



**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**

ESCUELA DE POSGRADO

**Generación de índices municipales de riesgo de desastres en
Honduras**

**Tesis sometida a consideración de la División de Educación y el Programa de
Posgrado como requisito para optar por el grado de *Magister Scientiae* en
Socioeconomía Ambiental**

Por

Eduardo Francisco Pacay Tot

TURRIALBA, COSTA RICA

2015

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y el Programa de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del estudiante, como requisito parcial para optar por el grado de

MAGISTER SCIENTIAE EN SOCIOECONOMÍA AMBIENTAL

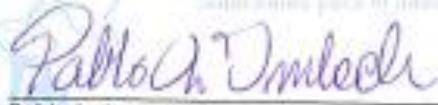
FIRMANTES:



Juan Robalino, Ph.D.
Director de tesis



Milagro Saborio, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Pablo Imbach, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Francisco Jiménez, Dr. Sc.
Decano Programa de Posgrado



Eduardo Francisco Pacay Tot
Candidato

DEDICATORIA

A la vida y a la energía, esas fuerzas que están en constante movimiento y equilibrio, y de las cuales se origina lo que me rodea, quienes me rodean, lo que soy, lo que pienso...

A mis padres, Gerardo y Consuelo por ser mi inspiración, mi ejemplo, mi apoyo en todo momento...

A mis hermanas Paola, María Teresa y José Gerardo, por brindarme su amistad, su alegría y sus palabras de aliento...

A ese inesperado día dieciséis...

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis, Juan Robalino, por brindarme su apoyo y comprensión en todo momento. Gracias por contribuir con sus valiosos conocimientos, aportes e ideas que fueron de suma importancia para que su pudiera realizar este proyecto de investigación.

A Catalina Sandoval, por su valioso apoyo en toda la fase de análisis de datos y generación de resultados, gracias por sus conocimientos y por estar allí siempre para resolver mis dudas.

A los miembros de mi comité, Pablo Imbach y Milagro Saborío, por sus valiosos aportes y comentarios durante toda la fase de la investigación.

Al Programa del Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD), por haberme brindado todo el apoyo financiero para poder realizar y culminar mis estudios de posgrado.

A Katherine Araúz, por ser mi amiga y mi apoyo incondicional en todo momento. Gracias por las alegrías, por los momentos compartidos, por tus palabras de aliento y por tus consejos. Gracias por ser quien eres.

A la familia: Mónica, Maureen, Katherine, Suelen, Ruth, Margarita, Juan Pablo, Kaue. Por todos esos momentos divertidos, por su amistad, por hacerme sentir como en casa estos años en el CATIE.

Al equipo Di o Diay, por todas esas emociones y alegrías, siempre seremos campeones.

A todo el personal docente y administrativo del CATIE, gracias por sus enseñanzas y por todo su apoyo logístico.

Muchas gracias

CONTENIDO

CAPÍTULO I.....	10
INTRODUCCIÓN Y SÍNTESIS GENERAL DE LA TESIS.....	10
1.1 Justificación e importancia.....	10
1.2 Objetivos	11
1.2.1 General	11
1.2.2 Específicos.....	11
1.2.3 Preguntas de investigación.....	11
1.3 Marco referencial	12
1.3.1 Desastre.....	12
1.3.2 Riesgo.....	13
1.3.3 Evento Extremo Climático (amenaza).....	13
1.3.4 Anomalía climática.....	15
1.3.5 Variables socioeconómicas (Vulnerabilidad)	16
1.4 Principales resultados.....	16
1.5 Principales conclusiones	18
1.6 Literatura citada	19
CAPÍTULO II.....	21
ARTÍCULO.....	21
Uso de evidencia empírica para la construcción de índices de riesgo de desastres en Honduras	21
Resumen	21
1. Introducción	22
2. Análisis de literatura.....	23
3. Datos.....	24
4. Metodología.....	27
4.1. Modelo econométrico para explicar la probabilidad de desastre	27
4.2. Generación de índices de riesgos de desastres	28
5. Estimación de los pesos de los factores de riesgo	29
6. Riesgo de desastres por eventos extremos de precipitación en Honduras.....	34
7. Conclusión.....	37
8. Referencias bibliográficas.....	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Efecto de los cambios en la distribución de temperaturas y precipitación en los extremos	15
Figura 1.2. Precipitación máxima por regiones en Honduras en el periodo 2001-2010	17
Figura 2.1. Comparación de precipitaciones máximas entre el período 1981-1990 y 2001-2010	26
Figura 2.2. Gráfico de distribución de desastres en función de la anomalía	29
Figura 2.3. Mapa de riesgo de desastres con anomalía de 2 desviaciones estándar para el mes de octubre en Honduras.....	35
Figura 2.4. Mapa de riesgo de desastres con anomalía de 1 y 2 desviaciones estándar para el mes de octubre en Honduras.	36
Figura 2.5. Mapas de riesgo de desastres en Honduras, para los meses lluviosos con anomalía de 2 desviaciones estándar.	37

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Desastres ocasionados por eventos de precipitación por mes, en Honduras en el período 2001-2010	25
Cuadro 2. Estadística descriptiva de las variables socioeconómicas, biofísicas y geográficas	27
Cuadro 3. Regresión básica (Core) para la estimación de la relación de variables climáticas, socioeconómicas, biofísicas y geográficas sobre la ocurrencia de desastres.	31
Cuadro 4. Regresiones con los meses del año	33
Cuadro 5. Prueba de bondad de ajuste del modelo.....	34
Cuadro 6. Ranking de los 10 municipios con más riesgo a desastres en Honduras para el mes de octubre	36

LISTA DE ACRÓNIMOS

BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CHIRPS	Climate Hazard group InfraRed Precipitation with Station
COPECO	Comisión Permanente de Contingencias de Honduras
DESINVENTAR	Sistema de Inventarios de Desastres
INE	Instituto Nacional de Estadísticas de Honduras
IPCC	Panel Intergubernamental del Cambio Climático
MINAET	Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones de Costa Rica
OMM	Organización Meteorológica Mundial
SERNA	Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente de Honduras
SINIT	Sistema Nacional de Información Territorial de Honduras
SMN	Servicio Meteorológico Nacional de Honduras
UNISDR	Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas

RESUMEN

Honduras es uno de los países con mayor incidencia de eventos extremos climáticos en la región centroamericana. Sus condiciones sociales, económicas y ambientales hacen que sea un país muy vulnerable a la ocurrencia de desastres. Es por ello que, a partir de información empírica, este estudio determina la importancia de algunas variables socioeconómicas, geográficas y biofísicas en la ocurrencia de desastres ocasionados por eventos extremos de precipitación. Se determinó que el efecto de las variables estudiadas sobre la ocurrencia de desastres puede variar significativamente con la magnitud de la anomalía de precipitación. Por ejemplo, la cobertura de bosque, la pendiente y la escorrentía promedio por municipio tienen efecto únicamente cuando ocurre un evento anómalo de precipitación. Sin embargo, otras variables afectan la probabilidad de desastres aunque no haya anomalías. Por ejemplo, la población, la fracción de la población urbana y el porcentaje de necesidades básicas insatisfechas de vivienda incrementan los desastres incluso sin que exista un evento anómalo. Además, se encontró que el riesgo de desastres varía temporalmente y de acuerdo con la magnitud de la anomalía. Como es de esperar, anomalías en los meses lluviosos son las que tienen más efecto en el incremento de desastres, siendo octubre el mes con más riesgo. Estos resultados fueron robustos para diferentes especificaciones econométricas. Los municipios de Honduras que poseen más riesgo de desastres por eventos extremos de precipitación son el Distrito Central, Choluteca, El Progreso, Marcovia, El Triunfo, Nacaome, Puerto Lempira, San Lorenzo, San Pedro Sula y Juticalpa. El orden de los municipios con más riesgo también fue robusto para diferentes especificaciones del índice.

Palabras clave: índices de riesgo, desastres, eventos extremos, anomalías, modelo probabilístico.

ABSTRACT

Honduras is one of the countries in Central America with the highest incidence of extreme weather events. Their social, economic and environmental conditions make Honduras vulnerable to the occurrence of disasters. Due to the empirical data found in this study, the importance of some variable such as, socio-economic, geographic and biophysical in the occurrence of disasters caused by extreme precipitation has been determined crucial. It was determined that the effect of the variables on the occurrence of disasters can vary significantly with regards to the magnitude of the anomaly of precipitation. For example, forest cover, slopes, and average runoff per municipality have an effect only when an anomalous precipitation event occurs. However, other variables affect the probability of disaster even in the absence of abnormalities. For example, the population, the divided urban population, and the percentage of unsatisfied basic house needs, increase disasters even in the absence of an abnormal event. In addition, we found that disaster risk varies temporarily according to the magnitude of the anomaly. As expected, anomalies in the rainy months are those that have most disastrous impacts, October being the month at most risk. These results were robust for different econometric specifications. The Municipalities of Honduras that have highest disaster risk by extreme precipitation are the Central District, Choluteca, El Progreso, Marcovia, El Triunfo, Nacaome, Puerto Lempira, San Lorenzo, San Pedro Sula, and Juticalpa. The order of the municipalities at highest risk was also found to be significant to different specifications of the index.

Keywords: risk indices, disasters, extreme events, anomalies, probabilistic model.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN Y SÍNTESIS GENERAL DE LA TESIS

1.1 Justificación e importancia

De acuerdo con el Panel Intergubernamental de Cambio Climático, desde aproximadamente 1970, el aumento de la actividad ciclónica tropical en el Atlántico Norte ha incrementado los eventos climáticos extremos en la región centroamericana. Esto ha generado daños a la sociedad debido desastres por deslaves e inundaciones (IPCC 2007). A nivel regional, Honduras es el país que más daños ha sufrido por dichos eventos (Eckstein 2012).

Sin embargo, también es importante resaltar que la ocurrencia de un desastre no solo depende de la presencia de un evento climático extremo. Ya que existen condiciones sociales, económicas y geográficas propias de las poblaciones, que los pueden hacer susceptibles a las condiciones climáticas extremas. Lo que influye directamente en el incremento del riesgo a la ocurrencia de desastres (Cardona 1993).

En respuesta a esta situación, se han se han construido índices de riesgo. Por ejemplo, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID 2010) generó "Indicadores de Riesgo de Desastres y de Gestión de Riesgos para América Latina y el Caribe. Este estudio reflejó que Honduras es el país de la región con el índice más alto, lo cual expresa que existe una incapacidad económica del país para hacer frente a desastres extremos.

Así mismo, DARA (2011) determinó un Índice de Reducción de Riesgo para los países de Costa Rica, Honduras, El Salvador, Guatemala, Nicaragua, Panamá y República Dominicana. Donde, a través de encuestas a expertos y a actores clave, se evaluaron en cada país cuatro impulsores del riesgo: degradación ambiental, condiciones socioeconómicas, gobernabilidad y ordenamiento territorial. Los resultados específicos para Honduras mostraron que el mayor impulsor del riesgo es la falta de ordenamiento territorial, aunado a la inadecuada infraestructura existente; sin embargo, estos factores aplican para todo el país.

Los estudios descritos anteriormente obedecen a proyectos de investigación regionales, lo cual ocasiona que no exista información sobre riesgo de desastres con más detalle geográfico. Además, se requiere identificar adecuadamente cuál es el efecto de las variables socioeconómicas, biofísicas y geográficas en el índice de riesgo.

La presente investigación tiene como objetivo principal estimar la influencia de variables socioeconómicas, geográficas y biofísicas en la ocurrencia de desastres por eventos extremos de precipitación. Esto se hace con el propósito de generar índices de riesgo a nivel de municipios en Honduras. Una contribución importante de esta tesis es que los pesos específicos de las variables, tales como los eventos extremos, variables socioeconómicas y geográficas que influyen en el riesgo a desastres, son estimados a partir de evidencia empírica.

Es importante generar índices de riesgo a desastres por eventos de extremos de precipitación en Honduras; ya que este es un país altamente vulnerable a la ocurrencia de eventos extremos. Lo cual hace que sea un excelente escenario para generar metodologías sobre riesgo a desastres, debido a la cantidad de eventos extremos presentes y la variabilidad en las variables socioeconómicas, biofísicas y geográficas.

El presente estudio generó valiosa información a nivel de municipios. Esta puede ser utilizada para identificar poblaciones que se encuentran en un riesgo potencial a sufrir desastres por eventos extremos. Lo cual es fundamental para plantear planes de gestión de riesgos ante desastres, sistemas de alerta temprana, generación de pronósticos a desastres por eventos climáticos extremos. También para reforzar otras metodologías que determinen el riesgo a desastres, lo cual es de suma importancia para un país tan vulnerable como lo es Honduras.

1.2 Objetivos

1.2.1 General

Estimar el efecto de eventos extremos de precipitación, variables socioeconómicas, biofísicas y geográficas en la ocurrencia de desastres para la generación de índices municipales de riesgo en Honduras.

1.2.2 Específicos

Generar indicadores climáticos de eventos extremos de precipitación a nivel de municipios, ocurridos en Honduras en el período 2001-2010.

Estimar el efecto de indicadores climáticos de eventos de precipitación extrema, variables socioeconómicas, biofísicas y geográficas sobre la ocurrencia de desastres, usando modelos probabilísticos.

Calcular y describir índices municipales de riesgo de desastres para Honduras.

1.2.3 Preguntas de investigación

¿Cuál ha sido el comportamiento de la precipitación extrema en Honduras en el periodo 2001-2010?

¿Cómo influyen los eventos extremos, las variables socioeconómicas y geográficas sobre la probabilidad de ocurrencia de desastres en Honduras?

¿Cuál es el riesgo a desastres por eventos extremos para cada uno de los municipios de Honduras?

1.3 Marco referencial

Para estimar la influencia de las variables en estudio y calcular índices de riesgo de desastres, es necesario definir el enfoque de los elementos conceptuales a utilizar. Ya que existe una diversidad de enfoques a nivel de literatura. Por lo que, a continuación, se describen los elementos conceptuales sobre los cuales se basa el presente trabajo

1.3.1 Desastre

UNISDR (2009) define desastre como “una seria interrupción en el funcionamiento de una comunidad o sociedad, que ocasiona una gran cantidad de muertes al igual que pérdidas e impactos materiales, económicos y ambientales. Y éstos exceden la capacidad de la comunidad o la sociedad afectada para hacer frente a la situación mediante el uso de sus propios recursos”.

Así mismo, Cardona (1993) define que un desastre es un “evento o suceso que ocurre, en la mayoría de los casos, en forma repentina e inesperada, causando sobre los elementos sometidos alteraciones intensas. Estas están representadas en la pérdida de vida y salud de la población, la destrucción o pérdida de los bienes de una colectividad y/o daños severos sobre el medio ambiente. Lo que significa la desorganización de los patrones normales de vida, genera adversidad, desamparo y sufrimiento en las personas, efectos sobre la estructura socioeconómica de una región o un país y/o la modificación del medio ambiente. Lo anterior determina la necesidad de asistencia y de intervención inmediata”.

Tanto la UNISDR (2009) como Cardona (1993) poseen enfoques compatibles, ya que ambos definen un desastre bajo la perspectiva de daños sociales, económicos y ambientales, ocasionados por un evento inesperado.

En relación con el origen de los desastres, estos pueden ser causados por fenómenos naturales provocados por el hombre, o ser consecuencia de una falla de carácter técnico en sistemas industriales. Para el primer caso, los principales fenómenos naturales que producen desastres son las inundaciones, huracanes, sequías, terremotos, explosiones volcánicas, tsunamis, derrumbes, deforestación, desertificación y epidemias (Cardona 1993).

Es importante mencionar que los efectos de los desastres pueden clasificarse en pérdidas directas e indirectas. Las primeras están relacionadas con el daño físico, expresado en víctimas, en daños en la infraestructura, el espacio urbano, la industria, el comercio y el deterioro del ambiente, es decir, la alteración física del hábitat.

Mientras que las pérdidas indirectas generalmente se subdividen en efectos sociales como la interrupción del transporte, de los servicios públicos, de los medios de información; y en efectos económicos las cuales representan a la alteración del comercio y la industria por la baja producción, la desmotivación de la inversión y la generación de gastos de rehabilitación y reconstrucción (Cardona 1993).

1.3.2 Riesgo

Existen distintos enfoques para las definiciones de riesgo. Dentro de las más importantes, se encuentra la propuesta por la UNISDR (2009), que define riesgo como "la combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas". Así mismo, Narváez *et al.* (2009) exponen que existe un "riesgo global" que abarca todas las interrelaciones entre los múltiples tipos de riesgos, del cual se desprende el "riesgo de desastre", que definen como "la probabilidad de la ocurrencia de un evento físico dañino". Mientras que Cardona (1993), se refiere al riesgo como "la probabilidad de ocurrencias de eventos peligrosos, debido a elementos vulnerables expuestos a amenazas"; es decir, que el riesgo está definido por la función entre amenaza y vulnerabilidad. Birkmann (2007) recopila información de diversos autores e indica que el riesgo puede ser visto como una función de la situación de peligro (amenaza) y la vulnerabilidad de los elementos expuestos.

Como se puede observar, todas las definiciones dadas anteriormente coinciden en que riesgo es la probabilidad de la ocurrencia de un evento dañino o peligroso, y que es el producto de la función de la amenaza y la vulnerabilidad.

Para el presente estudio, la amenaza se refiere a las anomalías de los eventos extremos de precipitación y la vulnerabilidad hace referencia a las variables socioeconómicas, biofísicas y geográficas de los municipios de Honduras.

1.3.3 Evento Extremo Climático (amenaza)

Existe una diversidad de definiciones sobre los eventos climáticos extremos, el más utilizado es el propuesto por el IPCC (2007), que define a un evento climático extremo como un "fenómeno meteorológico raro en un lugar y época del año determinados. Donde la rareza del fenómeno es normalmente igual o superior a la de los percentiles 10 o 90 de la función de densidad de probabilidad observada".

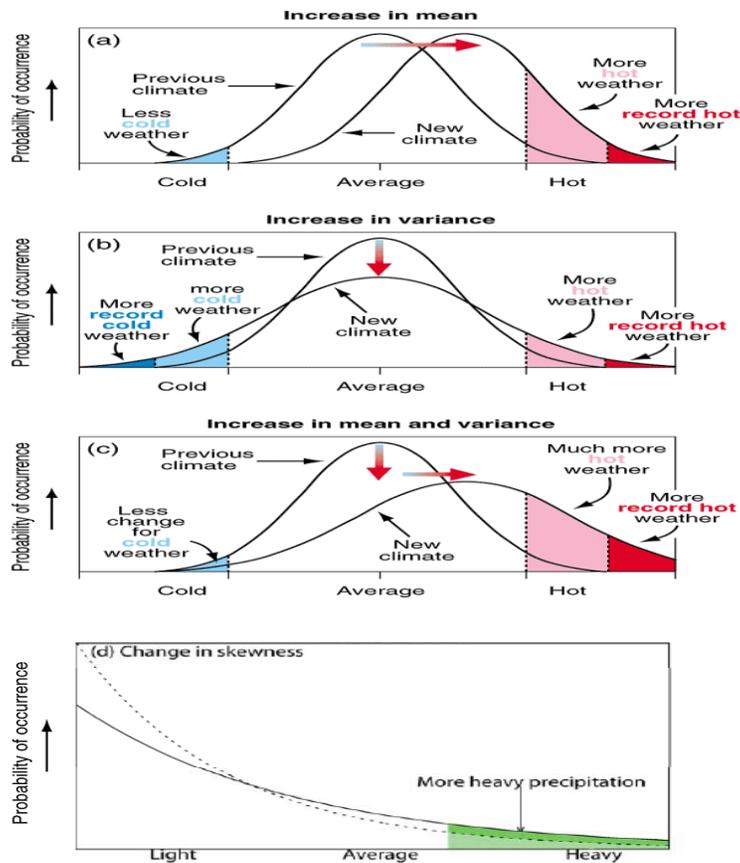
Aunque la definición de evento extremo propuesta por el IPCC se refiere a lo extremo como fenómenos "poco frecuentes"; en la actualidad, los eventos climáticos extremos están referidos no tanto a su probabilidad de ocurrencia, sino a la magnitud del impacto. Por ejemplo, los huracanes son eventos estacionales frecuentes en la cuenca del Caribe. Todos los años existe una alta probabilidad de que afecten áreas comprendidas dentro de sus rutas de paso. Por lo tanto, no son fenómenos "raros" o

poco comunes. Sin embargo, dada la magnitud del fenómeno y la vulnerabilidad de los sistemas causan un impacto tal en la economía de los países, que algunos de estos eventos frecuentes pueden ser documentados como eventos climáticos extremos (MINAET 2008).

También existen definiciones de eventos extremos climáticos más flexibles, tal y como lo definió el MINAET (2008); entidad que se refiere a un evento extremo como “una situación de emergencia donde un fenómeno hidrometeorológico (frecuentes o no) causa alteraciones significativas en el estado del tiempo o clima de alguna zona, y cuyas consecuencias son impactos negativos importantes en actividades sociales o productivas”.

Es importante definir los eventos climáticos extremos y su influencia sobre las variables climáticas, tal y como se puede observar en la Figura 1.1; donde se observa que pueden existir diferentes cambios en las distribuciones de temperatura y precipitación entre el clima presente y el futuro, los cuales tienen efectos sobre los valores extremos de las distribuciones en la curva de la normalidad. La Figura 1.1.a) ejemplifica el efecto de un simple desplazamiento de toda la distribución a un clima más cálido; la Figura 1.1.b) muestra los efectos de un aumento de la variabilidad de la temperatura sin cambio en la media; en la Figura 1.1.c) se indica el efecto de cambio en un desplazamiento en la asimetría hacia la parte más cálida de la distribución; y en la Figura 1.1.d), se muestra la curva asimétrica de precipitación, donde un cambio en la media general ocasiona variabilidad e incremento en la precipitación media y probablemente el aumento de los eventos extremos de precipitación.

Figura 1.1 Efecto de los cambios en la distribución de temperaturas y precipitación en los extremos



Fuente: IPCC 2012 y 2013

Al hablar de eventos extremos climáticos, es importante abordar también en el concepto de la variabilidad climática; la cual se refiere a las variaciones en el estado de las medias u otras estadísticas (como desviaciones estándar, la ocurrencia de extremos, etc.) del clima tanto en la escala temporal como espacial, además de los eventos climáticos individuales. La variabilidad puede resultar de los procesos naturales internos dentro del sistema climático (variabilidad interna) o de las variaciones causadas por fuerzas naturales o antropogénicas externas (variabilidad externa) (IPCC 2007).

1.3.4 Anomalía climática

El concepto de anomalía tiene distintas utilidades en diversas ciencias. Para el presente estudio, interesa definir la anomalía climática; la cual hace referencia a la desviación del valor de un elemento climático respecto del valor normal. También se define como la diferencia entre el valor de un elemento climático en un lugar determinado y el valor medio de dicho elemento promediado por la latitud de ese lugar

(OMM, 1992). El concepto de anomalía climática nace del marco conceptual de la meteorología y se le relaciona como un indicador de la variabilidad climática (Marín 1990).

1.3.5 Variables socioeconómicas (Vulnerabilidad)

Las variables socioeconómicas están altamente relacionadas a la vulnerabilidad. Ya que esta es una condición eminentemente social, producto de los procesos y formas de cambio y transformación de la sociedad, y explicada en gran parte por el acceso diferenciado a recursos económicos, sociales y organizacionales (Gellert y Gamarra 2003)

Para el caso específico de Honduras, según Suárez y Sánchez (2012), las principales variables socioeconómicas que determinan la vulnerabilidad, por ende, el riesgo a desastres son el tamaño del municipio, densidad poblacional, ingresos, nivel de educación, tipo de infraestructura y el desarrollo humano.

1.4 Principales resultados

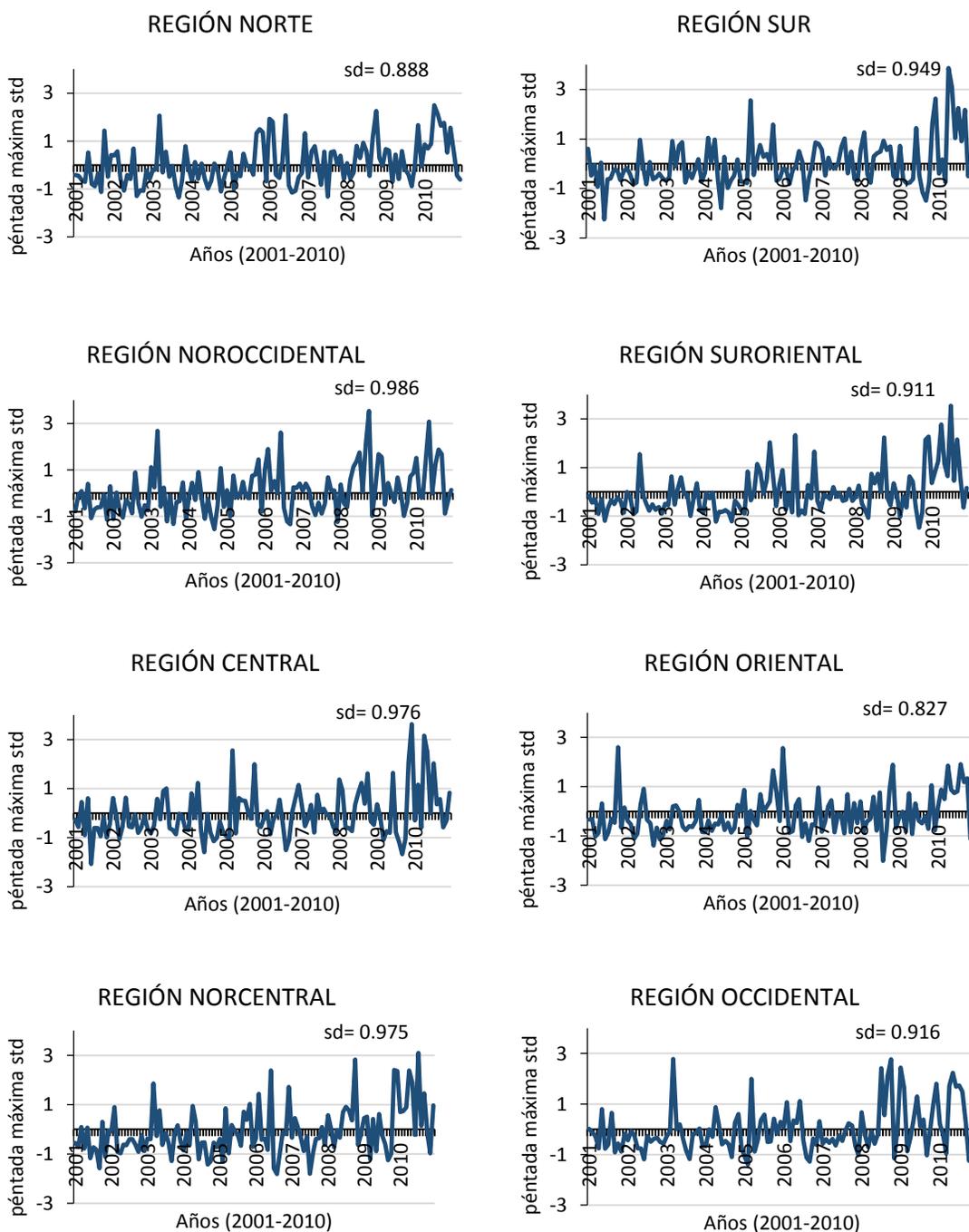
En relación con el comportamiento de la precipitación máxima en Honduras, se observó que las desviaciones estándar de las anomalías del período 2001-2010 han aumentado significativamente en comparación a las del período 1981-1990. Este incremento fue para todos los meses, a excepción de febrero y noviembre; mientras que junio y octubre fueron los meses donde hubo mayor aumento de la desviación estándar. Esto significa que se han registrado lluvias más extremas en los últimos años. Octubre es especialmente clave, ya que también se encontró que es cuando se han dado más desastres en la década del 2000.

También, se halló que a nivel de regiones existen cambios en la variabilidad de la precipitación máxima en el período 2001-2010. Las regiones que presentan más variabilidad son la noroccidental, la norcentral y la central; mientras que aquellas que presentan menos variabilidad son la oriental, norte y sur oriental (Figura 1.2). Esta variabilidad se debe en gran medida a la orografía del territorio hondureño y a los vientos alisios que marcan diferencias en las precipitaciones entre las regiones país (Argeñal 2010). Así mismo, se ha encontrado que las variaciones de la temperatura superficial del mar meridional, los gradientes de presión en el Atlántico Tropical y la Oscilación del Sur se asocian con anomalías de precipitación en América Central y el Caribe, generando cambios a nivel espacial (Hastenrath y Polzin 2013).

A pesar de estas diferencias entre cada una de las regiones, en todas se observa una tendencia de incremento de los eventos extremos, sobre todo en los años 2008 y 2010 cuando se registraron anomalías muy elevadas, las cuales corresponden a eventos de gran intensidad como lo fueron la depresión tropical 16, la tormenta tropical Agatha y a la tormenta tropical Alex. Este incremento en la variabilidad puede deberse a que la región centroamericana

experimenta variabilidad interanual y alternancias entre regímenes secos y muy húmedos plurianuales en períodos prolongados (Hastenrath y Polzin 2013).

Figura 1.2. Precipitación máxima por regiones en Honduras en el periodo 2001-2010



En relación con la influencia de las variables socioeconómicas, biofísicas y geográficas en la ocurrencia de desastres por eventos extremos de precipitación en Honduras, se determinó

que el efecto de las variables estudiadas sobre la ocurrencia de desastres puede variar significativamente con la magnitud de la anomalía de precipitación. Por ejemplo, el bosque, la pendiente y la escorrentía promedio por municipio únicamente tienen efecto cuando existe un evento anómalo de precipitación. Sin embargo, otras variables afectan la probabilidad de desastres aunque no haya anomalías. Por ejemplo, el aumento de la población, la fracción de la población urbana y del porcentaje de necesidades básicas insatisfechas de vivienda, incrementan los desastres incluso sin que exista un evento anómalo. Estos resultados fueron robustos en diferentes especificaciones de la regresión.

Se determinó que las épocas climáticas son determinantes en la ocurrencia de desastres en Honduras; meses lluviosos como mayo, junio, agosto, septiembre, octubre y noviembre son muy significativos - a excepción de julio, que es el mes de la canícula en Honduras. Mientras que los meses menos lluviosos como enero, febrero, marzo, abril y diciembre no son significativamente diferentes a marzo, el mes más seco. Estos resultados también fueron robustos en diferentes especificaciones de la regresión.

Los índices municipales de riesgo de desastres generaron a partir un modelo de regresión probabilístico. Se calcularon los índices para todos los municipios para los meses de mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre, todos ellos bajo escenarios de anomalías de precipitación con 1 y 2 desviaciones estándar. Con respecto a octubre, que es el mes con más riesgo y con un escenario de 2 desviaciones estándar de anomalía, los municipios de Honduras que poseen más riesgo a desastres por eventos extremos de precipitación son el Distrito Central, Choluteca, El Progreso, Marcovia, El Triunfo, Nacaome, Puerto Lempira, San Lorenzo, San Pedro Sula y Juticalpa. El conjunto de los municipios más vulnerables también fue robusto para diferentes especificaciones del índice.

1.5 Principales conclusiones

- Las anomalías de precipitación del período 2001-2010 han incrementado en comparación a las del período 1981-1990, ocasionando lluvias más extremas. De igual forma, la variabilidad de la precipitación máxima es distinta para las diferentes regiones del país.
- El efecto de las variables estudiadas sobre la ocurrencia de desastres varía significativamente con la magnitud de la anomalía de precipitación. El bosque, la pendiente y la escorrentía promedio por municipio, únicamente tienen efecto cuando existe un evento anómalo de precipitación. Mientras la población, la fracción de la población urbana y el porcentaje de necesidades básicas insatisfechas de vivienda, incrementan los desastres incluso sin la presencia de eventos anómalos. Estos resultados son robustos para diferentes especificaciones econométricas.

- El riesgo de desastres por eventos extremos de precipitación depende de la época del año y de la magnitud de la anomalía, los meses lluviosos son los que tienen más efecto en el riesgo sin importar si ocurren o no eventos anómalos, siendo octubre el mes más riesgoso. Cuando hay anomalías en estos meses, los efectos sobre el riesgo crecen en intensidad. Estos resultados son robustos para diferentes especificaciones econométricas.
- De acuerdo con los índices municipales determinados, los municipios de Honduras que poseen más riesgo a desastres por eventos extremos de precipitación son el Distrito Central, Choluteca, El Progreso, Marcovia, El Triunfo, Nacaome, Puerto Lempira, San Lorenzo, San Pedro Sula y Juticalpa. Estos resultados son robustos para diferentes especificaciones del índice.

1.6 Literatura citada

- Argeñal, F. 2010. Variabilidad climática y cambio climático en Honduras. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. 44 p
- BID (Banco Interamericano de Desarrollo). 2010. Indicadores de riesgo de desastre y gestión de riesgos. División de Medio Ambiente, Desarrollo Rural y Gestión de Desastres (en línea). Washington D.C. 32 p. Consultado 29-11-2013. Disponible en <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=36424375>
- Birkmann, J. 2007. "Risk and vulnerability indicators at different scales: applicability, usefulness and policy implications." *Environmental Hazards* 7(1): 20-31.
- Cardona, O. 1993. Evaluación de la amenaza, vulnerabilidad y el riesgo. Maskrey, A. eds. Los desastres no son naturales. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. Colombia. p. 45-65
- Cardona, O. 2005. Indicadores de riesgo de desastre y gestión de riesgos. Departamento de Desarrollo y División de Medio Ambiente, Desarrollo (en línea). Washington D.C. 53 p Consultado 04-12-2013. Disponible en <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=1442183>
- DARA. 2011. Índice de Reducción del Riesgo en América Central y el Caribe –Análisis de Capacidades y Condiciones para la Reducción del Riesgo de Desastres (en línea). Madrid, España.. 31 p Consultado 04-12-2013. Disponible en http://daraint.org/wp-content/uploads/2012/01/IRR_ES.pdf
- Eckstein, S. H. D. 2012. "Global Climate Risk Index 2013: who suffers most from extreme weather events? weather-related loss events in 2011 and 1992 to 2011." 28 p.

- Gellert, G.; Gamarra, L. 2003. La trama y el drama de los riesgos a desastres: dos estudios a diferente escala sobre la problemática en Guatemala. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO). Guatemala. 280 p.
- Hastenrath, S.; Polzin, D. 2013. Climatic variations in Central America and the Caribbean. *International Journal of Climatology* (6): 1348-1356.
- IPCC (Panel Intergubernamental del Cambio Climático). 2007. Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.
- Marín, M. (1990). "Normalidad y anomalía en la investigación climatológica actual". *Revista de Geografía* 24(1): 35-41.
- MINAET (Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones). 2008. El Clima, su variabilidad y cambio climático en Costa Rica. Ministerio del Ambiente Energía y Telecomunicaciones (MINAET), IMNI, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Comité Regional de Recursos Hidráulicos (CRRH), CR. p. 75.
- Narváez, L; Lavell, A; Pérez, G. 2009. La gestión del riesgo de desastres: un enfoque basado en procesos (en línea). Lima, Perú. 106 p. Consultado 03-12-13. Disponible en http://www.comunidadandina.org/predecan/doc/libros/PROCESOS_ok.pdf
- OMM (Organización Meteorológica Mundial). 1992. Diccionario de vocabulario meteorológico (en línea). Honduras. Consultado 02-11-2014. Disponible en: http://www.wmo.int/pages/index_es.html.
- Suárez, G; Sánchez; W. 2012. "Desastres, riesgo y desarrollo en Honduras: Delineando los vínculos entre el desarrollo humano y la construcción de riesgo en Honduras." Disponible en http://www.revistahumanum.org/revista/wp-content/uploads/2013/07/Desastres_Riesgo_y_Developmento_en_Honduras.pdf
- UNISDR (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas). 2009. Terminología sobre reducción del riesgo de desastres. 43 p. Consultado 03-12-2013. Disponible en: http://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf

CAPÍTULO II

ARTÍCULO

Uso de evidencia empírica para la construcción de índices de riesgo de desastres en Honduras

Resumen

Utilizando datos espaciales y temporales altamente desagregados, se estima la relación entre la ocurrencia de desastres y variables climáticas, socioeconómicas, geográficas y biofísicas para la construcción de un índice de riesgo de desastre en Honduras. Se encontró que la relación entre las variables estudiadas y la ocurrencia de desastres varían significativamente con la magnitud de la anomalía de precipitación. La cobertura de bosque, la pendiente y la escorrentía promedio por municipio únicamente tienen efecto cuando existe un evento anómalo de precipitación. Mientras que el aumento de la población, de la fracción de la población urbana y el porcentaje de necesidades básicas insatisfechas de vivienda incrementan los desastres incluso sin que exista un evento anómalo. El riesgo de desastres varía temporalmente y esta variación se incrementa de acuerdo con la magnitud de la anomalía. Octubre es el mes con mayor riesgo. Estos resultados son robustos utilizando diferentes especificaciones econométricas. Se construyó un *ranking* de los 10 municipios con más riesgo en Honduras, el cual también fue robusto a las diferentes especificaciones. Los municipios de Honduras que poseen más riesgo de desastres por eventos extremos de precipitación son el Distrito Central, Choluteca, El Progreso, Marcovia, El Triunfo, Nacaome, Puerto Lempira, San Lorenzo, San Pedro Sula y Juticalpa.

Palabras clave: índices de riesgo, desastres, eventos extremos, anomalías, modelo probabilístico.

Abstract

Using highly disaggregated spatial and temporal data, the relationship between the occurrence of disasters and climatic, socioeconomic, geographic and biophysical variables were estimated for the construction of an index of disaster risk in Honduras. It was found that the relationship between these variables and the occurrence of disasters vary significantly with the magnitude of the anomaly of precipitation. Forest cover, slope and average runoff by municipality only have impacts when there is an anomalous precipitation event. Meanwhile increasing population, divided urban population, and the percentage of unsatisfied basic house needs, increases disasters even without the existence of an abnormal event. Disaster risk varies and this variation is temporarily increased according to the magnitude of the anomaly. October is the month at highest risk. These results are strongly significant using different econometric specifications. A ranking was created of the top 10 municipalities at most risk in Honduras, which was also robust to different specifications. Municipalities of Honduras that are at most risk of disasters by extreme precipitation are the Central District, Choluteca, El Progreso, Marcovia, El Triunfo, Nacaome, Puerto Lempira, San Lorenzo, San Pedro Sula and Juticalpa.

Keywords: risk indices, disasters, extreme events, anomalies, probabilistic model.

1. Introducción

Desde 1950 los eventos de precipitación, se han intensificado en el mundo (Stocker *et al.* 2013) y específicamente en Honduras (Harmeling y Eckstein 2013). Es de esperar que el número de desastres relacionados con eventos de precipitación aumente. Sin embargo, a pesar de que hay una relación muy estrecha entre los eventos extremos de precipitación y desastres, la ocurrencia de estos también depende de condiciones sociales, económicas y geográficas (Cardona 1993; Kahn 2005; Neumayer y Plümper 2007; Toya y Skidmore 2007; Kellenberg y Mobarak 2008; Fekete 2009; Peduzzi *et al.* 2009; Bui *et al.* 2011).

Entender la relación de las anomalías climáticas, las condiciones sociales, económicas, biofísicas y geográficas, con la ocurrencia de desastres es clave para la formulación de políticas que reduzcan la vulnerabilidad tales como sistemas de alerta temprana y políticas de desarrollo local. Para ello, se han generado índices de riesgo de desastres con diversas metodologías, como los generados a partir de la suma de los impactos que estos generan (BID 2010), o midiendo de forma cualitativa la importancia de las variables que los ocasionan (DARA 2011). Todos estos esfuerzos se han realizado a nivel de país y solo pueden ser interpretados a esa escala (Birkmann 2007).

El objetivo del presente estudio es investigar la relación que existe entre las variables climáticas, sociales, económicas, biofísicas y geográficas con la ocurrencia de desastres para desarrollar un índice de riesgo desagregado para Honduras. Esto se hace a partir de evidencia empírica del período 2001-2010, utilizando modelos de regresión que definen la probabilidad de que ocurra un desastre. Los niveles de desagregación espacial y temporal empleados permiten generar información muy precisa.

El uso de métodos de regresión se han utilizado anteriormente para generar índices de riesgo, por ejemplo, calidad de vida de ciudades (Blomquist *et al.* 1988, Roback 1982, Gyourko y Tracy 1991), distritos (Hall *et al.* 2010), y de países (Slottje 1991). También se han empleado para generar índices de vulnerabilidad y riesgo de desastres naturales en Alemania (Fekete 2009), Vietnam (Bui *et al.* 2011) y a nivel internacional (Peduzzi *et al.* 2009).

Los índices se determinan a través regresiones con modelos de variable dependiente dicotómica, que en este caso es la ocurrencia de desastres por municipio. Como variables explicativas, se utilizan las anomalías de un indicador de precipitación extrema, variables socioeconómicas, biofísicas, geográficas y variables temporales. Se utilizan, además, diferentes especificaciones para probar la robustez de los resultados.

Se encontró que el efecto de cada una de las variables en la ocurrencia de desastres varía en función de la presencia de eventos anómalos de precipitación. El bosque, la pendiente y la escorrentía promedio por municipio únicamente tienen efecto cuando existe un evento anómalo

de precipitación. Mientras que el aumento de la población, de la fracción de población urbana y del porcentaje de necesidades básicas insatisfechas de vivienda incrementan los desastres incluso sin que exista un evento anómalo. Se encontró que estos resultados fueron robustos a diferentes especificaciones econométricas.

Finalmente, se estiman índices de riesgo a nivel municipal para cada mes de la época lluviosa en Honduras. Para generar estos índices, se asume que hay un evento anómalo de precipitación, por lo cual se definieron escenarios con 1 y 2 anomalías. Se encontró que los municipios con más riesgo de desastres para el mes de octubre son: el Distrito Central, Choluteca, El Progreso, Marcovia, El Triunfo, Nacaome, Puerto Lempira, San Lorenzo, San Pedro Sula y Juticalpa. Estos municipios aparecen consistentemente en diferentes especificaciones.

El presente artículo se encuentra conformado por las siguientes secciones: sección 2 de datos, en donde se presentan las distintas fuentes de la información empírica; sección 3, que hace referencia a la metodología utilizada; sección 4, que describe la estimación de los pesos de los factores de riesgo; sección 5, trata del riesgo de desastres por eventos extremos en Honduras y sección 6, con la conclusión respectiva.

2. Análisis de literatura

Los estudios relacionados con el riesgo de desastres no son escasos. Muchos de ellos se centran en determinar de forma empírica el efecto de variables sociales, económicas y geográficas sobre la ocurrencia de desastres.

Muchos de estos estudios se han hecho utilizando observaciones sumamente agregados como países. Kahn (2005) relacionó la cantidad de muertes ocasionados por desastres con variables de ingresos per cápita, nivel de democracia, calidad institucional y geografía de varios países de distintos continentes. Encontró que las naciones con mayores ingresos tienden a sufrir menos muertes que las naciones pobres, a pesar que la ocurrencia de eventos suele ser la misma en ambas. También halló que la democracia, las instituciones y la geografía de los países juegan un papel muy importante en la cantidad de muertes por desastres.

Kellenberg y Mobarak (2008) realizaron el mismo trabajo para varios países a nivel mundial, donde encontraron que la relación de muertes por algunos tipos de desastres (inundaciones, deslizamientos y vendavales) y el PIB per cápita, no es lineal. Específicamente, encuentran que el PIB per cápita disminuye la cantidad de muertes solo a partir de \$ 4500- \$ 5500 aproximadamente.

Estudiar los determinantes de los efectos de los desastres permite la generación de índices de riesgo. Estos índices se han generado con metodologías cualitativas y cuantitativas. En relación a las metodologías cualitativas, DARA (2011) desarrolló un Índice de Reducción de Riesgo para los países de América Central y República Dominicana. A través de encuestas a expertos y a actores clave, se evaluaron en cada país cuatro impulsores del riesgo: degradación

ambiental, condiciones socioeconómicas, gobernabilidad y ordenamiento territorial. Encontraron que la falta de gobernabilidad es principal impulsor de riesgo para la región, ya que influye directamente sobre el resto de impulsores.

En relación con los estudios cuantitativos, Dilley *et al.* (2005) identifican "Hotspots de desastres naturales". A partir de ello, elaboraron un mapa mundial de riesgo de mortalidad y pérdidas económicas ocasionadas por desastres de origen natural. La escala del estudio es a nivel subnacional, pero únicamente para los países que poseen altos índices de población.

Peduzzi *et al.* (2009) desarrollan Índices de Riesgo de Desastres (DRI) a nivel mundial en el año 2005. Utilizaron evidencia empírica del período 1980-2000. Para ello, se utiliza un modelo donde la variable dependiente es el número de muertes por desastres y las variables explicativas son la frecuencia de las amenazas, la población expuesta y variables socioeconómicas. También, el BID (2010), basado en la metodología de Cardona (2005), generó "Indicadores de Riesgo de Desastre y de Gestión de Riesgos" para 12 países de América Latina. Se calcularon cuatro índices: el Índice de Déficit por Desastre (DDI), el Índice de Desastres Locales (IDL), el índice de vulnerabilidad prevalente (IVP) y el Índice de Gestión de Riesgo (IGR).

También, se han calculado índices a escalas más locales. Bui *et al.* (2011) analizaron la susceptibilidad a deslizamientos en la provincia de Hoa Binh en Vietnam. Calcularon índices de riesgo a deslizamientos, utilizando métodos de regresión logística donde la variable dependiente era la ocurrencia de desastres y las variables explicativas, la pendiente, el tipo de suelo, el uso del suelo, distancia a carreteras y la precipitación.

Fekete (2009) también hizo un análisis a nivel de desastres para Alemania a nivel desagregado. Determinó índices de vulnerabilidad social a inundaciones por ríos a partir de un análisis factorial de tres indicadores: fragilidad, condiciones socio-económicas y la región. Estos indicadores fueron validados con una regresión logística con una especificación similar a la utilizada por Bui *et al.* (2011).

3. Datos

La fuente de datos de desastres fue el Sistema de Inventarios de Desastres (DESINVENTAR). Esta base posee información de desastres para varios países de América Latina. Para el caso de Honduras, esta base fue creada a partir de varias fuentes de información como: la Comisión Permanente de Contingencias (COPECO), Servicio Meteorológico Nacional (SMN), Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA), Instituto Nacional de Estadísticas (INE), Cuerpo de Bomberos de Honduras, Diarios La Tribuna y El Heraldo, y la Hemeroteca de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (DESINVENTAR 2013).

Ya que DESINVENTAR reporta una variedad de desastres, fueron seleccionados únicamente aquellos ocasionados por eventos de relacionados con precipitación. Los tipos de eventos seleccionados fueron: inundaciones, lluvias, deslizamientos, tempestad, marejada,

licuación, aluvión, avenida torrencial y sedimentación. En el periodo 2001-2010, en Honduras, se reportaron un total de 1,276 desastres relacionados con precipitación, siendo las inundaciones la más comunes, representando el 59.48% del total de desastres seleccionados. Octubre es el mes que en el que ocurrieron la mayor cantidad de desastres (Cuadro 1).

La unidad de análisis del presente estudio es el municipio. Honduras está compuesto por 298 municipios. Para cada mes, se determinó la cantidad de desastres ocurridos en cada municipio durante el período de enero 2001 a diciembre 2010. A partir de esto, se generaron un total de 35,760 observaciones.

Cuadro 1. Desastres ocasionados por eventos de precipitación por mes, en Honduras en el período 2001-2010

Tipo de desastre	Meses												Total	Porcentaje (%)
	ene	feb	marz	abr	may	jun	jul	ago	sept	oct	nov	dic		
Inundación	11	8	10	11	169	45	27	106	124	182	45	21	759	59.48
lluvias	0	1	0	0	11	97	3	59	70	2	18	4	265	20.77
Deslizamiento	3	0	1	1	61	5	21	22	32	67	11	0	224	17.55
Tempestad	0	0	0	0	0	1	0	3	0	1	4	1	10	0.78
Marejada	0	0	0	2	2	2	0	0	2	0	1	0	9	0.71
Licuación	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	3	0.24
Aluvión	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	2	0.16
Avenida torrencial	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2	0.16
Sedimentación	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	2	0.16
total	14	9	11	14	244	152	51	190	229	253	82	27	1276	100

Fuente: DESINVENTAR Honduras

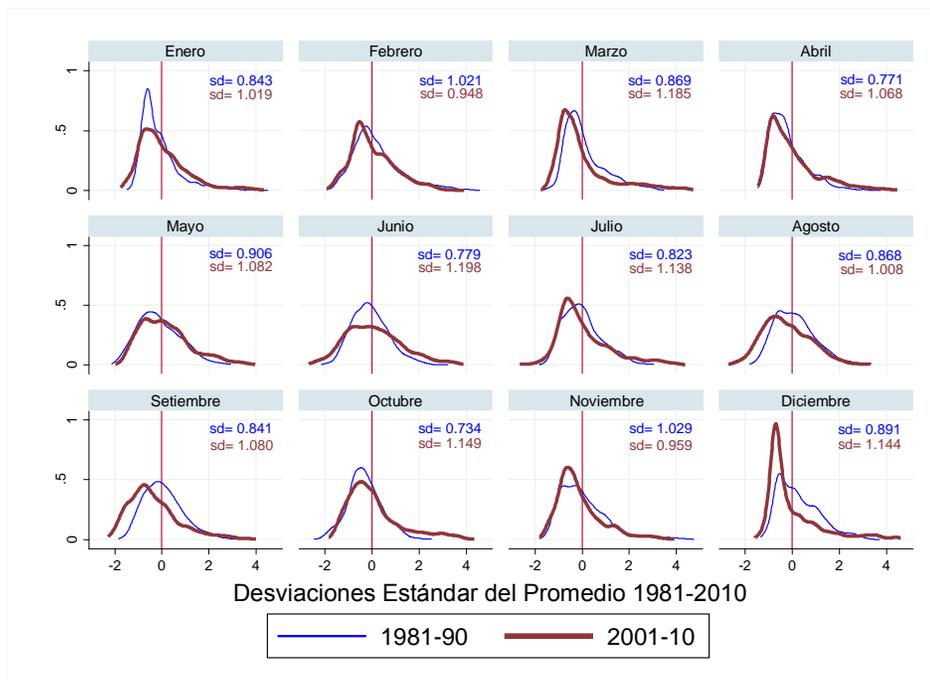
La fuente de los datos climáticos fue la base *Climate Hazard group InfraRed Precipitation with Station (CHIRPS)*, elaborada por el Centro Científico y Observación de Recursos Terrestres del Servicio Geológico de los Estados Unidos y por el Grupo de Riesgo Climático de la Universidad de California en Santa Bárbara (Funk *et al.* 2013). Esta base de datos utiliza observaciones calibradas con precipitación *in situ* (estaciones meteorológicas), climatologías globales de precipitación de 0,05°, grids de variación temporal basados en satélites y modelos climáticos de precipitación. Con esto, se generan datos de precipitación pluvial acumulada cada 5 días, denominadas péntadas. Para transformar la información climática que esta desagradada en pixeles de 5 kms a nivel municipal, se ponderó el dato de precipitación de acuerdo con el área de cobertura de cada pixel sobre el municipio.

El presente estudio se enfoca en el indicador de precipitación máxima acumulada en 5 días (péntada máxima) de cada mes. Este indicador se obtuvo para todos los municipios y para todos los años del período 1981-2013. Seguidamente, se realizó una estandarización por mes por municipio; para lo cual se encontró el promedio de péntadas máximas y la desviación estándar de cada mes para cada uno de los municipios. Luego, a cada péntada máxima, se le restó el promedio y se dividió entre la desviación estándar del mes respectivo. Esto se hizo con

el propósito normalizar los datos y enfocar el análisis en anomalías. Con esto, se generó un total de 35,760 observaciones.

En la Figura 2.1, se observa que la varianza de la distribución de la anomalía del indicador del período 2001-2010 ha aumentado con respecto al periodo 1981-1990. Se han registrado anomalías significativamente mayores que en el período 1981-1990 para todos los meses, a excepción de los meses de febrero y noviembre. Lo cual significa que se han registrado lluvias más extremas en los últimos años. Es importante recalcar que los meses cuando aumentó mayormente la desviación estándar fueron junio y octubre. Octubre se hace más importante en este análisis cuando se toma en cuenta que es el mes del año cuando ocurren más desastres, como se puede observar en la Tabla 1.

Figura 2.1. Comparación de precipitaciones máximas entre el período 1981-1990 y 2001-2010



En relación con las variables socioeconómicas la fuente de información fue el XVI Censo de la Población y Vivienda realizada por el Instituto Nacional de Estadística de Honduras (INE) realizado en el 2001. Las variables utilizadas son la población por municipio, el porcentaje de la población urbana por municipio y el porcentaje de hogares con necesidades básicas insatisfechas (NBI) de vivienda (Cuadro 2).

Las variables biofísicas utilizadas fueron el porcentaje de bosque por municipio, pendiente promedio y escorrentía promedio. La fuente de información de la variable bosque proviene de un mapa de uso del suelo de 2002 contenida en el Sistema Nacional de Información Territorial de Honduras (SINIT); la escorrentía promedio fue extraída del modelo regional climatológico de vegetación potencial y de escorrentía media anual a largo plazo para Mesoamérica generada por Imbach *et al.* (2010); y la fuente de la pendiente promedio fue un modelo global de elevación digital (Aster 2011).

Las variables geográficas utilizadas fueron la distancia a la costa atlántica, distancia a la costa pacífica y el área por municipio; la fuente de información de estas variables fueron los mapas contenidos en la base del SINIT.

Cuadro 2. Estadística descriptiva de las variables socioeconómicas, biofísicas y geográficas

Variable	Toda la muestra		Municipios donde ocurrieron		Cuando no ocurrieron desastres	
	Media	Err. Std.	Media	Err. Std.	Media	Err. Std.
Presencia de desastre (por mes por municipio)	0.02	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
Población (personas por municipio)	20 392.20	318.50	118 489.90	9 890.60	18 800.40	273.00
Población urbana por municipio (%)	17.95	0.13	39.87	1.40	17.59	0.13
Hogares con NBI de vivienda (%)	0.32	0.00	0.52	0.03	0.31	0.00
Bosque (%)	43.85	0.12	39.09	0.96	43.93	0.12
Pendiente promedio (%)	16.56	0.03	14.66	0.28	16.59	0.03
Escorrentía promedio (milímetros)	248.20	1.16	213.50	9.04	248.80	1.17
Área por municipio (km ²)	373.97	4.02	672.88	37.96	369.12	4.04
Distancia a la costa Atlántica (kms)	114.90	0.38	109.00	3.57	114.97	0.39
Distancia a la costa del Pacífico (kms)	141.68	0.43	157.92	3.76	141.41	0.43
Número de observaciones	35760		571		35189	

4. Metodología

La metodología consta de 2 pasos. El primero se enfoca en estimar que variables climáticas, socioeconómicas, biofísicas y geográficas afecta la probabilidad de ocurrencia de un desastre. El segundo paso consiste en utilizar las características de cada uno de los municipios y los parámetros estimados en el paso 1 para calcular índices de riesgo de desastres por municipio y para cada mes del año.

4.1. Modelo econométrico para explicar la probabilidad de desastre

El modelo propuesto define como riesgo la probabilidad de desastre. Por lo tanto, se utiliza como variable dependiente la ocurrencia de un desastre, las anomalías de precipitación como las amenazas y las variables socioeconómicas, biofísicas y geográficas como vulnerabilidad. La probabilidad de desastre está definida por la siguiente ecuación:

$$Y_{it} = G(\beta_0 + \beta_1 A_{it} + \beta_2 A_{it}^2 + \delta_X X_i + \theta_X A_{it} * X_i + \lambda_{ME} ME_t + \vartheta_{ME} A_{it} * ME_t + \varepsilon_{it})$$

Donde Y_{it} es la probabilidad de ocurrencia de un desastre en el municipio "i" del mes "t". G es la función probabilística normal (Probit), A_{it} es la anomalía en el municipio "i" del mes "t", X_i son las variables socioeconómicas, biofísicas y geográficas del municipio "i", y ME_t son las variables de meses del año. Finalmente, β_1 , β_2 , δ_X , θ_X , λ_{ME} y ϑ_{ME} son los coeficientes que se estiman con el modelo y ε_{it} es el término de error que se distribuye normalmente, en el municipio "i" del mes "t".

Dado que se puede esperar la presencia de efectos no lineales entre la variable climática y la ocurrencia de desastres, se incluyó la anomalía al cuadrado. También, se realizaron interacciones de la anomalía con las distintas variables explicativas, multiplicando el valor de la anomalía con el valor de la variable respectiva, con el objetivo de probar si el efecto de las variables cambia cuando existen eventos anómalos de precipitación. En relación con las variables socioeconómicas, se espera que la población y la población urbana incrementen el riesgo de desastres, ya que al haber municipios con altas concentraciones de poblaciones, estas están más expuestas a sufrir daños económicos y de vidas humanas. Se espera también que las necesidades básicas insatisfechas de vivienda incrementen el riesgo de desastres, debido a que viviendas con infraestructura precaria sufren más los impactos de los eventos extremos de precipitación.

En relación con las variables biofísicas, se espera que la cobertura de bosque reduzca la probabilidad de ocurrencia desastres, debido a sus funciones de intercepción de la precipitación y de mejora de la infiltración del suelo. También se espera que la pendiente posea un efecto negativo, debido a que áreas más planas están más susceptibles a inundaciones. Mientras que la escorrentía seguramente tendrá un efecto positivo sobre los desastres, ya que al existir mayores láminas de agua sobre el suelo, hay más probabilidad de inundaciones y deslizamientos.

Adicionalmente, se espera que el área genere un efecto positivo sobre la ocurrencia de desastres; ya que a mayor área, existen más elementos expuestos a los eventos extremos. La distancia a las costas posiblemente tendrá un efecto negativo, puesto que los municipios más cercanos al mar tienden a ser más planos y por lo tanto suelen más susceptibles a inundaciones.

4.2. Generación de índices de riesgos de desastres

Para el cálculo de los índices de riesgo a desastres, se utilizó un modelo de regresión Probit, a través del cual se estiman los coeficientes β_1 , β_2 , δ_X , θ_X , λ_{ME} y ϑ_{ME} . Para evaluar el riesgo, se necesita asumir que la anomalía es diferente de 0. Por lo tanto, se calcularon índices de riesgo bajo escenarios con valores para las anomalías de 1 y 2. Esto significa que se espera que el indicador climático tenga 1 y 2 desviaciones estándar.

Entonces, para el cálculo de los índices, se ingresaron en la ecuación los valores de cada variable socioeconómica, biofísica y geográfica para cada uno de los municipios. Ya que la anomalía se evalúa en 1, se ingresó el valor de 1 en la variable climática. Por lo tanto, el índice para el mes t para el municipio i se obtiene con la siguiente formula:

$$\hat{Y}_{it} = G(\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1(1) + \hat{\beta}_2(1)^2 + \hat{\theta}_X(1) * X_i + \hat{\lambda}_{ME}ME_t + \hat{\vartheta}_{ME}(1) * ME_t)$$

De igual manera, se realizó para el cálculo para los índices con el valor para la anomalía de 2:

$$\hat{Y}_{it} = G(\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1(2) + \hat{\beta}_2(2)^2 + \hat{\theta}_X(2) * X_i + \hat{\lambda}_{ME}ME_t + \hat{\vartheta}_{ME}(2) * ME_t)$$

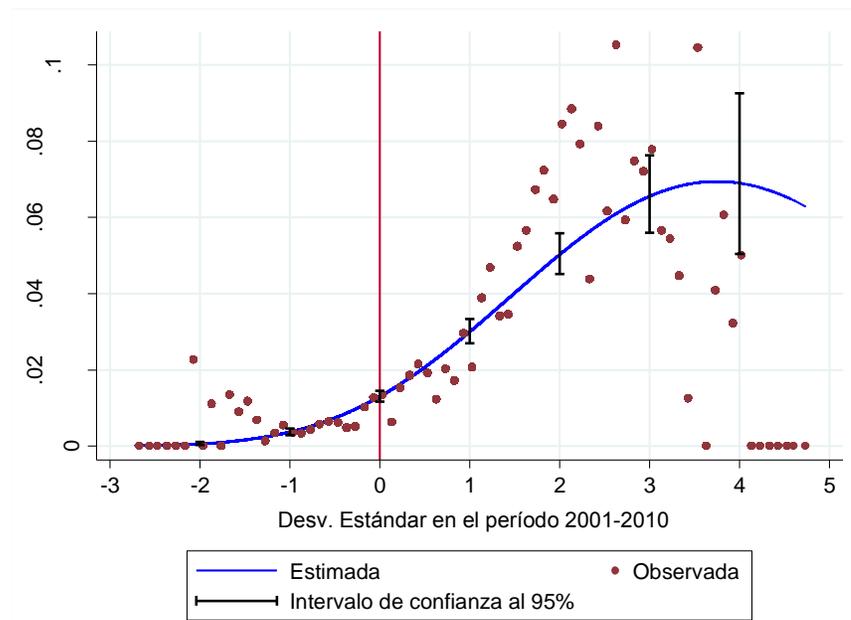
Es importante mencionar que los coeficientes de la ecuación para el cálculo de los índices están interactuados con la anomalía, a excepción de los meses. Ya que fue la ecuación más robusta y que va acorde con el resto de los modelos evaluados.

Se calcularon 298 índices municipales de riesgo en total, para cada uno de los meses lluviosos (mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre) con 1 y 2 desviaciones estándar de anomalías.

5. Estimación de los pesos de los factores de riesgo

Para asegurar que el indicador climático utilizado era adecuado, se graficó la relación entre la anomalía y la proporción de desastres en el periodo bajo análisis (ver Figura 2.2). También se estimó la relación que existe entre la anomalía y la probabilidad de ocurrencia de desastres, utilizando únicamente como variable explicativa la anomalía y la anomalía al cuadrado. Se observa que existe una relación significativa y positiva entre la anomalía y la proporción de los desastres ocurridos. Esta relación, además, es no lineal. Finalmente, se puede observar que cuando aumenta la anomalía, no solo aumenta la proporción de desastres, sino también los intervalos de confianza de la probabilidad. Esto implica que entre mayor es la anomalía, mayor es la incertidumbre sobre la ocurrencia de desastres.

Figura 2.2. Gráfico de distribución de desastres en función de la anomalía



Luego, para estimar la influencia de las distintas variables en la ocurrencia de desastres, se realizaron regresiones con distintos modelos a partir de la información empírica (Cuadro 3). Se observa que el efecto de cada variable explicativa sobre la ocurrencia de un desastre varía de acuerdo con la presencia de un evento anómalo de precipitación. Algunas variables tienen

efecto solo cuando anomalías de precipitación, mientras que otras variables afectan la ocurrencia de desastres aunque no existan anomalías.

En relación con la población, la fracción de la población urbana por municipio y al porcentaje de hogares con NBI de vivienda; el aumento de estas, incrementa la probabilidad de ocurrencia de desastres, aunque no existan eventos anómalos de precipitación. Es decir, no es necesario que ocurra un evento de lluvia de gran intensidad, para que en regiones con alta población se generen desastres. Además, cuando existen anomalías, el efecto de la población se incrementa. Con respecto a lo anterior, Strobl (2012) y Kahn (2005) también encontraron evidencias de que áreas con altas tasas de población están más propensas a sufrir más daños económicos y muertes por desastres, en comparación a lugares poco poblados. Así mismo, áreas con poblaciones urbanas históricamente en países de bajo o mediano ingreso económico, como Honduras, están más expuestas; ya que existe una alta concentración de asentamientos informales (Unisdr 2013). El porcentaje de NBI de vivienda es un indicador de pobreza, y se ha encontrado que las personas más pobres son las más vulnerables a los desastres naturales, en gran medida por la baja calidad de la infraestructura de sus viviendas (Fothergill y Peek 2004). Mientras existan más viviendas construidas con materiales de baja calidad, la infraestructura es menos resistente y el riesgo a sufrir desastres aumenta (Kahn 2005).

En relación con la cobertura de bosque, la pendiente y la escorrentía promedio por municipio, se encontró que estos únicamente tienen efecto cuando existe un evento anómalo de precipitación. El porcentaje de cobertura de bosque disminuye el efecto de la precipitación en la probabilidad de ocurrencia de desastres. Esto debido a que la cobertura boscosa reduce el impacto de la precipitación, mejora la capacidad de infiltración del suelo, lo cual disminuye el riesgo de inundaciones (Calder y Aylward 2006). El bosque también reduce las tasas de erosión, minimizando la ocurrencia de deslizamientos (Bathurst *et al.* 2010). Mientras que la escorrentía incrementa el efecto de la precipitación en la ocurrencia de desastres, ya que cuando las precipitaciones exceden la capacidad de infiltración del suelo, se generan altas tasas de escorrentías y por lo consiguiente aumenta el riesgo a inundaciones (Monirul Qader Mirza 2002; Labat *et al.* 2004).

La pendiente promedio tiene un efecto negativo sobre probabilidad de ocurrencia de desastres, este efecto está relacionado a la ocurrencia de inundaciones. Ya que se han encontrado evidencias que áreas con poca pendiente, como las llanuras o zonas costeras tienen más incidencia a eventos de inundación (Monirul Qader Mirza 2002; Liu *et al.* 2003; Haile y Rientjes 2005). Para el caso de Honduras, este efecto de la pendiente tiene mucho sentido, ya que del total de desastres ocurridos el 2001- 2010, el 59.48% son ocasionados por inundaciones. El área del municipio tiene un efecto positivo sobre la probabilidad de ocurrencia de desastres, lo cual significa que municipios con mayor extensión poseen una mayor probabilidad de reportar más desastres, debido a que poseen mayor exposición. Esto es consistente con los resultados de Kahn (2005) y (Strobl 2012), quienes encontraron que ciudades más grandes tienden a sufrir más los impactos de los desastres.

En cuanto a la distancias a las costas, la distancia al Atlántico no es significativa en la ocurrencia de desastres, mientras que la distancia al Pacífico se hace significativa solo cuando ocurre un evento anómalo, pero no es robusta en los distintos modelos. Ambas costas tienen un efecto negativo sobre la ocurrencia de desastres, ya que los municipios más cercanos a las costas, suelen ser áreas con poca pendiente y por lo tanto poseen un alto riesgo a inundaciones.

Cuadro 3. Regresión básica (Core) para la estimación de la relación de variables climáticas, socioeconómicas, biofísicas y geográficas sobre la ocurrencia de desastres.

VARIABLES	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	MCO	MCO efectos aleatorios	MCO efectos fijos	Probit solo con interacciones	Probit con y sin interacciones
Socioeconómicas					
Población (Ln)	0.018***	0.018***	-	-	0.347***
Péntada máxima (std)*Población (Ln)	0.008***	0.008***	0.008***	0.057**	-0.032
Población urbana (%)	0.000***	0.000**	-	-	0.004***
Péntada máxima (std)*Población urbana (%)	0.000***	0.000***	0.000***	0.001*	-0.000
NBI de vivienda (%)	0.004***	0.004	-	-	0.112***
Péntada máxima (std)* NBI de vivienda (%)	0.004***	0.004***	0.004***	0.055**	0.012
Biofísicas					
Bosque (%)	0.000	0.000	-	-	0.002
Péntada máxima (std)*Bosque (%)	-0.000***	-0.000***	-0.000***	-0.002**	-0.003**
Pendiente promedio (%)	-0.000***	-0.000	-	-	-0.007
Péntada máxima (std)*Pendiente promedio (%)	-0.001***	-0.001***	-0.001***	-0.006**	-0.004
Escorrentía promedio (mm)	0.000	0.000	-	-	-0.000
Péntada máxima (std)*Escorrentía promedio (mm)	0.000***	0.000***	0.000***	0.000	0.000**
Geográficas					
Área (Ln)	-0.002*	-0.002	-	-	0.003
Péntada máxima (std)*Área (Ln)	0.003***	0.003***	0.003***	0.071***	0.059**
Distancia al Atlántico (Ln)	0.001	0.001	-	-	-0.014
Péntada máxima (std)*Distancia al Atlántico (Ln)	-0.001	-0.001	-0.001	-0.014	0.002
Distancia al Pacífico (Ln)	-0.001	-0.001	-	-	-0.057
Péntada máxima (std)*Distancia al Pacífico (Ln)	-0.003**	-0.003**	-0.003**	-0.026	0.005
Climáticas					
Péntada máxima (std)	-0.062***	-0.064***	-0.064***	-0.324	0.434
Péntada máxima al cuadrado (std)	0.001***	0.002***	0.002***	-0.112***	-0.121***
Constante	-0.153***	-0.153***	0.001	-2.744***	-5.988***

Nota:

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

35,760 observaciones

Se está controlando por variables de meses, meses interactuados con la péntada máxima, dummy de municipios secos, dummy de municipios secos interactuada con la péntada máxima y con la péntada máxima al cuadrado

También se determinó que las épocas climáticas son determinantes en la ocurrencia de desastres en Honduras. Meses lluviosos como mayo, junio, agosto, septiembre, octubre y noviembre son muy significativos y muestran una relación positiva en la ocurrencia de desastres con respecto a marzo - a excepción de julio, que es el mes de la canícula en Honduras. Mientras que los meses menos lluviosos, como enero, febrero, marzo, abril y diciembre, no son significativamente diferentes con respecto a marzo (cuadro 4). Esto se debe a que la distribución de la precipitación en la región centroamericana es bimodal (Magaña *et al.* 1999), es decir que los picos de mayor precipitación están alrededor de mayo-junio y septiembre-octubre (Hastenrath y Polzin 2013). Esto es consecuente con la ocurrencia de desastres en Honduras, ya que DESINVENTAR reporta que en el período 2001-2010, los meses que registraron más desastres fueron mayo, junio, septiembre y octubre.

Otra evidencia importante es que el riesgo de ocurrencias de desastres en los meses lluviosos es constante, sin importar si ocurren o no eventos anómalos de precipitación, ya que suelen tener un efecto positivo y son significativos con interacción con la anomalía de precipitación o sin ella.

Cuadro 4. Regresiones con los meses del año

VARIABLES	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	MCO	MCO efectos aleatorios	MCO efectos fijos	Probit solo con interacciones	Probit con y sin interacciones
Enero	0.001	0.001	0.001	0.044	0.023
Febrero	0.001	0.001	0.001	-0.088	-0.154
Marzo	comparación	comparación	comparación	comparación	comparación
Abril	0.001	0.002	0.002	0.153	0.143
Mayo	0.023***	0.023***	0.023***	0.305**	0.314*
Junio	0.010***	0.010***	0.010***	0.418***	0.401**
Julio	0.002	0.002	0.002	0.161	0.168
Agosto	0.013***	0.013***	0.013***	0.463***	0.501***
Septiembre	0.045***	0.046***	0.046***	1.039***	1.205***
Octubre	0.042***	0.042***	0.042***	0.904***	1.019***
Noviembre	0.016***	0.016***	0.016***	0.597***	0.713***
Diciembre	0.005	0.005	0.005	0.330**	0.376**
Péntada máxima (std)*enero	0.001	0.001	0.001	0.039	0.048
Péntada máxima (std)*febrero	0.003	0.002	0.002	0.083	0.087
Péntada máxima (std)*marzo	comparación	comparación	comparación	comparación	comparación
Péntada máxima (std)*abril	-0.002	-0.002	-0.002	-0.159	-0.177
Péntada máxima (std)*mayo	0.049***	0.049***	0.049***	0.582***	0.657***
Péntada máxima (std)*junio	0.011***	0.011***	0.010***	0.127	0.194
Péntada máxima (std)*julio	0.001	0.001	0.002	-0.032	-0.014
Péntada máxima (std)*agosto	0.014***	0.014***	0.014***	0.177	0.223
Péntada máxima (std)*septiembre	0.030***	0.031***	0.031***	0.123	0.099
Péntada máxima (std)*octubre	0.043***	0.042***	0.042***	0.286***	0.308**
Péntada máxima (std)*noviembre	0.014***	0.014***	0.014***	0.113	0.097
Péntada máxima (std)*diciembre	0.002	0.001	0.001	0.011	0.035

Nota:

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

35,760 observaciones

Se está controlando por variables socioeconómicas, biofísicas y geográficas solas e interactuadas con la péntada máxima, *dummy* de municipios secos, *dummy* de municipios secos interactuada con la péntada máxima y con la péntada máxima al cuadrado

Para evaluar el ajuste del modelo econométrico, se realizó una prueba de bondad de ajuste de discriminación de modelos con variable dependiente dicotómica (Cuadro 5). Esta prueba determina la capacidad que posee el modelo de predecir y clasificar correctamente la ocurrencia del evento (sensitividad) y la no ocurrencia del evento (especificidad). Se utilizaron distintos puntos de corte, es decir, asumiendo que las observaciones de la probabilidad estimada menores a ese punto son iguales a 0 y los mayores a ese valor son iguales a 1. Cualquiera que sea el punto de corte escogido, la bondad de ajuste es relativamente alta (mayor del 88%). Sin embargo, hay diferencias a la hora de predecir donde cuando ocurren los eventos (sensitividad) y donde y cuando no ocurren los eventos (especificidad). Entre menor

es el punto de corte, mayor es la sensibilidad y menor la especificidad. Para este caso, se recomienda puntos de corte bajos ya que no predecir una emergencia que ocurra es mucho peor que predecir una emergencia cuando no ocurrió. Además, el porcentaje de efectividad sigue siendo sumamente alto.

Cuadro 5. Prueba de bondad de ajuste del modelo

Punto de Corte	Término de ajuste	MCO	MCO con efectos fijos	MCO con efectos aleatorios	Probit con y sin interacciones	Probit con interacciones
0.05	Sensitividad (%)	71.28	59.02	71.10	64.62	54.99
	Especificidad (%)	89.14	91.59	89.12	93.38	94.19
total		88.86	91.07	88.84	92.92	93.57
0.1	Sensitividad (%)	44.48	36.60	44.48	49.56	35.9
	Especificidad (%)	96.89	97.68	96.90	97.06	98.95
total		96.05	96.71	96.06	96.3	97.15
0.128	Sensitividad (%)	31.87	23.47	32.22	42.56	28.9
	Especificidad (%)	98.35	98.72	98.35	97.53	98.85
total		97.29	97.52	97.30	97.05	97.73

6. Riesgo de desastres por eventos extremos de precipitación en Honduras.

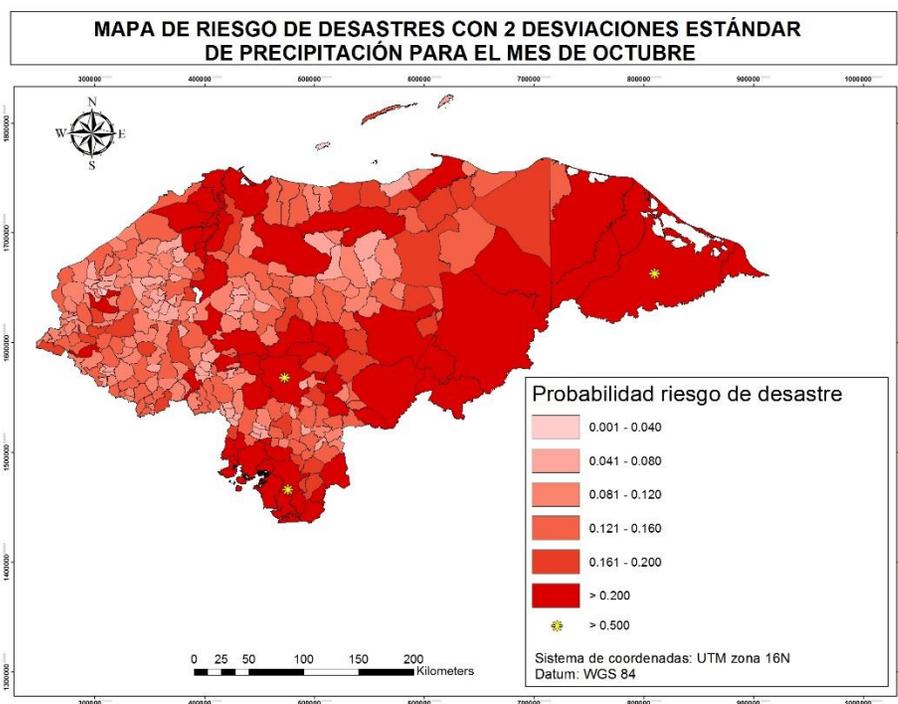
Para determinar el riesgo a desastres por eventos extremos de precipitación, se generan índices municipales a partir del modelo de regresión descrito en la sección 3.2. Se calcularon índices solo para mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre, ya que los meses lluviosos tienen un efecto significativo en la ocurrencia de desastres (Cuadro 4). El análisis del riesgo se basa en octubre, ya que es cuando ocurrieron más desastres en el período evaluado y se incrementó más la presencia de eventos extremos en el periodo 2001-2010.

Se presenta el mapa riesgo de desastres evaluando la anomalía en 2 para octubre (Figura 2.3). Se observa que los municipios de Distrito Central, Choluteca y Puerto Lempira son los que poseen mayor riesgo de desastres (probabilidad mayor a 0.5).

En relación con la distancia a las costas, tal como se había determinado, el efecto de la costa Atlántica no es consistente. Ya que de todos los municipios que están cercanos a esta, únicamente Trujillo, Brus Laguna, Puerto Lempira, Ahuas, Choloma, Puerto Cortés y Tela son los que poseen un alto riesgo de desastres, y los últimos tres forman parte del golfo de Honduras. Este golfo recibe altas tasas de escorrentía y sedimentos (Thattai *et al.* 2003), lo que incrementa la ocurrencia de inundaciones. Mientras que el efecto de la costa del Pacífico

es más evidente, ya que solo los municipios que están cercanos al golfo de Fonseca como Choluteca, Marcovia, El Triunfo y Nacaome son los que presentan mayor probabilidad de riesgo a desastres.

Figura 2.3. Mapa de riesgo de desastres con anomalía de 2 desviaciones estándar para el mes de octubre en Honduras.



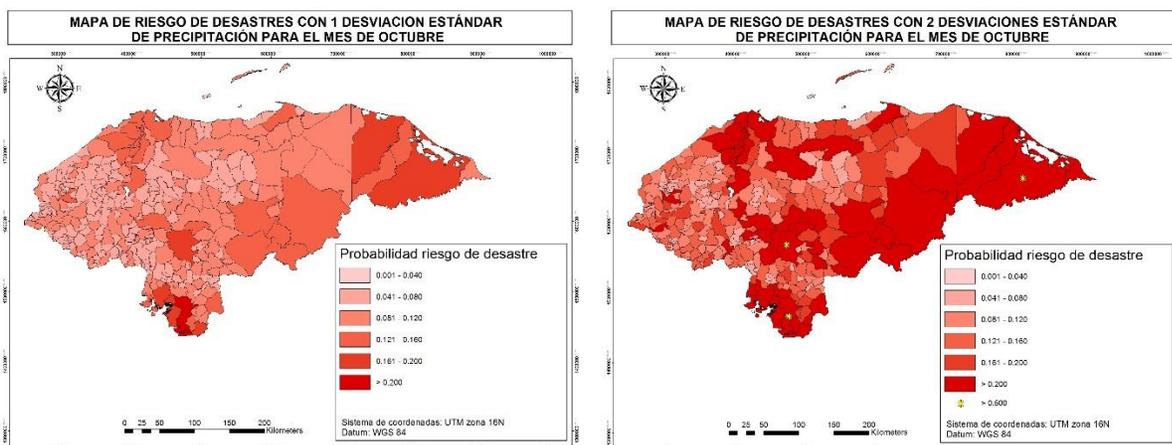
Basados en los modelos de regresión utilizados, se obtuvo la lista de los 10 municipios con más riesgo de desastres en Honduras. Se encontró que los resultados fueron robustos (Cuadro 6). Los municipios con más riesgo son Distrito Central, Choluteca, El Progreso, Marcovia, El Triunfo, Nacaome, Puerto Lempira, San Lorenzo, San Pedro Sula y Juticalpa. La mayoría de estos municipios posee una población y una fracción de población urbana mayor a la media, siendo el Distrito Central el más poblado de Honduras (850,227 habitantes). Así mismo, se registran altos porcentajes de la población con necesidades básicas insatisfechas de vivienda en comparación con la media.

Cuadro 6. *Ranking* de los 10 municipios con más riesgo a desastres en Honduras para el mes de octubre

especificación	Probit	Probit	Probit	MCO
con interacción	sí	sí	sí	sí
sin interacción	no	sí	no	sí
anomalía (sd)	2	2	1	2
ranking	(1)	(2)	(3)	(4)
1	Choluteca	Distrito Central	Choluteca	Distrito Central
2	Puerto Lempira	Choluteca	Distrito Central	Choluteca
3	Distrito Central	San Pedro Sula	Puerto Lempira	San Pedro Sula
4	Marcovia	El Progreso	Marcovia	El Progreso
5	El Triunfo	Marcovia	El Triunfo	Marcovia
6	Nacaome	El Triunfo	Nacaome	Nacaome
7	Brus Laguna	Nacaome	Brus Laguna	El Triunfo
8	San Lorenzo	Puerto Lempira	San Lorenzo	San Lorenzo
9	Namasigue	Danlí	El Progreso	La Lima
10	El Progreso	Juticalpa	Juticalpa	Potrерillos

Para visualizar el cambio del riesgo al incrementar la anomalía, se realizó un mapa de riesgo para octubre con 1 y 2 desviaciones estándar de precipitación (Figura 2.4). Se puede observar que existe un incremento de la probabilidad de riesgo de desastres al incrementar la magnitud de la anomalía de precipitación, para la mayoría de los municipios, sobre todo en los de mayor área.

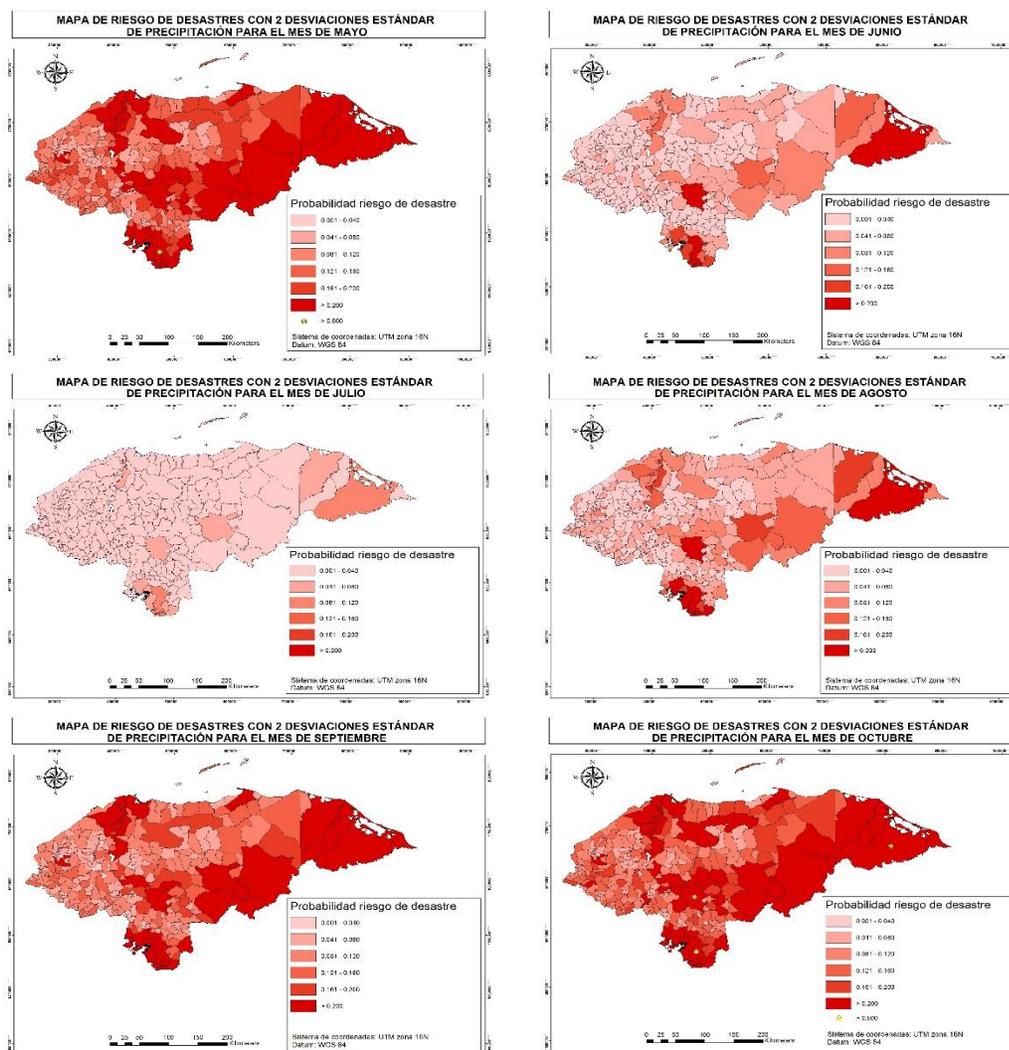
Figura 2.4. Mapa de riesgo de desastres con anomalía de 1 y 2 desviaciones estándar para el mes de octubre en Honduras.



Debido a que el riesgo de desastres varía en cada uno de los meses, se realizaron mapas de riesgo para todos los meses lluviosos en Honduras (Figura 2.5). Se puede observar que octubre es el mes con más riesgo de desastres, seguido por mayo y septiembre; siendo estos

los meses más lluviosos del año y con más incidencia de desastres reportados. El mes menos riesgoso es julio; lo cual se debe, en gran medida, a que es el mes de la cañícula en Honduras.

Figura 2.5. Mapas de riesgo de desastres en Honduras, para los meses lluviosos con anomalía de 2 desviaciones estándar.



7. Conclusión

En relación con la precipitación máxima en Honduras, se encontró que la desviación estándar de las anomalías de precipitación en el periodo 2001-2010 se han incrementado significativamente con respecto a las del período 1981-1990. Este incremento se dio para la mayoría de los meses, junio y octubre fueron los meses donde hubo un mayor aumento. Esto significa que se han registrado lluvias más extremas en los últimos años.

También, se determinó que el efecto de las variables socioeconómicas, biofísicas y geográficas en la ocurrencia de desastres varía en función de la presencia de eventos anómalos de precipitación. La cobertura de bosque, la pendiente y la escorrentía promedio por municipio, únicamente tienen efecto cuando existe un evento anómalo de precipitación. Mientras que el aumento de variables como la población, la fracción de población urbana y el porcentaje de necesidades básicas insatisfechas de vivienda por municipio, incrementan los desastres incluso sin que exista un evento anómalo. Estos resultados son robustos al utilizar diferentes especificaciones econométricas.

El riesgo de desastres varía de acuerdo a los meses del año y estos efectos aumentan cuando hay valores anómalos extremos. Como era de esperar, en los meses lluviosos es cuando se presentan más desastres, siendo octubre el mes con más altos índices de riesgo.

Finalmente, se construyó un *ranking* de los 10 municipios con más riesgo en Honduras, el cual fue robusto con las diferentes especificaciones. Los municipios de Honduras que poseen más riesgo de desastres por eventos extremos de precipitación son: Distrito Central, Choluteca, El Progreso, Marcovia, El Triunfo, Nacaome, Puerto Lempira, San Lorenzo, San Pedro Sula y Juticalpa.

En el futuro, este trabajo podría ser mejorado; al incorporar otras variables que no fueron utilizadas en el presente estudio, debido a que no existía la información correspondiente. Variables como el porcentaje de viviendas situadas en pendientes muy elevadas y en zonas inundables, la cobertura de bosque en los distintos rangos de la pendiente y otros indicadores de la pendiente pueden ser utilizadas. Además, se pueden incluir indicadores de gobernabilidad ambiental por municipio, indicadores de planes de ordenamiento territorial a nivel municipal e ingresos per cápita promedio por municipio; que también son variables importantes en la determinación de riesgo de desastres.

8. Referencias bibliográficas

- ASTER. 2011. Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer, Global Digital Elevation Model. Earth Remote Sensing Data Analysis Center. United States. 11 P.
- Bathurst, J.C.; Bovolo, C.I.; Cisneros, F. 2010. Modelling the effect of forest cover on shallow landslides at the river basin scale. *Ecological Engineering* (3): 317-327. Disponible en http://www.researchgate.net/publication/222551258_Modelling_the_effect_of_forest_cover_on_shallow_landslides_at_the_river_basin_scale
- BID (Banco Interamericano de Desarrollo). 2010. Indicadores de riesgo de desastre y gestión de riesgos. División de Medio Ambiente, Desarrollo Rural y Gestión de Desastres (en línea). Washington D.C. 32 p. Consultado 29-11-2013. Disponible en <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=36424375>
- Birkmann, J. 2007. Risk and vulnerability indicators at different scales: applicability, usefulness and policy implications. *Environmental Hazards* (1): 20-31. Disponible en

http://scholar.google.es/scholar?q=Risk+and+vulnerability+indicators+at+different+scales%3A+Applicability%2C+usefulness+and+policy+implications&btnG=&hl=es&as_sdt=0%2C5

- Blomquist, G.C.; Berger, M.C.; Hoehn, J.P. 1988. New estimates of quality of life in urban areas. *The American Economic Review*: 89-107.
- Bui, D.T.; Lofman, O.; Revhaug, I.; Dick, O. 2011. Landslide susceptibility analysis in the Hoa Binh province of Vietnam using statistical index and logistic regression. *Natural hazards* (3): 1413-1444.
- Calder, I.R.; Aylward, B. 2006. Forest and floods: Moving to an evidence-based approach to watershed and integrated flood management. *Water International* (1): 87-99.
- Cardona, O. 1993. Evaluación de la amenaza, vulnerabilidad y el riesgo. Maskrey, A. eds. *Los desastres no son naturales. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. Colombia.* p. 45-65
- Cardona, O. 2005. *Indicadores de Riesgo de Desastres y de Gestión de Riesgos.* Banco Interamericano de Desarrollo, Departamento de Desarrollo Sostenible, División de Medio Ambiente. Washington, D.C. 53 p.
- DARA. 2011. *Índice de Reducción del Riesgo en América Central y el Caribe –Análisis de Capacidades y Condiciones para la Reducción del Riesgo de Desastres (en línea).* Madrid, España. 31 p Consultado 04-12-2013. Disponible en http://daraint.org/wp-content/uploads/2012/01/IRR_ES.pdf
- DESINVENTAR. 2013. *Sistema de Inventario de Desastres.* Honduras. Disponible en <http://online.desinventar.org/>
- Dilley, M.; Chen, R.; Deichmann, U.; Lerner-Lam, A.; Arnold, M. 2005. *Natural disaster hotspots: a global risk analysis.* World Bank Publications.
- Fekete, A. 2009. Validation of a social vulnerability index in context to river-floods in Germany. *Natural Hazards and Earth System Science* (2): 393-403. Disponible en <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/9/393/2009/nhess-9-393-2009.pdf>
- Fothergill, A.; Peek, L.A. 2004. Poverty and disasters in the United States: A review of recent sociological findings. *Natural hazards* (1): 89-110. Disponible en <http://www.cdra.colostate.edu/Data/Sites/1/cdra-research/fothergill-peek2004poverty.pdf>
- Funk, C.C.; Peterson, P.J.; Landsfeld, M.F.; Pedreros, D.H.; Verdin, J.P.; Rowland, J.D.; Romero, B.E.; Husak, G.J.; Michaelsen, J.C.; Verdin, A.P. 2013. A Quasi-Global Precipitation Time Series for Drought Monitoring. Disponible en http://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0,5&q=A+Quasi-global+precipitation+time+series+for+drought+monitoring
- Gyourko, J.; Tracy, J. 1991. The structure of local public finance and the quality of life. *Journal of political economy*: 774-806.
- Haile, A.T.; Rientjes, T. 2005. Effects of LiDAR DEM resolution in flood modelling: a model sensitivity study for the city of Tegucigalpa, Honduras. *ISPRS WG III/3, III/4*: 12-14.
- Hall, L., Robalino, J., and Madrigal, R. 2010. The Quality of Life in Urban Neighborhoods in Costa Rica" In E. Lora, A. Powell, B. van Praag and P. Sanguinetti Eds. *The Quality of Life in Latin American Cities: Markets and perception.* The World Bank Press. 161-187.

- Harmeling, S.; Eckstein, D. 2013. Global climate risk index 2013: Who suffers most from extreme weather events? Weather-related loss events in 2011 and 1992 to 2011. Disponible en <http://cambioclimaticohn.org/uploaded/content/article/303643999.pdf>
- Hastenrath, S.; Polzin, D. 2013. Climatic variations in Central America and the Caribbean. *International Journal of Climatology* (6): 1348-1356.
- Imbach, P.; Molina, L.; Locatelli, B.; Roupsard, O.; Ciais, P.; Corrales, L.; Mahé, G. 2010. Climatology-based regional modelling of potential vegetation and average annual long-term runoff for Mesoamerica. *Hydrology and Earth System Sciences* (10): 1801-1817. Disponible en <http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/14/1801/2010/hess-14-1801-2010.pdf>
- INE. 2001. XVI Censo Nacional de Población y Vivienda. Tegucigalpa, Honduras. Disponible en <http://www.ine.gob.hn/index.php/censos-y-encuestas/censos-todos-los-censos-incluyendo-el-censo-agropecuario-de-1992/censo-2001-en-linea>
- Kahn, M.E. 2005. The death toll from natural disasters: the role of income, geography, and institutions. *Review of Economics and Statistics* (2): 271-284. Disponible en http://scholar.google.es/scholar?q=THE+DEATH+TOLL+FROM+NATURAL+DISASTER+S%3A+THE+ROLE+OF+INCOME%2C+GEOGRAPHY%2C+AND+INSTITUTIONS&btnG=&hl=es&as_sdt=0%2C5
- Kellenberg, D.K.; Mobarak, A.M. 2008. Does rising income increase or decrease damage risk from natural disasters? *Journal of Urban Economics* (3): 788-802. Disponible en <http://faculty.som.yale.edu/mushfiqmobarak/papers/rising%20income.pdf>
- Labat, D.; Goddérís, Y.; Probst, J.L.; Guyot, J.L. 2004. Evidence for global runoff increase related to climate warming. *Advances in Water Resources* (6): 631-642. Disponible en http://oatao.univ-toulouse.fr/3429/1/Labat_3429.pdf
- Liu, Y.; Gebremeskel, S.; De Smedt, F.; Hoffmann, L.; Pfister, L. 2003. A diffusive transport approach for flow routing in GIS-based flood modeling. *Journal of Hydrology* (1): 91-106. Disponible en <http://www.training.fema.gov/EMIWeb/edu/docs/hrm/Session%206%20-%20Reading-GIS%20Based%20Diffusive%20Transport%20Approach.pdf>
- Magaña, V.; Amador, J.A.; Medina, S. 1999. The midsummer drought over Mexico and Central America. *Journal of Climate* (6): 1577-1588. Disponible en <ftp://128.112.177.33/leo/journals/Magana-et-al-MidSumDrought-JClim1999.pdf>
- Monirul Qader Mirza, M. 2002. Global warming and changes in the probability of occurrence of floods in Bangladesh and implications. *Global environmental change* (2): 127-138. Disponible en <http://scholar.google.es/scholar?hl=es&q=Global+warming+and+changes+in+the+probability+of+occurrence+of+floods+in+Bangladesh+and+implications&btnG=&lr=>
- Neumayer, E.; Plümper, T. 2007. The gendered nature of natural disasters: The impact of catastrophic events on the gender gap in life expectancy, 1981–2002. *Annals of the Association of American Geographers* (3): 551-566. Disponible en [http://eprints.lse.ac.uk/3040/1/Gendered_nature_of_natural_disasters_\(LSERO\).pdf](http://eprints.lse.ac.uk/3040/1/Gendered_nature_of_natural_disasters_(LSERO).pdf)
- Roback, J. 1982. Wages, rents, and the quality of life. *The Journal of Political Economy*, 1257-1278

- Peduzzi, P.; Dao, H.; Herold, C.; Mouton, F. 2009. Assessing global exposure and vulnerability towards natural hazards: the Disaster Risk Index. *Natural Hazards and Earth System Science* (4): 1149-1159. Disponible en <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/9/1149/2009/nhess-9-1149-2009.pdf>
- SINIT. 2014. Sistema Nacional de Información Territorial. Honduras. Disponible en <http://cidbimena.desastres.hn/article.php?story=20130906145610168>
- Slottje, D.J. 1991. Measuring the quality of life across countries. *The Review of economics and statistics*: 684-693.
- Stocker, T.F.; Qin, D.; Plattner, G.-K.; Tignor, M.; Allen, S.K.; Boschung, J.; Nauels, A.; Xia, Y.; Bex, V.; Midgley, P.M. 2013. *Climate change 2013: The physical science basis. Intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report (AR5)*(Cambridge Univ Press, New York).
- Strobl, E. 2012. The economic growth impact of natural disasters in developing countries: Evidence from hurricane strikes in the Central American and Caribbean regions. *Journal of Development economics* (1): 130-141.
- Thattai, D.; Kjerfve, B.; Heyman, W. 2003. Hydrometeorology and variability of water discharge and sediment load in the inner Gulf of Honduras, western Caribbean. *Journal of Hydrometeorology* (6): 985-995. Disponible en <http://190.11.224.74:8080/jspui/bitstream/123456789/2194/1/Watershed%20Model%20of%20Bay%20Honduras.pdf>
- Toya, H.; Skidmore, M. 2007. Economic development and the impacts of natural disasters. *Economics Letters* (1): 20-25. Disponible en http://sup.kathimerini.gr/xtra/media/files/fin/nat_skidmore.pdf
- UNISDR. 2013. *From Shared Risk to Shared Value, the Business Case for Disaster Risk Reduction. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction*. Geneva, Switzerland: United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR).