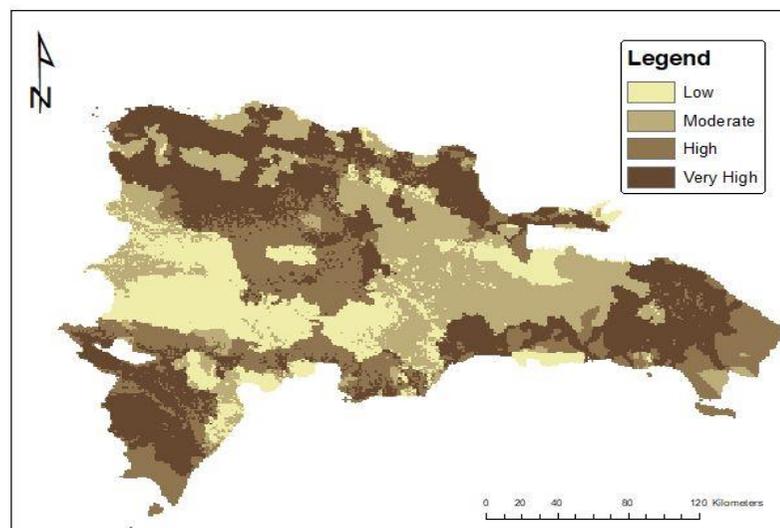
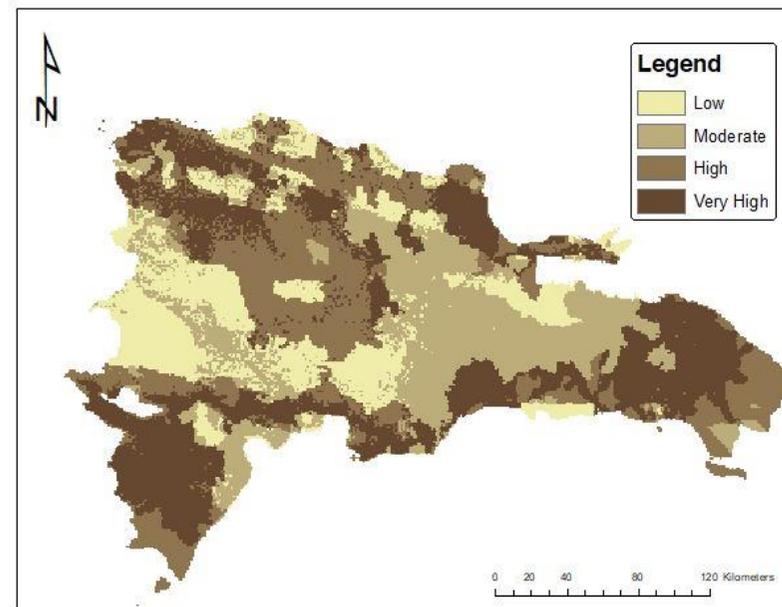
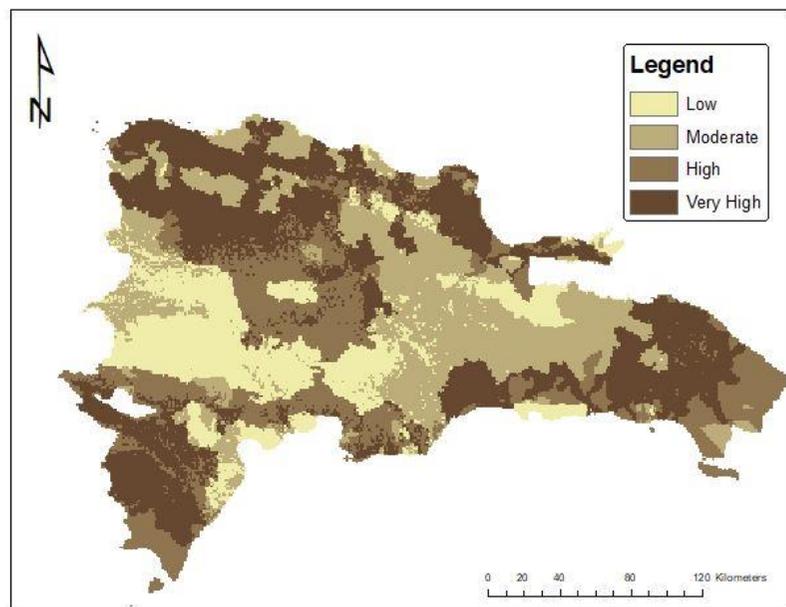


Figura 18: Mapa de riesgo (Precipitación extrema RCP 8.5 2070), República Dominicana: (a) CanESM R95 2070 (panel superior izquierdo) (b) CanESM R99 2070 (panel superior derecho) (c) HadGEM R95 2070 (panel inferior izquierdo) y (d) HadGEM R99 (panel inferior derecho).

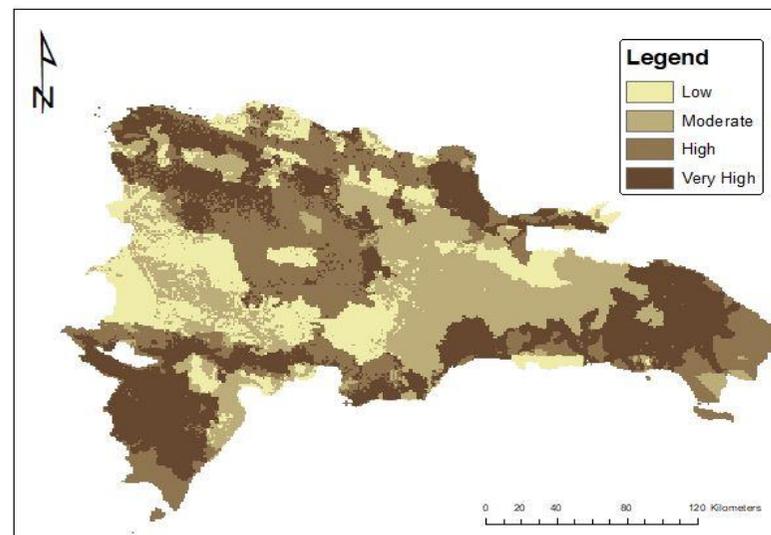
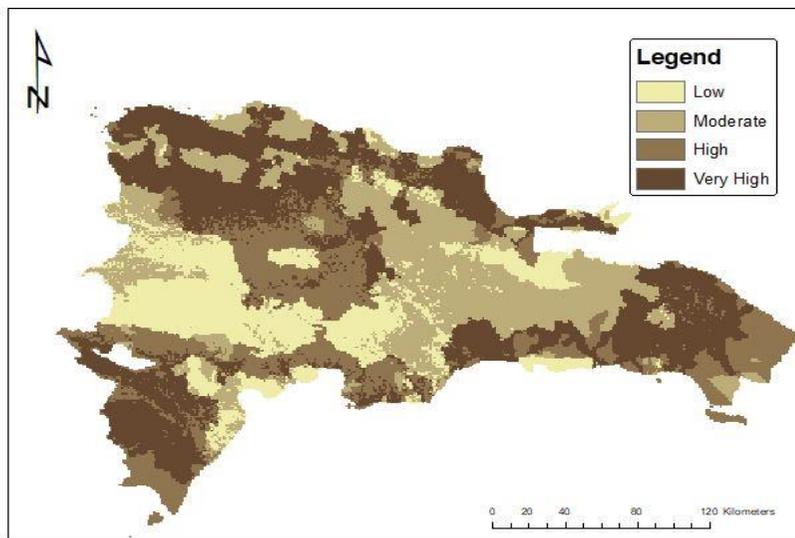
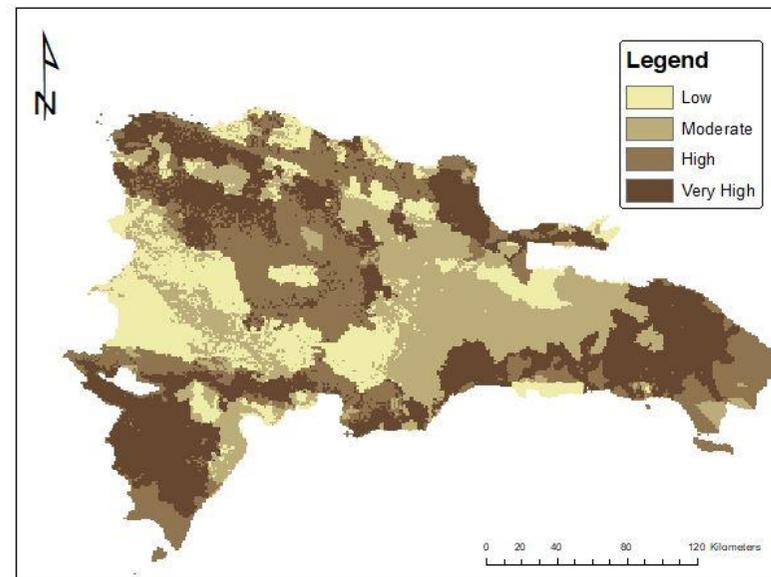
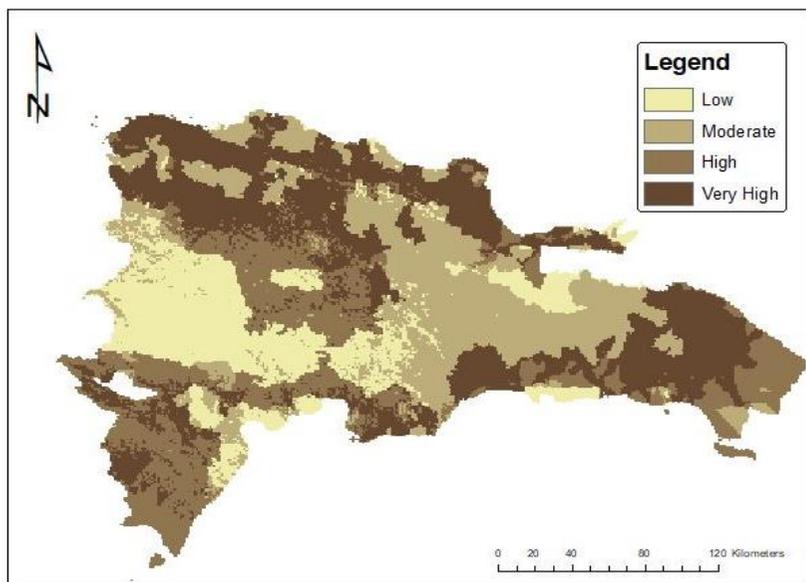


Figura 19: Mapa de riesgo (RCP 4.5 2070), la República Dominicana: (a) PDCanESM 2070 (panel superior izquierdo) (b) PWCAnESM 2070 (panel superior derecho) (c) PDHadGEM 2070 (panel inferior izquierdo) y (d) PWHadGEM (panel inferior derecho).

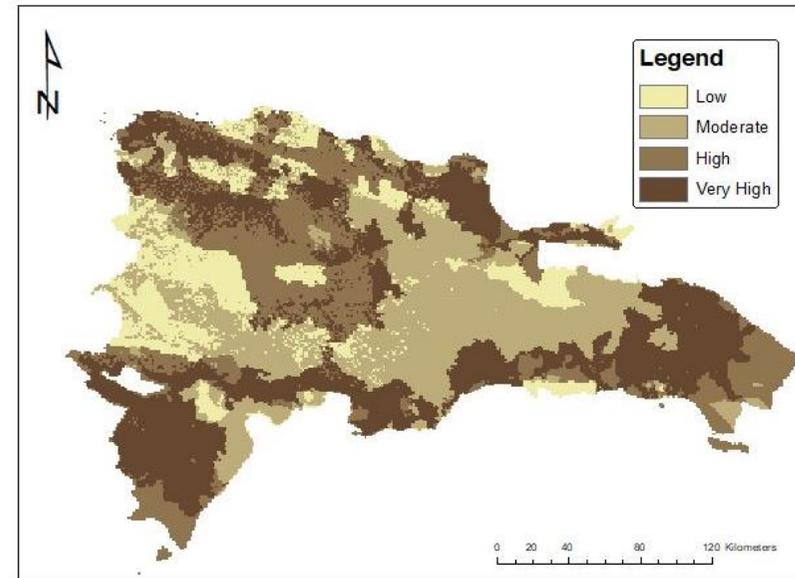
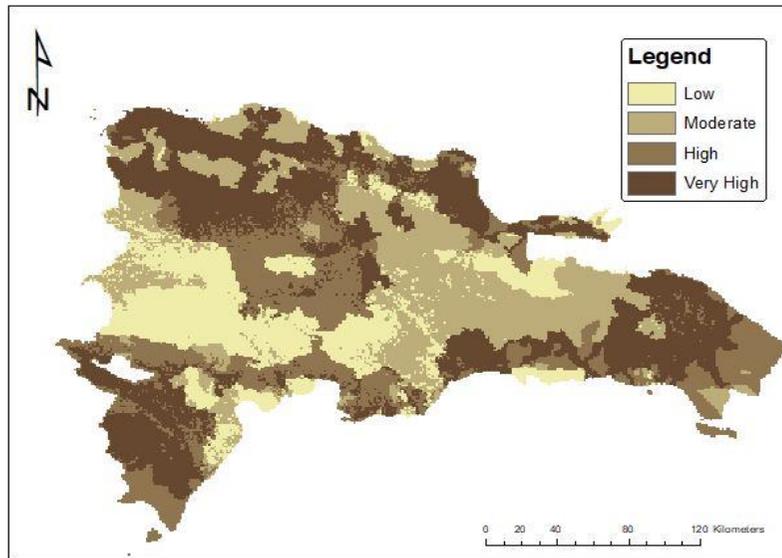
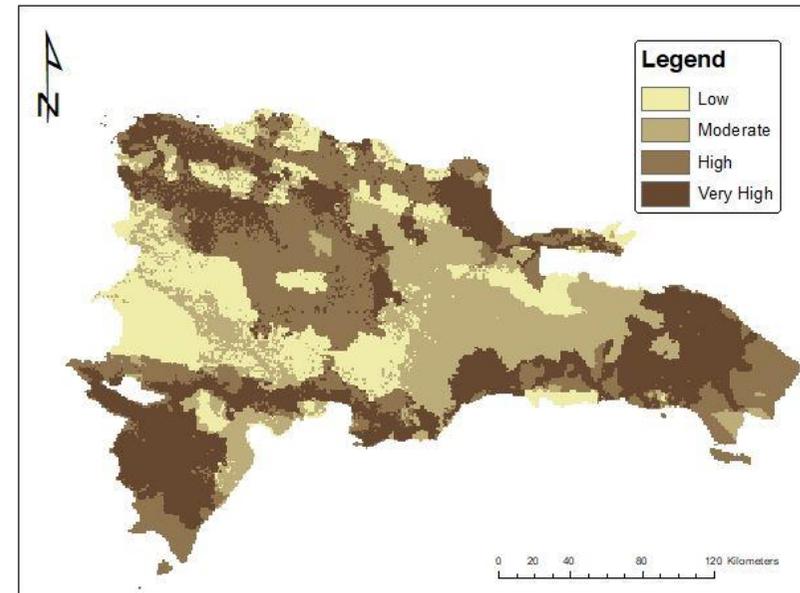
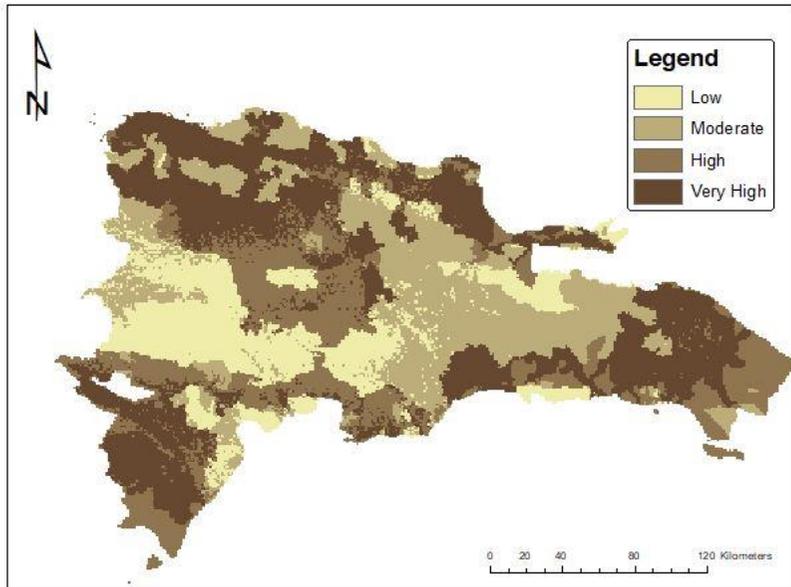


Figura 20: Mapa de riesgo (RCP 8.5 2070), la República Dominicana: (a) PDCanESM 2070 (panel superior izquierdo) (b) PWCAnESM 2070 (panel superior derecho) (c) PDHadGEM 2070 (panel inferior izquierdo) y (d) PWHadGEM 2070 (panel inferior derecho).

## Apéndice B1- Resultados de susceptibilidad a los deslizamientos de tierra

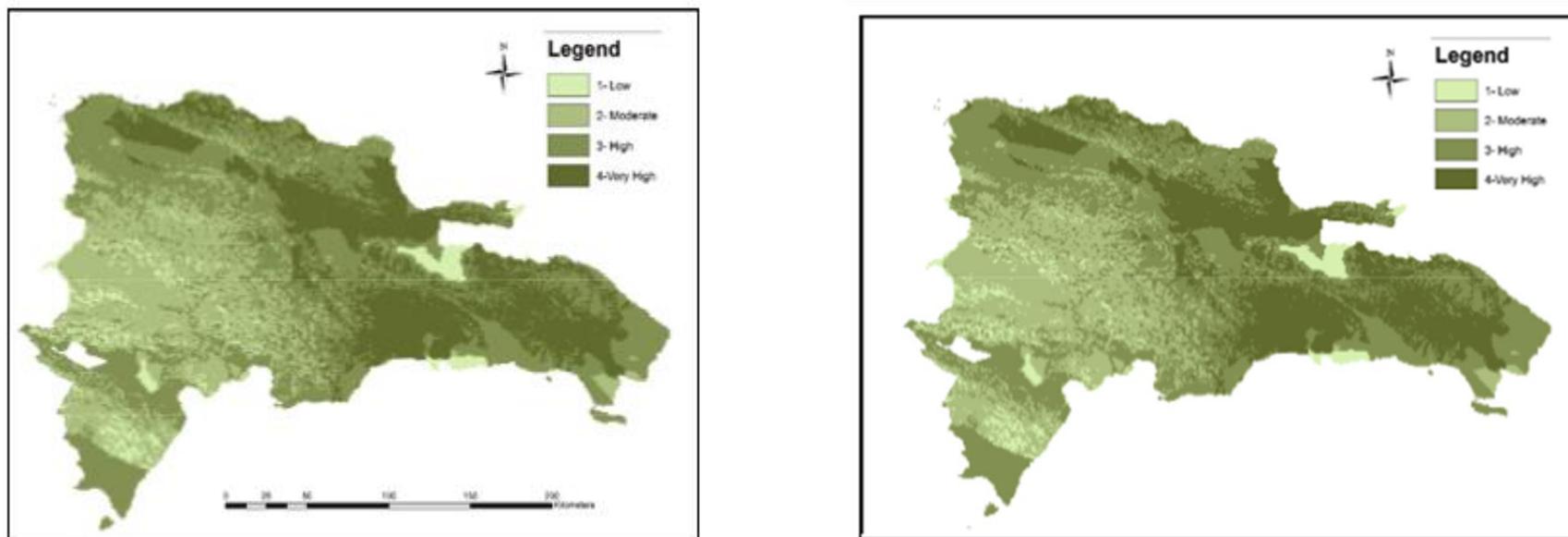


Figura B1: Mapa de susceptibilidad (referencia) en la República Dominicana: a) Temporada seca (izquierda) b) Temporada húmeda (derecha)

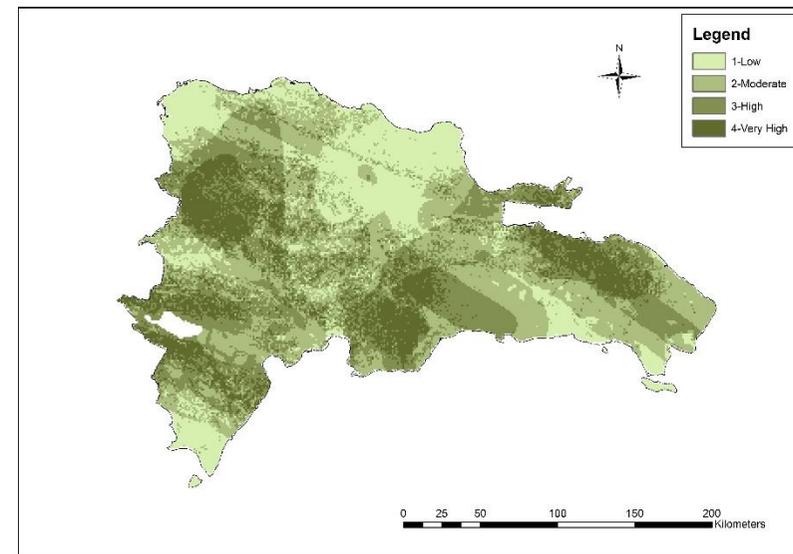
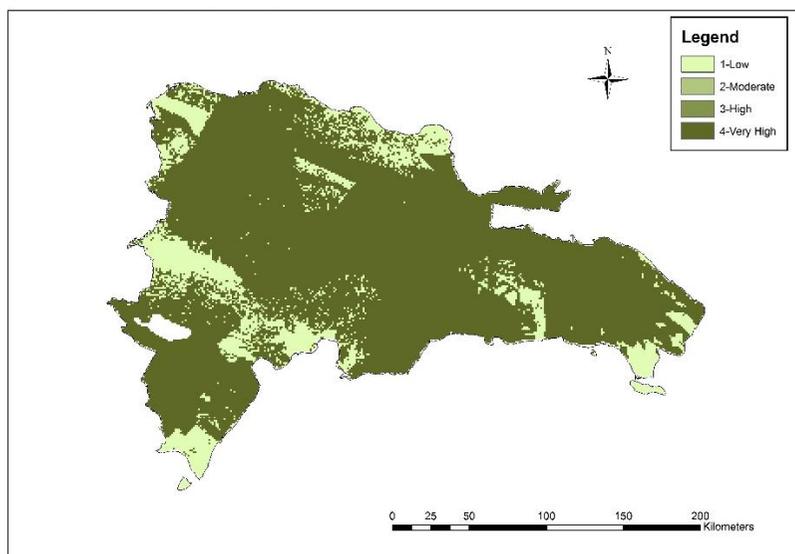
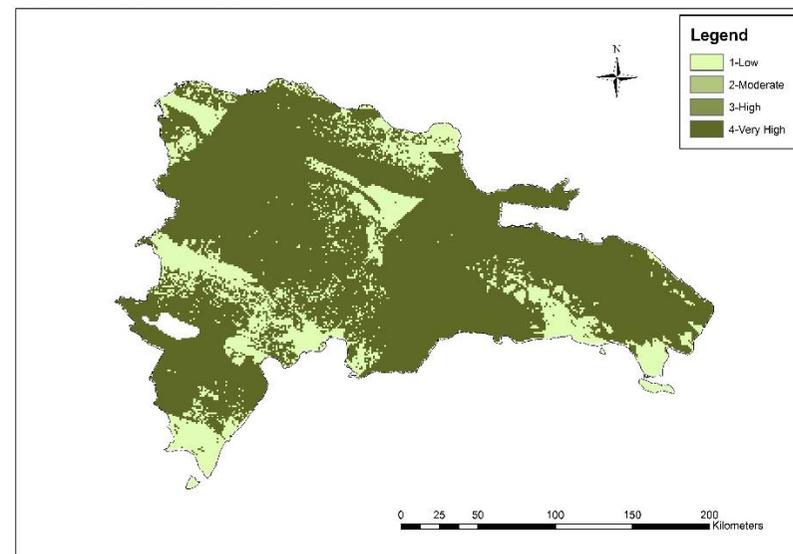
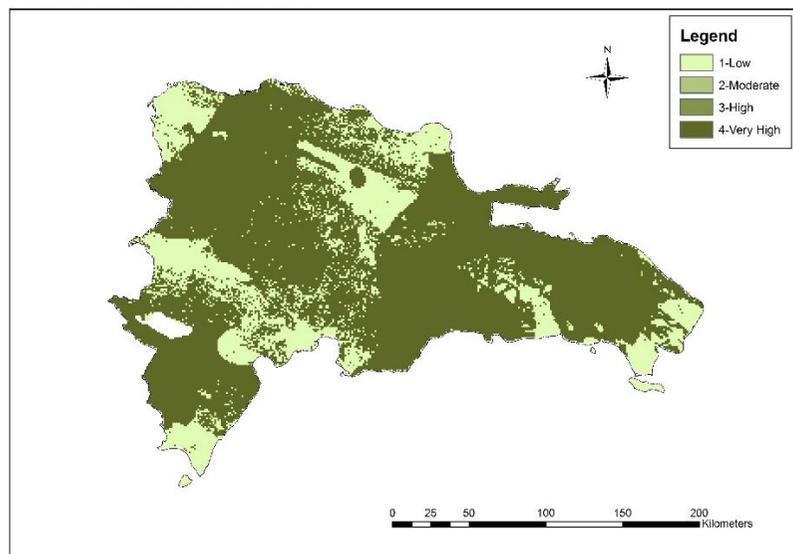


Figura B2: Susceptibilidad (Precipitación extrema RCP 4.5 década de 2030) República Dominicana: (a) CanESM R95 (panel superior izquierdo) (b) CanESM R99 (panel superior derecho) (c) HadGEM (panel inferior izquierdo) R95 (d) HadGEM R99 (panel inferior derecho)

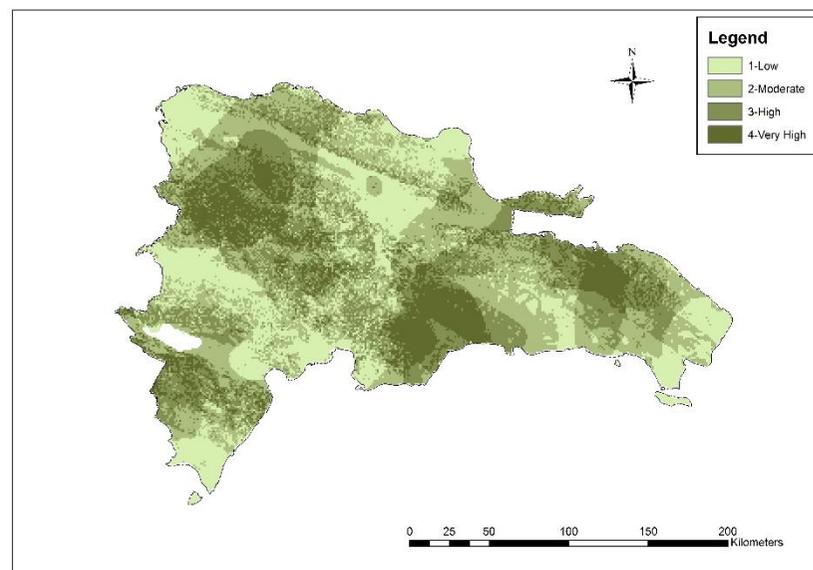
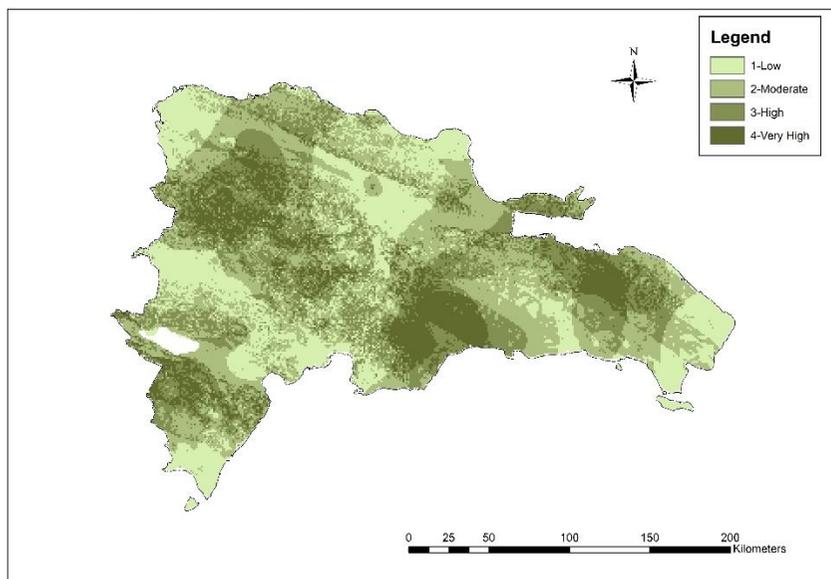
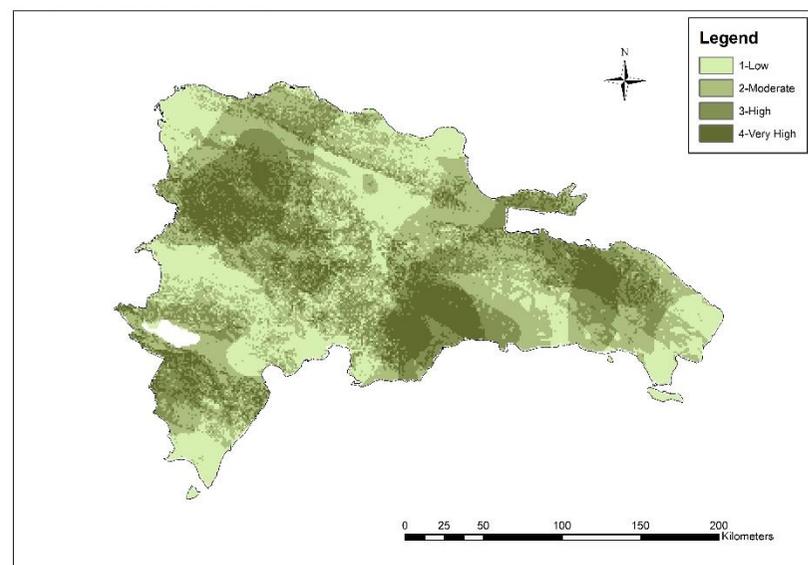
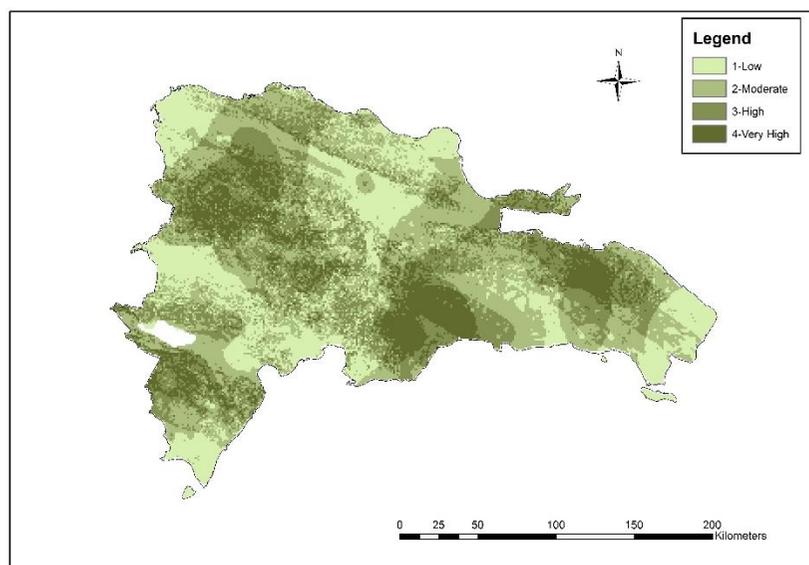


Figura B3: Mapa de susceptibilidad (Precipitación extrema RCP 8.5 década de 2030) República Dominicana: (a) CanESM R95 (panel superior izquierdo) (b) CanESM R99 (panel superior derecho) (c) HadGEM R95(panel inferior izquierdo) (d) HadGEM R99 (panel inferior derecho)

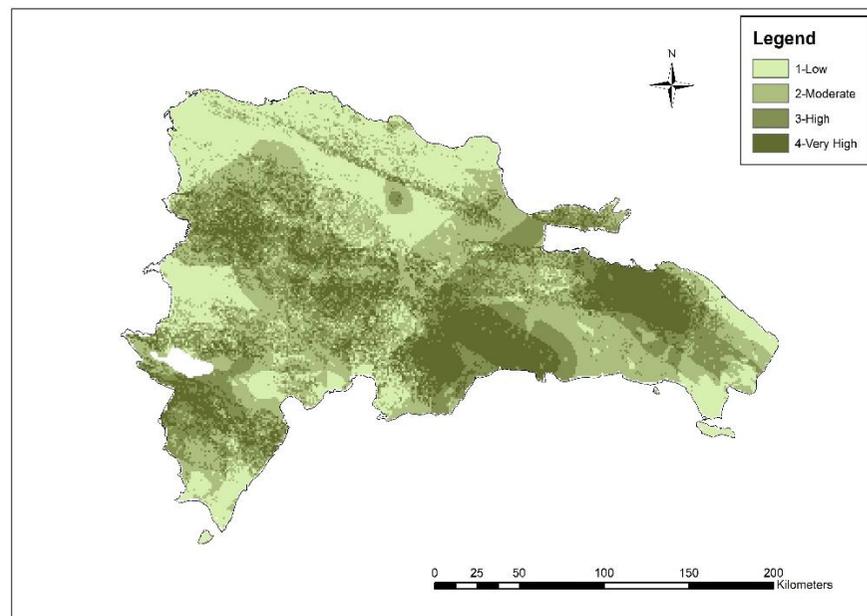
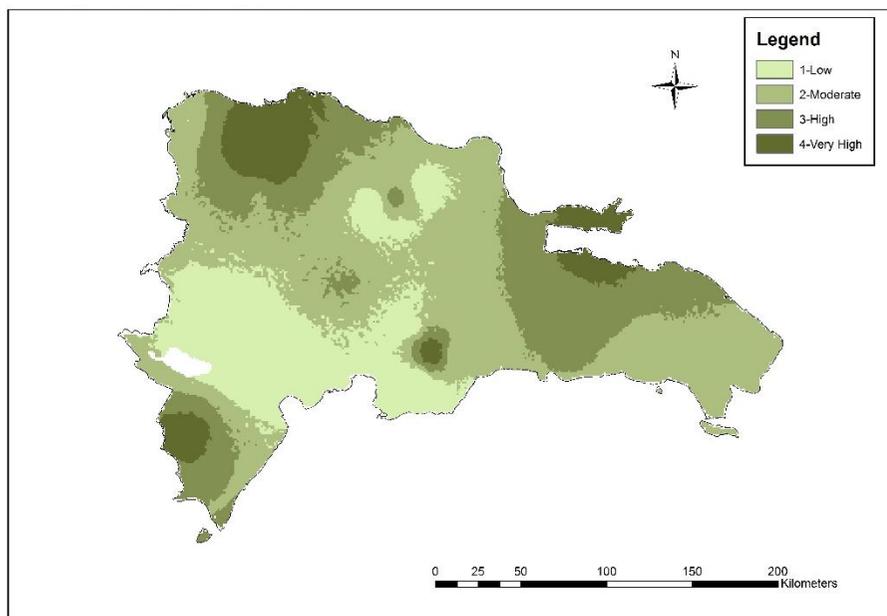


Figura B4: Mapa de susceptibilidad (RCP 4.5 década de 2030), República Dominicana: (a) PDHadGEM (panel izquierdo) (b) PWHadGEM (panel derecho)

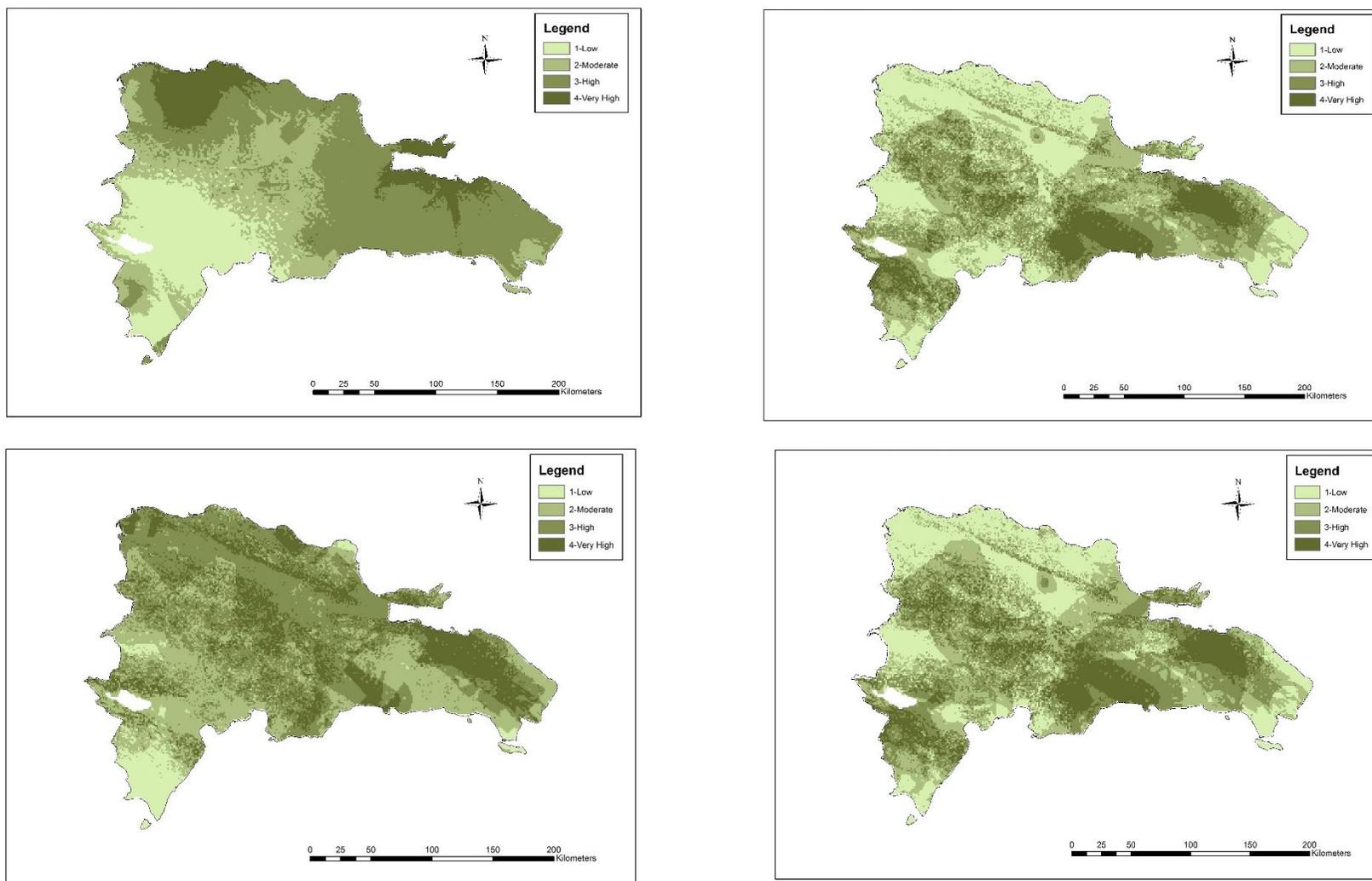


Figura B5: Mapa de susceptibilidad (RCP 8.5 década de 2030), República Dominicana: (a) PDCanESM (panel superior izquierdo) (b) PWCanESM (panel superior derecho) (c) PDHadGEM (panel inferior izquierdo) (d) PWHadGEM (panel inferior derecho)

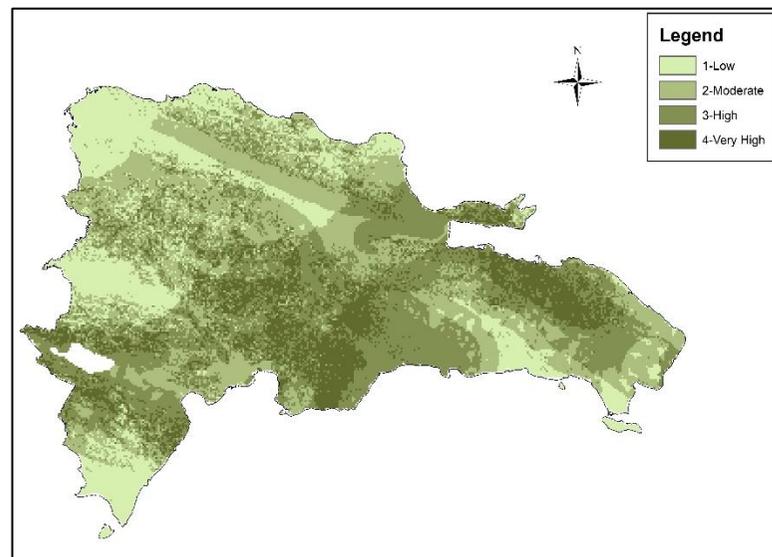
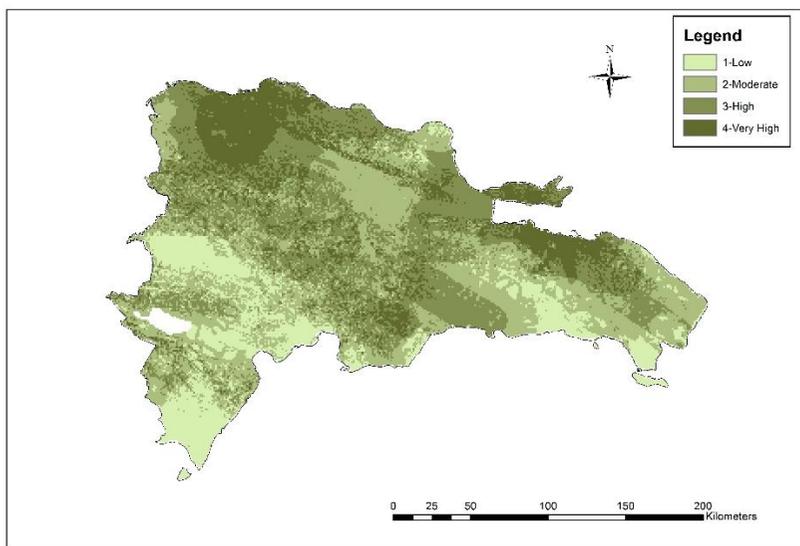
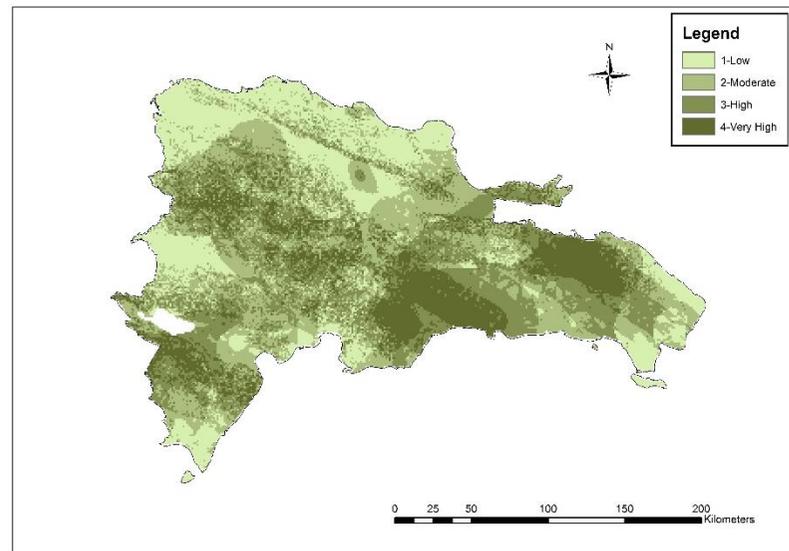
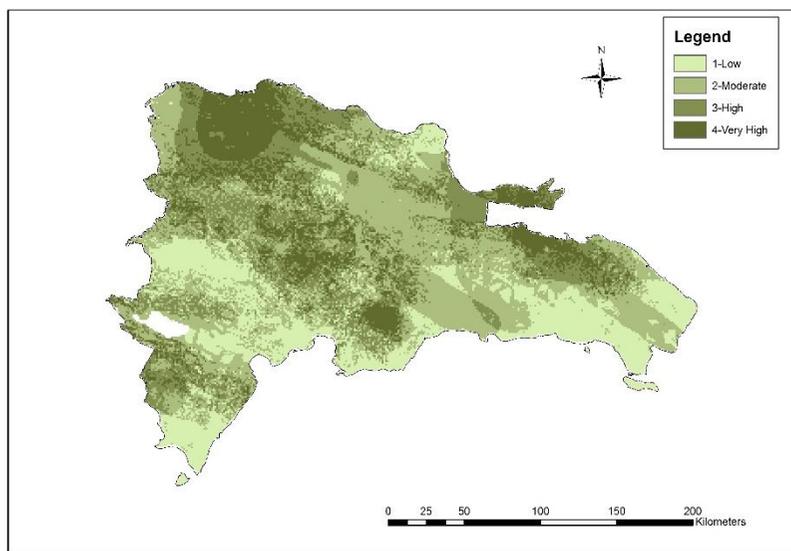


Figura B6: Mapa de susceptibilidad (RCP 4.5 década de 2050), República Dominicana: (a) PDCanESM (panel superior izquierdo) (b) PWCanESM (panel superior derecho) (c) PDHadGEM (panel inferior izquierdo) (d) PWHadGEM (panel inferior derecho)

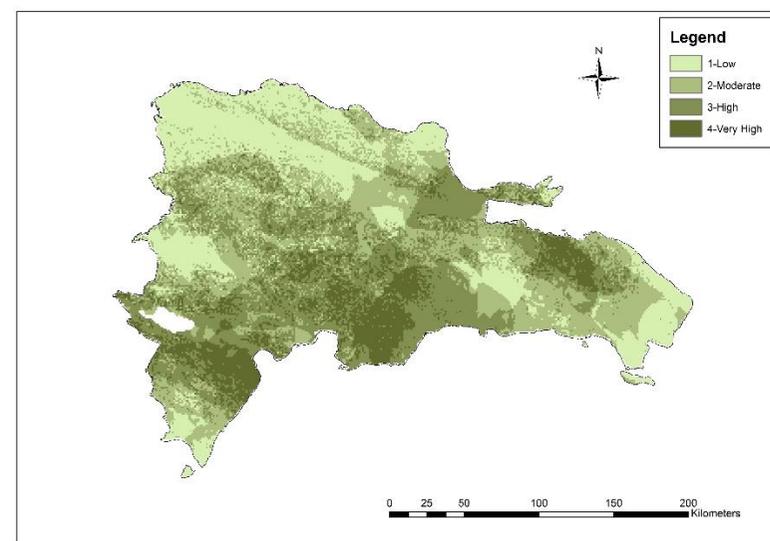
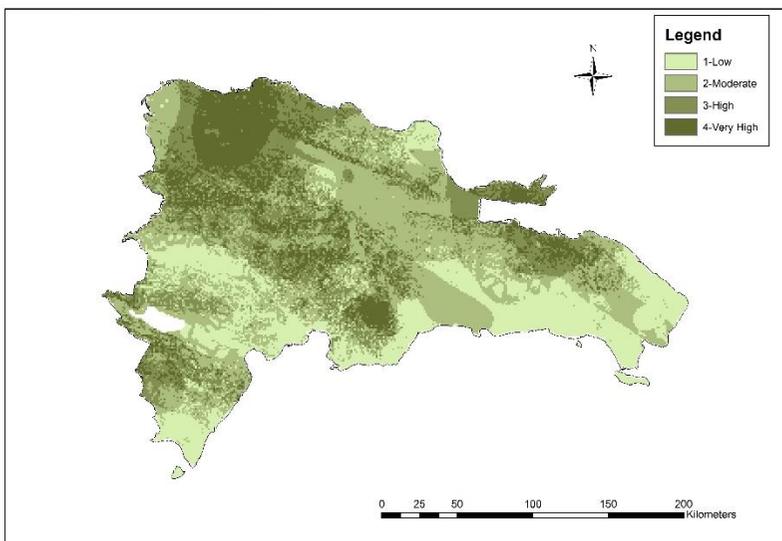
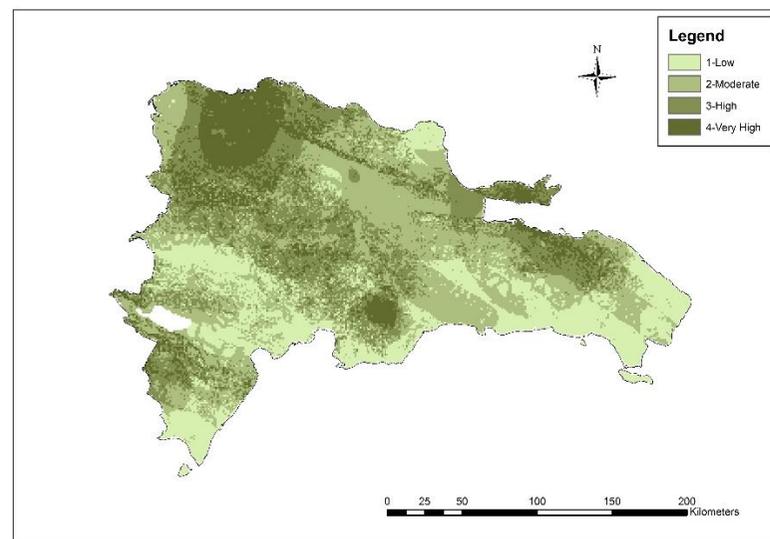
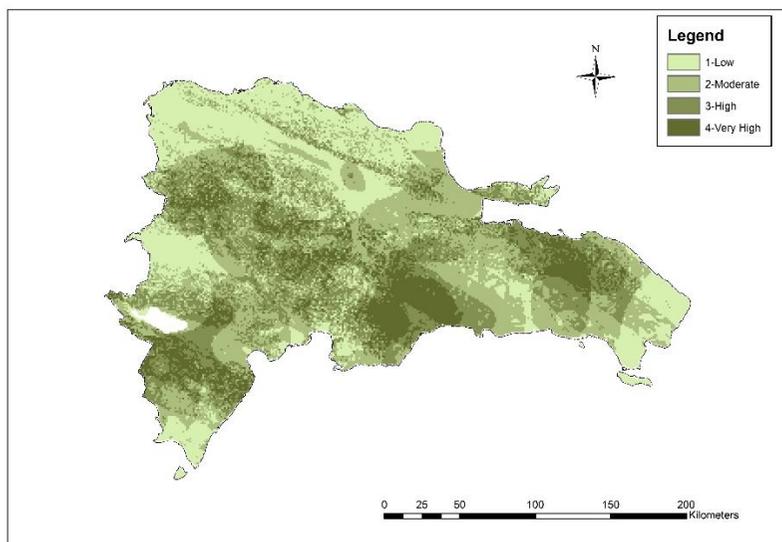


Figura B7: Mapa de susceptibilidad (RCP 8.5 década de 2050), República Dominicana: (a) PDCanESM (panel superior izquierdo) (b) PWCanESM (panel superior derecho) (c) PDHadGEM (panel inferior izquierdo) (d) PWHadGEM (panel inferior derecho)

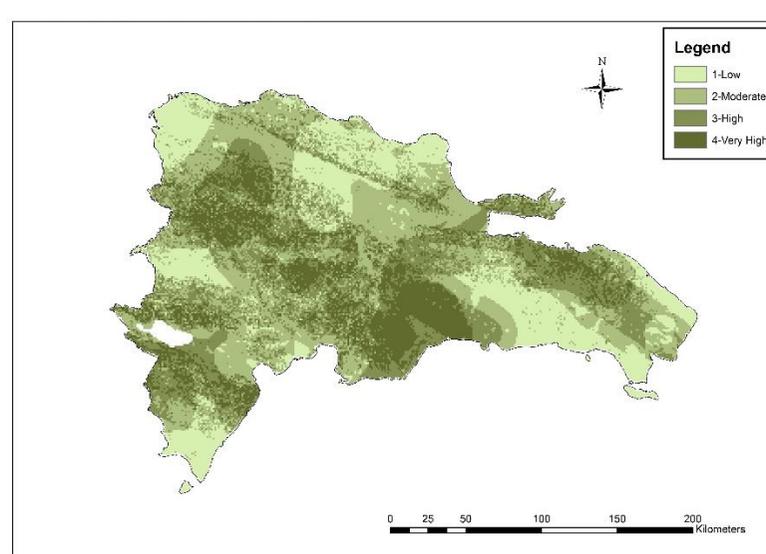
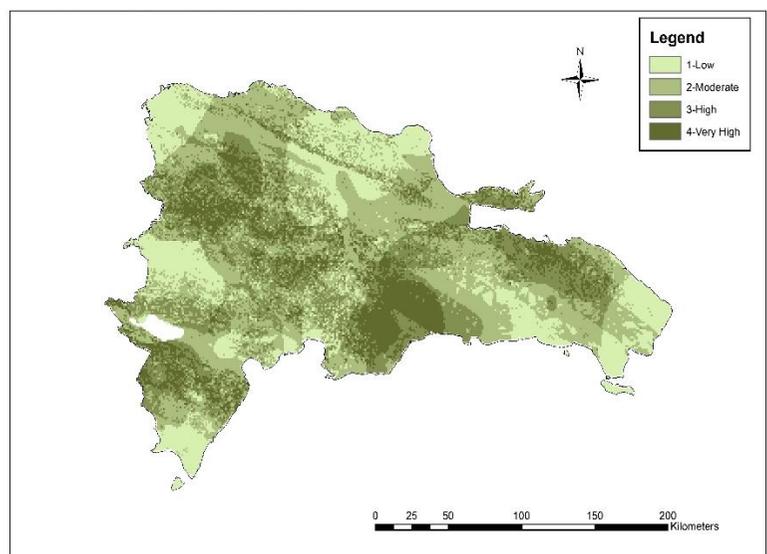
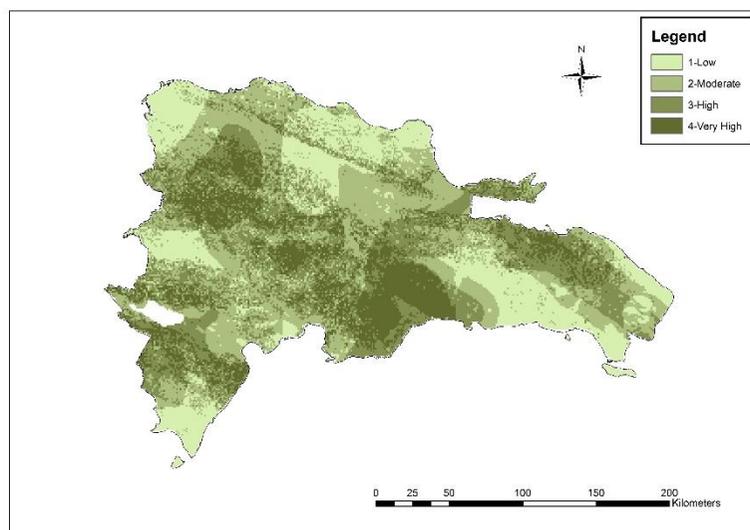
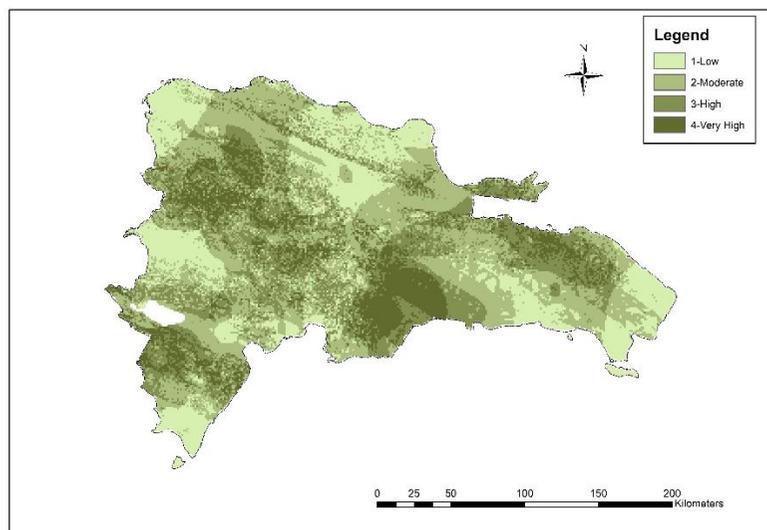


Figura B8: Mapa de susceptibilidad (Precipitación extrema RCP 4.5 década de 2070) República Dominicana: (a) CanESM R5 (panel superior izquierdo) (b) CanESM R99 (panel superior derecho) (c) HadGEM R95(panel inferior izquierdo) (d) HadGEM R99 (panel inferior derecho)

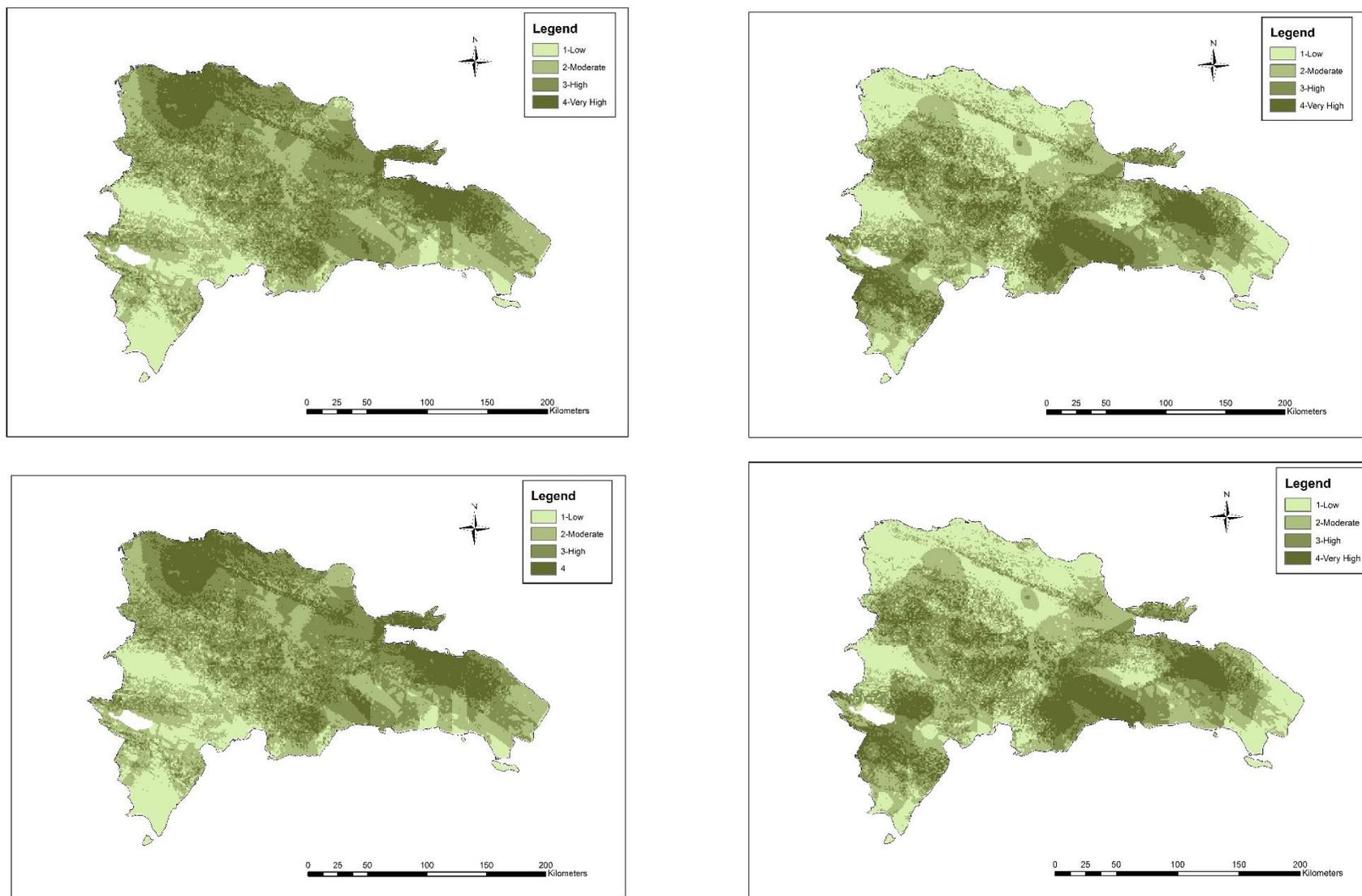


Figura B9: Mapa de susceptibilidad (RCP 4.5 década de 2070), República Dominicana: (a) PDCanESM (panel superior izquierdo) (b) PWCCanESM (panel superior derecho) (c) PDHadGEM (panel inferior izquierdo) (d) PWHadGEM (panel inferior derecho)

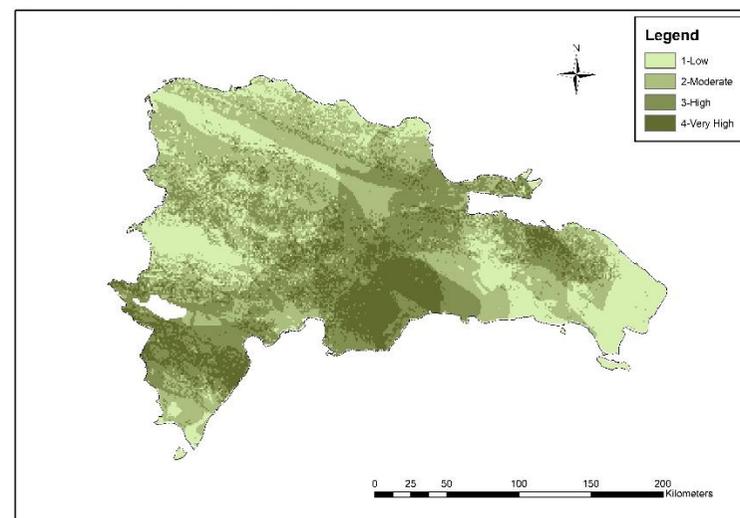
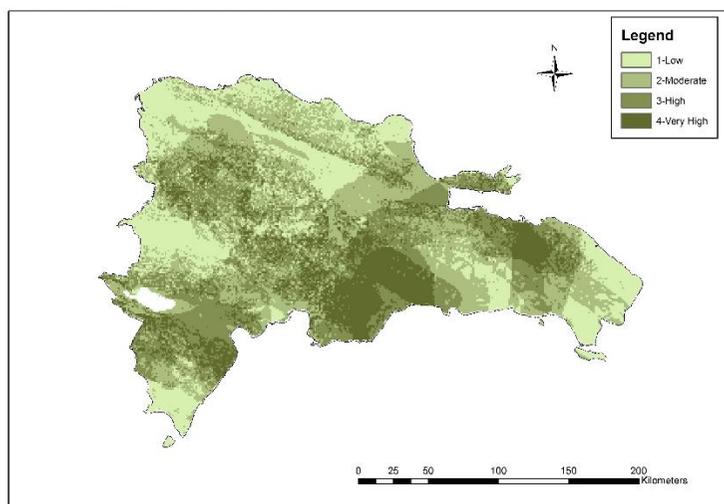
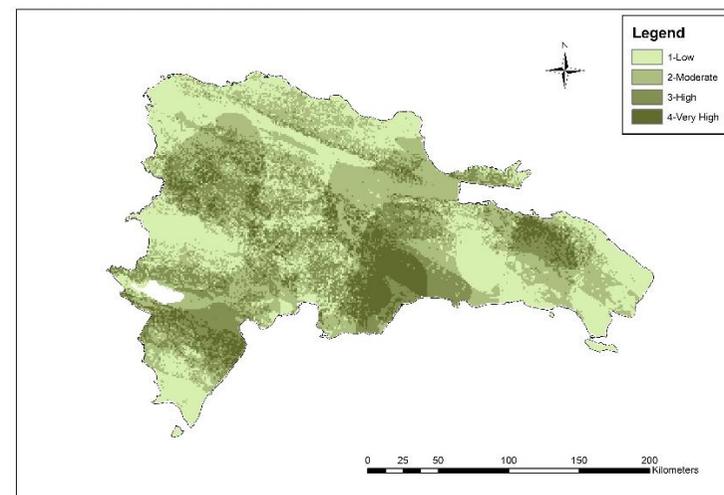
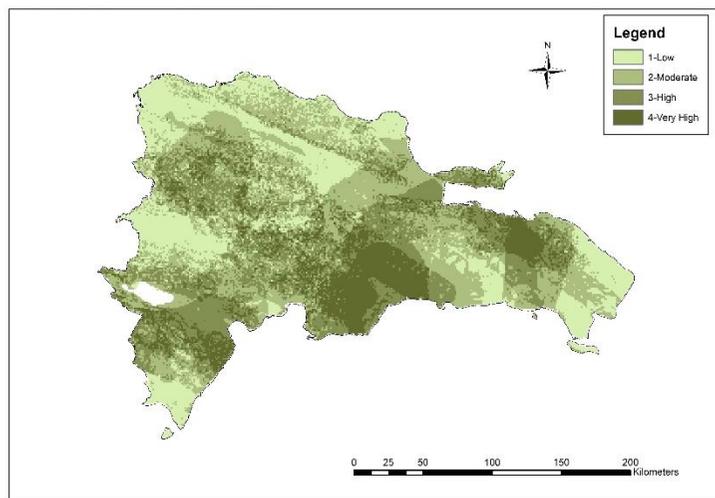


Figura 10: Mapa de susceptibilidad (Precipitación extrema RCP 8.5 década de 2070) República Dominicana: (a) CanESM R5 (panel superior izquierdo) (b) CanESM R99 (panel superior derecho) (c) HadGEM R95(panel inferior izquierdo) (d) HadGEM R99 (panel inferior derecho)

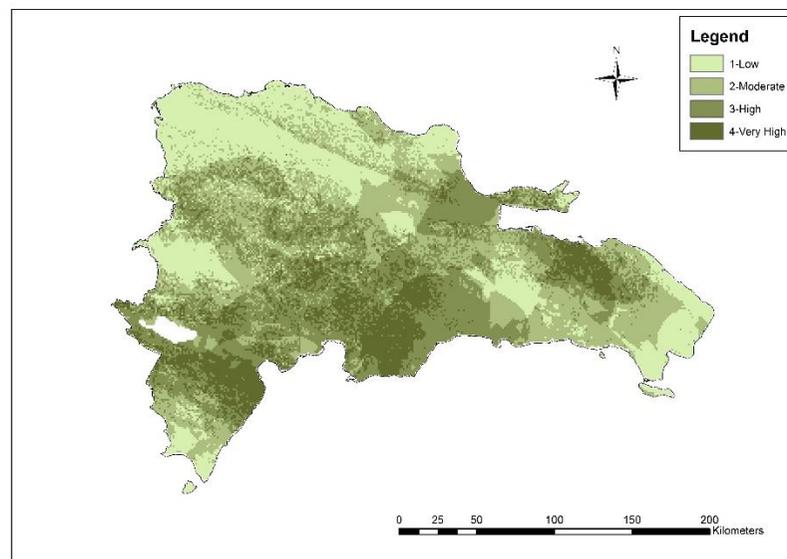
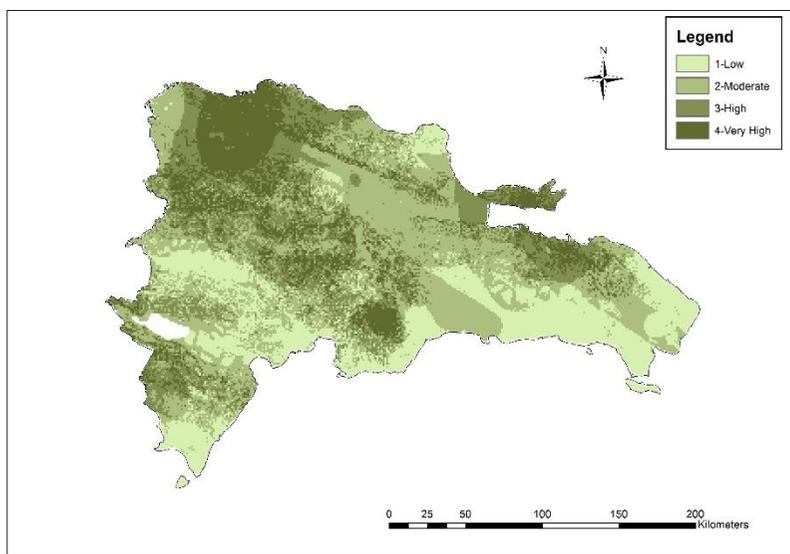
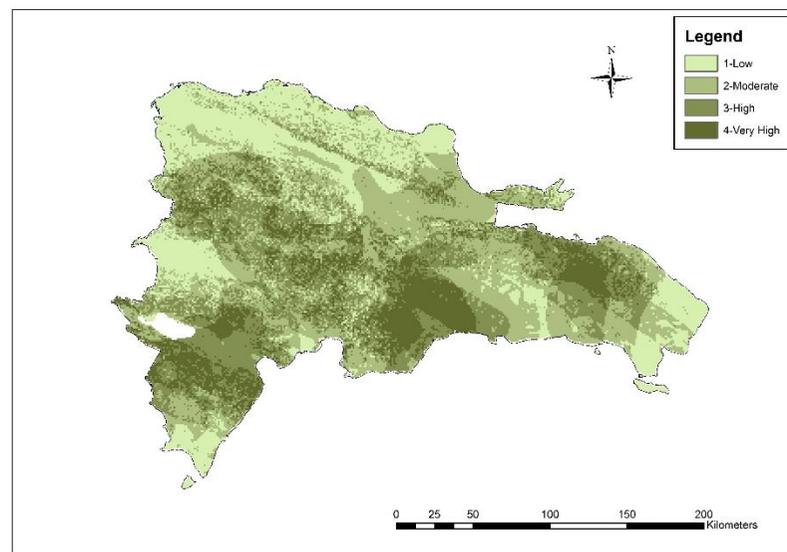
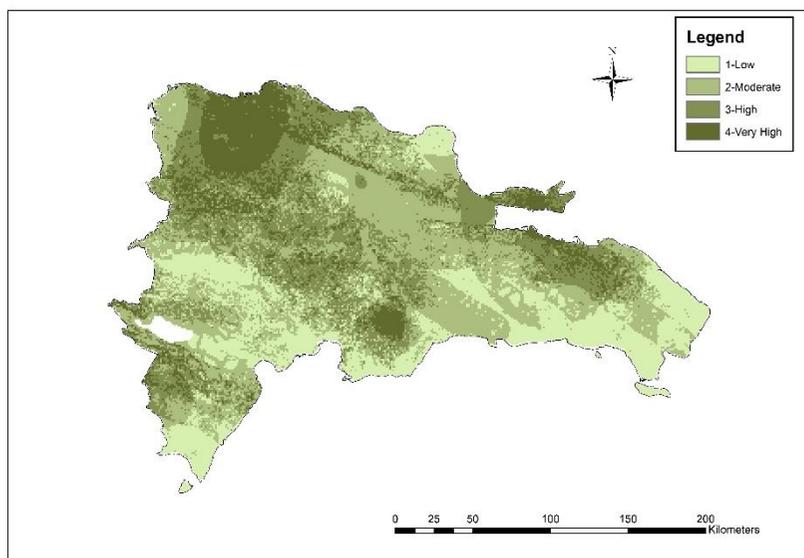


Figura B11: Mapa de susceptibilidad (RCP 8.5 década de 2070), República Dominicana: (a) PDCanESM (panel superior izquierdo) (b) PWCAnESM (panel superior derecho) (c) PDHadGEM (panel inferior izquierdo) (d) PWHadGEM (panel inferior derecho)

## Apéndice B2: Resultados del riesgo de deslizamiento de tierra

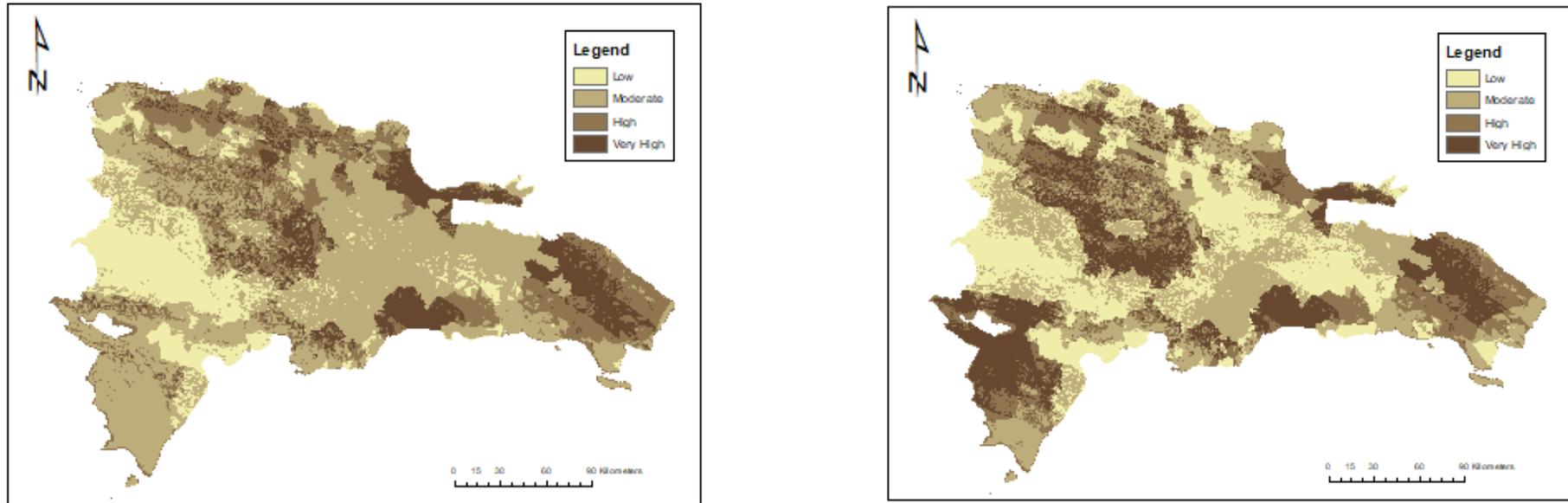


Figura B12: Mapa de riesgos (referencia), República Dominicana: a) Referencia de la temporada seca (izquierda) b) Referencia de la temporada húmeda (derecha)

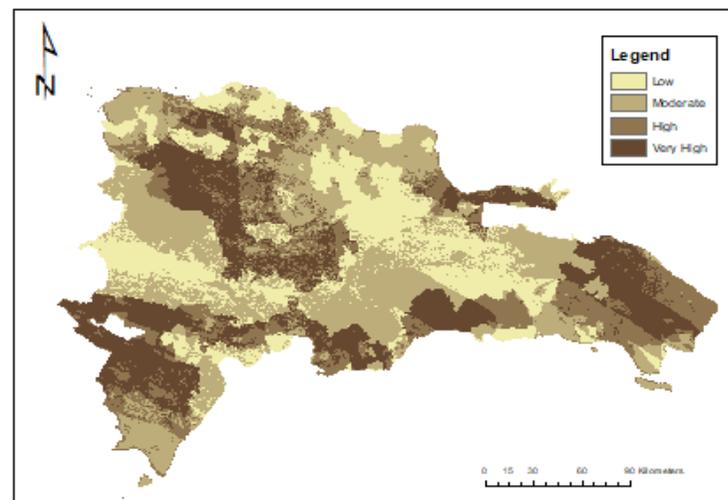
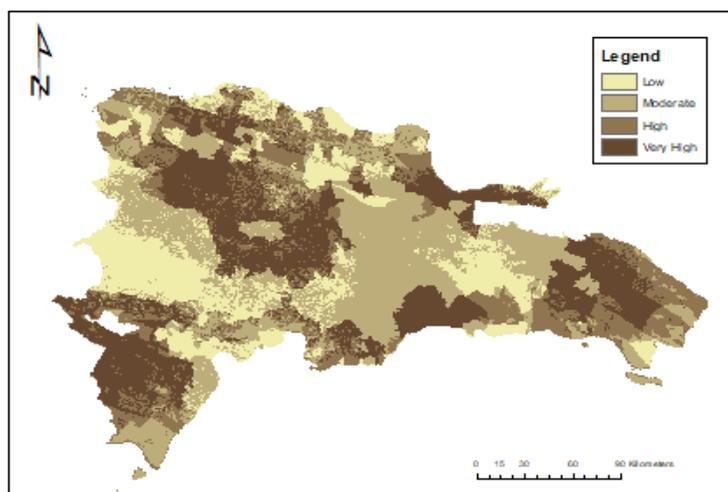
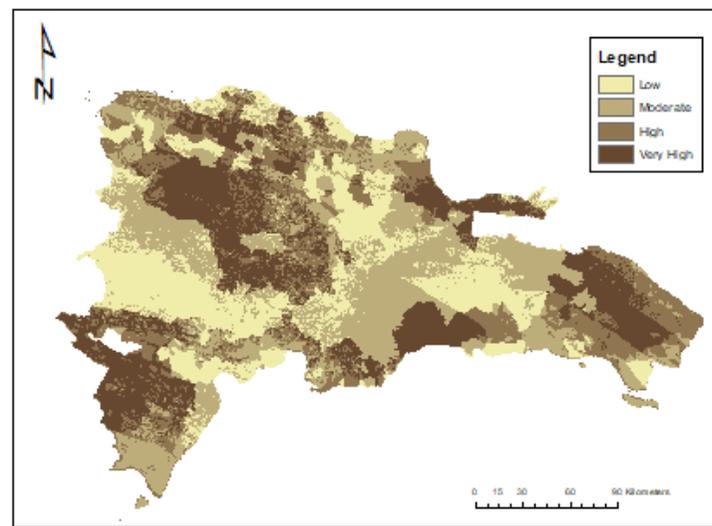
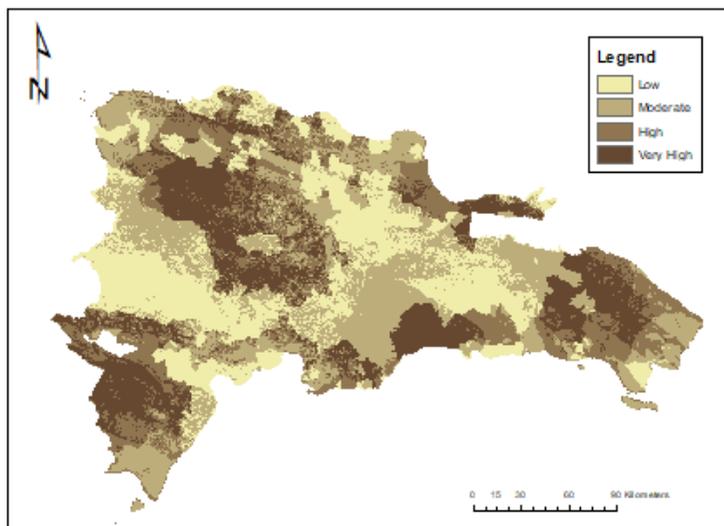


Figura B13: Mapa de riesgo (Precipitación extrema RCP 4.5 década de 2030) República Dominicana: (a) CanESM R95 (panel superior izquierdo) (b) CanESM R99 (panel superior derecho) (c) HadGEM R95(panel inferior izquierdo) (d) HadGEM R99 (panel inferior derecho)

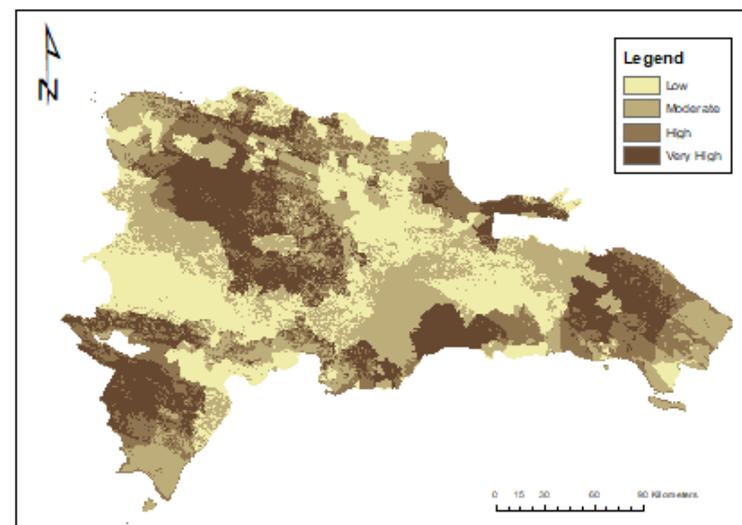
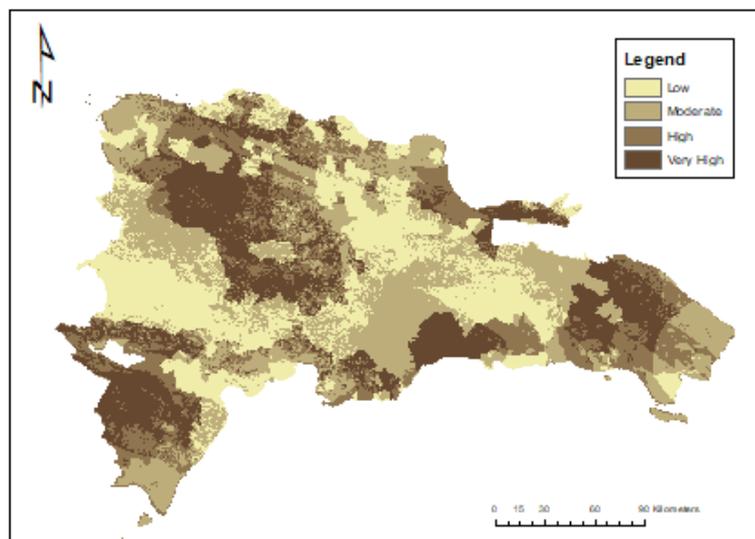
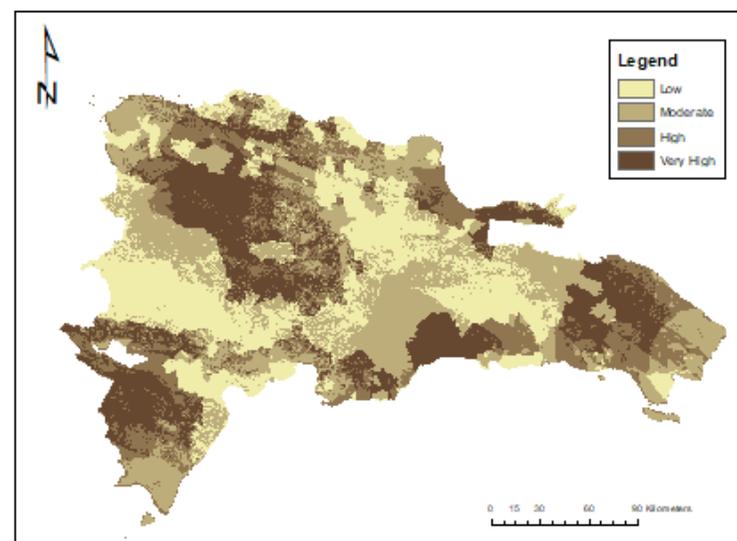
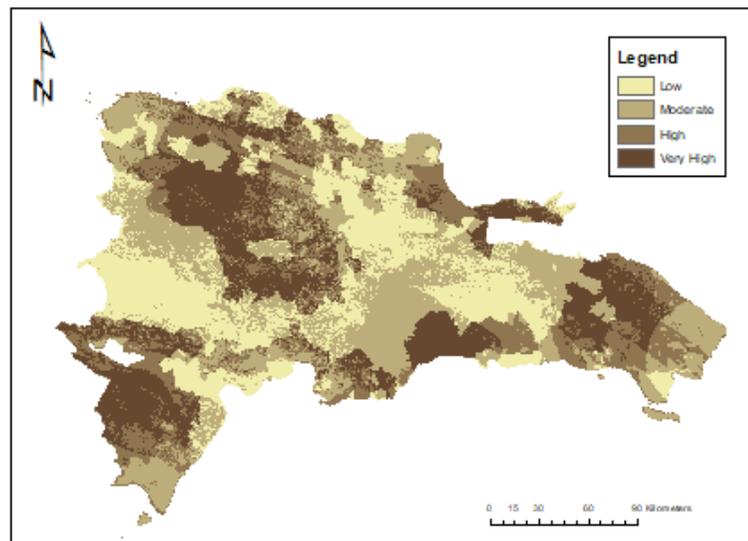


Figura B14: Mapa de riesgo (Precipitación extrema RCP 8.5 década de 2030) República Dominicana: (a) CanESM R95 (panel superior izquierdo) (b) CanESM R99 (panel superior derecho) (c) HadGEM R95(panel inferior izquierdo) (d) HadGEM R99 (panel inferior derecho)

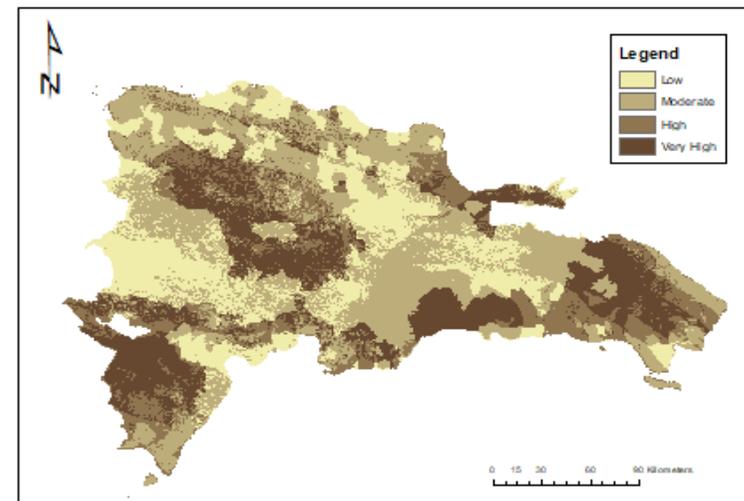
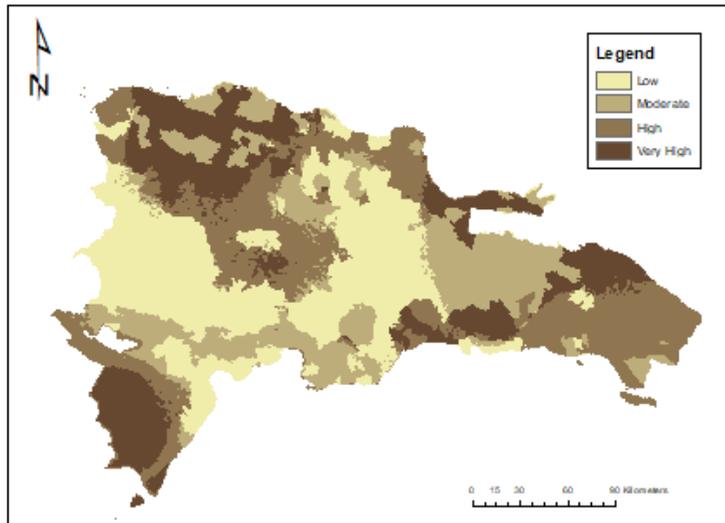
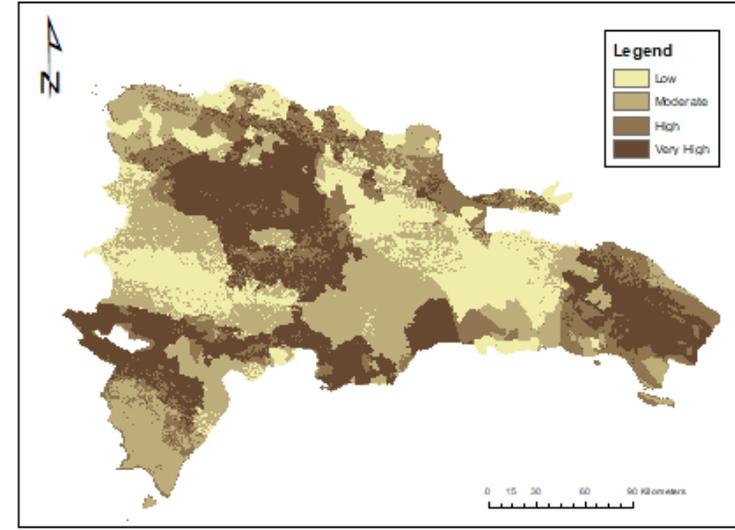
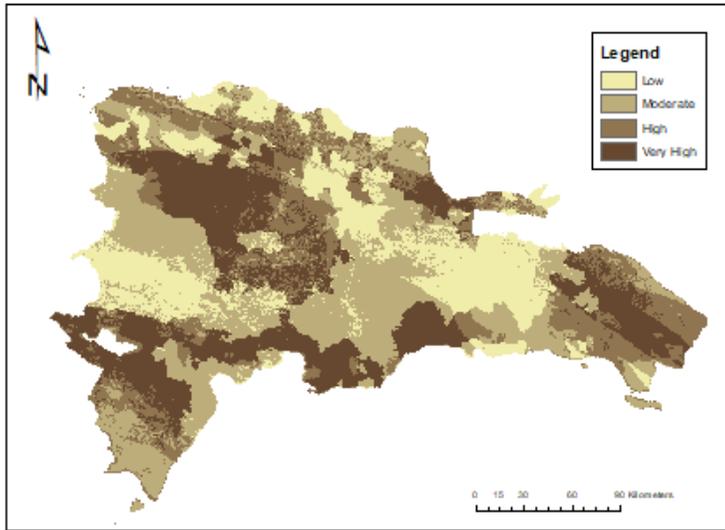


Figura B15: Mapa de riesgo (RCP 4.5 década de 2030), República Dominicana: (a) PDCanESM (panel superior izquierdo) (b) PWCCanESM (panel superior derecho) (c) PDHadGEM R(panel inferior izquierdo) (d) PWHadGEM (panel inferior derecho)

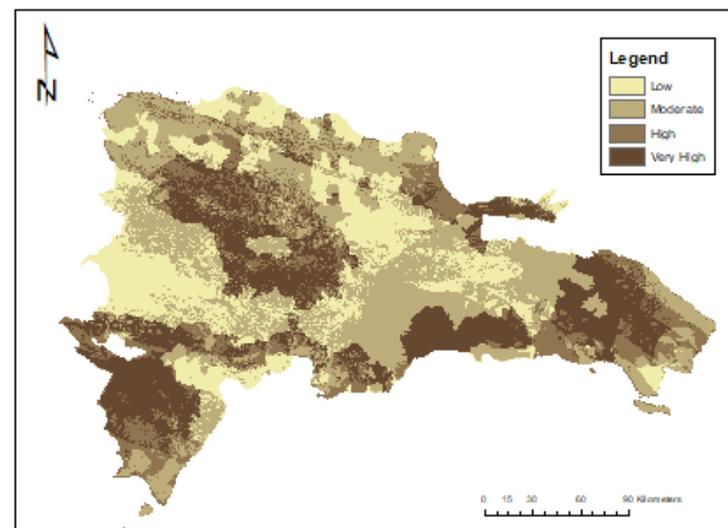
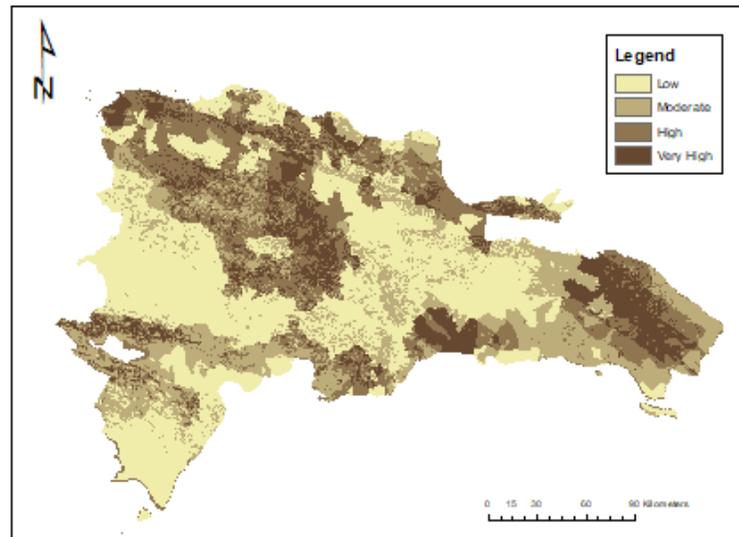
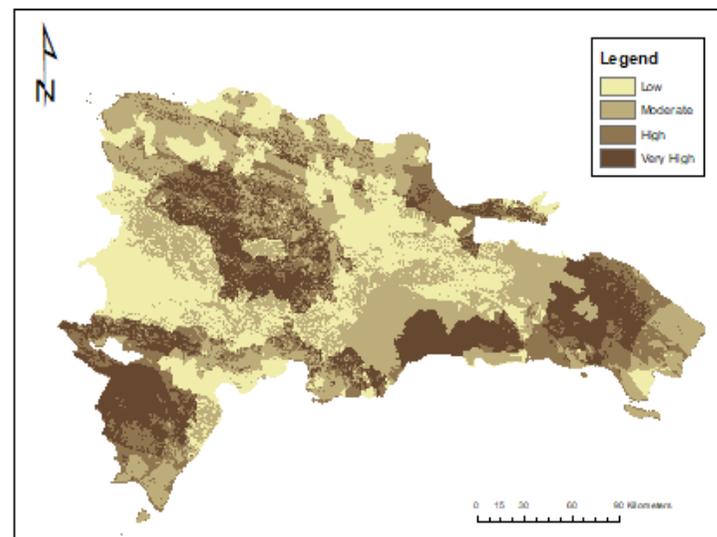
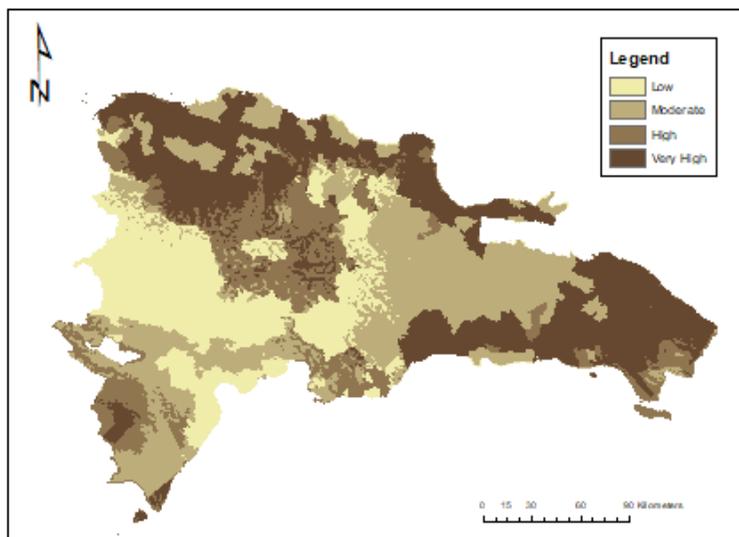


Figura B16: Mapa de riesgo (RCP 8.5 década de 2030), República Dominicana: (a) PDCanESM (panel superior izquierdo) (b) PWCCanESM (panel superior derecho) (c) PDHadGEM R(panel inferior izquierdo) (d) PWHadGEM (panel inferior derecho)

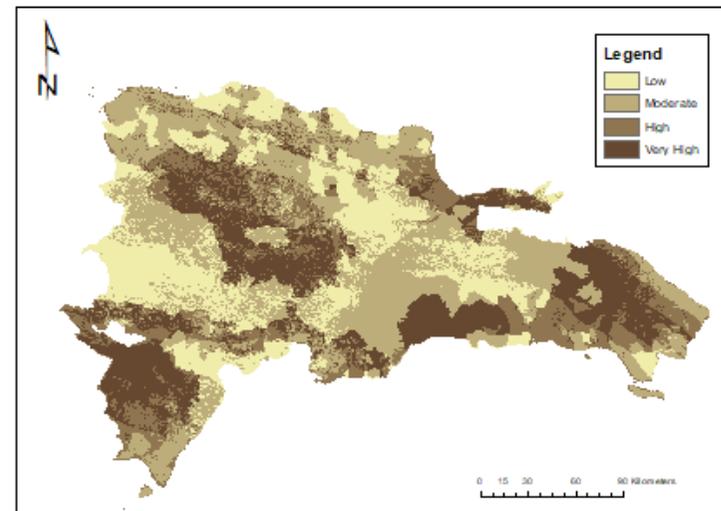
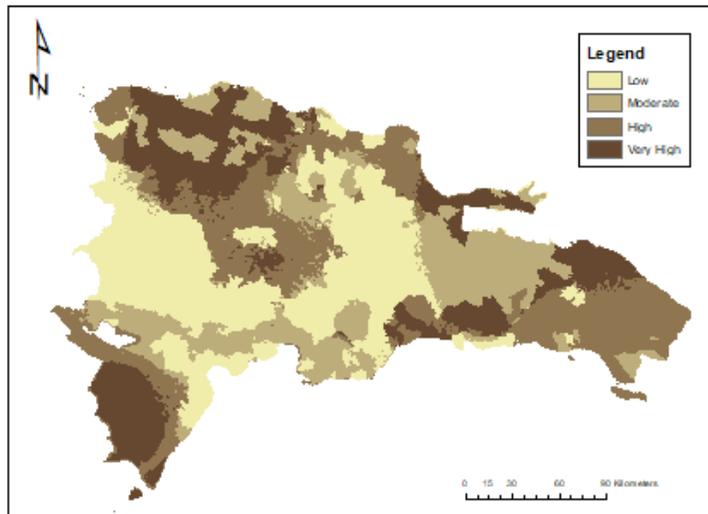
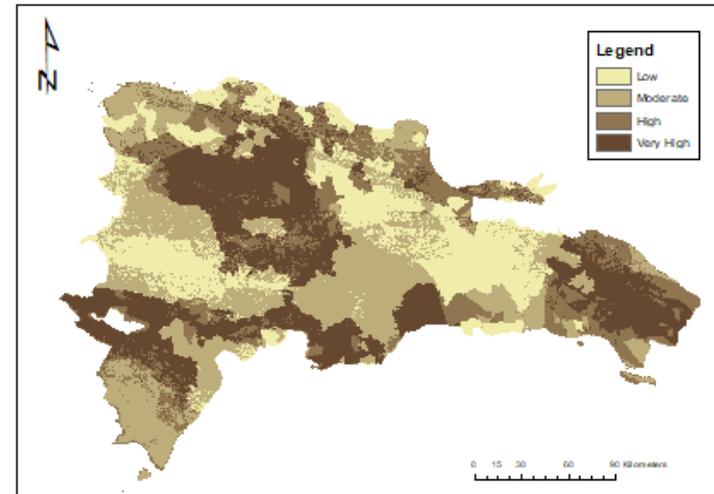
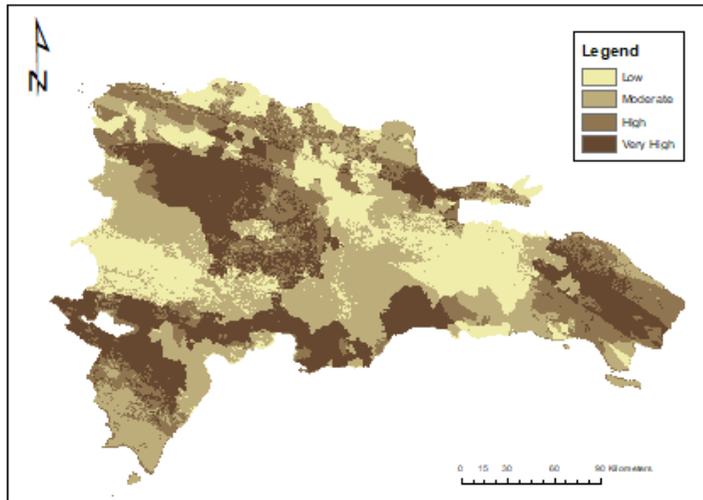


Figura B17: Mapa de riesgo (RCP 4.5 década de 2050), República Dominicana: (a) PDCanESM (panel superior izquierdo) (b) PWCAnESM (panel superior derecho) (c) PDHadGEM (panel inferior izquierdo) (d) PWHadGEM (panel inferior derecho)

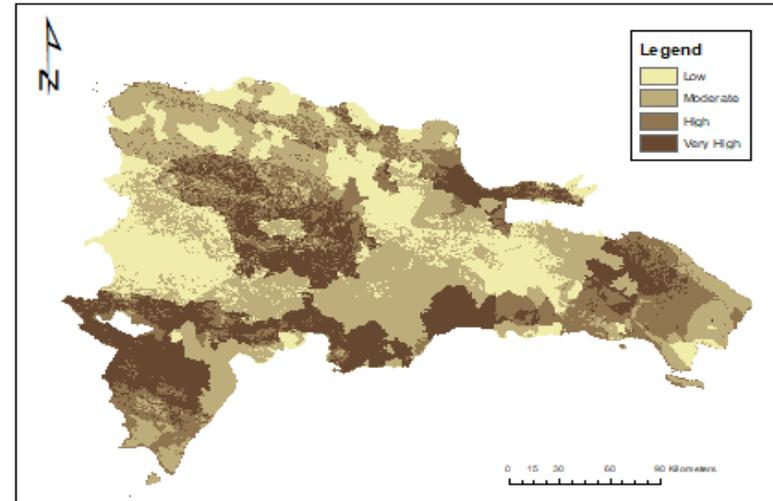
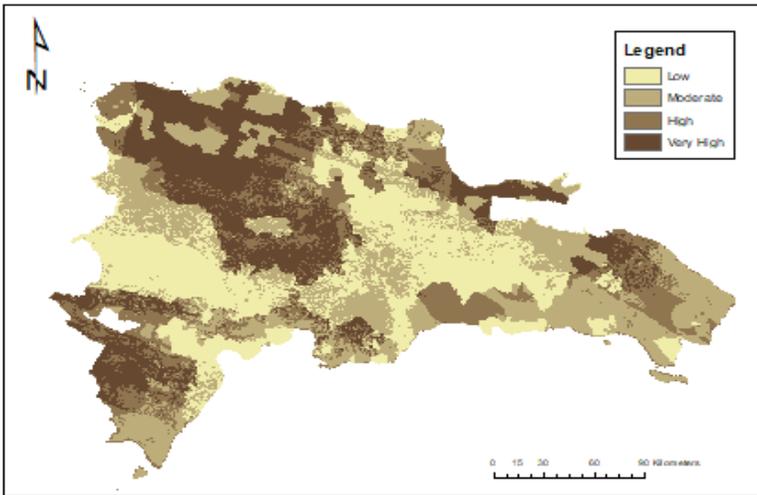
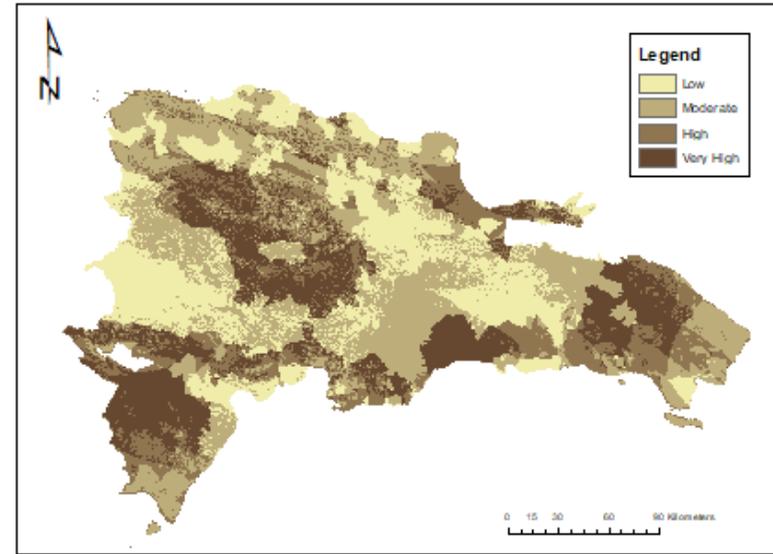
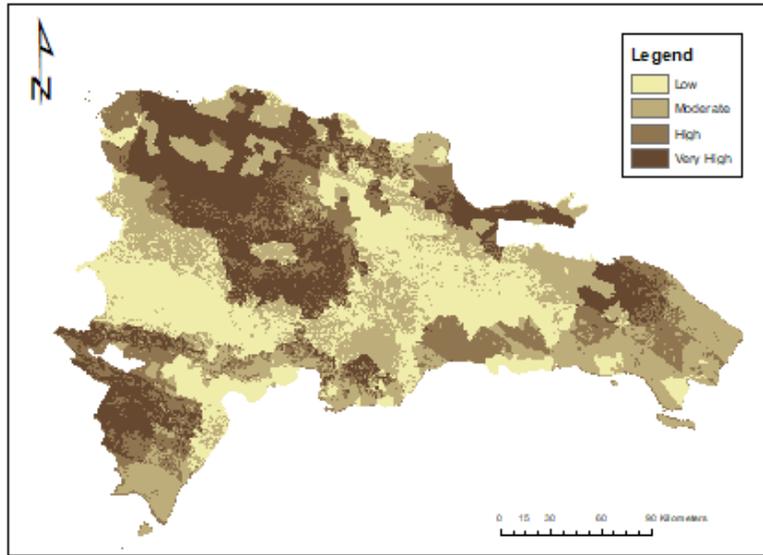


Figura B18: Mapa de riesgo (RCP 8.5 década de 2050), República Dominicana: (a) PDCanESM (panel superior izquierdo) (b) PWCCanESM (panel superior derecho) (c) PDHadGEM (panel inferior izquierdo) (d) PWHadGEM (panel inferior derecho)

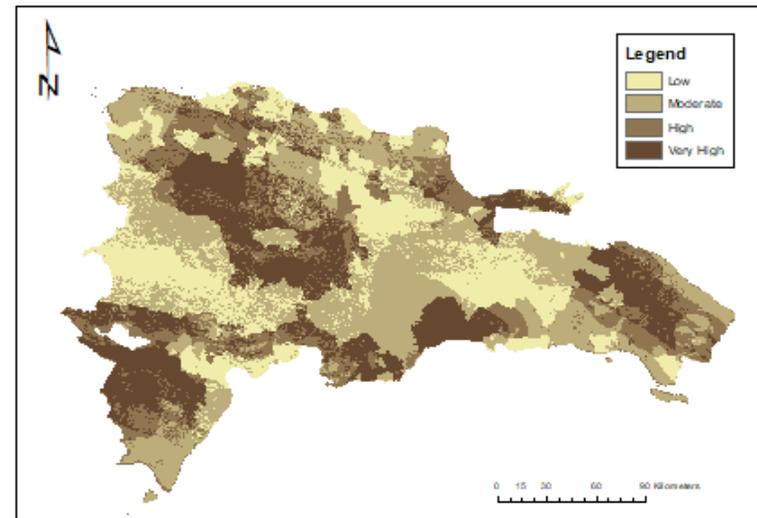
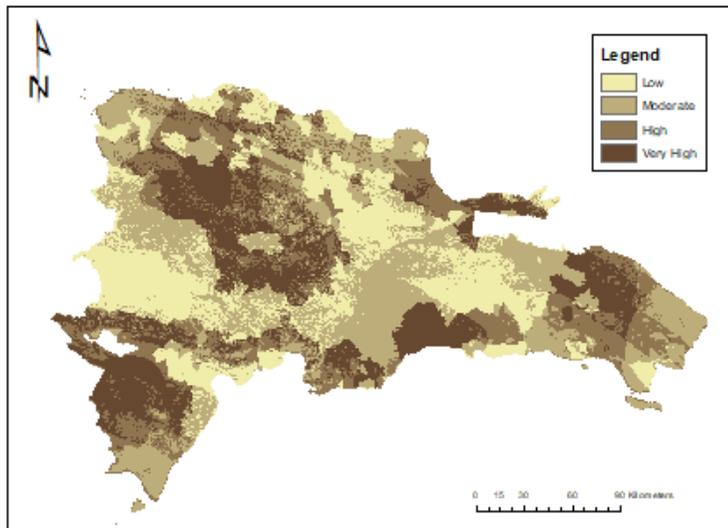
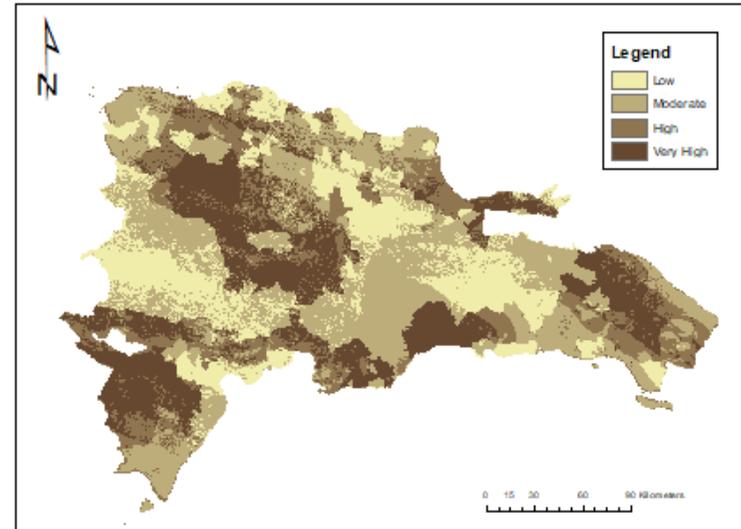
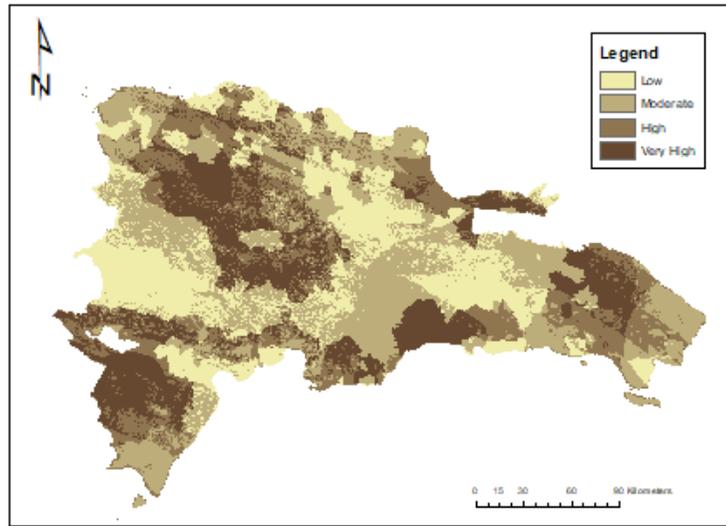


Figura B19: Mapa de riesgo (Precipitación extrema RCP 4.5 década de 2070) República Dominicana: (a) CanESM R95 (panel superior izquierdo) (b) CanESM R99 (panel superior derecho) (c) HadGEM R95(panel inferior izquierdo) (d) HadGEM R99 (panel inferior derecho)

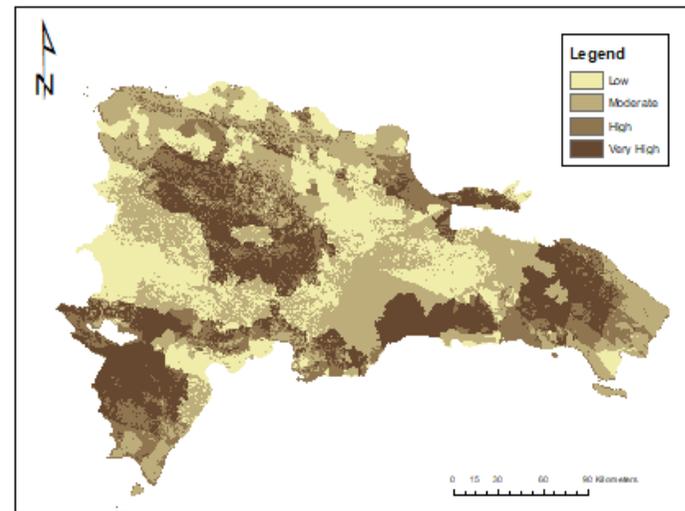
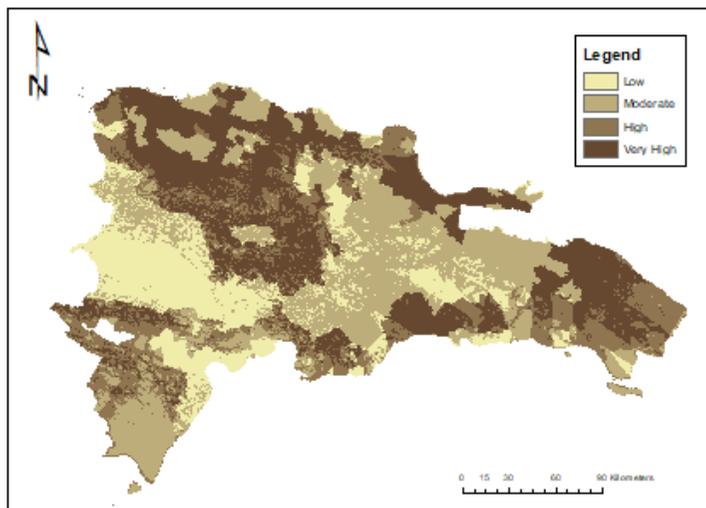
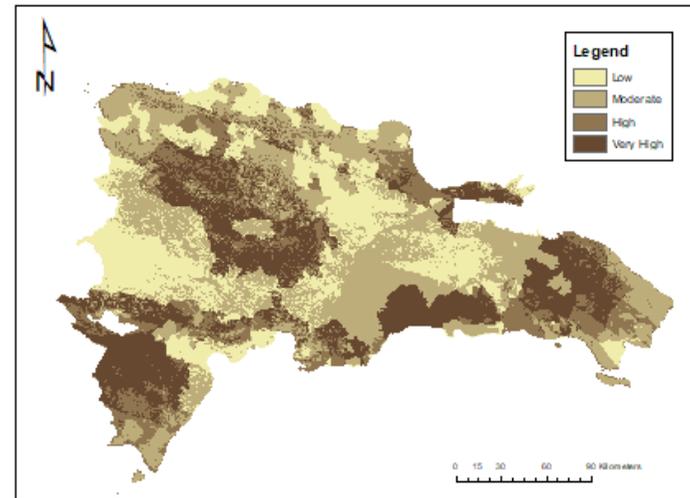
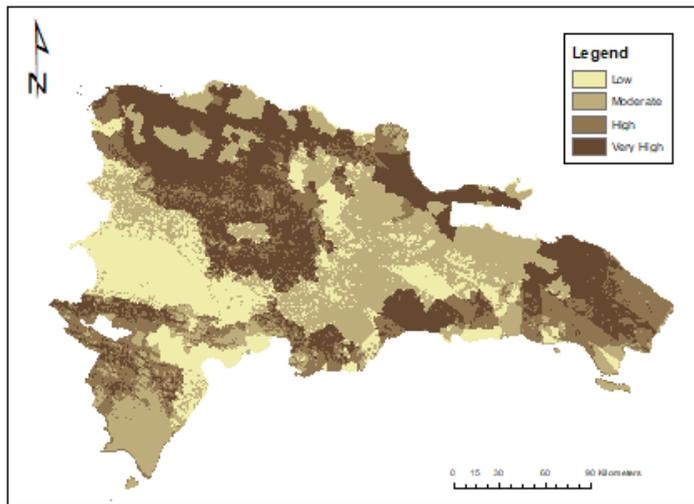


Figura B20: Mapa de riesgo (RCP 4.5 década de 2070), República Dominicana: (a) PDCanESM (panel superior izquierdo) (b) PWCanESM (panel superior derecho) (c) PDHadGEM (panel inferior izquierdo) (d) PWHadGEM (panel inferior derecho)

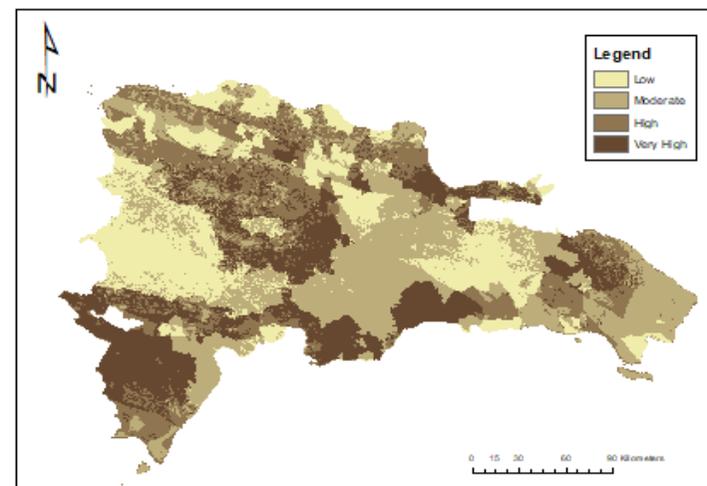
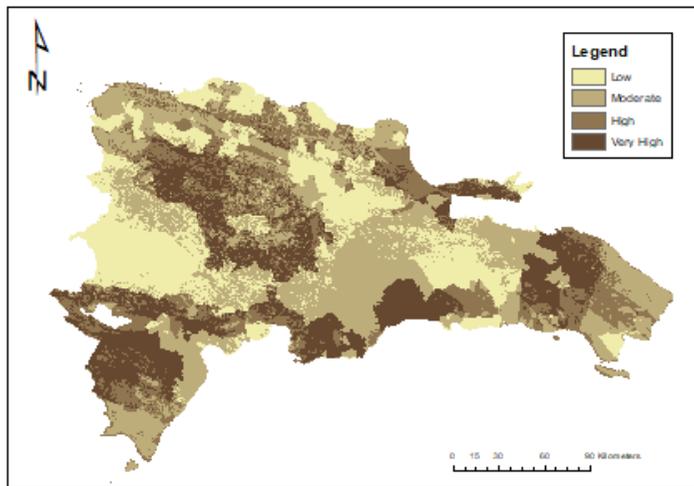
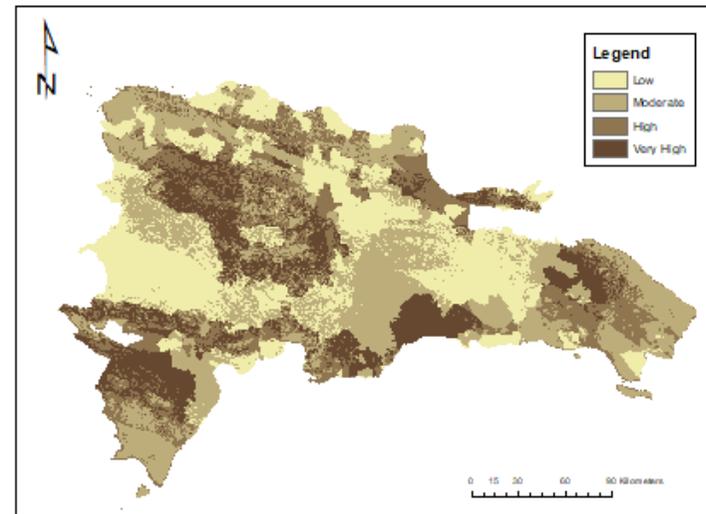
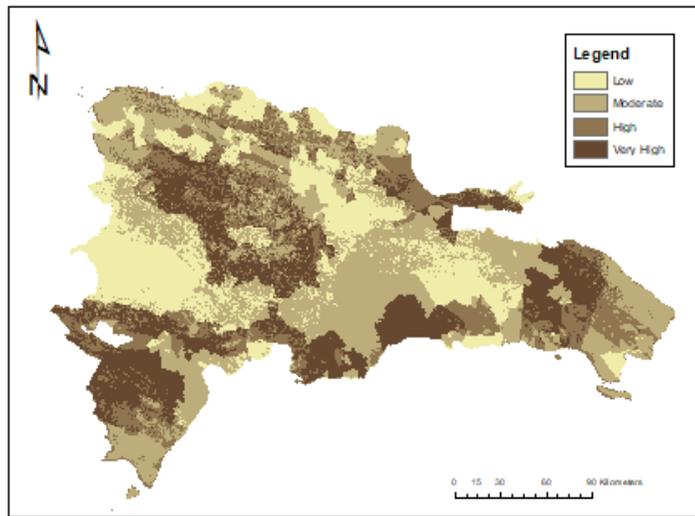


Figura B21: Mapa de riesgo (Precipitación extrema RCP 8.5 década de 2070) República Dominicana: (a) CanESM R95 (panel superior izquierdo) (b) CanESM R99 (panel superior derecho) (c) HadGEM R95(panel inferior izquierdo) (d) HadGEM R99 (panel inferior derecho)

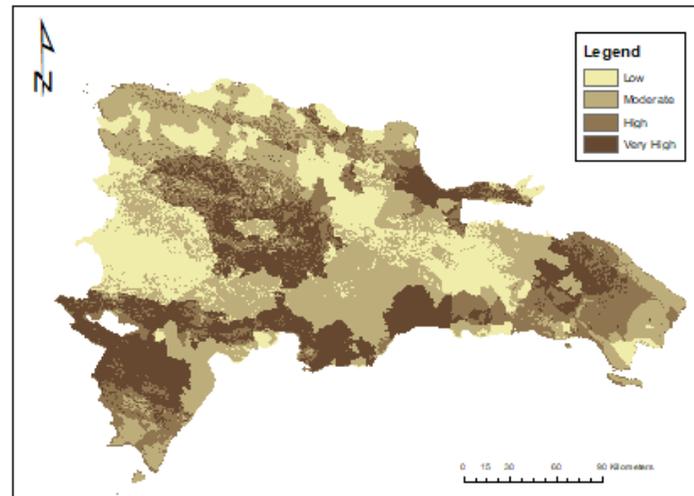
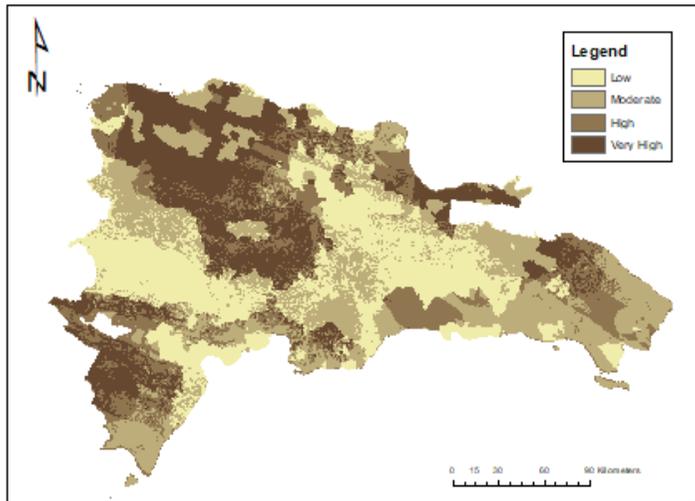
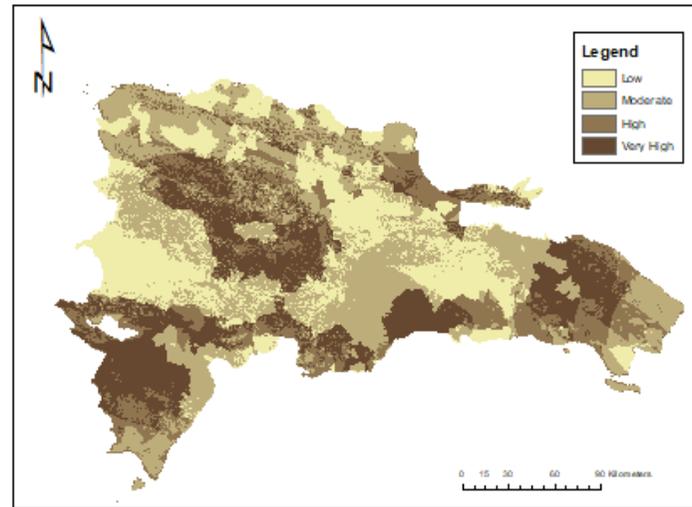
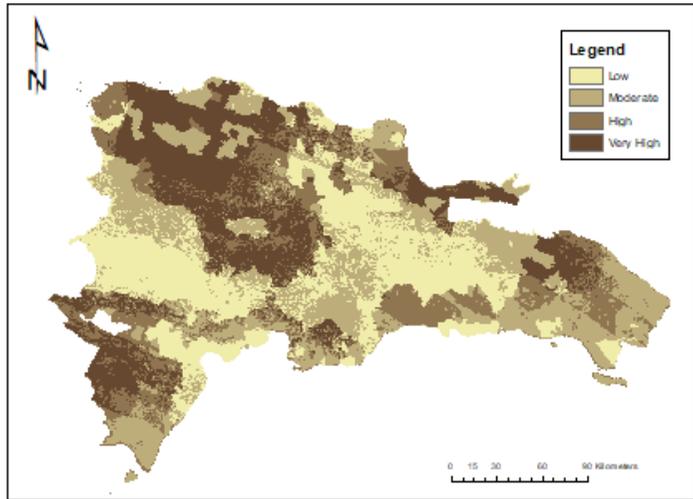


Figura B22: Mapa de riesgo (RCP 8.5 década de 2070), República Dominicana: (a) PDCanESM (panel superior izquierdo) (b) PWCCanESM (panel superior derecho) (c) PDHadGEM (panel inferior izquierdo) (d) PWHadGEM (panel inferior derecho)