

# NICARAGUA

## TOMO I METODOLOGÍA DE MODELACIÓN PROBABILISTA DE RIESGOS NATURALES

### INFORME TÉCNICO ERN-CAPRA-T2-10 AMENAZA POR TSUNAMI EN MIRAMAR



CEPRENAC



Inter-American Development Bank



opportunities for all



**Evaluación de Riesgos Naturales**  
**- América Latina -**  
Consultores en Riesgos y Desastres

**Consortio conformado por:**

**Colombia**

Carrera 19A # 84-14 Of 504  
Edificio Torrenova  
Tel. 57-1-691-6113  
Fax 57-1-691-6102  
Bogotá, D.C.



**España**

Centro Internacional de Métodos Numéricos  
en Ingeniería - CIMNE  
Campus Nord UPC  
Tel. 34-93-401-64-96  
Fax 34-93-401-10-48  
Barcelona



**C I M N E**

**México**

Vito Alessio Robles No. 179  
Col. Hacienda de Guadalupe Chimalistac  
C.P.01050 Delegación Álvaro Obregón  
Tel. 55-5-616-8161  
Fax 55-5-616-8162  
México, D.F.



**ERN Ingenieros Consultores, S. C.**

**ERN Evaluación de Riesgos Naturales - América Latina**  
**[www.ern-la.com](http://www.ern-la.com)**

Dirección y Coordinación de Grupos de Trabajo Técnico – Consorcio ERN América Latina

---

**Omar Darío Cardona A.**  
Dirección General del Proyecto

**Luis Eduardo Yamín L.**  
Dirección Técnica ERN (COL)

**Gabriel Andrés Bernal G.**  
Coordinación General ERN (COL)

**Mario Gustavo Ordaz S.**  
Dirección Técnica ERN (MEX)

**Eduardo Reinoso A.**  
Coordinación General ERN (MEX)

**Alex Horia Barbat B.**  
Dirección Técnica CIMNE (ESP)

**Martha Liliana Carreño T.**  
Coordinación General CIMNE (ESP)

Especialistas y Asesores – Grupos de Trabajo

---

**Miguel Genaro Mora C.**  
Especialista ERN (COL)

**César Augusto Velásquez V.**  
Especialista ERN (COL)

**Karina Santamaría D.**  
Especialista ERN (COL)

**Mauricio Cardona O.**  
Asistente Técnico ERN (COL)

**Andrés Mauricio Torres C.**  
Asistente Técnico ERN (COL)

**Diana Marcela González C.**  
Asistente Técnico ERN (COL)

**Yinsury Sodel Peña V.**  
Asistente Técnico ERN (COL)

**Andrei Garzón B.**  
Asistente Técnico ERN (COL)

**Carlos Eduardo Avelar F.**  
Especialista ERN (MEX)

**Benjamín Huerta G.**  
Especialista ERN (MEX)

**Mauro Pompeyo Niño L.**  
Especialista ERN (MEX)

**Isaías Martínez A.**  
Asistente Técnico ERN (MEX)

**Edgar Osuna H.**  
Asistente Técnico ERN (MEX)

**José Juan Hernández G.**  
Asistente Técnico ERN (MEX)

**Marco Torres**  
Asesor Asociado (MEX)

**Johner Venicio Correa C.**  
Asistente Técnico ERN (COL)

**Mabel Cristina Marulanda F.**  
Especialista CIMNE(ESP)

**Jairo Andrés Valcarcel T.**  
Especialista CIMNE(ESP)

**Juan Pablo Londoño L.**  
Especialista CIMNE(ESP)

**René Salgueiro**  
Especialista CIMNE(ESP)

**Nieves Lantada**  
Especialista CIMNE(ESP)

**Álvaro Martín Moreno R.**  
Asesor Asociado (COL)

**Mario Díaz-Granados O.**  
Asesor Asociado (COL)

**Liliana Narvaez M.**  
Asesor Asociado (COL)

Asesores Nacionales

---

**Osmar E. Velasco**  
Guatemala

**Sandra Zúñiga**  
Nicaragua

**Alonso Brenes**  
Costa Rica

Banco Mundial – Gestión de Riesgo de Desastres / Región Latinoamérica y el Caribe

---

**Francis Ghesquiere**  
Coordinador Regional

**Oscar A. Ishizawa**  
Especialista

**Joaquín Toro**  
Especialista

**Fernando Ramírez C.**  
Especialista

**Edward C. Anderson**  
Especialista

**Stuart Gill**  
Especialista

Banco Interamericano de Desarrollo – Medio Ambiente / Desarrollo Rural / Desastres Naturales

---

**Flavio Bazán**  
Especialista Sectorial

**Cassandra T. Rogers**  
Especialista Sectorial

**Hori Tsuneki**  
Consultor Interno

## **LIMITACIONES Y RESTRICCIONES**

La aplicación que aquí se presenta es de carácter ilustrativo y presenta limitaciones y restricciones debido al nivel de resolución de la información disponible, de lo cual debe ser consciente el usuario final para efectos de poder dar un uso adecuado y consistente a los resultados obtenidos teniendo en cuenta el tipo de análisis realizado, el tipo y calidad de datos empleados, el nivel de resolución y precisión utilizado y la interpretación realizada. En consecuencia es importante señalar lo siguiente:

- Los modelos utilizados en los análisis tienen simplificaciones y supuestos para facilitar el cálculo que el usuario debe conocer debidamente. Éstas están descritas en detalle en los informes técnicos respectivos (ver referencias).
- Los análisis se han desarrollado con la mejor información disponible que presenta limitaciones en su confiabilidad y su grado actualización. Es posible que exista información mejor y más completa a la cual no se tuvo acceso.
- La información utilizada y los resultados de los análisis de amenaza, exposición y riesgo tienen una asociado un nivel de resolución según las unidades de análisis utilizadas, lo que se explica en el documento descriptivo del ejemplo.
- El uso que el usuario final le dé a la información no compromete a los autores de los estudios realizados, quienes presentan este ejemplo como lo que puede ser factible de hacer si se cuenta con información confiable con la precisión adecuada.
- Es responsabilidad del usuario comprender el tipo de modelo utilizado y sus limitaciones, la resolución y calidad de los datos, las limitaciones y suposiciones de los análisis y la interpretación realizada con el fin de darle a estos resultados un uso adecuado y consistente.
- Ni los desarrolladores del software, ni los promotores o financiadores del proyecto, ni los contratistas o subcontratistas que participaron en las aplicaciones o ejemplos de uso de los modelos asumen ninguna responsabilidad por la utilización que el usuario le dé a los resultados que aquí se presentan, por lo tanto están libres de responsabilidad por las pérdidas, daños, perjuicios o efectos que pueda derivarse por la utilización o interpretación de estos ejemplos demostrativos.

# Tabla de Contenido

---

<b>1</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>1-1</b>
<b>2</b>	<b>Amenaza por tsunami.....</b>	<b>2-1</b>
2.1	Eventos Históricos .....	2-1
2.2	Evaluación de la amenaza .....	2-2
2.3	Escenario de análisis determinista.....	2-3
2.4	Estimación probabilista.....	2-3
<b>3</b>	<b>Conclusiones y Recomendaciones .....</b>	<b>3-1</b>
<b>4</b>	<b>Referencias .....</b>	<b>4-1</b>

## Índice de figuras

---

FIGURA 1-1 DAÑOS CAUSADOS POR EL TSUNAMI DE 1992 EN NICARAGUA .....	1-1
FIGURA 1-2 MIRAMAR, LOCALIZACIÓN.....	1-2
FIGURA 1-3 MIRAMAR (12°10'25''N 86°45'50''W).....	1-2
FIGURA 2-1 MAPA DE AMENAZA PROBABILÍSTICA DE TSUNAMI PARA LA COSTA PACÍFICA DE NICARAGUA. TR=500AÑOS (ALTURA DE OLA EN METROS).....	2-2
FIGURA 2-2 ESCENARIO DE TSUNAMI. CAPRA GIS.....	2-3
FIGURA 2-3 MAPA DE AMENAZA PROBABILÍSTICA POR TSUNAMI EN METROS.....	2-4

## Índice de tablas

---

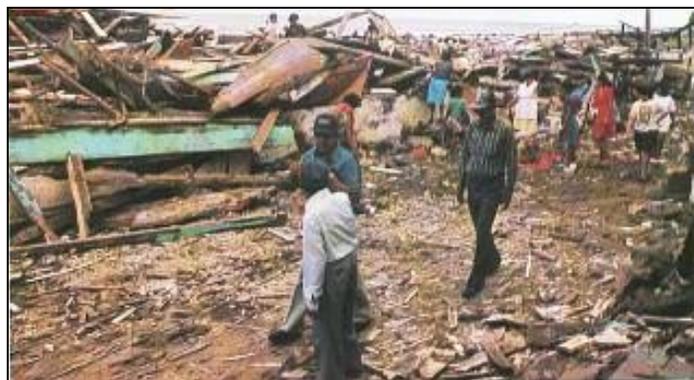
TABLA 3-1 TSUNAMIS QUE HAN AFECTADO LA REGIÓN, DETONADOS POR SISMOS CON MAGNITUD  $\geq 7$  .... 2-1

# 1 Introducción

---

La tectónica del territorio centroamericano, particularmente la zona de convergencia de las placas Cocos y Caribe, inducen un potencial alto de generación de tsunamis en la región. Dada la gran extensión de costa que tiene el país y el número de poblaciones cercanas al océano Pacífico, es necesario evaluar y considerar los posibles daños que sobre las poblaciones podría causar un tsunami.

El 2 de Septiembre de 1992, un terremoto de magnitud Ms 7.2 ocurrido en la fosa mesoamericana, 125 Km frente a las costas de Nicaragua, detonó un tsunami cuya ola alcanzó entre 4 y 10 m de altura, con una velocidad estimada de avance de 120 Km/h, que destruyó varias poblaciones costeras del país (ver Figura 1-1). El evento embistió 280Km del litoral nicaragüense



*Figura 1-1*  
*Daños causados por el Tsunami de 1992 en Nicaragua*  
(Fuente: INETER)

Según datos de la CEPAL, este evento dejó un saldo de 116 personas muertas, 63 desaparecidas, 489 heridas y cerca de 20.700 afectadas directamente, principalmente por pérdida de sus medios de sustento (pesca artesanal, comercio y turismo). También 2800 personas que residían fuera del área afectada perdieron total o parcialmente sus inmuebles. Se estima que las pérdidas económicas alcanzaron los \$USD 25 millones, siendo el sector vivienda el más afectado (53% del total), seguido de los sectores de comercio, turismo y pesca. Los servicios de agua potable, electricidad e infraestructura portuaria también resultaron seriamente afectados.

Miramar está ubicado sobre las costas del Océano Pacífico en el municipio de Nagarote a 70 km de Managua, siendo uno de los principales destinos turísticos del municipio por la belleza de sus paisajes y costas.



**Figura 1-2**

**Miramar, localización**

(Fuente: [http://www.freemap.jp/south\\_america/img/sa\\_nicaragua\\_all/4.gif](http://www.freemap.jp/south_america/img/sa_nicaragua_all/4.gif))



**Figura 1-3**

**Miramar (12°10'25''N 86°45'50''W)**

(Imagen obtenida con Google Earth)

El objetivo de la simulación que se presenta más adelante consiste en evaluar la amenaza por tsunami de la región de Miramar y expresar el resultado en términos de zonas probables de inundación y tirante de agua. El análisis se realiza en términos probabilistas de manera tal que se toman en cuenta los aportes de todas fuentes sísmicas generadoras de tsunamis.

Los resultados de la simulación se presentan de manera que puedan ser usados para análisis detallados posteriores y como insumos para estudios de factibilidad de construcción de infraestructura en la región.

## 2 Amenaza por tsunami

El modelo de amenaza se presenta en detalle en el informe ERN-CAPRA-T2-3 (Modelación Probabilista de Amenazas Naturales, ERN 2009). Las bases teóricas del modelo de amenaza se presentan en el informe ERN-CAPRA-T1-3 (Modelos de Evaluación de Amenazas Naturales y Selección, ERN2009). Toda la información anterior se encuentra también descrita en detalle en el sitio [www.ecapra.org](http://www.ecapra.org).

### 2.1 Eventos Históricos

Varios tsunamis han impactado las costas de Nicaragua en años anteriores. El más devastador fue el ocurrido el 2 de septiembre de 1992. La Tabla 2-1 presenta los principales eventos de tsunami que han afectado la región.

*Tabla 2-1*  
*Tsunamis que han afectado la región, detonados por sismos con magnitud  $\geq 7$*   
(Fuente: INETER, <http://www.ineter.gob.ni/geofisica/tsunami/tsunami-list.html>)

Año	Fecha	Origen	Magnitud	Región afectada
1822	05-Jul	Caribe	7.6	Matina, Costa Rica
1844	05/--	Pacífico	7.5	Lago de Nicaragua (?)
1854	08-May	Pacífico	7.2	Golfo Dulce, Costa Rica
1856	08-Abr	Caribe	7.5	Omoa, Golfo de Honduras (destrucción, muertos)
1859	12-Sep	Pacífico	7.5	Bahía de Acajutla, El Salvador
1882	09-Jul	Caribe	7.9	San Blas, Panamá
1902	Feb-26	Pacífico	7	Costas de Guatemala, El Salvador
1902	Abr-19	Pacífico	7.5	Ocos, Guatemala
1904	Dic-20	Caribe	7.5	Bocas del Toro, Panamá
1906	Ene-31	Pacífico	8.2	Ecuador, Panamá, Costa Rica
1915	09-Jul	Pacífico	7.7	Costa de El Salvador
1916	May-25	Pacífico	7.5	El Salvador
1926	11-May	Pacífico	7	Nicaragua (?)
1934	Jul-18	Pacífico	7.5	Golfo de Chiriquí, Panamá
1941	12-Jun	Pacífico	7.6	Punta Dominical, Costa Rica
1950	10-May	Pacífico	7.9	Costas de Costa Rica, Nicaragua, El Salvador
1950	Oct-23	Pacífico	7.3	Costas de Guatemala, El Salvador
1956	Oct-24	Pacífico	7.2	San Juan del Sur, Nicaragua
1957	03-Oct	Caribe	8.1	Acajutla, El Salvador
1960	May-22	Caribe	8.5	La Unión, Golfo de Fonseca
1976	02-Abr	Caribe	7.5	Cortes, Golfo de Honduras
1976	07-Nov	Pacífico	7	Jaque, Darien, Panamá
1990	Mar-25	Pacífico	7	Puntarenas, Quepos, Costa Rica
1991	Abr-22	Caribe	7.6	Costa Rica, Panamá
1992	09-Ene	Pacífico	7.2	Nicaragua (172 muertos, destrucción), Costa Rica
2001	Ene-13	Pacífico	7.6	El Salvador (pequeño tsunami, costa de El Salvador)

## 2.2 Evaluación de la amenaza

Los escenarios probables de tsunami deben definirse a partir de la ocurrencia de terremotos de características particulares en la fosa mesoamericana en el pacífico nicaragüense. Dichos terremotos se ingresan en la modelación como eventos detonantes de tsunami. La metodología detallada de amenaza basada en eventos detonantes puede ser consultada en el informe ERN-CAPRA-T1-3 (Modelos de Evaluación de Amenazas Naturales y Selección, ERN 2009), así como en el sitio Wiki de CAPRA [www.ecapra.org](http://www.ecapra.org).

La evaluación de la amenaza puede realizarse mediante la determinación de escenarios particulares de amenaza correspondientes a un evento hipotético compatible con la información disponible, o mediante un análisis probabilista integral.

A nivel del país y solo para efectos ilustrativos, la Figura 2-1 presenta el mapa de amenaza en términos de altura máxima de oleaje para un periodo de retorno de 500 años.

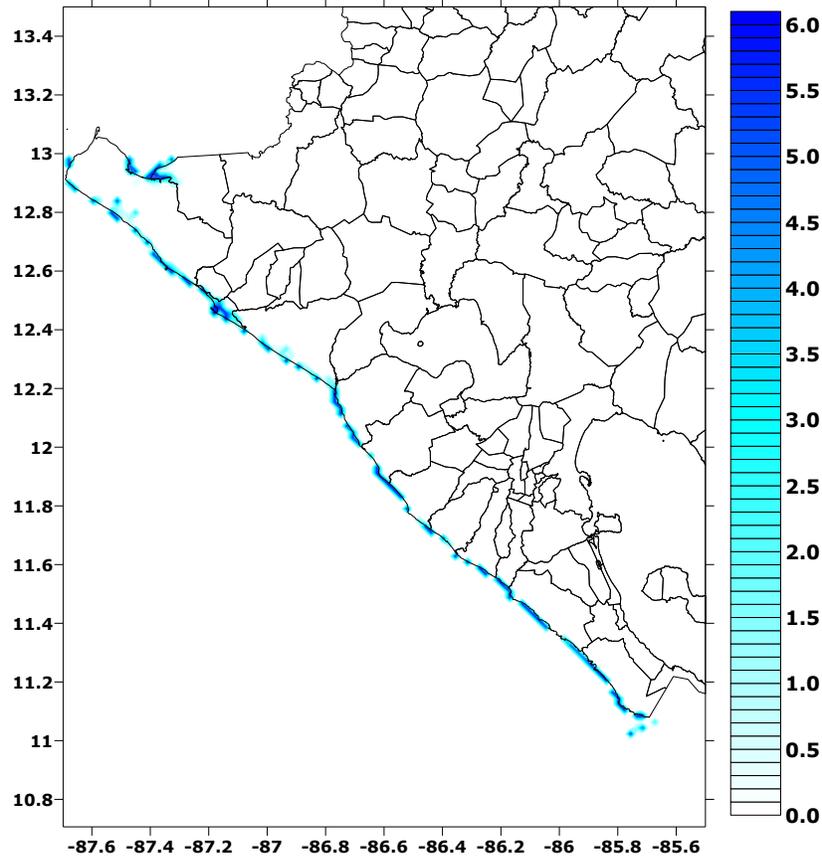
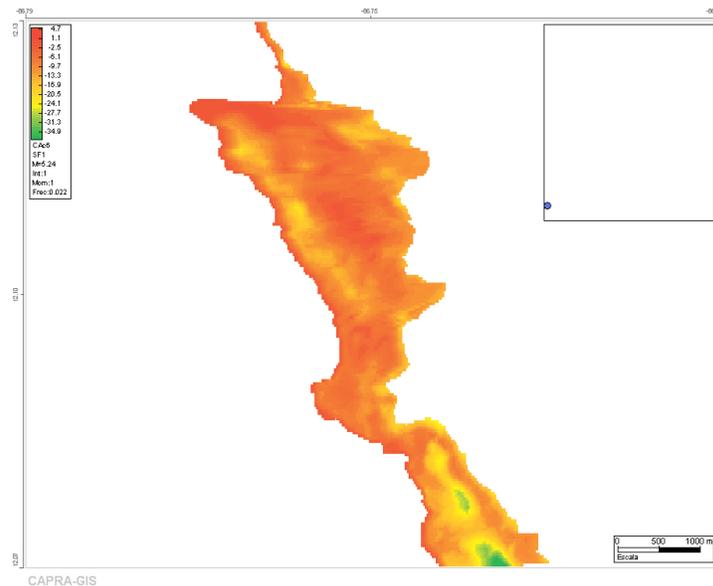


Figura 2-1

*Mapa de amenaza probabilística de tsunami para la costa pacífica de Nicaragua.  
TR=500 años (altura de ola en metros)*

### 2.3 Escenario de análisis determinista

En la Figura 2-2 se presenta un mapa de amenaza en términos de la altura máxima de oleaje sobre la superficie en metros (si presenta signo negativo, indica que no supera el nivel del terreno), para el escenario más crítico.

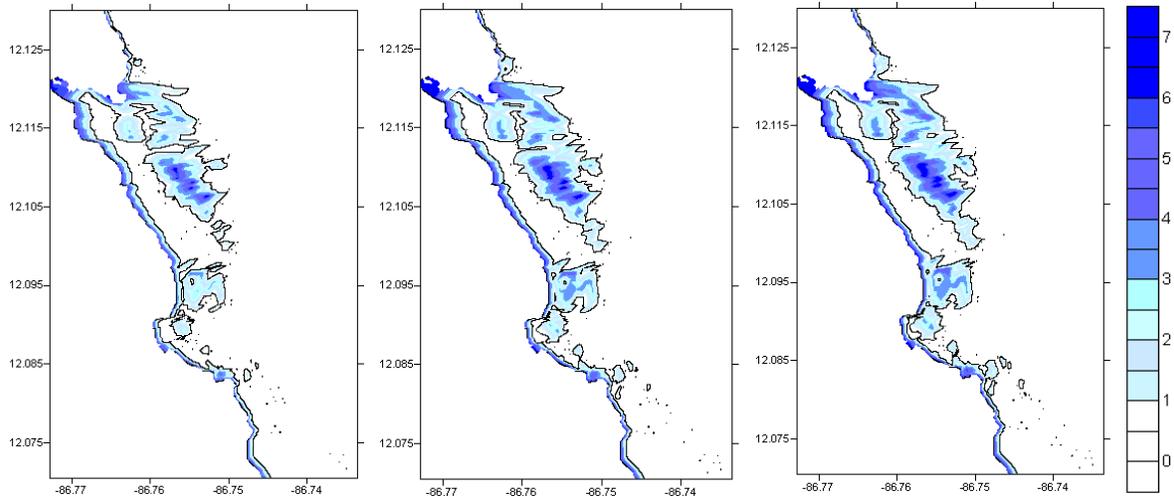


*Figura 2-2*  
*Escenario de tsunami. CAPRA GIS*

### 2.4 Estimación probabilista

Para el análisis probabilista se calcularon un total de 4884 escenarios, según la metodología presentada expuesta en los informes CAPRA, cada uno de ellos asociado a una frecuencia de ocurrencia determinada.

En la Figura 2-3 se presentan los resultados del análisis probabilístico de amenaza por tsunami para diferentes periodos de retorno. La amenaza se expresa en términos de altura máxima de oleaje sobre la superficie en metros, para los siguientes periodos de retorno: T= 100, 500 y 1,000 años.



**Figura 2-3**

**Mapa de amenaza probabilística por tsunami en metros**  
(De izquierda a derecha: 100, 500 y 1,000 años de periodo de retorno)

### 3 Conclusiones y Recomendaciones

---

El análisis de amenaza por tsunami presentado para el caso de la región de Miramar debe verse como una evaluación inicial que permite la cuantificación y calificación de la amenaza en esta zona y zonas cercanas considerando la mejor información disponible en el momento.

A continuación se dejan explícitas las limitaciones en la información utilizada para los análisis, lo cual debe servir de base para los planes de trabajos y estudios futuros por parte del país y las regiones con miras a mejorar la calidad y confiabilidad de estos resultados preliminares presentados.

- (a) Información Sísmica: Se puede considerar de muy buena calidad y completa para efectos del presente análisis.
- (b) Modelo de elevación digital: el modelo digital de elevación empleado cuenta con una resolución de 30m, que se considera aceptable para este tipo de análisis.
- (c) Batimetría: la batimetría costera define la manera como se verá amplificada la amplitud de la ola, o Run-up, con el fin de calcular las condiciones particulares de impacto del tsunami. Se empleo un modelo digital de batimetría y topografía combinado, disponible en la base de datos de ERN, con una resolución de 2 minutos, lo cual corresponde a un tamaño de píxel de 3.6 kilómetros. Este tipo de resolución no permite conocer adecuadamente las condiciones de amplificación y arribo de las olas a la bahía. Debe actualizarse en la medida en que mejor información se encuentre disponible.
- (d) Los resultados de los análisis de amenaza y su interpretación para la toma de decisiones deben realizarse de manera conjunta con las entidades y especialistas a cargo de la planificación del ordenamiento territorial y la atención de emergencias de la región.

Los resultados presentados anteriormente dependen directamente de la calidad y tipo de información suministrada al modelo. Entre más detallada y confiable sea la información, menor será la incertidumbre asociada a los resultados y por lo tanto el proceso de toma de decisiones podrá realizarse con mayor nivel de confianza.

## 4 Referencias

---

- Biblioteca Virtual en Población. Centro Centroamericano de Población. Censo de Población de Nicaragua 1971. Disponible en: <http://ccp.ucr.ac.cr/bvp/censos/nicaragua/1971/index.htm>
- Evaluación de Riesgos Naturales ERN – América Latina. Metodología de Análisis Probabilista de Riesgos. Informe ERN-CAPRA-T1-6. <http://www.ecapra.org>. 2009.
- Evaluación de Riesgos Naturales ERN – América Latina. Modelación Probabilista de Amenazas Naturales. Informe ERN-CAPRA-T2-3. <http://www.ecapra.org>. 2009.
- Evaluación de Riesgos Naturales ERN – América Latina. Plataforma para la Evaluación Probabilista de Riesgo CAPRA-GIS. <http://www.ecapra.org>. 2009.
- INETER. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. [www.ineter.gob.ni/](http://www.ineter.gob.ni/)
- INIDE, Instituto Nacional de Información de Desarrollo. Censo de población Nicaragua 2005. [www.inide.gob.ni/censos2005/CifrasCompleto.pdf](http://www.inide.gob.ni/censos2005/CifrasCompleto.pdf)
- NORSAR. RESIS II. <http://www.norsar.no/c-131-RESIS-II---Reducción-de-Riesgo-Sismico.aspx>
- Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. <http://www.fao.org/>