

# Adaptación al Cambio Climático y Manejo Integrado de los Recursos Hídricos en Managua, Nicaragua



Esta monografía forma parte de los productos de conocimiento de la División de Agua y Saneamiento (WSA) del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), efectuada bajo la dirección del Jefe de División Sergio I. Campos G. Dicha monografía forma parte de una serie de casos de estudios de adaptación al cambio climático dirigidos por Fernando Miralles Wilhelm apoyado por Raúl Muñoz Castillo, que contó con comentarios de los miembros de la División, destacándose especialmente los de Jorge Ducci. Anamaría Núñez ha apoyado en la edición y proceso de publicación.

El BID quisiera agradecer al Fondo Nórdico de Desarrollo (NDF, por sus siglas en inglés) por el apoyo financiero brindado para este estudio.

**Catalogación en la fuente proporcionada por la  
Biblioteca Felipe Herrera del  
Banco Interamericano de Desarrollo**

Adaptación al cambio climático y manejo integrado de los recursos hídricos en Managua, Nicaragua / Alberto Vega, Roberto Jiménez, Fernando Miralles-Wilhelm, Raúl Muñoz Castillo.

p. cm. — (Monografía del BID ; 360)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Water-supply—Nicaragua. 2. Water resources development—Nicaragua. 3. Climate change mitigation—Nicaragua. 4. Environmental protection—Nicaragua. I. Vega, Alberto. II. Jiménez Roberto. III. Miralles Wilhelm, Fernando. IV. Muñoz Castillo Raúl. V. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Agua y Saneamiento. VI. Serie. IDB-MG-360

**JEL code:** Q01; Q25; Q53; Q54; Q56; Q57; F63; F64

**Palabras clave:** Desarrollo sostenible, agua, cambio climático, adaptación, desarrollo económico, BID, Banco Interamericano de Desarrollo, medio ambiente, Nicaragua, América Latina y el Caribe, Fondo Nórdico de Desarrollo (NDF)

<http://www.iadb.org>

Copyright © 2015 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa .



# Contenido

Prólogo .....	5
1.0 <b>Introducción</b> .....	6
1.1 Objetivo de este caso de estudio.....	7
1.2 Alcance del proceso de adaptación.....	7
1.3 Organización de este informe.....	9
2.0 <b>Enfoque metodológico</b> .....	10
3.0 <b>Perfil de riesgo: inundaciones urbanas en Managua</b> .....	13
3.1 Escenario seleccionado de cambio climático.....	14
3.2 Inundaciones urbanas.....	18
4.0 <b>Evaluación de la vulnerabilidad</b> .....	25
4.1 Selección de las comunidades de muestra.....	26
4.2 Evaluación de variables y criterios .....	28
4.3 Resultados de la evaluación.....	30
5.0 <b>Evaluación del riesgo de inundaciones urbanas</b> .....	35
5.1 Metodología .....	36
5.2 Resultados del modelo hidrológico .....	40
5.3 Análisis del riesgo de inundación urbana.....	45
6.0 <b>Análisis de las opciones de adaptación propuestas por las partes interesadas</b> .....	52
6.1 Evaluación de las medidas de adaptación propuestas .....	54
6.2 Resumen de los resultados .....	62
7.0 <b>Recomendación principal y conclusión</b> .....	64
8.0 <b>Referencias</b> .....	68
Anexos	
A Línea base de las condiciones existentes .....	71
B Escenario proyectado de uso de tierras.....	116
C Análisis de vulnerabilidad .....	134
D Resultados para las microcuencas seleccionadas en Managua .....	157
E Modelo de balance hídrico del Lago Managua .....	173



## Lista de tablas

Tabla 3.1	Factores del cambio climático seleccionados.....	18
Tabla 4.1	Capacidades consideradas en la evaluación de la vulnerabilidad .....	26
Tabla 4.2	Criterios de evaluación de la vulnerabilidad de la comunidad .....	28
Tabla 5.1	Precipitación existente y proyectada para cada período de retorno.....	37
Tabla 5.2	Escenarios considerados en el análisis hidrológico .....	39
Tabla 5.3	Estimaciones del flujo máximo para las intersecciones OJC bajo los cuatro escenarios .....	41
Tabla 5.4	Parámetros hidráulicos pronosticados por HEC-RAS bajo los cuatro escenarios .....	45
Tabla 5.5	Elevación más baja de las márgenes y valores $Q_{CHANNEL}$ .....	49
Tabla 5.6	Exceso en volúmenes de agua de lluvia por encima de la capacidad del canal en los puntos críticos #1 y #2.....	49
Tabla 6.1	Conjunto inicial de medidas de adaptación propuestas por los interesados .....	52
Tabla 6.2	Medidas de adaptación evaluadas mediante modelos hidrológicos .....	53
Tabla 6.3	Ubicación y opciones de capacidad para la estructura de retención propuesta.....	55
Tabla 6.4	Coefficientes de rugosidad asumidos para el canal principal y las márgenes .....	57
Tabla 6.5	Parámetros hidrológicos asumidos en el modelado de la adaptación #3 .....	59

## Lista de figuras

Figura 1.1	Ámbito de aplicación inicial del proceso de adaptación.....	8
Figura 2.1	Enfoque del proceso de adaptación.....	10
Figura 3.1	Proyecciones del cambio de temperatura anual para 2041-2070 (escenario a2).....	16
Figura 3.2	Proyecciones del cambio anual de precipitación para el 2041-2070 (escenario a2).....	17
Figura 3.3	Longitud total de los canales y población ubicada en áreas de alto riesgo.....	21
Figura 3.4	Medida de prevención de inundaciones en hogares, barrios 18 de Mayo y La Finquita.....	22
Figura 3.5	Basura en las calles y en los canales de drenaje, barrio 18 de Mayo .....	24
Figura 3.6	Agua estancada que se observó en el barrio 18 de Mayo y Los Vanegas.....	24
Figura 4.1	Factores generales y capacidades correspondientes que determinan la vulnerabilidad.....	25
Figura 4.2	Barrios incluidos en la evaluación de la vulnerabilidad.....	27
Figura 4.3	Infraestructura en los barrios con necesidad de reparación.....	32
Figura 4.4	Fotografías que ilustran las condiciones de vivienda y saneamiento existentes .....	33
Figura 5.1	Canales existentes e intersecciones del modelo en la cuenca OJC.....	38
Figura 5.2	Estimaciones de flujo máximo para intersecciones en ojc bajo cuatro escenarios .....	42
Figura 5.3	Estimaciones de flujo máximo expresadas como porcentajes de incrementos para cada intersección del modelo .....	44
Figura 5.4	Ubicación de los puntos importantes de inundación y puntos críticos dentro de la cuenca OJC .....	46
Figura 5.5	Curva de elevación del flujo de agua para la unión 3 (punto crítico #1).....	47
Figura 5.6	Curva de elevación del flujo de agua para la unión 1 (punto crítico #2).....	48
Figura 5.7	Exceso estimado de los flujos máximos por encima de la capacidad del canal en el punto crítico #1.....	50
Figura 5.8	Exceso estimado de los flujos máximos por encima de la capacidad del canal en el punto crítico #2.....	51
Figura 6.1	Resultados para la adaptación #1 expresados en porcentaje de cambios de flujo máximo.....	56
Figura 6.2	Intersección del canal Jagüitas 2 antes y después de la mejora del canal.....	57
Figura 6.3	Adaptación #2 resultados expresados como cambios en los parámetros hidráulicos del canal .....	58
Figura 6.4	Resultados para la adaptación #3 expresados como cambios del porcentaje de flujos máximos.....	60
Figura 6.5	Ejemplo de un vertedero instalado a lo largo de un canal (vista transversal) .....	61
Figura 6.6	Resultados de la adaptación #4 expresados como parámetros hidráulicos del canal.....	62

# Prólogo

El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) ha reconocido que sus actividades en los países de la Región del Caribe (LAC) y América Latina y tienen un gran potencial para ser impactados por los efectos del cambio climático. Este es particularmente el caso para proyectos de saneamiento (WSA) y el sector hídrico que se encuentran actualmente en las etapas de planificación y ejecución en la región. La mayoría de las experiencias de adaptación en el sector de WSA se han desarrollado a una escala global, con limitada experiencia existente a nivel local (por ejemplo, a escala de cuencas). Esta brecha presenta un reto para desarrollar el conocimiento sobre el área que profundiza la experiencia del BID en materia de adaptación al cambio climático en el sector de WSA y ayuda a definir las políticas y mejores prácticas en la adaptación a nivel regional y del país. Esto es especialmente aplicable a los países de Centroamérica.

El objetivo de este proyecto de Cooperación Técnica es apoyar el proceso para aumentar la capacidad de adaptación al cambio climático en las comunidades en Centroamérica. Al tomar en cuenta la variedad de posibles riesgos y vulnerabilidades, los planes para futuras inversiones en infraestructuras hídricas y de saneamiento pueden integrar conceptos que reduzcan la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia a los riesgos climáticos, lo que llevaría a resultados de desarrollo más sostenibles.

Los pronósticos del cambio climático para Centroamérica sugieren una mayor variabilidad del clima en el futuro, lo que se espera que se traduzca en sequías más severas en la estación seca y el aumento de la frecuencia e intensidad de los eventos de lluvia durante la estación lluviosa. Este último es un tema particular en Managua, Nicaragua, donde los acontecimientos recientes ponen de manifiesto la existencia de importantes desafíos de drenaje de aguas pluviales, lo que resulta en impactos a las comunidades y la economía.

Este caso de estudio es un ejemplo de un enfoque potencial que puede utilizarse para comprender los impactos que el aumento en la intensidad de la precipitación tendría en un área poblada relativamente grande, e identificar la infraestructura correspondiente y las medidas de adaptación basadas en políticas que se pueden implementar en respuesta a esto.

El resultado de esta experiencia de adaptación ha dado elementos útiles para la definición de una estrategia alternativa para el manejo convencional de las aguas pluviales, la cual está enfocada en la reducción de la escorrentía en lugar de manejar su transferencia.

Las lecciones aprendidas en Managua es probable que sean aplicables a otros esfuerzos en la región donde se aborden las áreas propensas a las inundaciones en el medio urbano como una prioridad. De cara al futuro, los resultados de este Proyecto de Cooperación Técnica serán utilizados para informar el diseño de medidas de adaptación locales y específicas para abordar los impactos del cambio climático en el sector de la WSA.

# 1. Introducción

La empresa *Environmental Resources Management* (ERM) fue nombrada por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) para llevar a cabo un análisis de los posibles impactos que el cambio climático podría tener sobre los recursos hídricos en y en los alrededores de la ciudad de Managua, y para identificar las posibles medidas de adaptación. Este proceso se centró en:

Entender los efectos potenciales que los cambios inducidos por el cambio climático, en variables tales como la frecuencia y la intensidad de las lluvias, puedan tener sobre el ciclo del agua local, incluyendo el alcance y la recurrencia de las inundaciones urbanas. Además, llevar a cabo, consultando con las partes interesadas locales, un análisis y priorización de las medidas de adaptación que se pueden implementar para reducir la vulnerabilidad a esos impactos.

El BID aprobó<sup>1</sup> el desarrollo de este caso de estudio bajo una Cooperación Técnica destinada a aumentar la capacidad de adaptación al cambio climático en las comunidades en toda Centroamérica, con un enfoque en la creación de resiliencia a través de inversiones en infraestructuras específicas en el sector de Saneamiento Hídrico (WSA).

Managua es un ejemplo de una ciudad de América Latina ante el reto de adaptarse al aumento de extremos hidrológicos y las consecuencias que estos pueden tener en un entorno urbano densamente poblado (por ejemplo, las inundaciones repentinas y los eventos de inundación de cada vez mayor alcance y duración). Se espera que esta experiencia de adaptación pueda apoyar a los hacedores de las políticas locales en entender y responder tanto a los riesgos presentes y futuros.

Este caso de estudio fue desarrollado por ERM en estrecha colaboración con la Alcaldía de la Ciudad de Managua<sup>2</sup> (ALMA), el Banco Interamericano de Desarrollo y otros actores locales clave. El compromiso con los grupos de interés locales pertinentes ha sido fundamental en la identificación de opciones de adaptación más adecuadas en este contexto.

El proceso de adaptación documentado en este estudio ofrece lecciones clave que pueden ser aprovechadas por los planificadores de adaptación y los gobiernos municipales de la región para llevar a cabo procesos de adaptación similares. Este estudio proporciona mensajes clave en torno a las siguientes áreas: i) evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático, ii) la predicción de futuros peligros relacionados con el clima, iii) la identificación y evaluación de las medidas de adaptación viables y rentables, y iv) la priorización de las inversiones potenciales futuras para su implementación.

<sup>1</sup> Este caso de estudio fue desarrollado de acuerdo con las tareas esbozadas en el documento del Plan de Trabajo que ERM entregó el 8 de marzo de 2013 y que fue aprobado subsiguientemente por el BID. En referencia al Plan de Trabajo, este informe cumple con los requerimientos en la lista en la *Tarea 1: Desarrollo e Implementación del Caso de Estudio en Adaptación* para la ciudad de Managua, Nicaragua.

<sup>2</sup> Alcaldía de Managua, se le hará referencia en este documento por su abreviación en español ALMA.

## 1.1 Objetivo de este caso de estudio

En régimen de consulta con un conjunto diverso de partes interesadas locales y en coordinación con el BID, el ERM se dispuso a emprender un proceso destacando los siguientes objetivos:

- Evaluar los impactos en las comunidades, los activos de agua y saneamiento, y los recursos debidos al cambio climático, especialmente aquellos que pueden ser el resultado de las inundaciones urbanas;
- Caracterizar las zonas de mayor vulnerabilidad, considerando los aspectos físicos y climáticos (por ejemplo, la hidrología, los riesgos de inundación, la infraestructura existente) y las características socioeconómicas (por ejemplo, las tendencias demográficas, ingresos);
- Formular posibles opciones de adaptación dirigidas a reducir los riesgos y/o vulnerabilidades evaluados;
- Seleccionar una opción de adaptación sobre la base de la retroalimentación de los interesados, y varios criterios como, la eficacia, la capacidad institucional para la ejecución, la aceptación por la comunidad, entre otros, y;
- Promover la transferencia de conocimientos mediante la participación activa del gobierno local y las partes interesadas de la sociedad civil (a través de dos talleres en Managua).

## 1.2 Alcance del proceso de adaptación

El proceso de adaptación realizado en Managua se centró en fortalecer la capacidad de adaptación y resiliencia en el sector hídrico y de saneamiento, específicamente en respuesta al aumento de los extremos hidrológicos en Managua. Basados en una comprensión general de los cambios climáticos futuros, ERM y el BID propusieron inicialmente examinar los riesgos potenciales asociados con (1) el aumento del nivel del agua del Lago de Managua, y (2) las inundaciones urbanas.

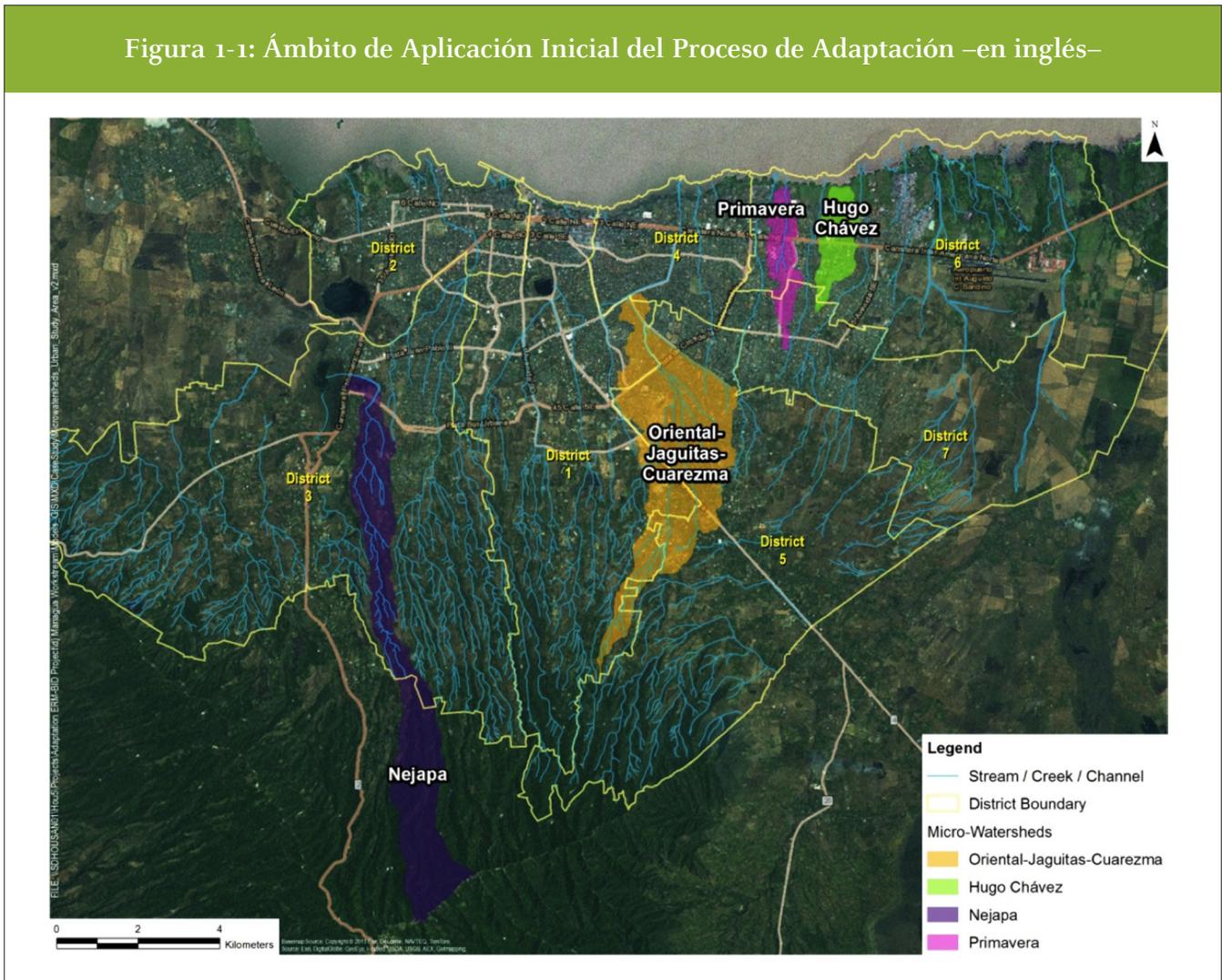
En la etapa de planificación, ambos peligros –aumento del nivel del agua en el Lago Managua y las inundaciones urbanas– se cree que tienen una alta probabilidad de impactos significativos a las comunidades en Managua. Sin embargo, las consultas iniciales arrojaron una mejor comprensión de las prioridades clave de las partes interesadas. La retroalimentación proporcionada por ALMA, como un actor principal en el proceso de adaptación, desempeñó un papel central en la definición del alcance del estudio.

Si bien se reconocieron los riesgos relacionados con las inundaciones debido a los ascensos en el nivel del agua del lago relacionado con las tormentas, los funcionarios de ALMA destacaron que el abordar los retos ya críticos de drenaje urbano en Managua era una prioridad. Por lo tanto, hubo un acuerdo para preparar un balance general de las aguas del Lago de Managua utilizando los promedios mensuales de las variables climáticas relevantes y la información existente del uso del suelo. Este equilibrio es un modelo en Excel que se puede utilizar para predecir los posibles cambios en la elevación de la superficie del lago bajo diferentes escenarios.

El compromiso inicial con ALMA también produjo expectativas claras en cuanto a los resultados de adaptación. La expectativa principal giró en torno a la necesidad del proceso de adaptación para identificar las inversiones que le permitan a la ciudad enfoques piloto para aliviar las inundaciones urbanas y preparar el escenario para el desarrollo de un plan maestro de drenaje urbano en el ámbito municipal.

Como primer paso en la definición del alcance del proceso de adaptación, ERM delineó cuatro áreas de estudio basadas en la ubicación de un número de puntos de inundación críticos<sup>3</sup> dentro de la ciudad. Estas áreas fueron delineadas de acuerdo con los límites de las cuencas hidrográficas en las que se ubican los puntos críticos. En concreto, estas áreas corresponden a pequeñas áreas de drenaje, o Microcuencas, dentro de la mayor subcuenca II, que desemboca en el Lago de Managua. La Figura 1-1 muestra las cuatro microcuencas propuestas para los análisis hidrológicos iniciales.

Figura 1-1: Ámbito de Aplicación Inicial del Proceso de Adaptación –en inglés–



Fuente: ERM, 2013.

<sup>3</sup> ALMA identificó estas áreas críticas basados en un estudio de riesgos de desastres naturales de 2004 y basado en el conocimiento de ALMA de las áreas que presentan alto riesgo de inundación.

Tras la identificación de las cuatro microcuencas urbanas –Primavera, Hugo Chávez, Nejapa y Oriental-Jagüitas-Cuarezma– ERM procedió a realizar análisis hidrológicos en estas áreas de estudio. Los resultados preliminares fueron presentados a ALMA y otras partes interesadas clave durante un taller realizado en Managua en julio de 2013. Después del taller, ALMA acordó que los análisis posteriores se centrarían solo en la micro-cuenca Oriental-Jagüitas-Cuarezma (OJC), ya que esta se consideraba como la más dinámica de las cuatro Microcuencas del modelo en términos del cambio en el uso del suelo potencial futuro, así como la que contiene el mayor número de los actuales puntos críticos de inundación (*hot spots*). Durante el período de modelación y análisis, ERM y ALMA identificaron una serie de posibles medidas de adaptación, y acordaron en un número de estas que serían realmente las que se modelarían.

## 1.3 Organización de este informe

Además de esta introducción, este caso de estudio incluye las siguientes secciones:

- Sección 2 Enfoque Metodológico:** presenta la metodología empleada por ERM en el desarrollo y la coordinación del proceso de adaptación basado en el riesgo, y centrado en abordar los problemas de las inundaciones urbanas en Managua.
- Sección 3 Perfil de Riesgos:** documentados sobre un alto nivel de frecuencia, magnitud y extensión de las inundaciones urbanas en Managua, y tomados de una cronología de los acontecimientos recientes y las aportaciones de los residentes locales.
- Sección 4 Evaluación de la Vulnerabilidad:** ofrece una visión general de los factores que se cree aumentan la vulnerabilidad de las comunidades expuestas a los efectos de las inundaciones urbanas y reporta los resultados de un análisis comparativo de la vulnerabilidad en tres vecindarios de Managua.
- Sección 5 Evaluación del Riesgo de las Inundaciones Urbanas:** presenta y analiza los resultados del análisis técnico basado en el modelo de la micro-cuenca Oriental-Jagüitas-Cuarezma (OJC).
- Sección 6 Formulación de Opciones de Adaptación:** describe la metodología y los resultados del proceso mediante el cual las opciones de adaptación fueron identificadas y evaluadas como una respuesta a los riesgos y las vulnerabilidades relacionadas.
- Sección 7 Recomendaciones Principales:** documenta nuestro análisis final y la conceptualización inicial de las medidas de adaptación que abordarían más eficazmente los riesgos de inundación actuales y futuros. Se analizaron aspectos tales como costos, beneficios y otras consideraciones.

Las siguientes adiciones brindan más detalles sobre el proceso y los resultados finales desarrollados como parte de este proceso de adaptación:

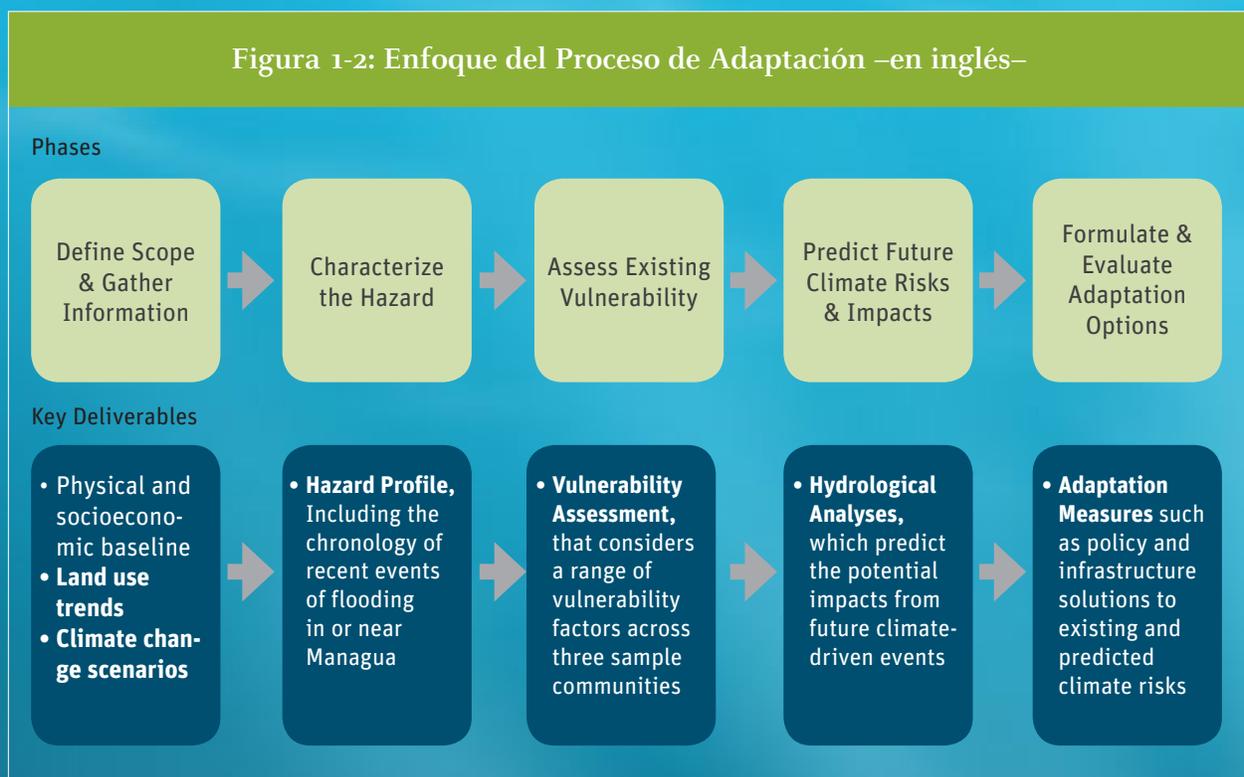
- Anexo A** Línea Base de las Condiciones Existentes
- Anexo B** Escenario del Uso del Suelo a Futuro (2050)
- Anexo C** Evaluación Detallada de la Vulnerabilidad
- Anexo D** Resultados Detallados del Modelo para Cuatro Microcuencas en Managua
- Anexo E** Modelo del Balance Mensual de Agua en el Lago de Managua



## 2. Enfoque metodológico

En consonancia con los objetivos establecidos en la Sección 1.1, ERM ha desarrollado una metodología que permitiría la identificación de respuestas planificadas, proactivas y preventivas a las medidas de adaptación para los riesgos futuros derivados del cambio climático. Esta metodología utiliza un enfoque basado en el riesgo para la predicción de los impactos potenciales y considera el input de los grupos interesados locales en todas las etapas del proceso. El resultado esperado es aumentar la capacidad de recuperación frente a una gama de posibles pero inciertos escenarios futuros, al tiempo que garantiza que los problemas ya existentes también son abordados.

La Figura 2-1 ilustra los pasos adoptados durante el proceso de adaptación e indica los resultados clave asociados con cada paso secuencial.



Fuente: ERM, 2014.

Tal como se ilustra arriba, la metodología empleada en este proceso de adaptación se compone de las siguientes etapas y entregas:

- 1. Definir el Alcance y Recopilar la Información.** En una etapa inicial, los equipos de trabajo de ERM y el BID se reunieron con ALMA y varios de los interesados locales, principalmente las agencias y ministerios que desempeñan un papel en el manejo de los recursos hídricos, o en la prevención o respuesta a eventos de inundación. Durante estas reuniones se definió el alcance del proceso de adaptación y se establecieron relaciones clave para el intercambio de información. ERM entonces centró los esfuerzos de recopilación de datos para la obtención de los insumos relevantes para el análisis hidrológico. La información recopilada durante la fase de línea base inicial también incluyó aspectos geográficos, meteorológicos, hidrológicos, demográficos, socioeconómicos y sobre el uso del suelo. Los logros fundamentales de esta etapa fueron:
  - **Línea base de las condiciones existentes** que documentaron la información relacionada con las características físicas de la zona de estudio (por ejemplo, la geología, topografía, uso del suelo/manto vegetal, la capacidad de infiltración del suelo, el clima y la hidrología); datos socioeconómicos (por ejemplo, datos demográficos, actividades económicas, e infraestructura pública);
  - **Escenarios sobre el uso Futuro del Suelo** para establecer la tasa de aumento de superficie impermeable en el tiempo. ERM realizó un análisis histórico basado en satélites de las tendencias de uso del suelo con el fin de proyectar el cambio del uso del suelo para el horizonte de 2050; y,
  - **Resumen del contexto político e institucional** (por ejemplo, la legislación local, reglamentos e instituciones relacionadas con la gestión de los recursos hídricos y la preparación para emergencias/ manejo de la respuesta).
- 2. Caracterizar el Peligro.** Basados en la información clave de ALMA, ERM se centraron en el proceso de adaptación a los retos de las inundaciones urbanas ya críticos en Managua. Como resultado de ello, se llevó a cabo una investigación secundaria para entender a alto nivel, la cronología de los eventos de inundaciones urbanas que se han producido en los últimos años, y caracterizar la magnitud y diversidad de los efectos asociados a estos eventos. Los resultados clave en este paso fueron:
  - **Perfil del Peligro** que caracteriza a los efectos directos de las inundaciones urbanas, que van desde molestias leves en la vida diaria (por ejemplo, el tráfico lento) hasta riesgos graves para la vida humana (por ejemplo, el ahogamiento, la enfermedad) y los medios de vida (por ejemplo, destrucción de la propiedad, interrupción de actividades empresariales, menor productividad). El perfil de riesgo proporciona una comprensión de las inundaciones urbanas, con un nivel de detalle suficiente para apoyar un análisis de los factores que impulsan la vulnerabilidad de las comunidades expuestas a estos riesgos.
- 3. Evaluar la Vulnerabilidad Existente.** Basándose en las observaciones de campo y los grupos de enfoque realizados con los residentes locales, el ERM ha desarrollado un análisis centrado en la identificación de los factores que impulsan la vulnerabilidad a los efectos de las inundaciones urbanas, mediante la evaluación de una serie de variables de vulnerabilidad para una muestra de comunidades en Managua. Entender el concepto de vulnerabilidad es importante para evaluar los costos y beneficios de las diferentes opciones de adaptación. El resultado fundamental de este paso fue:
  - **Evaluación de la Vulnerabilidad** que considera la probabilidad de exposición y la sensibilidad de la población a las inundaciones urbanas. Esto incluye una evaluación comparativa de los factores de vulnerabilidad para las tres vecindades de la muestra en Managua. Este análisis comparativo permite la identificación de los factores específicos del contexto que se cree que aumentan la exposición o la sensibilidad al riesgo.
- 4. Predecir los Riesgos y los Impactos Climáticos Futuros.** Con el fin de predecir cómo los eventos futuros ocasionados por el clima (por ejemplo, tormentas de mayor intensidad y precipitaciones) darían lugar a eventos de inundación, ERM evaluó el comportamiento de las aguas pluviales versus la infraestructura de drenaje existente. ERM utilizó dos paquetes por separado, pero relacionados, de modelado, los cuales, cuando se utilizan en combinación, confirman la presencia de áreas actualmente en riesgo de inundaciones y predicen los riesgos futuros sobre la base de los cambios de uso del suelo y el clima. A continuación se describen los datos de entrada y los datos de salida principales, en relación con la elaboración del modelo hidrológico e hidráulico:

- **Proyecciones del Uso Futuro del Suelo (Input).** Como con cualquier análisis de cuenca, es importante entender la capacidad de infiltración del suelo bajo estudio. En vista de que la consideración de los patrones actuales de uso de la tierra no proporcionarían un output realista a largo plazo, el ERM utilizó los resultados de las proyecciones de uso de suelo de 2050 para esta evaluación.
  - **Escenarios del Cambio Climático (Input).** Los modelos globales y regionales del clima predicen cómo las variables climáticas (por ejemplo, la temperatura, frecuencia e intensidad de precipitación) se desarrollarán en el futuro. ERM revisó los informes y los datos disponibles en relación con los escenarios y las proyecciones del cambio climático para Nicaragua. ERM utilizó proyecciones del cambio climático (basadas en modelos regionales a escala reducida) reconocidos por las autoridades locales.
  - **Resultados del Modelo (Output).** Basados en la capacidad de conducción del drenaje meteorológico, y los inputs del uso del suelo, los modelos se aplicaron para simular el efecto de 25, 50 y 100 años de los eventos de precipitación, y los resultados se expresaron en términos de flujos máximos y de hidrogramas, y el volumen de esorrentía en exceso de la capacidad de transporte del cauce. El análisis consideró una serie de escenarios para evaluar la contribución relativa de uso del suelo y el cambio climático para riesgos de inundación futuros.
5. **Formular y Evaluar Las Opciones Futuras de Adaptación.** A medida que surgían los resultados de la modelación, ERM identificó los tipos adecuados de medidas de adaptación y probó su eficacia en los modelos. Aquellas medidas que clasificaron mejor en términos de disminución de riesgo de inundación fueron objeto de una evaluación de los posibles costes y beneficios y los riesgos relacionados con su aplicación.
- **Análisis Multi-Criterio.** En régimen de consulta con ALMA, ERM realizó un análisis del conjunto propuesto de las opciones de adaptación, centrándose en la evaluación de los aspectos relacionados con la viabilidad ambiental, social y económica de estas alternativas.
  - **Análisis Costo-Beneficio.** En vista de los limitados recursos disponibles para la infraestructura y las inversiones centradas en la adaptación, ERM desarrolló un análisis de costo-beneficio que permita a los hacedores de políticas, tomar decisiones basados en una gama completa de costes y beneficios económicos, incluyendo aquellos que no son fácilmente cuantificables en términos monetarios, tales como las mejoras para el bienestar humano.



### 3. Perfil de riesgo: inundaciones urbanas en Managua

Un creciente cuerpo de investigación continúa creando conciencia y comprensión de los posibles factores que conllevan al cambio climático, el carácter y la magnitud de estos cambios y las posibles opciones disponibles para las instituciones e individuos que buscan hacer frente a ellos. Mientras que las investigaciones con cara al futuro ayudan a construir una visión de futuro del clima, un análisis de las tendencias del pasado también apuntan a los impactos sobre los recursos ambientales, los sistemas de producción y los medios de vida que es probable que se agraven aún más por la consecuente variabilidad del clima.

Nicaragua tiene una larga historia de condiciones meteorológicas extremas y con frecuencia se enfrenta a graves impactos relacionados con fenómenos meteorológicos extremos. La variabilidad del clima, especialmente la relacionada con El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) episodios secos y húmedos. Episodios secos (años de El Niño), dan lugar a sequías que causan pérdidas importantes en el sector agrícola, que proporciona empleo a más del 60 % de la población y del cual depende la seguridad alimentaria del país.

Durante los episodios húmedos (años de La Niña), las devastadoras inundaciones pueden resultar en daños a las cosechas, la infraestructura y la vivienda. En un clima tropical predominantemente sub-húmedo, caracterizado por una fuerte variabilidad interanual, las tendencias del cambio climático son una amenaza creciente para el desarrollo continuo y para el bienestar de las comunidades urbanas y rurales pobres en muchas áreas.

Algunos eventos extremos relativamente recientes, tales como los huracanes Mitch (1998) y Félix (2007) todavía están frescos en la memoria de las personas. Mitch tuvo un impacto especialmente trágico, lo que llevó a 3,800 muertes solo en Nicaragua (2,000 debido a un enorme deslizamiento de tierra que sepultó varias aldeas).

De hecho, las inundaciones y las sequías son las principales manifestaciones de clima extremo en Centroamérica, causando cerca del 85 % de todos los desastres que se produjeron en la región de 1950 a 2005<sup>4</sup>. Además, las proyecciones de modelos climáticos bajo diferentes escenarios sugieren que se espera que la variabilidad actual pueda agravarse con el cambio climático.

Los eventos climáticos provocados por el clima pueden llevar a impactos más graves en los países en desarrollo, como Nicaragua, ya que la pobreza a nivel de la comunidad y de los hogares resultan en una mayor vulnerabilidad debido a una serie de factores. Por otra parte, los recursos institucionales y de gobernanza limitados, en términos de capacidad tecnológica y de medios económicos, pueden disminuir la capacidad del país para adaptarse a un clima cambiante.

<sup>4</sup> Leary, N. et al. (2007). Assessment of Impacts and Adaptation to Climate Change: Final Report of the AIACC Project. Global Environmental Facility. The International START Secretariat. Washington, DC.

Al considerar los impactos actuales y proyectados sobre la variabilidad del clima, la vulnerabilidad de las comunidades locales y la necesidad de fortalecer la capacidad local para hacer frente a esos impactos, la planificación de la adaptación se convierte en una prioridad clave.

### 3.1 Escenario seleccionado de cambio climático

El enfoque y el alcance del proceso de adaptación se determinaron en gran medida por las proyecciones futuras del clima y los impactos correspondientes a los sistemas naturales y humanos. Las proyecciones climáticas regionales, cada vez más confiables, ya están disponibles, así como las proyecciones a escala reducida que permiten la predicción de las variables climáticas esenciales (por ejemplo, la temperatura, la precipitación, la intensidad de las tormentas) a escalas subregionales<sup>5</sup>. En esta Sección, la selección de las variables climáticas que se han empleado en el modelado se describen junto con la respuesta de las cuencas hidrográficas a eventos futuros de precipitación.

La revisión inicial de la información de antecedentes y la literatura, ponen de relieve la labor emprendida por el gobierno de Nicaragua en el desarrollo de la Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático, como parte del proceso de la CM-NUCC<sup>6</sup>. En el informe de 2011, el Ministerio de Recursos Naturales y Medio Ambiente de Nicaragua (MARENA) actualizó sus proyecciones del clima de Nicaragua, basado en el resultado de la iniciativa de modelado climático regional conocido como PRECIS (Proveyendo climas regionales para estudios de impacto).

PRECIS es un sistema de modelado climático regional diseñado para reducir la escala de las proyecciones realizadas por los modelos de circulación global existentes, que están diseñados para predecir la evolución del clima a escalas continentales y mundiales. Las proyecciones reconocidas por MARENA se basan en los resultados de los modelos<sup>7</sup> de circulación global como HadCM<sub>3</sub> y ECHAM<sub>4</sub>, que ya están en escala reducida por la iniciativa PRECIS-Caribe. MARENA también consideró simulaciones desarrolladas recientemente facilitadas por el Instituto de Meteorología de Cuba.

Las proyecciones de modelos climáticos no se basan en un solo punto de vista del futuro, sino más bien en una serie de posibles escenarios de gases de efecto invernadero (GEI) comúnmente conocidos como SRES<sup>8</sup> (Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones). Estos escenarios consideran diferentes tendencias del desarrollo mundial para los próximos 100 años y están, en un sentido amplio, basados fundamentalmente en presunciones sobre la población y el crecimiento económico. Hay cuatro familias de escenarios IE-EE, a saber, A1, B1, A2 y B2.

En su análisis, MARENA considera las proyecciones a escala reducida que corresponden a los escenarios de emisiones A2 y B2. El escenario A2 se construye sobre la base del crecimiento continuo de la población y el desarrollo económico orientado a la región, mientras que el escenario B2 asume un crecimiento continuo pero más lento de la población y un cambio tecnológico más fragmentado.

El análisis realizado por MARENA indicó la existencia de una serie de proyecciones climáticas para Nicaragua, basadas en información de escala reducida de dos modelos globales (HadCM<sub>3</sub> y ECHAM<sub>4</sub>) bajo dos escenarios de emisiones (A2 y B2). Para determinar las proyecciones que mejor se adaptan a la necesidad del modelo de riesgo de inundaciones, el equipo de ERM basó sus decisiones en los siguientes criterios:

<sup>5</sup> Mertz, O. et al. (2009). Adaptation to Climate Change in Developing Countries. Environmental Management. Issue 43, pp 743-752.

<sup>6</sup> United Nations Framework Convention for Climate Change

<sup>7</sup> HadCM<sub>3</sub> fue desarrollado por el Hadley Center en el Reino Unido mientras que ECHAM<sub>4</sub> (actualmente en versión 5) fue desarrollado por el Max Planck Institute en Alemania.

<sup>8</sup> El Informe Especial de los Escenarios de Emisiones fue desarrollado por el Panel Intergubernamental en Cambio Climático (IPCC) en 2001

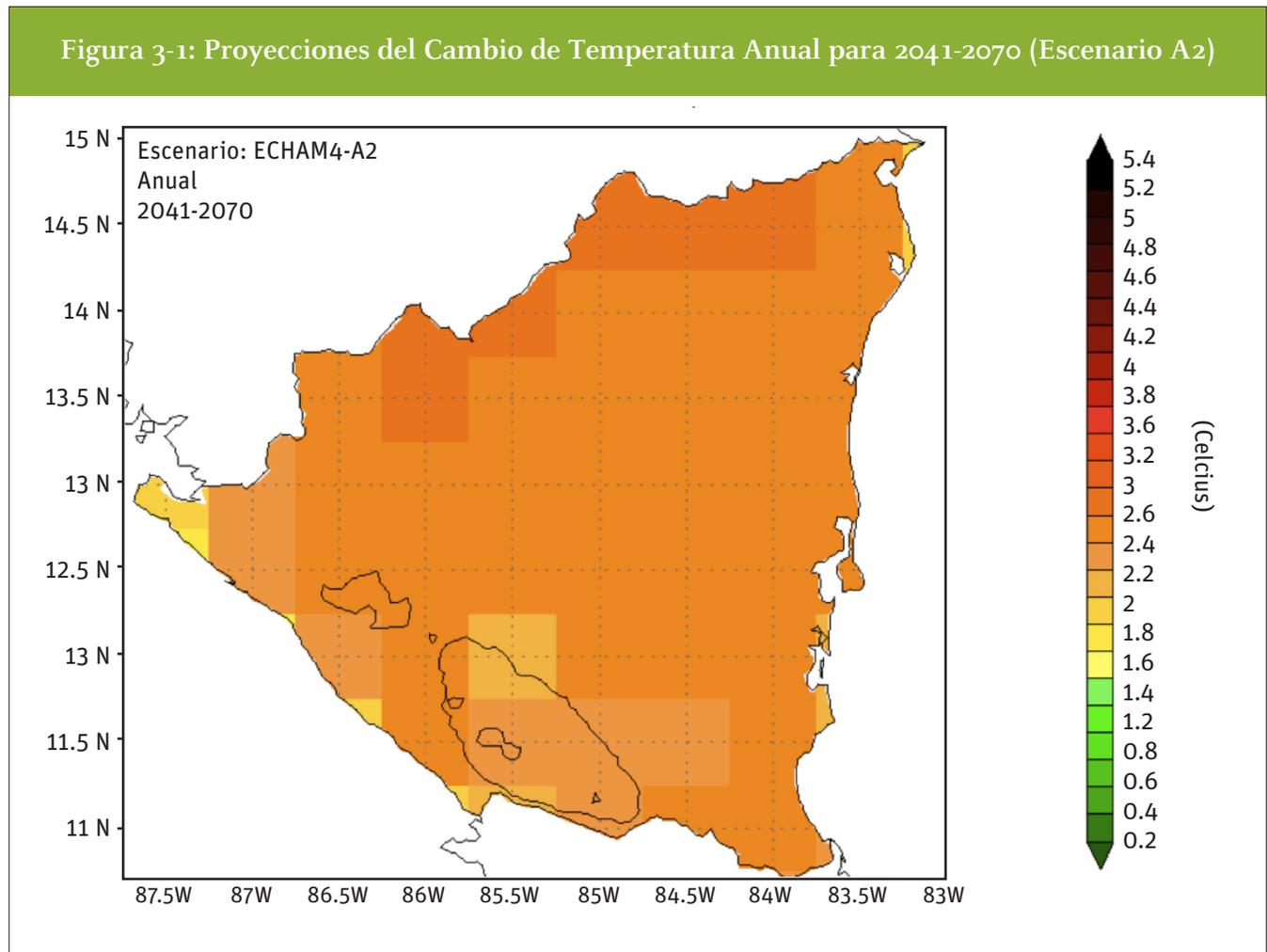
- La disponibilidad de las proyecciones a escala reducida para el horizonte específico de planificación de 2050;
- La medida en la cual el modelo se basó en datos históricos para aumentar la confianza en la exactitud de las proyecciones futuras; y,
- La necesidad de asumir el escenario de emisiones más conservador.

En el análisis final, ERM decidió emplear variables climáticas basadas en proyecciones generadas por el modelo ECHAM4 para el período 2041-2070 bajo el escenario A2. El factor decisivo fue la disponibilidad de proyecciones ECHAM4 para varios períodos de tiempo (es decir, 1991-2010, 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099), mientras que el modelo HadCM3, solo proporcionó proyecciones para el período 2071-2099.

Además, el modelo de escala reducida ECHAM4 se calibró sobre la base de los datos históricos que van desde 1961 hasta 2010, en comparación con el modelo HadCM3, que utilizó datos históricos más limitados. Ambos modelos proyectaron los cambios en la temperatura y las precipitaciones, y ambos ofrecieron resolución en la escala espacial 50-km, por lo cual estos no se convirtieron en factores de decisión.

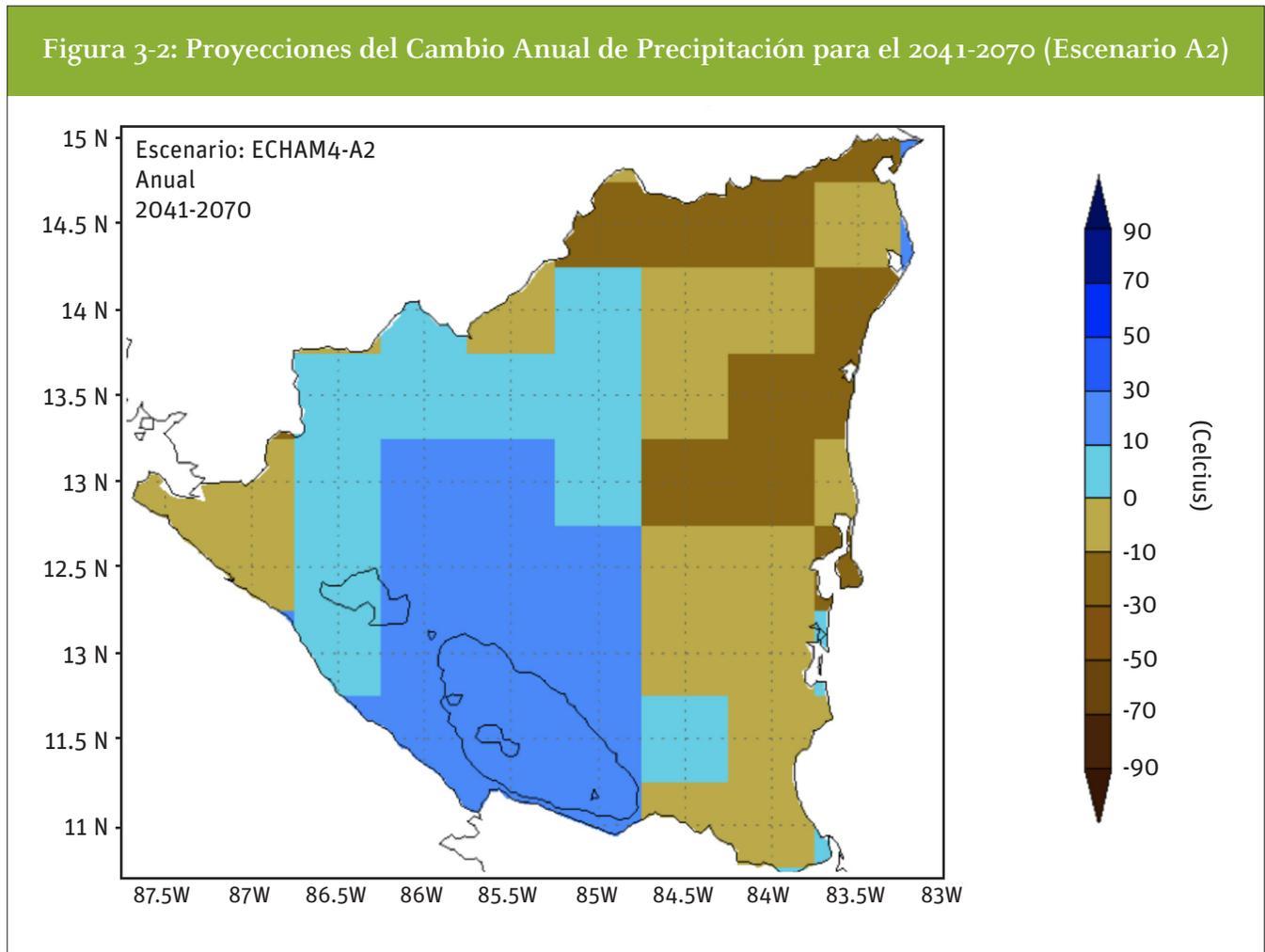
En términos de escenarios de emisiones, el Escenario A2 mostró una tendencia más alta de emisiones GEI en relación con el B2 y, por lo tanto, fue seleccionado como una medida para incluir un supuesto conservador en los análisis hidrológicos.

La Figura 3-1 muestra los cambios proyectados para la temperatura media anual en el escenario de emisiones A2, según el modelo ECHAM4 para 2041-2070.



Fuente: MARENA (2008) basado en proyecciones del modelo PRECIS ECHAM4

La Figura 3-2 muestra los cambios estimados en las proyecciones de precipitación anual promedio en el escenario de emisiones A2, según el modelo ECHAM4 para 2041-2070.



Fuente: MARENA (2008) basado en el modelo de proyecciones PRECIS ECHAM4

Las dos variables climáticas clave empleadas por los modelos hidrológicos fueron la precipitación total y la intensidad de las precipitaciones. Es importante tener en cuenta que las proyecciones descritas anteriormente no prevén específicamente un valor para la intensidad de la precipitación. En ausencia de una proyección específica, ERM asumió un valor conservador de 30 % basado en el hecho de que la intensidad de precipitación fluvial no es probable que exceda el aumento total de precipitación.

Para el análisis que se centró en la predicción del balance de agua del Lago de Managua, la temperatura es una variable climática clave debido a su influencia en las tasas de evaporación del lago. Refiérase al Anexo E para la metodología y los resultados del análisis basado en el nivel de la cuenca del Lago de Managua.

En la Tabla 31 a continuación, se resumen las variables del cambio climático empleadas en este estudio:

**Tabla 3-1** Factores del Cambio Climático Seleccionados

Parámetro	Proyección	Fuente
Temperatura	2.6 °C Aumento	Valor generado a partir del modelo PRECIS (ECHAM4) para el escenario A2 y el período 2041-2070
Precipitación Total	30 % Aumento	Valor generado a partir del modelo PRECIS (ECHAM4) para el escenario A2 y el período 2041-2070
Intensidad de la Precipitación	30 % Aumento	Proyección derivada del Estudio <sup>a</sup> Bárcenas et al (2010)

<sup>a</sup>. Bárcena, A., Prado, A., Beteta, H., Samaniego, J.L., Lennox, J. (2012). The Economics of Climate Change in Central America: Summary 2012. ECLAC, UKAid, CCAD, SICA.

## 3.2 Inundaciones urbanas

La inundación urbana es un término que se refiere específicamente a las inundaciones que son causadas o agravadas por la actividad humana. En los entornos urbanos como Managua, la conversión de tierras a campos abiertos, o los bosques a casas, las carreteras o infraestructuras (por ejemplo, edificios, estacionamientos), resultan en un aumento de las superficies impermeables y esto es una reducción en la capacidad para absorber las lluvias. Sin las medidas adecuadas en el lugar para facilitar la infiltración, el agua se acumula en las depresiones y los perfiles bajos del terreno o se extiende en la superficie hacia los canales naturales y artificiales. Cuando se excede la capacidad de las estructuras existentes para manejar el agua de escorrentía, normalmente resulta en inundaciones urbanas.

Managua y los municipios circundantes han experimentado un rápido e incontrolado desarrollo urbano, lo que se ha traducido en la sustitución de suelo permeable con superficies impermeables, tales como carreteras, techos, estacionamientos y aceras. Esto ha acelerado la descarga de aguas pluviales en las zanjas, canales y arroyos. A lo largo del paisaje urbano, una densa red de acequias, alcantarillas y “mini represas” han tratado de desviar la escorrentía superficial hacia una serie de canales artificiales.

A pesar de que la municipalidad tiene una red de canales de drenaje urbano, la capacidad de la red se ha quedado atrás del acelerado proceso de expansión de la ciudad. Además, el mantenimiento poco frecuente y la acumulación de basura y desechos reducen sustancialmente su eficacia en general. A menos que sea mitigado, el desarrollo urbano incontrolado puede sobrecargar aún más la infraestructura de drenaje existente, lo que agravaría los problemas de las inundaciones urbanas existentes y las preocupaciones de seguridad pública.

Los efectos directos de la serie de inundaciones urbanas varían desde molestias leves para la vida diaria (por ejemplo, tráfico más lento) hasta graves riesgos para la vida humana (por ejemplo, lesiones, ahogamiento) y los medios de vida (por ejemplo, destrucción de la propiedad, interrupción de la actividad empresarial). Las inundaciones urbanas también tienen el potencial de crear riesgos de salud pública. Por ejemplo, cuando se combinan las redes de aguas pluviales y de drenaje de aguas residuales, las fuertes lluvias pueden hacer que las aguas negras salgan a la superficie hacia las calles. Esto aumenta la

posibilidad de contaminación de las fuentes de agua potable, lo que plantea graves riesgos para los brotes de enfermedades diarreicas, tales como la fiebre tifoidea y el cólera. El contacto directo con aguas residuales contaminadas también puede causar problemas de salud, tales como infecciones de heridas, dermatitis e infecciones de los ojos, de nariz y de la garganta<sup>9</sup>.

### 3.2.1 Cronología del peligro

Debido a diversos factores (por ejemplo, la ubicación geográfica, las condiciones de infraestructura), Nicaragua está considerada como el segundo país más vulnerable del mundo a los huracanes y tormentas tropicales<sup>10</sup>. Históricamente, los desastres<sup>11</sup> naturales han ocurrido con una frecuencia relativamente alta en Nicaragua, y la frecuencia ha ido aumentando en los últimos años. En los últimos 40 años, el país ha experimentado 53 desastres naturales, el más catastrófico de los cuales fue el huracán Mitch en 1998. Esta tormenta fue caracterizada por NOAA, como el huracán más mortífero del Atlántico desde 1780, con una cifra total reportada de 11.000 muertos, de los cuales, 3.800 fueron en Nicaragua<sup>12</sup>.

El año 1998 parece haber sido un punto de inflexión, ya que la frecuencia de los huracanes que afectaron a Nicaragua aumentó a partir de ese año. Cinco huracanes –Alma (2002), Isidore (2002), Beta (2005), Félix (2007), e Ida (2009)– han afectado a Nicaragua en un período de 14 años, comprendidos entre 1998 y 2012. El Sistema de Información sobre Desastres (Desinventar) informó de 55 inundaciones entre 1992 y 2011 que afectaron a Managua y los municipios circundantes. Los eventos más significativos se resumen a continuación<sup>13</sup>:

- Abril de 1996: La intensa precipitación causó inundaciones en los municipios de Managua y Tipitapa, específicamente en los barrios Tangara, Pantanal y Pedro Joaquín Chamorro. Aproximadamente 1.100 personas se vieron afectadas.
- Octubre de 1998: Varios barrios ubicados en la costa del Lago de Managua y a lo largo de la carretera Panamericana, se vieron afectados por las inundaciones causadas por el huracán Mitch. Aproximadamente 9.000 personas se vieron afectadas en el municipio de Tipitapa. Además, 2.750 kilómetros de carreteras sufrieron daños y se registraron pérdidas por USD\$700.000 en la ciudad de Managua.
- Octubre de 1999: Varios barrios ubicados en la costa del Lago de Managua se inundaron debido al ascenso del nivel del agua del lago. Se estimó entonces que 1.080 personas se vieron afectadas.
- Abril del 2002: Las lluvias causadas por la Tormenta Tropical No. 8 resultó en la inundación de los barrios de Ayapa, Laberinto y Hugo Chávez. Aproximadamente 1.750 personas se vieron afectadas, y 435 fueron evacuadas.
- Octubre de 2008: Las lluvias intensas en la Ciudad de Managua causaron inundaciones que afectaron aproximadamente a 1.525 personas y dañaron 305 casas.
- Abril de 2009: Las lluvias intensas causadas por la Onda Tropical No. 1 afectó al municipio de Managua, específicamente, Mercado Oriental, Fernando Vélez Páez y Batahola Norte. Aproximadamente 2.210 personas se vieron afectadas y se dañaron 200 metros de la infraestructura de carreteras.

<sup>9</sup> Organización Mundial de la Salud (n.d.). Inundación y enfermedades transmisibles. Disponible en: [http://who.int/hac/techguidance/ems/flood\\_cds/en/](http://who.int/hac/techguidance/ems/flood_cds/en/)

<sup>10</sup> “Nicaragua improves ability to respond to natural disasters with IDB support”. IADB News Releases. Noviembre 27, 2013. Disponible en: <http://www.iadb.org/en/news/news-releases/2013-11-27/nicaragua-improves-respond-to-natural-disasters,10676.html>

<sup>11</sup> Incluye eventos geofísicos así como meteorológicos.

<sup>12</sup> NOAA (2009). *Mitch: The Deadliest Atlantic Hurricane since 1780*. Disponible en: <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/reports/mitch/mitch.html>

<sup>13</sup> Desinventar (2013). Nicaragua – Inventario Histórico de Desastres. Disponible en: <http://www.desinventar.org/en/database>

- Abril de 2010: Las lluvias intensas causaron inundaciones en la Ciudad de Managua. Se dañaron aproximadamente 100 kilómetros de infraestructura de la carretera, 400 sumideros y 680 metros de drenaje. Aproximadamente 144 personas se vieron afectadas y se inundaron 306 viviendas.
- Septiembre de 2010: El ascenso del nivel del agua en el Lago de Managua causó inundaciones en el barrio La Bocana en el Municipio de Managua. Diecisiete casas resultaron dañadas y 85 personas afectadas.
- Julio de 2011: Veinticuatro (24) barrios en la Ciudad de Managua se vieron afectados por las inundaciones causadas por las intensas lluvias. Alrededor de 169 kilómetros de canal fueron dañados, una casa fue destruida, y aproximadamente 885 personas se vieron afectadas. Se informó de una fatalidad.
- Agosto de 2011: El aumento del nivel del agua en el Lago de Managua afectó al barrio Manchester en la Ciudad de Managua. Aproximadamente 700 personas fueron afectadas y muchas de ellas tuvieron que ser reubicadas en refugios.
- Mayo de 2013: Las lluvias intensas provocaron inundaciones en cinco municipios: Managua, Ciudad Sandino, Tipitapa, Ticuantepe y Mateare. Se registraron más de 53 milímetros de lluvia en Managua durante tres horas. Más de 100 mm se registraron en Ciudad Sandino durante el mismo período. Más de 3.000 residentes fueron afectados, de los cuales 1.415 viven en Managua.

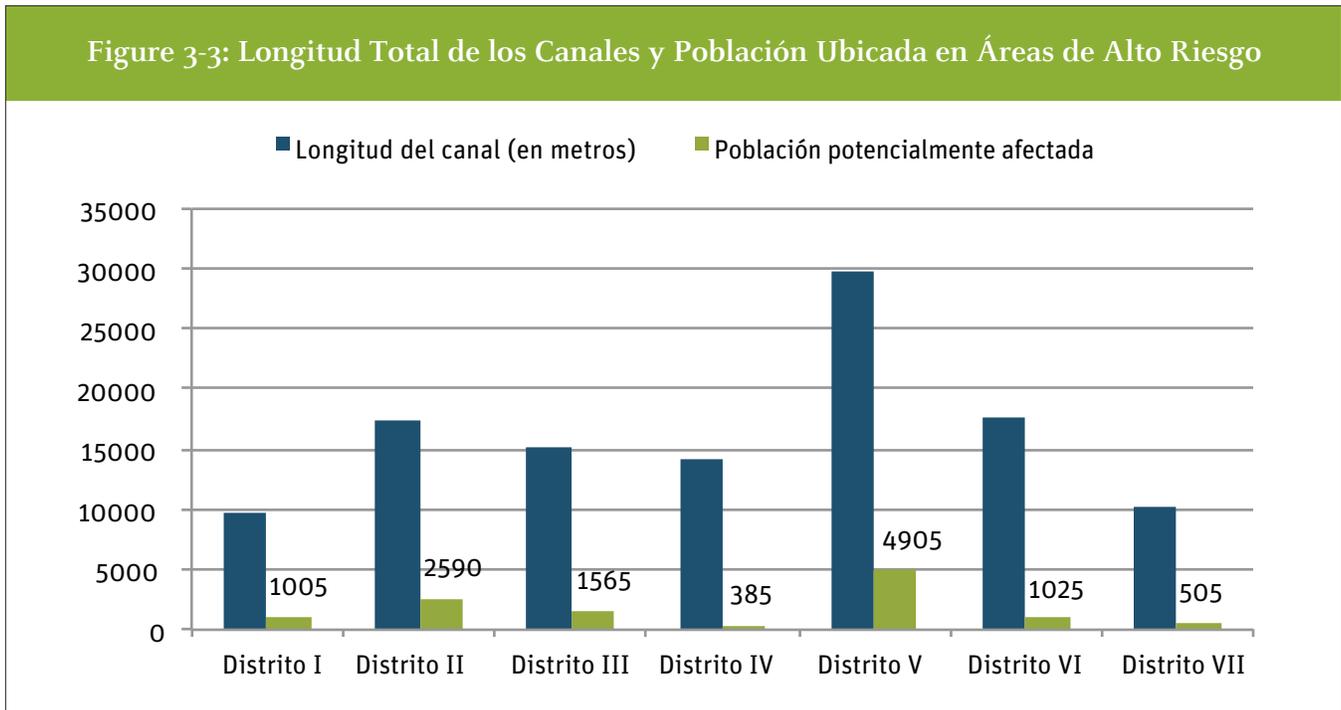
### 3.2.2 Áreas más susceptibles a inundación

Las zonas más urbanizadas de Managua están en alto riesgo de inundaciones urbanas debido a la sustitución de espacios abiertos con superficies impermeables. Sin embargo, de acuerdo con la información clave de las partes interesadas, el quinto distrito de la Municipalidad de Managua se considera particularmente vulnerable debido a su ubicación geográfica, la inadecuada infraestructura de drenaje residencial, y la presencia de aproximadamente 29.689 metros de canales de drenaje<sup>14</sup> (más que en cualquier otro distrito).

La población total en el Distrito V es también ligeramente más alta que en los otros distritos (Refiérase a la línea de base presentada en el **Anexo A**). Como resultado de estas condiciones, la población estimada que podría verse potencialmente afectada por las inundaciones es mucho mayor en el Distrito V que en los otros distritos Managua, tal como se ilustra en la Figura 3-3.

<sup>14</sup> De los canales de drenaje del Distrito V, el 51 % están revestidos de concreto, mientras que el 49 % restante no han sido mejorados.

Figure 3-3: Longitud Total de los Canales y Población Ubicada en Áreas de Alto Riesgo



Fuente: Ejército de Nicaragua, 2011.

Nota: “Población potencialmente afectada” corresponde a las estimaciones contenidas en un Plan de Respuesta a Emergencias del Ejército de Nicaragua, basado en el número de hogares que viven adyacentes a los puntos de inundación crítica identificados. La metodología específica que explica la identificación de los puntos críticos y las poblaciones consideradas en riesgo no han sido provistas en este documento, por lo tanto, esta Figura se muestra únicamente a título ilustrativo.

### 3.2.3 Efectos de las inundaciones urbanas en las comunidades

Para obtener una comprensión de primera mano de los efectos de las inundaciones urbanas, se recopiló información de grupos comunitarios focales, lo cual se llevó a cabo en tres barrios<sup>15</sup> de Managua. Se considera que estos barrios son representativos de las poblaciones especialmente vulnerables, tanto en términos de exposición a las inundaciones, como en términos de falta de recursos y de capacidad para hacer frente a, recuperarse de y adaptarse a los efectos negativos de las inundaciones urbanas.

Los participantes de los grupos de enfoque de los tres barrios de la muestra, informaron sobre una serie de efectos sociales, económicos y de salud negativos como resultado de eventos de inundaciones anteriores. En general, los resultados de los grupos de enfoque confirmaron la noción de que la pobreza se agrava o se prolonga con estos efectos. En otras palabras, la falta de recursos económicos dificulta la capacidad de los hogares y de las personas, para controlar las variables que determinan la vulnerabilidad y capacidad de adaptación a las frecuentes inundaciones.

Los siguientes encabezados ilustran los efectos más destacados identificados por estudios de vulnerabilidad anteriores en Managua y confirmados por las opiniones recogidas durante los grupos de enfoque.

<sup>15</sup> Los grupos focales estaban organizados en los tres barrios: 18 de Mayo, La Finquita y Los Vanegas-El Cenicero. Aproximadamente de 10 a 15 residentes asistieron a cada grupo focal.

### ***Seguridad Personal***

La preocupación más inmediata asociada a las inundaciones es la posibilidad de lesiones o pérdida de vidas durante las tormentas y/o inundaciones. El huracán Mitch en 1998 causó 3.800 muertes en Nicaragua, sobre todo como consecuencia de las inundaciones y los deslizamientos de tierra<sup>16</sup> que ocurrieron fuera de Managua. Afortunadamente, las tormentas más recientes rara vez han dado lugar a fatalidades (como se describe en la Sección 3.2.1, solo un evento resultó en una muerte en 2011). Sin embargo, los temores y la incertidumbre en cuanto a la seguridad personal durante las tormentas causan trastornos en la vida cotidiana de los residentes; por ejemplo, los participantes de los grupos de enfoque informaron que los niños deben mantenerse en el interior de sus hogares en momentos en que las inundaciones podrían potencialmente aumentar rápidamente y representan una amenaza a la seguridad.

### ***Pérdida de la Propiedad y Daños***

Los participantes de los grupos de enfoque informaron que las pérdidas más significativas de bienes personales en las inundaciones, durante las últimas tres temporadas de lluvia, consistieron en aparatos eléctricos dañados, con un costo de hasta C\$15,000 córdobas (aproximadamente unos 600 dólares estadounidenses). Otras pérdidas incluyen ropa, a un costo de aproximadamente C\$ 500 córdobas (20 dólares estadounidenses). Debido a los altos niveles de pobreza, la mayoría de los residentes en estos barrios no son dueños de valores, como la propiedad privada, vehículos o bicicletas. En su mayor parte, estas familias no se dedican a la actividad agrícola, por lo que no había ninguna mención de pérdidas de cultivos. Además, los encuestados en los tres barrios informaron que sus comunidades carecen de una infraestructura pública y comercial, la cual podría verse dañada por las inundaciones, tales como parques, edificios gubernamentales o edificios comerciales.

### ***Interrupciones en el Trabajo y la Escolaridad***

Los participantes en los grupos de enfoque informaron que a pesar de los desafíos en el trayecto a sus lugares de trabajo durante las inundaciones, por lo general, ellos se aseguran de no tener que perder días de trabajo durante las inundaciones ya que se los deducirían de su salario. Debido a que los autobuses y los taxis no entran en las calles sin pavimentar de los barrios, por lo general, caminan descalzos hacia una carretera principal para tomar el autobús y llevan una muda de ropa extra para cambiarse cuando llegan al lugar de trabajo.

Debido a la falta de transporte en los barrios en este estudio, los niños por lo general se quedan en casa y faltan a la escuela durante las fuertes lluvias. El barrio 18 de Mayo tiene una pequeña escuela primaria, la cual ha sido reportada estar en un mal estado de conservación y con fugas durante la lluvia. Los otros dos barrios no tienen escuelas. Los encuestados estimaron que los niños pierden entre 3-15 días de escuela durante la temporada de lluvias debido a las inundaciones.

### ***Costos Monetarios y de Tiempo Adicionales***

Además de las reparaciones y los costos de reposición de los bienes dañados, los residentes de los barrios bajo estudio suelen incurrir en costos adicionales en la preparación para la temporada de lluvias. Como se ilustra en la Figura 3.4, el uso de sacos de arena es una medida de protección común que les cuesta aproximadamente C\$1,500 córdobas (\$60 US) cada año.

<sup>16</sup> NOAA National Climatic Data Center (2009). Mitch: The Deadliest Atlantic Hurricane since 1780. Disponible en: <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/reports/mitch/mitch.html>



Algunos participantes de los grupos de enfoque también reportaron gastar dinero en velas, ya que el servicio de electricidad puede ser interrumpido (C\$15 córdobas por caja) debido a las inundaciones. El acceso a la atención de la salud debido a enfermedades relacionadas con las inundaciones, se estimó en C\$700 córdobas (28 dólares EE. UU.), incluyendo el costo de transporte a los centros de salud y el costo de los medicamentos que no están cubiertos por el sistema de salud público.

El tiempo estimado que se requiere para limpiar las calles y casas después de una inundación mostró una variante, entre tres días y una semana por barrio.

Figure 3-4: Household flood prevention measure, Barrio 18 de Mayo and La Finquita



Fuente: ERM, 2013

### *Saneamiento y Salud Pública*

Los efectos sobre la salud reportados que puedan ocurrir después de las inundaciones son el dengue, las enfermedades respiratorias, la gripe, la tos y las infecciones por hongos. No se mencionó ni el rotavirus u otras enfermedades diarreicas durante los grupos de enfoque, aunque por lo general siguen siendo motivo de preocupación en las zonas propensas a las inundaciones, sobre todo cuando la infraestructura de saneamiento es inadecuada y el agua potable puede contaminarse.

La recogida de basura se hace una vez por semana en La Finquita y Los Vanegas, y dos veces por semana en el barrio 18 de Mayo. A pesar del servicio regular, los residentes informaron que la basura a menudo se acumula en las calles y en los canales, donde la acumulación de basura es un problema grave, como se ilustra en la Figura 3-5.

Figura 3-5: Basura en las calles y en los canales de drenaje, barrio 18 de Mayo



Fuente: ERM, 2013

Además de reducir la capacidad de transporte del sistema de drenaje, la acumulación de basura a lo largo de los canales provoca el estancamiento de agua (como se ilustra en la Figura 3-6), creando así las condiciones para la propagación de la especie del mosquito que transmite el dengue.

Figura 3-6: Agua estancada que se observó en el barrio 18 de Mayo y Los Vanegas

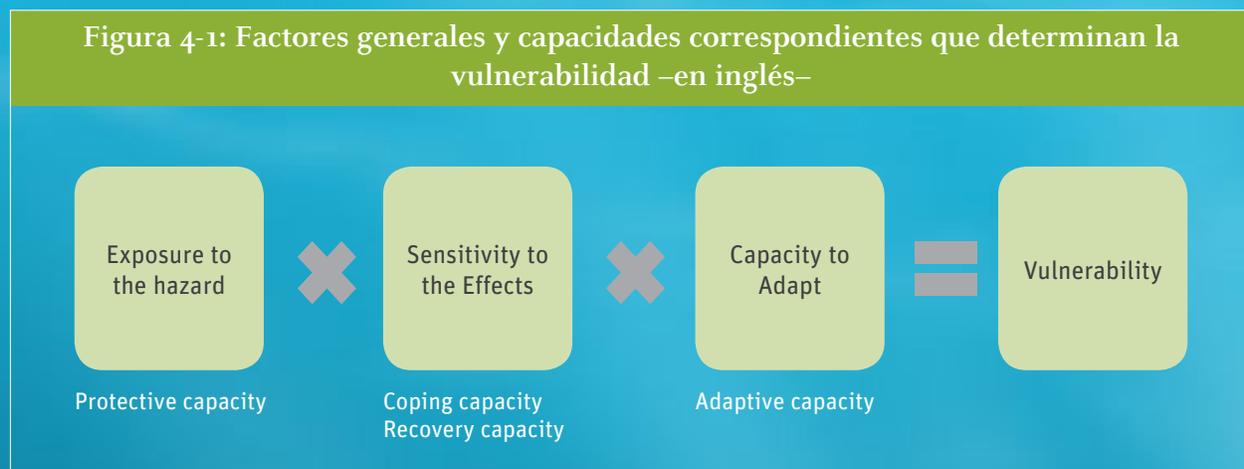


Fuente: ERM, 2013

## 4. Evaluación de la vulnerabilidad

De acuerdo con el IPCC, la vulnerabilidad es una función a la exposición de un peligro, la sensibilidad del receptor a los efectos derivados del peligro y la capacidad del sistema para adaptarse, al reducir los efectos adversos o tomando ventaja de los efectos positivos<sup>17</sup>.

La vulnerabilidad es altamente contextual. Tal como se describe en la Sección 3, las inundaciones urbanas en Managua son típicamente resultado de fuertes lluvias, que hacen que los canales se desborden, mientras los flujos de agua exceden la capacidad del drenaje existente. Este peligro de inundaciones conduce a efectos negativos en las comunidades expuestas a estas que varían, desde pérdidas económicas individuales, hasta amenazas para la salud pública. Tal como se ilustra en la Figura 4-1, la capacidad de las personas y las comunidades para evitar o mitigar estos efectos adversos, los cuales pueden denominarse como la capacidad de adaptación, completan la definición de vulnerabilidad.



Fuente: Adaptado de Mertz et al. (2009)<sup>18</sup>

La evaluación de la vulnerabilidad efectuada como parte de este ejercicio de adaptación, está centrada en comprender el grado en el cual una comunidad ha desarrollado su capacidad de protección, de superación, de recuperación y de adaptación. Estas capacidades constituyen el marco bajo el cual la vulnerabilidad puede ser evaluada a nivel comunitario. La Tabla 4-1 explica, además, lo que estos conceptos representan en el contexto de las inundaciones urbanas.

<sup>17</sup> McCarthy, J. et al. (2001). *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge University Press, New York.

<sup>18</sup> Mertz, O., Halsnæs, K., Olesen, J., Rasmussen, R. 2009. *Adaptation to Climate Change in Developing Countries*. Environmental Management 43:743-752.

**Tabla 4-1** Capacidades consideradas en la evaluación de la vulnerabilidad

Capacidad	Explicación
Capacidad de Protección	Refleja el nivel de exposición, de personas y lugares, a las inundaciones. Su análisis toma en cuenta factores como la proximidad a los canales, la adecuación de la infraestructura de drenaje, construcción de viviendas y el acceso al agua potable y al saneamiento.
Capacidad de Respuesta	Representa la capacidad de las comunidades y las personas para hacer frente a los efectos adversos de las inundaciones, a través de medidas, recursos o comportamientos que pueden incluir procedimientos de emergencia de evacuación, recursos monetarios para la compra de las reservas de agua y alimentos, y la buena salud física y la movilidad para evitar lesiones.
Capacidad de Recuperación	Corresponde a la capacidad de las personas en recuperarse de los efectos adversos de las inundaciones y volver a las condiciones normales tan pronto como sea posible. Los factores que conforman la capacidad de recuperación incluyen, por ejemplo, la disponibilidad de los activos de los gobiernos locales y/o procedimientos para apoyar las operaciones de limpieza. El acceso a los servicios de salud, que también indica la capacidad de recuperarse de enfermedades o lesiones relacionadas con las inundaciones.
Capacidad de Adaptación	Refleja la disponibilidad de recursos y activos que permiten a las comunidades lograr la adaptación. Esto incluye medidas para crear conciencia de los riesgos que enfrentan las comunidades específicas, los recursos internos y externos invertidos en medidas de prevención de inundaciones y el grado en el cual la adaptación ha sido adoptada ampliamente como un factor en la planificación del desarrollo.

A raíz de este marco conceptual, ERM realizó un análisis de tres comunidades altamente vulnerables en Managua. La metodología completa y los resultados de la evaluación de la vulnerabilidad de la comunidad se han incluido en el **Anexo C**.

Esta Sección presenta los puntos clave de esa evaluación, haciendo hincapié en los factores que en nuestro análisis parecían conducir a la vulnerabilidad a las inundaciones a nivel de la comunidad. Estos hallazgos constituyen la base para medir los costos y beneficios de las diferentes opciones de adaptación y ayudar a aportar información sobre el alcance de las inversiones específicas en los activos físicos y las capacidades institucionales destinadas a reducir la exposición a las inundaciones o a mitigar sus efectos.

## 4.1 Selección de las comunidades de muestra

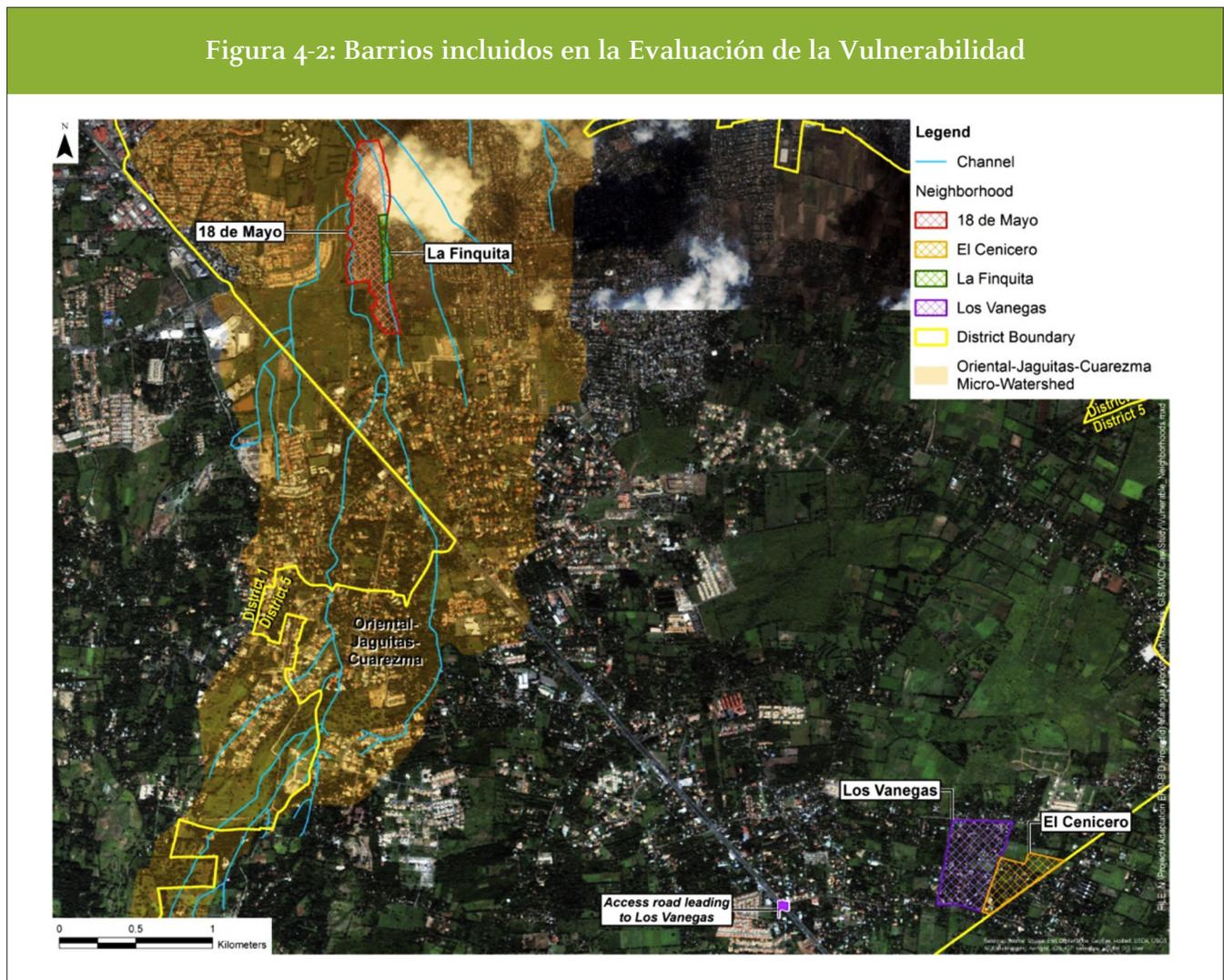
Tal como se analizó en la Sección 1.2, en consulta con las partes interesadas locales se determinó enfocar la experiencia de la adaptación en la cuenca El Jagüitas-Cuarezma Oriental (OJC), un área que es particularmente propensa a las inundaciones urbanas y que comprende un área subdesarrollada significativamente apta para la urbanización.

ERM consultó con el gobierno local del Distrito V, para identificar a las comunidades específicas con alta exposición a eventos de inundación. Basándose en esta información y el input del subcontratista local que estaba llevando a cabo esta tarea de campo, ERM seleccionó las siguientes comunidades para la evaluación de la vulnerabilidad:

- Barrio 18 de Mayo
- La Finquita
- Los Vanegas/El Cenicero

Los Vanegas y El Cenicero se consideraron como una sola unidad para el análisis, dado que solamente se tuvo en cuenta aquí un grupo de enfoque con residentes de ambas comunidades. La Figura 4-2 ilustra la ubicación de estos barrios respecto de la cuenca OJC.

Figura 4-2: Barrios incluidos en la Evaluación de la Vulnerabilidad



Fuente: ERM, 2013

Teniendo en cuenta que los tres barrios se seleccionaron basados en un alto nivel de exposición a las inundaciones y que las condiciones socioeconómicas de estas comunidades son bajas, se asume que esta muestra refleja el peor de los casos en términos de vulnerabilidad a los problemas de inundaciones existentes, y por lo tanto, una mayor sensibilidad a los cambios que pueden conducir a un aumento de las presiones sobre el sistema de drenaje, tales como los cambios adversos en el uso del suelo y los aumentos en la intensidad de las precipitaciones.

## 4.2 Evaluación de variables y criterios

De acuerdo con la metodología presentada en el **Anexo C**, cada capacidad —de protección, de superación, de recuperación y de adaptación— fue adicionalmente subdividida en indicadores y variables a los efectos de la evaluación numérica de puntaje. Se definieron criterios de puntaje para cada variable con base en la información disponible para caracterizar cada aspecto a nivel de barrio. El puntaje numérico refleja la evaluación cualitativa que sirve como base para comparar la vulnerabilidad a través de los tres barrios seleccionados.

Las fuentes de información utilizadas en el puntaje de cada variable, incluyen datos obtenidos de entrevistas a encuestados locales y grupos de enfoque, datos del último censo nacional de población (2005) y la información a disposición del público, tales como planes municipales y estudios.

La Tabla 4-2 proporciona los criterios de puntaje específicos considerados para cada variable.

**Tabla 4-2** Criterios de evaluación de la vulnerabilidad de la Comunidad

Indicador	Variable	Criterios de Puntaje
Capacidad de Protección		
Ubicación	Exposición a los cauces	[0] 0 % de la zona de vecindad [1] 0.1-3 % de la zona de vecindad [2] 3.1-5 % de la zona de vecindad
	Elevación	[0] >300 m [1] 200-299 m [2] <199 m
Infraestructura	Infraestructura permanente para prevenir las inundaciones	[0] Si [1] No
	Porcentajes de hogares que viven en viviendas inadecuadas	[0] Menos de 10 % [1] Entre 10 % y 49 % [2] Más de 50 %
Saneamiento	Porcentaje de hogares con agua potable	[0] Más de 80 % [1] Entre 50 % y 79 % [2] Menos de 50 %
	Conexión al sistema de drenaje	[0] Si [1] No
	Condiciones insalubres en los barrios (ej.: acumulación de basura y agua estancada)	[0] Limpia [1] Algo de basura [2] Mucha basura

Indicador	Variable	Criterios de Puntaje
Capacidad de Respuesta		
Situación Socioeconómica	Porcentaje empleado sobre una base permanente a tiempo completo	[0] Más de 80 % [1] Entre 79 % y 30 % [2] Menos de 30 %
	Porcentaje de hogares manejados por mujeres	[0] Menos de 15 % [1] Entre 16 % y 30 % [2] Más de 30 %
	Porcentaje de familias en pobreza extrema	[0] Menos de 20 % [1] Entre 21 % y 50 % [2] Más de 50 %
Transporte	Acceso a medios de transporte propios (la mayoría)	[0] Si [1] No
	Caminos pavimentados	[0] Si [1] No
Poblaciones Dependientes	Familias con miembros discapacitados	[0] Menos de 2 % [1] Entre 2 y 5 % [2] Más de 5 %
	Hogares con niños menores de 15 años de edad	[0] Menos de 20 % [1] Entre 21 % y 50 % [2] Más de 50 %
Procedimientos de Emergencia	¿Se ha comunicado a la comunidad de algún proceso para evacuación de emergencia?	[0] Si [1] No
	¿Hay refugios de emergencia disponibles en los alrededores?	[0] Si [1] No
Capacidad de Recuperación		
Acceso a Servicios de Salud	Distancia al centro de salud más cercano	[0] Menos de 2 km [1] Entre 2 y 5 km [2] Más de 5 km
Capacidad de Saneamiento y Limpieza de	¿Se han comunicado a la comunidad los procedimientos de limpieza y se han aplicado estos?	[0] Si [1] No
	Plan de respuesta de emergencia de saneamiento en el lugar para reducir al mínimo las consecuencias de salud pública a raíz de los desastres	[0] Plan en el lugar [1] Sin Plan en el lugar

Indicador	Variable	Criterios de Puntaje
Capacidad de Adaptación		
Instituciones, coordinación y liderazgo	Capacidad y recursos del gobierno local	[0] Bien dotado de recursos y eficiente [1] Falta de recursos y de efectividad
	Coordinación interinstitucional e intermunicipal	[0] Altamente coordinado [1] Moderadamente coordinado [2] Falta de coordinación
	Cooperación externa	[0] Buen apoyo de las organizaciones internacionales [1] Apoyo moderado [2] Falta de apoyo
Planificación de la prevención de inundaciones a largo plazo (municipal)	Planificación de la prevención/mitigación de inundaciones a nivel comunitario	[0] Medidas eficaces en curso [1] Algunas medidas en curso [2] Ninguna medida en curso
	Planificación de la prevención/mitigación de inundaciones a nivel municipal	[0] Si [1] No

### 4.3 Resultados de la evaluación

Después de rellenar la matriz de evaluación con datos variables, los totales de cada uno de los cuatro índices se normalizaron y se sumaron, de manera tal que cada uno de los cuatro componentes (capacidad de protección, capacidad de superación, capacidad de recuperación y la capacidad de adaptación) están equitativamente ponderados en el puntaje global de la vulnerabilidad. Un puntaje más alto corresponde a un mayor nivel de vulnerabilidad y capacidad, por lo tanto, uno inferior, respondería o haría frente a las inundaciones urbanas con menor capacidad.

Los resultados de la evaluación muestran un nivel similar de vulnerabilidad general en los tres barrios del estudio, en una escala de uno a cuatro:

Barrio	Puntaje de Vulnerabilidad
Barrio 18 de Mayo	2.42
La Finquita	2.43
Los Vanegas/El Cenicero	2.24

A pesar de que los puntajes globales son similares, el análisis detallado muestra que las puntuaciones difirieron considerablemente entre los tres barrios. En concreto, el barrio 18 de Mayo y La Finquita tienen considerablemente una protección más baja y una capacidad de supervivencia relativa a Los Vanegas/El Cenicero, mayormente debido a una mayor cercanía a los cauces que se desbordan durante las fuertes lluvias y los altos niveles de pobreza de los hogares que dejan a los residentes con recursos limitados para invertir en infraestructura de prevención a las inundaciones y para hacer frente a los efectos negativos de las inundaciones.

Por otra parte, Los Vanegas y El Cenicero no tienen los cuerpos de agua naturales dentro de los barrios, tienen tasas de pobreza inferiores y parecen tener una mejor infraestructura para la prevención de inundaciones a nivel de hogares. Sin embargo, estas comunidades tienen una recuperación y capacidad de adaptación relativamente bajas debido a su ubicación más remota fuera del centro de la ciudad. Las distancias a los hospitales más cercanos son más largas y las inversiones municipales en infraestructura son menos propensas a ser canalizadas en estas áreas periféricas y menos pobladas<sup>19</sup>.

Los resultados de la evaluación indican que, además de un aumento en la intensidad de las precipitaciones, una serie de otros factores sistémicos a nivel municipal y regional afectan la vulnerabilidad a las inundaciones urbanas para las poblaciones de Managua. Estos factores interrelacionados y de contexto específico, se analizan a continuación a un nivel alto. La matriz de puntuación de evaluación de vulnerabilidad completa, conjuntamente con una discusión más detallada de las formas en que los principales factores que se analizan a continuación surgieron en los resultados de la evaluación para cada comunidad estudiada, se incluyeron en el **Anexo C**.

### *Crecimiento Urbano No Planificado*

El crecimiento urbano no planificado ha incrementado la vulnerabilidad de Managua ante los desastres naturales. Después del terremoto de 1972, Managua ha crecido de una manera desordenada, con asentamientos informales como el 18 de Mayo y La Finquita, emergentes en zonas que no son aptas para el uso residencial, debido a sus bajas elevaciones y la falta de drenaje adecuado. Los riesgos son aún mayores para los residentes de estas zonas debido a la falta de materiales y prácticas de construcción adecuadas, la reducción de protección natural a las inundaciones y de saneamiento e infraestructuras de transporte inadecuados. Los residentes de estos asentamientos informales tienden a ser menos preparados para hacer frente a los desastres naturales en los hogares, ya que carecen de los medios económicos para construir una infraestructura eficaz o permanente para la prevención de las inundaciones y en su lugar, recurren a medidas de carácter temporal, como las barreras de construcción con sacos de arena o neumáticos viejos. El Plan General de Desarrollo Municipal de Managua recalca una continua segregación geográfica de las diferentes clases socioeconómicas como una consecuencia negativa del crecimiento urbano no planificado<sup>20</sup>.

### *Sistema de Drenaje de Aguas Pluviales*

El crecimiento urbano en Managua está sobrecargando el sistema de drenaje de aguas pluviales y afectando la cantidad y la calidad de agua de reposición de los acuíferos<sup>21</sup>, poniendo el suministro de agua potable de la ciudad en riesgo<sup>22</sup>. Por otra parte, los sedimentos y los residuos sólidos transportados en el sistema de drenaje exponen a las cuencas hidrográficas más bajas a las inundaciones en la temporada de lluvias; y la ausencia de servicios básicos en los asentamientos informales hace que estas aguas residuales entren en el sistema de aguas pluviales. El agua contaminada subsecuentemente, se filtra en el acuífero o fluye hacia el Lago de Managua.

### *Disponibilidad de Viviendas y Costos*

El crecimiento demográfico en Managua ha incrementado en gran medida la demanda de viviendas. Durante los grupos de enfoque de la comunidad, los encuestados expresaron que les gustaría mudarse a zonas menos propensas a las inundaciones, pero que no es una opción, ya que no poseen los recursos económicos para comprar una casa en esas zonas.

<sup>19</sup> "Comunidades rurales olvidadas". *La Prensa*. Noviembre 25, 2013.

<sup>20</sup> Alcaldía de Managua. Plan General de Desarrollo Municipal.

<sup>21</sup> El acuífero que yace debajo de la subcuenca III abastece el 60 % del agua potable de Managua

<sup>22</sup> Banco Interamericano de Desarrollo (2009). *New Release: Nicaragua to improve Lake Managua's southern watershed drainage with IDB assistance*. Disponible en: <http://www.iadb.org/en/news/news-releases/2009-12-02/nicaragua-to-improve-lake-managuas-southern-watershed-drainage-with-idb-assistance,6003.html>

### *Infraestructura y Servicios Públicos*

Managua acoge aproximadamente el 20 % de la población de Nicaragua. El rápido crecimiento demográfico en las últimas décadas, ha creado retos para mantener el ritmo de las necesidades de infraestructura y servicios, tales como el mantenimiento de los caminos y la provisión de alcantarillado adecuado, de agua potable, la electricidad, drenaje de aguas pluviales y los servicios de manejo de residuos sólidos a los residentes de la ciudad. En cada uno de los tres barrios incluidos en esta evaluación los caminos son de tierra y no hay conexiones a un sistema de drenaje público. Mientras que la ciudad ofrece recolección de desechos sólidos en estas áreas, los residentes deben llevar su basura a la entrada de los barrios para la recolección, ya que los vehículos grandes como camiones de basura no pueden acceder de forma segura a través de los caminos de tierra sin pavimentar.

ALMA tiene un plan de inversión anual en el cual se indican las infraestructuras de prevención de inundaciones priorizadas para ser actualizadas o reparadas; sin embargo, es evidente que el municipio no puede seguir el ritmo de las necesidades ya que los informantes clave y los residentes de los barrios seleccionados se dan cuenta de que los sistemas de drenaje en muchas áreas de Managua son insuficientes. Durante las visitas de campo se observó que la infraestructura, como puentes peatonales y aceras en los alrededores de los barrios estudiados, necesitan ser reparada. (Veáse la Figura 4-3).

Figura 4-3: Infraestructura en los barrios con necesidad de reparación



Fuente: ERM, 2013

### *Saneamiento y Condiciones de la Salud Pública*

En dos de los barrios seleccionados, las tasas de pobreza extrema indican porcentajes elevados como resultado del alto porcentaje de la población (> 40 %) que vive en condiciones de hacinamiento (más de tres personas por dormitorio) o en viviendas que se consideran inadecuadas (> 30 %)<sup>23</sup>. Estos barrios experimentan problemas relacionados con deficiencias en la capacidad de eliminación de residuos sólidos, lo que se evidencia por la acumulación de basura en las calles y los canales de drenaje (Ver Figura 4-4).

Figura 4-4: Fotografías que ilustran las condiciones de vivienda y saneamiento existentes



Fuente: J. Cisneros, 2013

<sup>23</sup> INIDE (2005). *VIII Censo de Poblacion y IV Censo de Hogares*.

Vivir en condiciones insalubres y de hacinamiento plantea riesgos de enfermedades infecciosas. Las lluvias más intensas pueden aumentar la cantidad de tiempo en que el agua permanece estancada en las calles de las zonas residenciales, facilitando ambientes óptimos de cría para las especies de mosquitos que actúan como el principal vector del dengue (*Aedes aegypti*)<sup>24</sup>. Los mohos y hongos también se desarrollan en ambientes inundados y pueden causar problemas tanto de la piel como respiratorios<sup>25</sup>. El contacto con aguas contaminadas con aguas residuales puede causar problemas en la piel e infecciones o brotes de enfermedades diarreicas, como el cólera y el rotavirus, si se contaminan las fuentes de agua potable<sup>26</sup>.

<sup>24</sup> Centros de Control y Prevención de Enfermedades (2012). Dengue: Entomología y Ecología.

<sup>25</sup> National Safety Council (2009). Air Quality Problems Caused by Floods. Disponible en: [http://www.nsc.org/news\\_resources/Resources/Documents/Air\\_Quality\\_Problems\\_Caused\\_by\\_Floods.pdf](http://www.nsc.org/news_resources/Resources/Documents/Air_Quality_Problems_Caused_by_Floods.pdf)

<sup>26</sup> Occupational Health and Safety Administration. Fact Sheets on Natural Disaster Recovery (n.d.). Disponible en: <https://www.osha.gov/OshDoc/floodCleanup.html>



## 5. Evaluación del riesgo de inundaciones urbanas

Tal como se analizó en la Sección 3, Managua se enfrenta a una serie de riesgos de inundación relacionados con la disminución de la capacidad de las zonas urbanas para absorber las aguas pluviales, la limitada capacidad de la infraestructura de drenaje existente para transmitir el escurrimiento de las aguas pluviales y la perspectiva de precipitaciones más frecuentes e intensas en el futuro. Para evaluar estos riesgos, ERM llevó a cabo un análisis basado en el modelo hidrológico e hidráulico destinado a:

- Predecir la respuesta de las cuencas hidrográficas ante estos eventos dadas las características físicas de las zonas de captación (por ejemplo, la topografía, la permeabilidad) y la infraestructura de drenaje existente en las zonas propensas a inundación en Managua;
- Evaluar la suficiencia de la infraestructura de drenaje existente para evitar inundaciones en las tormentas que reflejan los patrones existentes, así como los cambios proyectados en las variables climáticas (por ejemplo, precipitación e intensidad) y el uso del suelo (por ejemplo, la pérdida neta de áreas permeables debido al desarrollo urbano);
- Formular posibles intervenciones que puedan implementarse para evitar o mitigar los impactos de inundaciones en las condiciones existentes y bajo los escenarios que suponen el uso futuro de la tierra y los cambios climáticos (el último, expresado como tormentas de mayor volumen de precipitaciones e intensidad).

*La Sección 5.1* documenta la metodología de este análisis en términos de los paquetes específicos de modelado empleados, los escenarios que se modelaron y los principales parámetros incorporados en los modelos. El resto de esta Sección presenta los resultados del análisis para la microcuenca Oriental-Jagüitas-Cuarezma (OJC), ya que esta fue vista por ALMA como una prioridad en términos de abordar las necesidades críticas de drenaje en una zona altamente vulnerable. Los resultados para las otras microcuencas estudiadas –Primavera, Nejapa y Hugo Chávez– se incluyen en el Anexo D.

## 5.1 Metodología

### *Selección de las Herramientas de Modelaje*

ERM eligió dos paquetes de modelado independientes, pero relacionados: HEC-HMS<sup>27</sup> y HEC-RAS<sup>28</sup>. El componente del modelo hidrológico (HEC-HMS) describe la respuesta de las cuencas hidrográficas a la precipitación, expresada en los caudales máximos y proporciona los hidrogramas de los eventos. El componente del modelo hidráulico (HEC-RAS) simula el transporte de los flujos instantáneos de los hidrogramas generados en el paso anterior, a través de la infraestructura de drenaje existente o propuesta. Se presta especial atención a los flujos pico, que son los períodos de ocurrencia de máxima inundación durante cada evento.

Cuando se utilizan en combinación, los modelos hidrológicos e hidráulicos ayudan a comprender el comportamiento de las cuencas hidrográficas en respuesta a los eventos de tormenta. Al tomar en cuenta los tipos específicos de usos del suelo en las zonas de captación, el modelo hidrológico cuantifica el volumen de la escorrentía de las aguas pluviales que resulta de la precipitación. El modelo hidráulico permite la identificación de las áreas a lo largo de la vía de drenaje que se encuentran en riesgo de inundaciones, mediante la comparación de los caudales máximos en puntos predeterminados del sistema de drenaje versus la capacidad del cauce. Cuando las aguas pluviales exceden la capacidad del canal, estas llenan las llanuras aluviales o llanuras de inundación y posiblemente más, dependiendo de la topografía.

Los modelos empleados fueron seleccionados sobre la base de un juicio profesional, teniendo en cuenta la disponibilidad de los datos de entrada y el nivel de análisis requerido. Además, los modelos HEC-HMS y HEC-RAS se encuentran disponibles al público, y poseen una historia de aceptación y aplicación en cuencas urbanas. Estos son altamente compatibles con el alcance del análisis de riesgos de las inundaciones urbanas.

### *Recopilación de Datos*

Desde un principio, los equipos de ERM y del BID se reunieron con ALMA y varias partes interesadas locales, principalmente de las agencias y ministerios que desempeñan un papel en el manejo de los recursos hídricos, o en la prevención o respuesta a eventos de inundación. Durante estas reuniones, se definió el alcance del proyecto y se establecieron las relaciones clave para el intercambio de información. ERM entonces centró los esfuerzos de recopilación de datos para la obtención de los insumos pertinentes a los análisis hidrológicos e hidráulicos. Esta información incluía información geográfica, meteorológica, hidrológica, hidráulica, demográfica, socioeconómica, uso de la tierra, y los riesgos y la vulnerabilidad ante las inundaciones. ERM recopiló datos en forma de mapas, informes, estudios, modelos digitales de elevación (DEM), imágenes jpegs SIG, bases de datos y las dimensiones de los canales existentes (por ejemplo, anchura y profundidad cruzada).

### *Configuración del Modelo*

La configuración del modelo hidrológico (HEC-HMS) requiere inicialmente que la cuenca haya sido delineada. La cuenca OJC se muestra en la Figura 5-1. El siguiente paso incluye determinar el número de curva para cada una de las ocho zonas

<sup>27</sup> US Army Corps of Engineers. 2010. Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System, HEC-HMS. User's Manual Version 3.5. August 2010. US Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center. <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>

<sup>28</sup> US Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center - River Analysis System, HEC-RAS. <http://www.hec.usace.army.mil/software/HEC-RAS/>

de captación en OJC. El número de la curva es una medida de la respuesta hidrológica de una cuenca basada en el uso del suelo, el manto vegetal, el tipo de suelo y la pendiente. ERM realizó un análisis de la cobertura terrestre que proporcionó datos para la línea de base del año 2010, así como las proyecciones de planificación para el horizonte de 2050. El **Anexo B** documenta el análisis de cobertura terrestre, el cual también incluye las proyecciones para el uso futuro del suelo sobre la base de los datos satelitales históricos.

El siguiente paso fue identificar las características de drenaje de la cuenca y el tiempo de viaje a través de cada cuenca para introducir esos datos en el modelo HEC-HMS. Junto con los datos de precipitación, HEC-HMS simula los procesos de precipitación-escorrentía y estima los volúmenes de agua que desembocan en el sistema de cuencas dendríticas.

ERM definió los eventos de precipitación de 24 horas que reflejaban los intervalos de retorno en 25, 50 y 100 años (también conocidos como períodos de retorno) para las condiciones climáticas actuales y proyectadas. La Tabla 5-1 ilustra el volumen (en milímetros) de los eventos de precipitación existente y proyectada en 24 horas, asociados a cada período de retorno.

**Tabla 5-1** Precipitación Existente y Proyectada para cada Período de Retorno

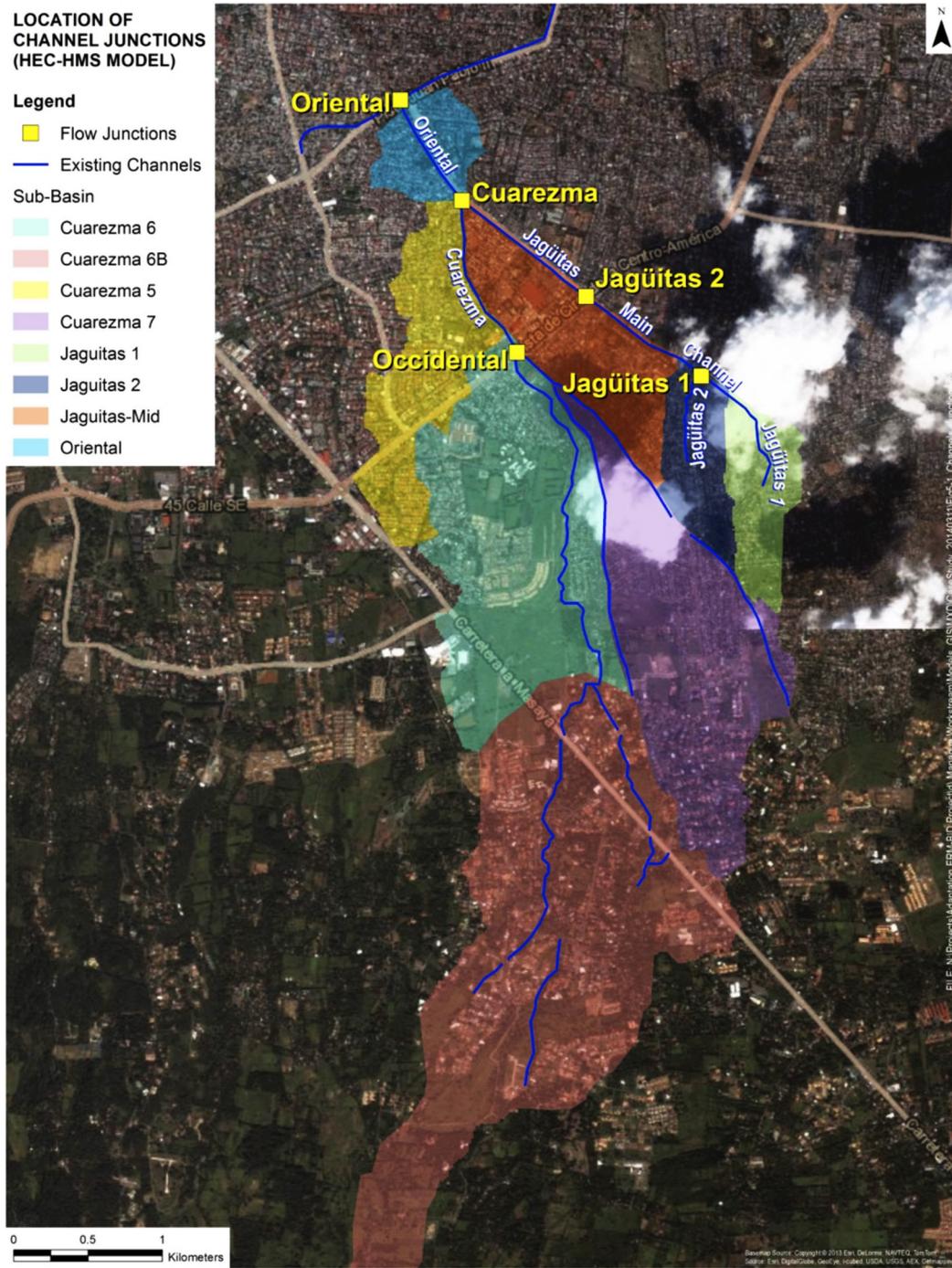
Período de Retorno	Condiciones Existentes (Observadas)	Condiciones Futuras 2050 (Proyectadas)
25 años	233.5 mm	303.6 mm
50 años	256.5 mm	333.5 mm
100 años	280.7 mm	364.9 mm

Fuente: Adaptada de las curvas intensidad-duración-frecuencia proporcionadas por INETER

Nota: Los valores reflejan eventos de precipitación de 24-horas

El modelo HEC-HMS estima los caudales máximos asociados a cada período de retorno en puntos predeterminados en la cuenca. Estos puntos predeterminados, o intersecciones de flujo, representan los lugares donde una o más entradas se funden en una sola salida. La Figura 5-1 destaca los cauces existentes y las intersecciones de flujo modeladas que se configuraron para la cuenca OJC. También ilustra la ubicación y la extensión de las ocho zonas de captación, o subcuencas, dentro OJC.

Figura 5-1: Canales existentes e Intersecciones del Modelo en la Cuenca OJC  
 –en inglés–



Fuente: ERM, 2013

Una vez que se obtiene un estimado de los caudales máximos para cada período de retorno, el modelo hidráulico (HEC-RAS) se utiliza para simular el transporte de este volumen de agua mientras está siendo transportado a través de la infraestructura de drenaje de aguas pluviales existente (por ejemplo, cauces). La salida de HEC-RAS se expresa en términos de profundidad y anchura promedio del cauce que serían necesarias para transportar el flujo de agua estimado por HEC-HMS. Junto con una comprensión de la capacidad del canal existente, esto permite la predicción de zonas con riesgo de inundación.

### Escenarios Modelados

Para cada microcuencas bajo estudio, ERM simuló de eventos de escorrentía de aguas pluviales, para 25, 50 y 100 años, bajo diferentes usos del suelo y escenarios de cambio climático. La comparación de los resultados del modelo para los diferentes escenarios arroja información sobre la contribución relativa del uso del suelo y el cambio climático como factores que conducen al riesgo de inundación. El entendimiento de estos factores indica el desarrollo de las intervenciones dirigidas a mitigar los riesgos de inundaciones existentes y proyectadas. La Tabla 5-2 explica, además, los escenarios considerados en el análisis hidrológico e indica la nomenclatura utilizada en referencia a estos escenarios a través del resto de este informe.

**Tabla 5-2** Escenarios considerados en el Análisis Hidrológico

Escenario	Abreviaciones en Español	Explicación
Condiciones Actuales	Condiciones Actuales (CA)	Este escenario de base de línea refleja una instantánea de las condiciones existentes, observadas en los patrones de uso del suelo actuales y condiciones hidrológicas actuales, construidos sobre la base de información histórica del tiempo.
Uso del Suelo Existente con Cambio Climático	Uso de Suelo Existente con Cambio Climático (CC)	Representa un escenario estático del uso del suelo, mientras que las condiciones hidrológicas siguen bajo la influencia del cambio climático en todo el horizonte de 2050. Este escenario permite el análisis de la contribución relativa del cambio climático solo en la magnitud de los eventos relacionados con las aguas pluviales.
Futuro Uso del Suelo sin Cambio Climático	Futuro Uso del Suelo sin Cambio Climático (FUS)	Este escenario asume que las condiciones climáticas actuales seguirán iguales en el futuro, pero el uso del suelo seguirá evolucionando como resultado de los conductores demográficos y económicos. Este escenario hace hincapié en la contribución de los cambios de uso del suelo, específicamente aquellos que se traducen en la pérdida de cubierta permeable, durante el aumento de la escorrentía de las aguas pluviales.
Escenario Futuro con Cambio Climático y Cambio en el Uso del Suelo	Futuro Uso del Suelo con Cambio Climático (CC + FUS)	Este escenario refleja los efectos combinados del cambio en el uso del suelo y el cambio climático sobre la magnitud y el riesgo relacionados con los eventos de aguas pluviales.

### Interpretación de los resultados (outputs) de los modelos

Sección 5.2.1 presenta los resultados de los modelos expresados en términos de flujos máximos durante los tres períodos de retorno (es decir, eventos a 25, 50 y 100 años de precipitación). Un flujo máximo es el caudal máximo de agua que pasa por un punto dado a lo largo de un canal de drenaje y es indicativo del riesgo de inundación.

Sección 5.2.3 describe los resultados de los modelos en términos de volumen de escorrentía para los tres períodos de retorno. La comparación de los caudales máximos y volúmenes a través de los diferentes escenarios modelados proporciona el entendimiento relacionado con el efecto incremental del cambio climático y/o el uso del suelo en el perfil de riesgo de inundación en el 2050.

### *Formulación de las Intervenciones*

El último paso en la evaluación del riesgo de inundación urbana fue identificar los tipos intervención más apropiados, que no solo ayudan a aliviar los problemas de inundaciones existentes, sino también toman en cuenta los desafíos relacionados con las tendencias del uso del suelo y el cambio climático proyectados (es decir, aquellos que aumentan la capacidad de adaptación). Al tomar en cuenta la anticipada conversión continua de tierras para usos urbanos, lo que resulta en aumento de la escorrentía, es posible desarrollar medidas específicas destinadas a evitar o minimizar los cambios adversos en el uso del suelo.

Este análisis también proporciona una comprensión de la magnitud y los efectos de las tormentas en el futuro, permitiendo a los tomadores de decisiones asegurar que las inversiones en infraestructura futuras, también sean resistentes al cambio climático, en términos de eficacia y adecuación a largo plazo.

Sección 6 documenta el proceso y los resultados relacionados con la formulación de intervenciones adecuadas y estrategias de adaptación en respuesta a los riesgos identificados en esta Sección.

## 5.2 Resultados del modelo hidrológico

Esta Sección presenta los resultados de los modelos organizados de acuerdo con los usos de la tierra y los escenarios del cambio climático elegidos para el análisis. Los resultados se expresan principalmente como los caudales máximos para los períodos de retorno predeterminados.

### 5.2.1 Estimaciones de flujo máximo

Tal como se analiza en la Sección 5.1, el modelo hidrológico se estableció para estimar el flujo de aguas pluviales pico en cinco (5) puntos predeterminados a lo largo de los canales de drenaje dentro de la cuenca OJC. La Figura 5-1 muestra la ubicación de estos puntos, denominados intersecciones de flujo, en relación con el sistema existente de drenaje, que incluye cursos de agua natural (por ejemplo, los arroyos) y cursos de agua navegables mejorados (por ejemplo, los canales pavimentados).

Las estimaciones de flujo máximo representan el volumen máximo de agua que pasa a través de una intersección dada, como resultado de un evento de precipitación. La Tabla 5-3 presenta los caudales máximos que se estimaron en cada intersección del modelo. Los flujos de agua se expresan en metros cúbicos por segundo ( $m^3 / s$ ).



**Tabla 5-3** Estimaciones del Flujo Máximo para las intersecciones OJC bajo los cuatro escenarios

Flujo de Intersección	Período de Retorno	Caudales Máximos Modelados para Cada Escenario (m <sup>3</sup> /s)			
		CA	CC	FUS	CC + FUS
Occidental	25	78.5	116.4	152.0	222.8
	50	91.2	133.3	175.6	246.7
	100	103.9	150.3	201.7	272.7
Cuarezma	25	99.9	151.1	195.1	278.4
	50	117.3	171.6	217.2	312.6
	100	135.0	193.6	249.7	346.7
Oriental	25	101.8	154.5	199.8	283.7
	50	119.7	175.7	222.8	319.4
	100	137.9	197.9	254.0	354.9
Jagüitas 2	25	55.4	76.7	73.6	98.4
	50	62.4	85.8	81.8	108.9
	100	69.8	95.3	90.3	119.9
Jagüitas 1	25	24.8	34.2	33.3	44.4
	50	27.9	38.2	36.9	49.1
	100	31.1	42.4	40.8	54.0

Nota: El flujo de agua se expresa en metros cúbicos por segundo (m<sup>3</sup>/s). Las abreviaciones corresponden a los siguientes escenarios:

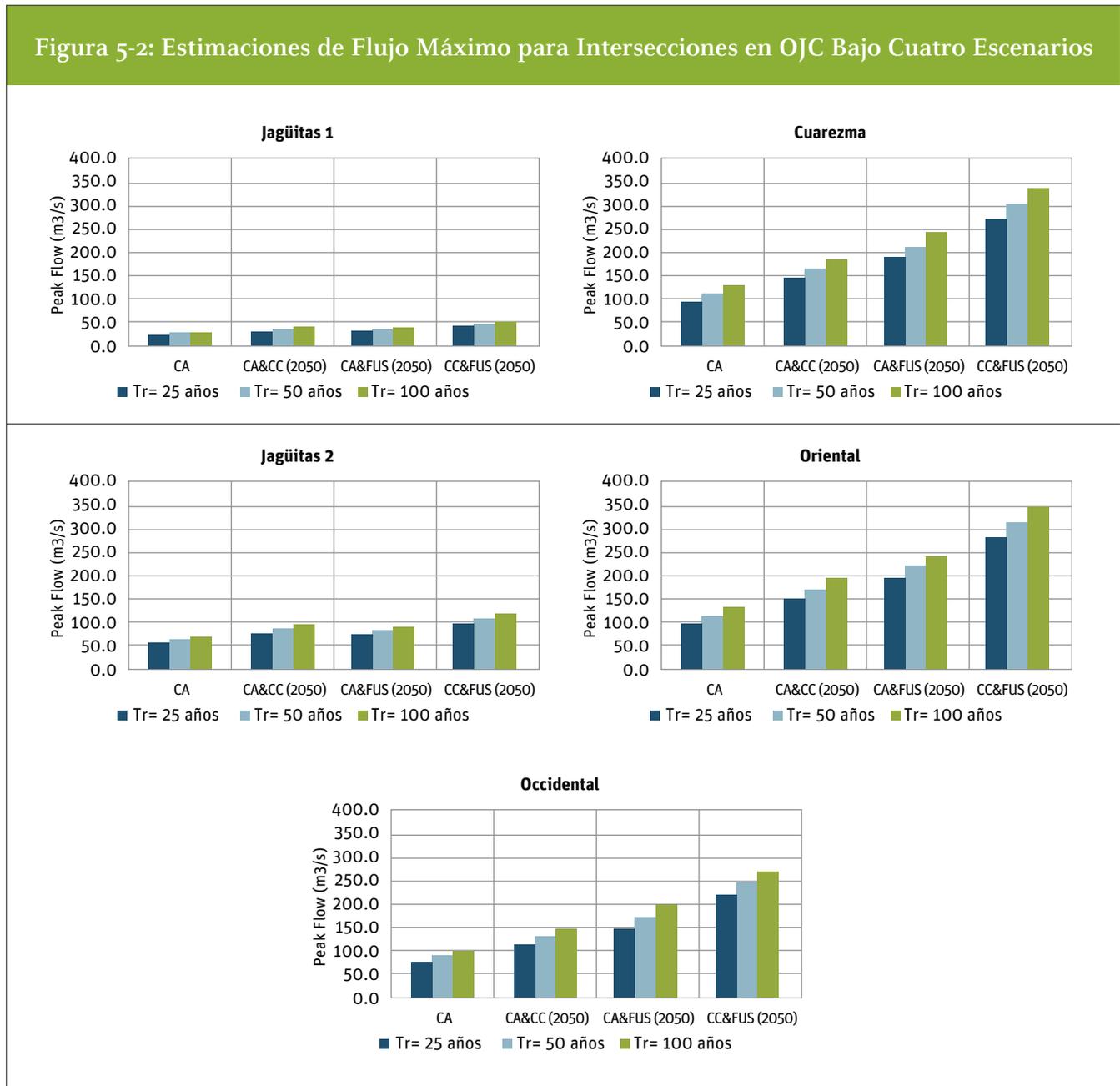
CA: Condiciones Existentes

CC: Escenario Único del Cambio Climático

FUS: Escenario Único de los Usos del Suelo

CC + FUS: Escenario del Cambio Climático y Usos Futuros del Suelo

La Figura 5-2 ilustra las estimaciones de flujo máximo que genera el modelo HEC-HMS para las cinco intersecciones dentro del modelo OJC, asumiendo tormentas con diferentes volúmenes de precipitación.



Fuente: ERM, 2013.

### *Análisis de Estimaciones de Flujo Máximo*

Se evidenciaron aumentos generales de los caudales máximos en los escenarios que suponen los cambios en el uso del suelo y la precipitación futura como factores individuales y complementarios. Los cambios proyectados en el uso de la tierra emergen como el factor principal que impulsa el aumento en los volúmenes de aguas pluviales pronosticadas para esta cuenca. El incremento promedio de los flujos pico pronosticados por el modelo para el cambio del uso de la tierra (FUS) escenario único fue del 67 % para todas las intersecciones y los períodos de retorno. Esto se debe probablemente al hecho de que si las tendencias actuales de cambio en el uso del suelo persisten en el futuro, las áreas importantes dentro de OJC serán urbanizadas o convertidas a usos del suelo con una capacidad de infiltración inferior. Es probable que los cambios en el uso del suelo en las cuencas más altas se traduzca en grandes aumentos de escorrentía de aguas pluviales transportadas aguas abajo.

Es importante tener en cuenta que el cambio en el uso del suelo no es un factor que impulse los aumentos de flujo máximo a lo largo de los canales de drenaje del este (expresados por los valores de las intersecciones Jagüitas 1 y Jagüitas 2). Esto se debe a que las zonas de captación que contribuyen con la escorrentía de aguas pluviales al canal del este, ya se encuentran muy urbanizadas.

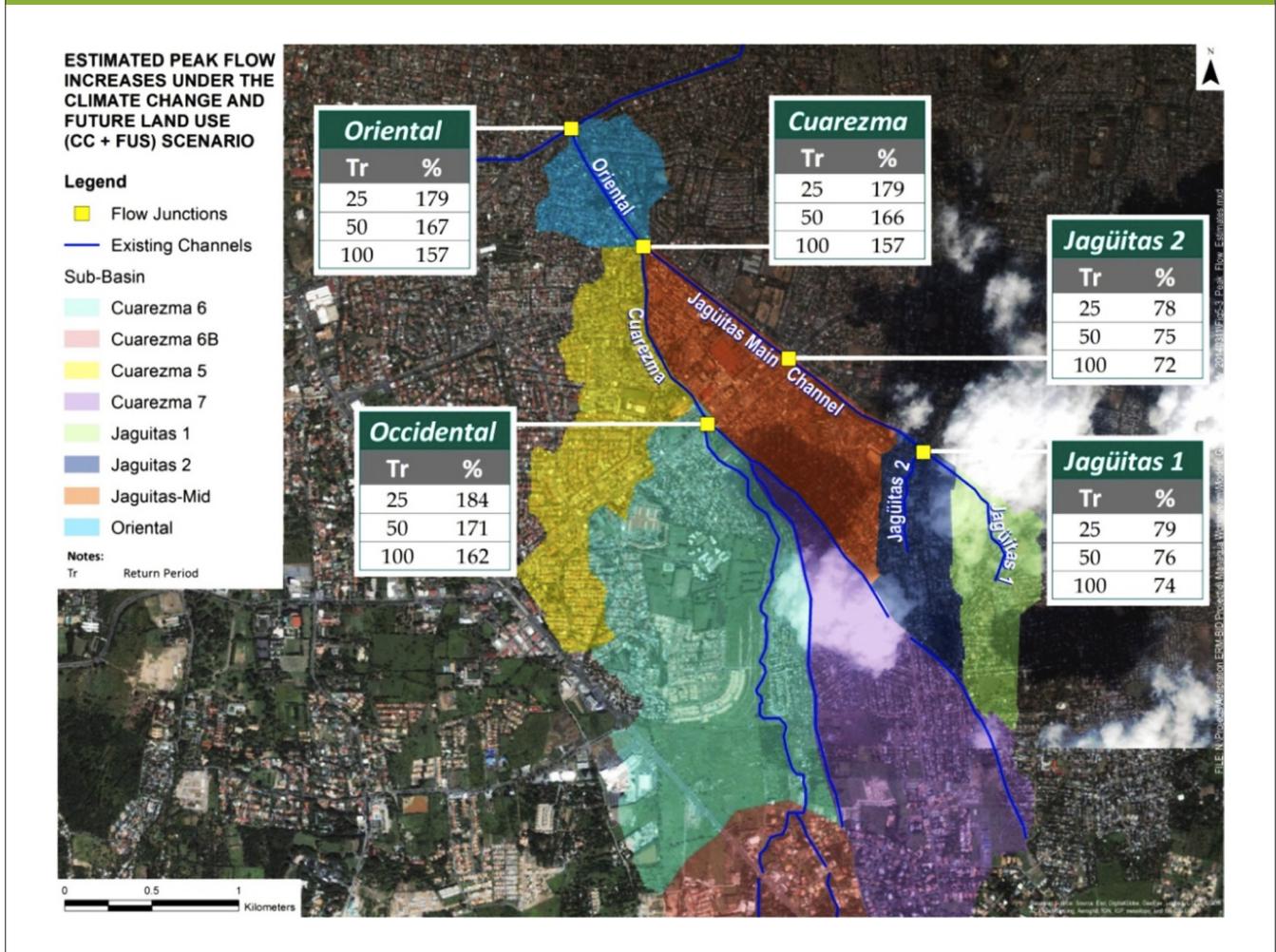
Los incrementos previstos en la variabilidad del clima, tal como se expresa a través de los eventos de precipitación de mayor intensidad en 24 horas, son también un factor que contribuye significativamente al aumento general de los flujos de agua pico. En promedio, los flujos de agua pico, en el marco del cambio climático solo en el escenario (CC) son un 43 % más elevados si los comparamos con aquellos bajo las condiciones existentes (CA).

Como era de esperar, el modelo predice aumentos significativos cuando se combinan los dos factores. En este escenario (CC + FUS), los incrementos en los volúmenes de flujo máximo varían entre un 73 % a 184 %. En otras palabras, el modelo hidrológico predice que bajo el escenario comercial usual de conversión del uso del suelo y el cambio climático, los eventos de lluvias podrían traducirse en una duplicación y casi triplicar el flujo de las aguas pluviales en las intersecciones modeladas.

Tal como se ilustra en la Figura 5-3, los incrementos porcentuales en las estimaciones de flujo máximo son más altos a lo largo del canal de drenaje central, debido a la gran extensión de la zona de captación y la pérdida proyectada de la capacidad de infiltración en la cuenca más alta. El uso de la tierra es un factor relativamente menor que contribuye en las áreas ya urbanizadas a lo largo de la frontera oriental de la cuenca.



Figura 5-3: Estimaciones de flujo máximo expresadas como porcentajes de incrementos para cada intersección del modelo –en inglés–



Fuente: ERM, 2013

## 5.2.2 Pronóstico de los anchos y profundidades de los cauces

El modelo hidráulico (HEC-RAS) simula el transporte del volumen de agua (es decir, los flujos máximos) a medida que fluye a través de los canales de drenaje de aguas pluviales existentes. El modelo HEC-RAS predijo la profundidad del canal y la anchura promedio estimada que se requeriría para transportar los flujos del agua de lluvia por HEC-HMS (mostrado en la Sección anterior). Aunado a un entendimiento de la capacidad actual del canal, esto permitió identificar las zonas en riesgo de inundaciones.

La Tabla 5-4 presenta las dimensiones reales del canal para cada transecto analizado, así como, la correspondiente estimación de HEC-RAS en los cuatro escenarios modelados. La anchura promedio del canal y las profundidades estimadas por el modelo HEC-RAS representan las profundidades ideales de los canales y el ancho necesario para el transporte de los flujos estimados de agua máxima.

**Tabla 5-4** Parámetros hidráulicos pronosticados por HEC-RAS bajo los cuatro escenarios

Transecto del Cauce	Tr	Promedio Dimensiones Obervadas		Parámetros Hidráulicos para Cada Escenario							
				CA		CC		FUS		CC + FUS	
		W	D	W	D	W	D	W	D	W	D
Oriental	25	7.70	1.96	20.9	2.3	20.2	2.7	21.9	3.0	27.8	3.5
	50			23.3	2.5	20.5	2.8	23.5	3.1	29.1	3.7
	100			22.4	2.6	21.9	3.0	26.4	3.4	30.1	3.8
Cuarezma	25	7.94	1.55	13.4	2.1	16.5	2.6	17.7	3.0	19.2	3.7
	50			14.5	2.3	16.8	2.8	18.3	3.3	19.5	3.9
	100			15.7	2.5	17.6	3.0	18.8	3.5	20.0	4.2
Jagüitas Main Channel	25	5.07	1.12	15.8	2.0	18.3	2.4	18.5	2.4	19.1	2.8
	50			16.8	2.1	18.8	2.5	18.6	2.5	18.9	2.9
	100			17.7	2.3	19.0	2.7	19.0	2.6	19.2	3.1
Jagüitas 1	25	6.77	1.03	21.6	0.9	21.3	1.0	21.8	1.0	23.1	1.1
	50			21.6	0.9	22.8	1.1	22.4	1.0	23.1	1.2
	100			20.6	1.0	23.9	1.1	23.6	1.1	23.7	1.3
Jagüitas 2	25	5.48	1.20	12.5	0.8	13.7	0.9	13.7	0.9	14.3	1.1
	50			13.2	0.8	13.5	1.0	13.3	1.0	15.1	1.1
	100			13.1	0.9	14.0	1.0	13.6	1.0	15.8	1.2

Nota: Las abreviaciones corresponden a lo siguiente:

W: Ancho del Cauce (en metros)

D: Profundidad del Cauce (en metros)

Tr: Período de Retorno (en años)

CA: Condiciones Actuales

CC: Escenario Solo de Cambio Climático

FUS: Escenario Solo de Cambios en el Uso del Suelo

CC + FUS: Escenario del Cambio Climático y Uso Futuro del Suelo

## 5.3 Análisis del riesgo de inundación urbana

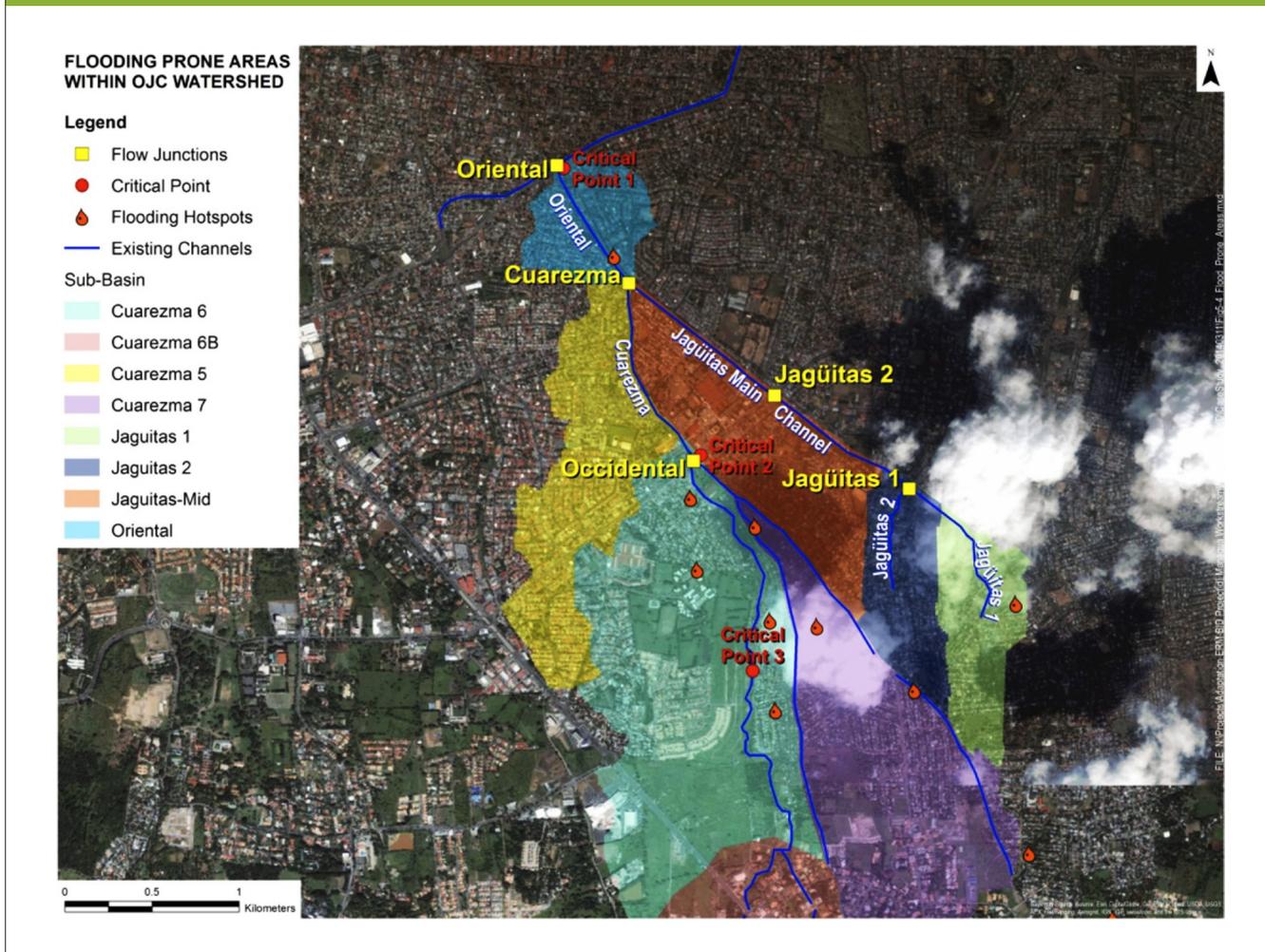
Los resultados de los modelos hidrológicos indican un aumento significativo en los flujos máximos de aguas pluviales para todos los períodos de retorno. Estos incrementos son impulsados por los cambios proyectados en el uso del suelo y los patrones de precipitación. Los modelos confirman varios puntos de la zona urbana en la cuenca OJC donde los flujos de aguas pluviales pueden exceder la capacidad del canal y desbordarse. Los sitios identificados a través de este análisis son consistentes con las observaciones hechas en los estudios de riesgo de inundación anteriores que se centraron en Managua<sup>29,30</sup>.

Es importante señalar que ALMA también indicó la presencia de tres localidades urbanas que fueron consideradas críticas en términos de propensión a las inundaciones y de bienes humanos y económicos en riesgo. La Figura 5-4 ilustra la ubicación de los puntos de inundación importantes (identificados en estudios anteriores) y los tres puntos críticos priorizados por ALMA.

<sup>29</sup> Consorcio INDES/CABAL/NICATIERRA. Mayo 2004. "Plan Municipal para la Prevención y Mitigación de Desastres Naturales en el Municipio de Managua".

<sup>30</sup> Abt Associates Inc., 1995. "Estudio de Factibilidad del Programa de Manejo de la Cuenca del Lago de Managua", Alcaldía de Managua.

Figura 5-4: Ubicación de los puntos importantes de inundación y puntos críticos dentro de la cuenca OJC –en inglés–



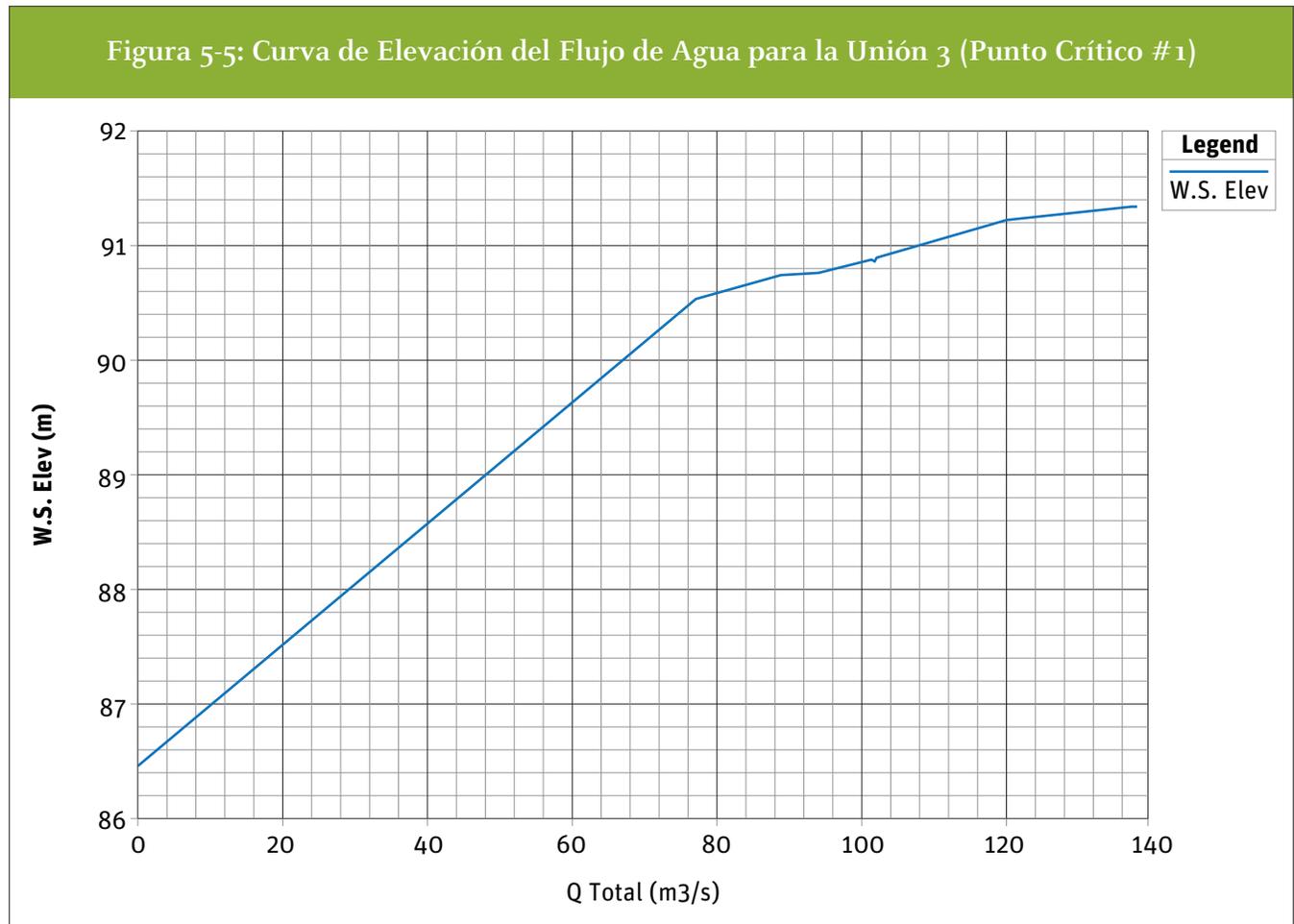
Fuente: Flooding hotspot locations were sourced from studies developed by the Dirección de Defensa Civil del Ejército Nacional (2003). Critical points were identified by ALMA during Julio 2013 workshop. Map by ERM, 2013.

ERM estimó la capacidad de conducción de los canales en los puntos críticos # 1 y #2 para calcular el volumen de escorrentía de las aguas pluviales que resultaría bajo condiciones de inundación. Los resultados sugieren cómo los riesgos de inundación pueden evolucionar en el futuro en respuesta a eventos de precipitaciones de intensidad creciente y, a la vez, tener en cuenta los cambios potenciales en el uso del suelo en los tramos superiores de las cuencas hidrográficas.

La disponibilidad de las estimaciones de flujo máximo para las intersecciones Oriental y Occidental permitió analizar el exceso de escorrentía de aguas pluviales en los Puntos Críticos #1 y #2, respectivamente (véase la Figura 5-4). Este análisis no incluyó el Punto Crítico #3, ya que no fue posible obtener datos intersectoriales precisos (por ejemplo, de ancho y profundidad) para este transecto del canal.

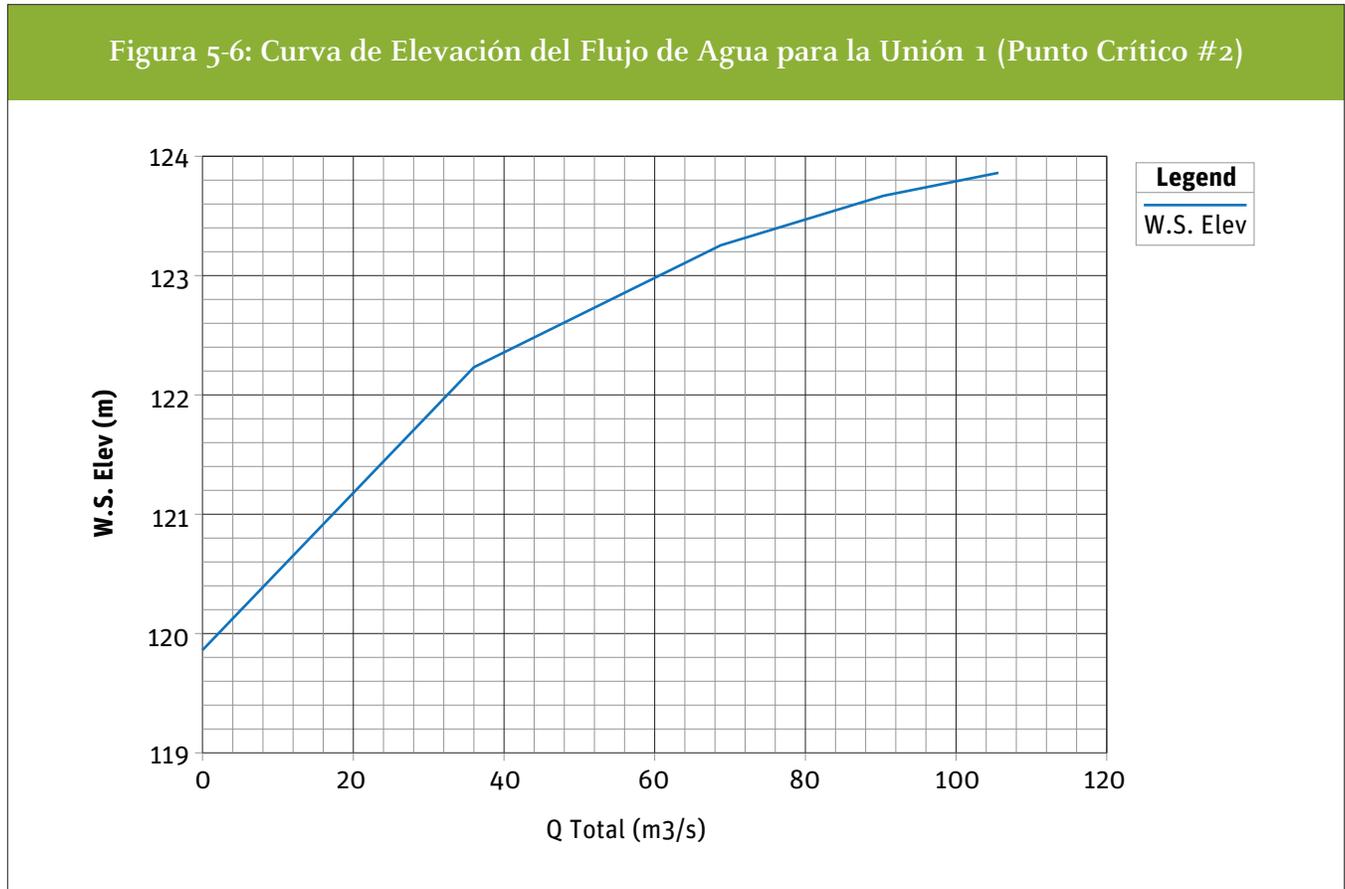
La capacidad del canal fue estimada calculando el flujo de agua que podría ser transmitida de manera adecuada (es decir, sin desbordarse) en la elevación más baja del margen a lo largo del canal. El flujo de agua que corresponde a la elevación más baja del margen del cauce ( $Q_{CHANNEL}$ ) fue calculado para cada sección transversal utilizando curvas de elevación de flujo de agua.

La Figura 5-5 muestra la curva de elevación para la Unión 3, correspondiente al Punto Crítico #1.



Fuente: ERM, 2013.

La Figura 5-6 muestra la curva de elevación para la Intersección 1 correspondiente al Punto Crítico #2.



Fuente: ERM, 2013.

Las elevaciones más bajas de las márgenes, derivadas de las curvas de elevación del flujo de agua para la intersección Occidental y Oriental, son de 122,0 m y 89,7 m, respectivamente. Los valores máximos de flujo transportable ( $Q_{CHANNEL}$ ) se estiman en 36,1 y 60,2 m<sup>3</sup>/s para Occidental y Oriental, o los Puntos Críticos #2 y #1, respectivamente. Los flujos de agua estimados por encima de los valores  $Q_{CHANNEL}$ , pueden ser considerados como exceso de flujo. La Tabla 5-5 resume los parámetros anteriormente mencionados.

**Tabla 5-5** Elevación más baja de las márgenes y Valores  $Q_{CHANNEL}$

Puntos Críticos (Intersecciones)	Elevación más Baja de las Márgenes	Flujo Máximo Transportable ( $Q_{CHANNEL}$ )
Punto Crítico #1 (Oriental)	89.7 m	60.2 m <sup>3</sup> /s
Punto Crítico #2 (Occidental)	122.0 m	36.1 m <sup>3</sup> /s

#### **Punto Crítico #1**

El Punto Crítico #1 se encuentra en la intersección de Pista Juan Pablo II y el bulevar Don Bosco. La zona está densamente poblada y se encuentra a lo largo de una carretera comercial importante. Tal como se muestra en la Figura 5.7, los caudales máximos de aguas pluviales pronosticados superan la capacidad actual del canal. Esto sugiere que el riesgo de inundaciones aumentará significativamente en el futuro, sobre todo al asumir las tendencias adversas en el uso del suelo y la variabilidad climática. También es importante destacar que el Punto Crítico #1 refleja una situación de “cuello de botella” dentro de la cuenca, ya que la escorrentía de una extensión superficial sustancial converge en esta intersección. (ver figura 5.7, pág. 52)

#### **Punto Crítico #2**

El Punto Crítico #2 está ubicado en la intersección de la Pista de La Solidaridad y la avenida Isidro Centeno. La zona cuenta con uno de los mayores mercados de Managua (Roberto Huembes), un centro de salud especializado (Hospital Manolo Morales Peralta) y varios barrios residenciales. Tal como se muestra en la Figura 5-8, los caudales máximos de aguas pluviales pronosticadas superan la capacidad actual del canal. Esto sugiere que el riesgo a las inundaciones aumentará significativamente en el futuro, sobre todo al asumir las tendencias adversas en el uso del suelo y la variabilidad climática. (ver figura 5.8, pág. 53)

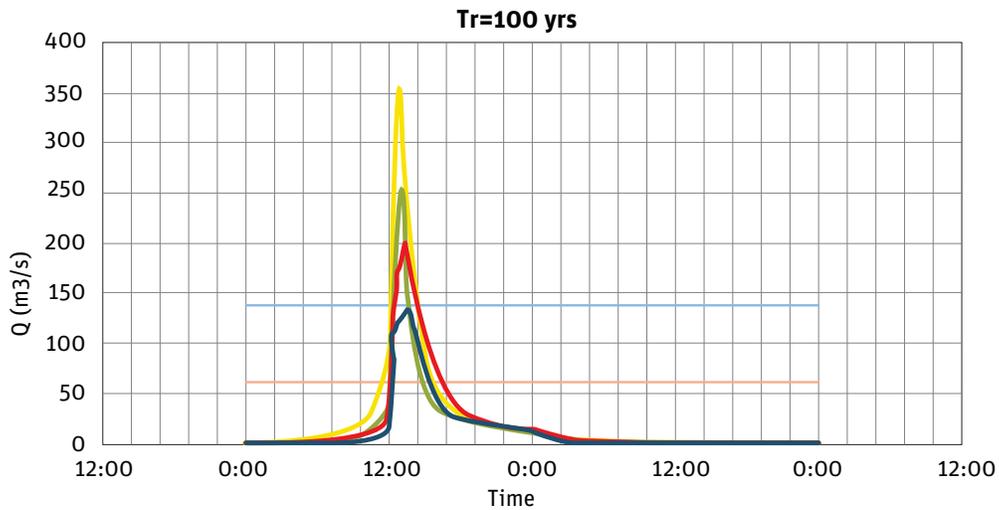
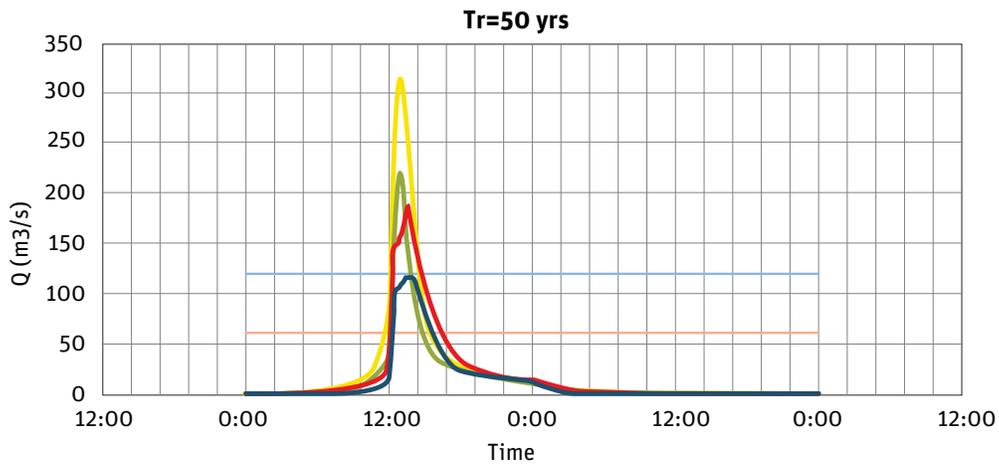
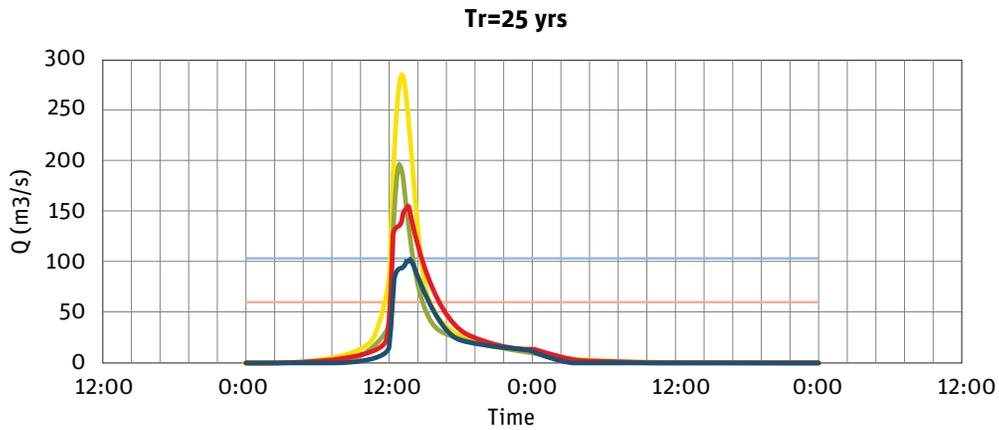
La Tabla 5-6 muestra los volúmenes excedentes estimados por encima de la capacidad del canal en los puntos críticos #1 y #2. Estos volúmenes son un indicativo de la magnitud del potencial de inundación que puede estar asociado con un evento de precipitación correspondiente a una tormenta a 25, 50 o 100 años.

**Tabla 5-6** Exceso en Volúmenes de agua de lluvia por encima de la capacidad del canal en los Puntos Críticos #1 y #2

Punto Crítico	Período de Retorno	Volúmenes de agua por encima de la capacidad del canal (m <sup>3</sup> )			
		CA	CC	FUS	CC + FUS
Punto Crítico #1	25	326,730	842,570	859,369	1,408,515
	50	482,871	1,083,584	1,037,066	1,650,975
	100	666,696	1,344,272	1,226,612	1,909,176
Punto Crítico #2	25	281,305	669,954	703,378	1,120,055
	50	401,849	852,852	838,195	1,304,310
	100	536,730	1,051,735	981,915	1,500,633

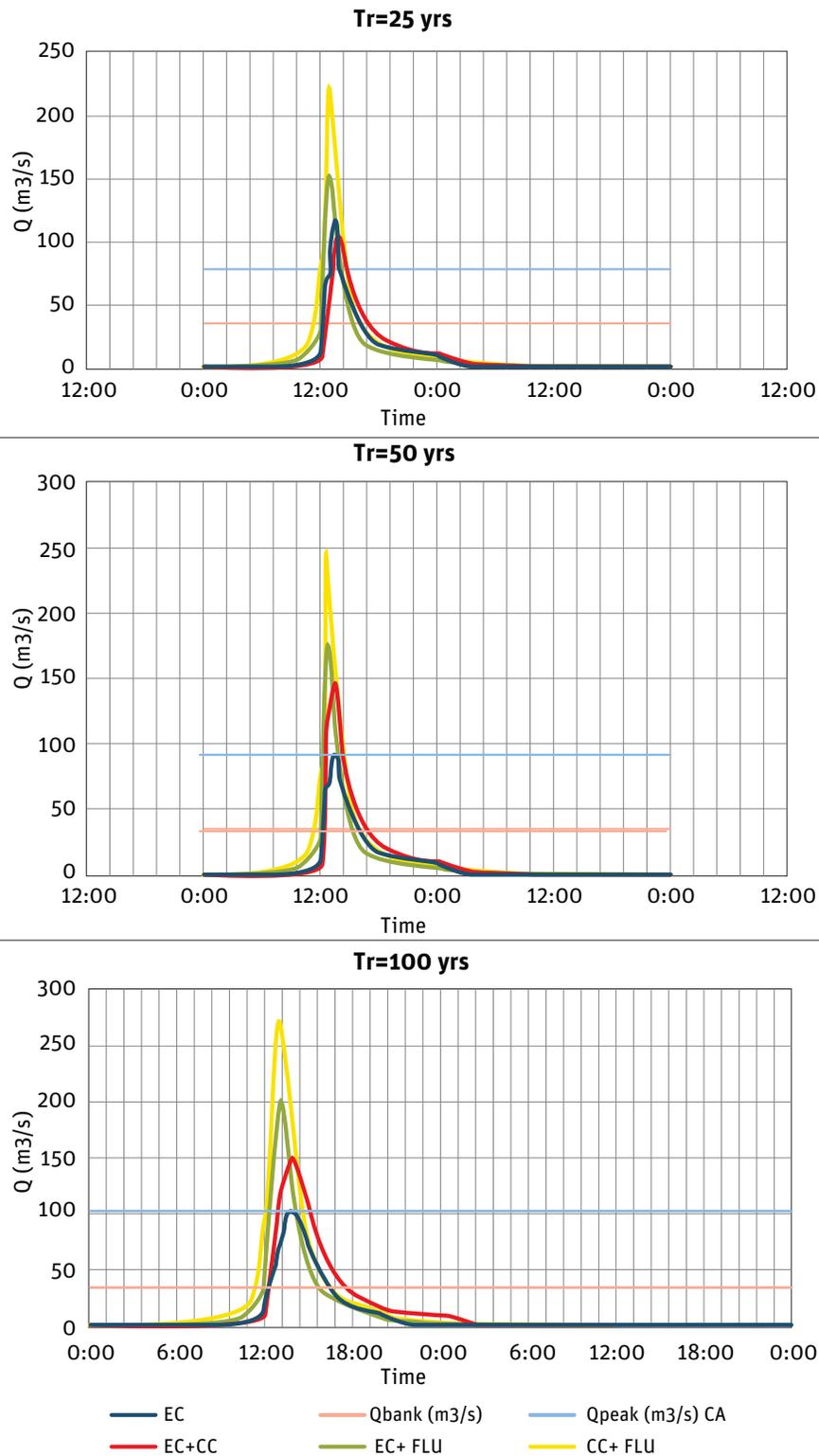
Nota: Los volúmenes de agua en exceso se expresan en metros cúbicos (m<sup>3</sup>). Las abreviaciones corresponden a los siguientes escenarios:  
 CA: condiciones Actuales  
 CC: Escenario Solo de Cambio Climático  
 FUS: Escenario Solo de Cambios en el Uso del Suelo  
 CC + FUS: Escenario del Cambio Climático y Usos Futuros del Suelo

Figura 5-7: Exceso estimado de los flujos máximos por encima de la capacidad del canal en el Punto Crítico #1



<span style="color: blue;">—</span> EC	<span style="color: orange;">—</span> Qbank (m3/s)	<span style="color: blue;">—</span> Qpeak (m3/s) CA
<span style="color: red;">—</span> EC+CC	<span style="color: green;">—</span> EC+ FLU	<span style="color: yellow;">—</span> CC+ FLU

Figura 5-8: Exceso Estimado de los flujos máximos por encima de la capacidad del canal en el Punto Crítico #2



# 6. Análisis de las opciones de adaptación propuestas por las partes interesadas

Los resultados mostraron que el volumen de la escorrentía de aguas pluviales previsto para el horizonte de 2050 es muy superior a la capacidad de la infraestructura de drenaje existente en OJC. Si consideramos el efecto combinado de los cambios proyectados para el uso del suelo y un aumento del 30 % en la intensidad de la precipitación, los flujos pico pronosticados por el modelo hidrológico exceden, por lo menos, cuatro veces la capacidad de los canales en los dos puntos de inundación críticos analizados. Esto indica que los problemas de inundación urbana existentes pueden ser peores para el escenario habitual “negocios como siempre” (“business-as-usual”).

El martes 16 de julio de 2013 se llevó a cabo un taller en la oficina del BID en Managua, para presentar los análisis hidrológicos, identificar las poblaciones potencialmente vulnerables y discutir las posibles adaptaciones<sup>31</sup>. La mayoría de los 21 participantes en el taller representaban diversos departamentos dentro de ALMA, mientras que siete de los asistentes estaban afiliados a ANA, SINAPRED, INVUR, INETER, ENACAL y la oficina local del BID. Tras la presentación del análisis, las partes interesadas participaron en una sesión de intercambio de ideas sobre posibles medidas de adaptación. La Tabla 6-1 enumera cada medida propuesta, según si esta representa una solución estructural o no estructural.

Tabla 6-1 Conjunto inicial de medidas de adaptación propuestas por los interesados

Medidas Estructurales	Medidas No Estructurales
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revestimiento de concreto (o pavimentación) de los canales para acelerar el transporte</li> <li>• Profundización y/o ampliación de los canales</li> <li>• Instalación de vertederos en puntos específicos a lo largo de los canales para frenar los flujos</li> <li>• Construcción de estanques de retención en la parte superior e inferior de la Sección OJC</li> <li>• Intubar el canal a lo largo de Pista Juan Pablo II para poder ampliar la carretera</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollar un Plan maestro de Drenaje que incluya los usos del suelo en las cuencas altas</li> <li>• Desarrollar un Plan de Manejo Integrado para las Cuencas</li> <li>• Desarrollar un Plan de Manejo Municipal para el Uso del Suelo</li> <li>• Promulgar políticas obligatorias sobre el análisis de riesgos de inundación para todas las obras de desarrollo nuevas, tanto privadas como residenciales</li> <li>• Implementar incentivos fiscales que alienten nuevas obras y desarrollos residenciales para infiltrar las aguas pluviales in situ</li> <li>• Promover la conservación en el uso del suelo en las áreas no desarrolladas de OJC</li> <li>• Promover campañas de sensibilización ambiental con miras a reducir las enajenaciones de basura en y a lo largo de los cauces</li> </ul>

<sup>31</sup> Una segunda sesión de transferencia de conocimiento se realizó en la mañana del miércoles 17 de julio para compartir las mecánicas de los modelos hidrológicos e hidráulicos con el personal técnico de ALMA.

Las medidas estructurales propuestas por los participantes (sobre todo aquellos que representaron a ALMA en el taller) indicaron la preferencia por los enfoques que mejoraban la capacidad de transporte del sistema de drenaje urbano. De acuerdo con las observaciones, después del taller ALMA pidió a ERM examinar los estudios de drenaje urbano y de las cuencas hidrográficas anteriores, para asegurarse de que las propuestas anteriores fueron consideradas y que estas ayudaron a definir el alcance de las adaptaciones que serían escogidas para su posterior análisis. Los informes revisados incluían:

- **Informe sobre la Cuenca Hidrológica del Lago de Managua.** Preparado por un consorcio de consultoría de ingeniería<sup>32</sup> y publicado en noviembre de 1999. Este informe proporciona un análisis hidrológico de las principales cuencas hidrográficas en Managua como base del diseño de obras civiles propuestas relacionadas con el drenaje.
- **Informe de Impacto Ambiental.** Preparado por el mismo consorcio que desarrolló el análisis de la hidrología. Este informe de septiembre de 2000 proporcionó una descripción de las obras de mejora del drenaje propuestas y que se desarrollarían en varias partes de Managua.
- **Perfil del Proyecto de Mejoras en el Drenaje Urbano.** Desarrollado por la unidad de manejo de proyectos de ALMA. Este informe o8 de 2013, describe una serie de obras propuestas para el drenaje de aguas pluviales con miras a reducir el riesgo de inundaciones, la erosión y los deslizamientos de tierra en las zonas vulnerables de Managua.

Trabajando con el personal de ingeniería de ALMA, el equipo de ERM definió seguidamente la evaluación del alcance de las medidas de adaptación y su eficacia para evitar o mitigar los riesgos de inundación existentes y proyectados. La Tabla 6-2 presenta estas medidas.

**Tabla 6-2** Medidas de Adaptación evaluadas mediante modelos hidrológicos

Medida	Alcance
Construcción de un estanque de retención adicional	La construcción de un estanque de retención (Micropresa El Tránsito) fue considerado como posible medida de control de las inundaciones para regular el flujo de agua a lo largo del canal Cuarezma y mitigar los riesgos de inundación aguas abajo (por ejemplo, Punto Crítico #1 y #2). Los parámetros de diseño fueron proporcionados por ALMA basados en dos estructuras de retención existentes en OJC, a saber, Micropresa Bariloche y Micropresa Las Colinas.
Revestimiento y mejora del canal	Esta medida incluía la simulación de las mejoras en la red de drenaje, incluyendo el revestimiento de un transecto de 600 metros y la eliminación de los desechos del lecho del canal. Se consideraron estas medidas para poner a prueba el aumento general de la eficiencia de conducción de flujo

<sup>32</sup> Este consorcio estaba formado por Abt Associates Inc., CISCONCO Engineering Consulting, y Gomez, Cajiao & Asociados.

Medida	Alcance
Conservación del uso del suelo, reforestación y mejoramiento de la capacidad de infiltración	Los resultados del modelo hicieron hincapié en la importancia de mejorar la capacidad de infiltración, y, por lo tanto, reducir la escorrentía en toda la cuenca. En este sentido, los interesados propusieron la conservación del uso del suelo, en particular en las zonas de la cuenca OJC superior, aún sin desarrollar, como una medida para preservar la capacidad de regulación del suelo en esas áreas. Para proteger a Managua de las inundaciones también requeriría aumentar la capacidad de infiltración en las zonas urbanas de la cuenca. La necesidad de restaurar la capacidad de almacenamiento natural del suelo es evidente, dado el hecho de que los flujos máximos aumentaron sustancialmente en el escenario a futuro, incluso asumiendo que el uso del suelo se mantenga igual como en la actualidad. Los programas que combinan tanto, las medidas estructurales (por ejemplo, zanjas de infiltración) y las medidas basadas en políticas (por ejemplo, la reforestación) pueden ser eficaces para aumentar la capacidad de infiltración en las zonas desarrolladas.
Instalación de Vertederos	Un vertedero es una obstrucción colocada a través de un canal abierto para que el agua fluya sobre el borde superior del vertedero o a través de una abertura bien definida en el vertedero. Esto hace que el flujo reduzca la velocidad a través de un efecto parcial de represa.* Esta adaptación incluye la instalación de cinco presas a lo largo del canal de Cuarezma, tres a lo largo del canal de Jagüitas 1, y tres más a lo largo del canal de Jagüitas 2. Los vertederos son una instalación relativamente no costosa, que ya han sido incluidos por ALMA en los planes de mejoramiento del drenaje. Por lo tanto, la eficacia de estas estructuras hidráulicas ya ha sido evaluada en los modelos.

\*ASCE and EPA. 2002. Urban Stormwater BMP Performance Monitoring: A Guidance Manual for Meeting the National Stormwater BMP Database Requirements. GeoSyntec Consultants for the Urban Drainage and Flood Control District and Urban Water Resources Research Council (UWRRC) of the American Society of Civil Engineers.

## 6.1 Evaluación de las medidas de adaptación propuestas

ERM aplicó la metodología descrita en la Sección 5.1 para analizar la eficacia de las medidas de adaptación propuestas por los interesados. Estimamos la escorrentía para cada una de las ocho subcuencas de drenaje que componen OJC y se analizaron las implicaciones hidráulicas de los caudales máximos a lo largo del sistema de canales existente después de que se aplicaron las medidas. Los modelos se realizaron para tormentas de 25, 50 y 100 años (los valores de precipitación de 24 horas fueron incluidos en la Tabla 5-1).

Se analizaron dos escenarios en la evaluación de las opciones de adaptación: las condiciones existentes (CC) y el escenario futuro que asume la cobertura del suelo proyectada y el aumento de la precipitación en 2050 (+ FUS CC). El modelo hidrológico de escorrentía para el escenario de CA se basa en las observaciones de la cobertura terrestre (2010) y presupone eventos de lluvia a 25, 50 y 100 años que se derivan de la precipitación acumulada histórica. Los escenarios futuros sobre las estimaciones de escorrentía, en función de la cobertura de la tierra, proporcionaron un aumento del 30 % en la intensidad de las precipitaciones proyectadas para el 2050 (véase el **Anexo B**).

La evaluación de la eficacia de las adaptaciones propuestas se centró en el análisis de los siguientes componentes hidrológicos:

- Flujos pico estimados por el modelo de escurrimiento hidrológico (HEC-HMS) para cada una de las cinco intersecciones de flujo modeladas (es decir, Oriental, Cuarezma, Occidental, Jagüitas 1 y Jagüitas 2); y
- Las estimaciones proporcionadas por el modelo hidráulico (HEC-RAS) para una anchura máxima y una elevación de flujo del canal para cada descarga máxima del modelo hidrológico.

## 6.1.1 Adaptación #1: Estanques de retención adicionales en OJC

El equipo analizó la construcción de una cuenca de retención (Micropresa El Tránsito) a lo largo del canal de Cuarezma. La eficacia de la estructura de retención, como una medida de control de inundaciones, depende de su capacidad y ubicación en relación con el sistema de drenaje. La zona está densamente urbanizada, sin embargo, se identificaron dos posibles ubicaciones localizadas en un paso elevado de la zona utilizando Google Earth.

ALMA proporcionó especificaciones de diseño (por ejemplo, capacidad, dimensiones) para dos estructuras de retención existentes en OJC, *Micropresa Bariloche* y *Micropresa Las Colinas* (refiérase a la Figura 6-1). Los datos proporcionados por ALMA incluyen curvas de almacenamiento-elevación y descarga-elevación<sup>33</sup>, que hicieron posible el modelado de estas estructuras.

La Tabla 6-3 tabula las cuatro ubicaciones diferentes y las combinaciones en la capacidad que fueron consideradas en el análisis. La Opción 4 representa la mejor combinación de ubicación/diseño (las opciones de menor capacidad indicaron inestabilidad en el modelo hidrológico HEC-HMS).

**Tabla 6-3** Ubicación y opciones de capacidad para la estructura de retención propuesta

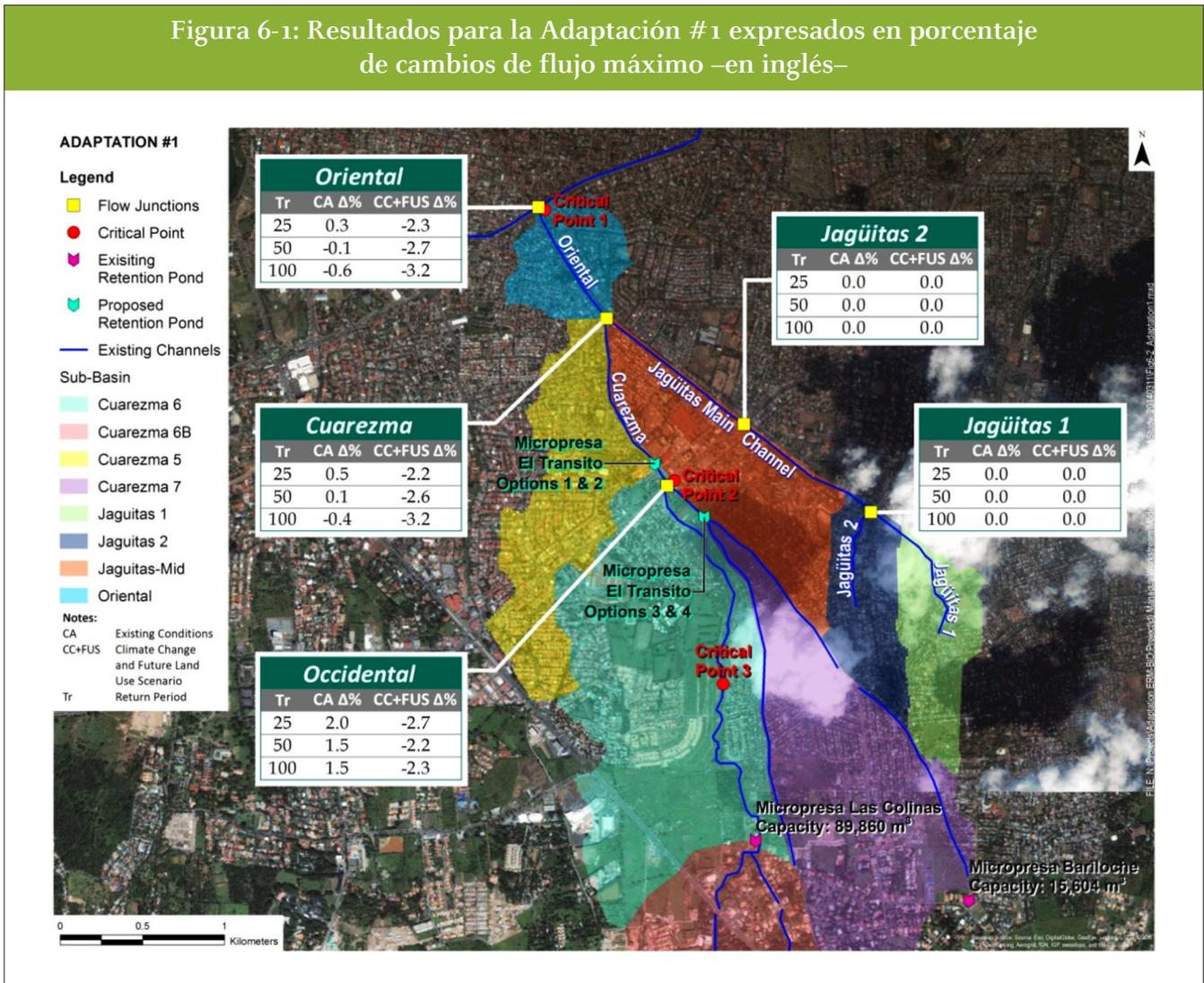
Opción	Ubicación	Capacidad & Dimensiones
1	A lo largo del canal Cuarezma, al norte de Pista de La Solidaridad y al oeste del Roberto Huembes Market.	15,604m <sup>3</sup> basado en el diseño de Micropresa Bariloche
2		89,860m <sup>3</sup> basado en el diseño de Micropresa Las Colinas
3	Confluencia de dos canales en la subcuenca Cuarezma 7, a unos 300 metros al sureste de la intersección entre Pista de La Solidaridad y la avenida Isidro Centeno.	15,604m <sup>3</sup> basado en el diseño de Micropresa Bariloche
4		89,860m <sup>3</sup> basado en el diseño de Micropresa Las Colinas

Los resultados indicaron la adición de la estructura de retención como una medida de control de las inundaciones que resultó ineficaz. El volumen de escorrentía que drena de las subcuencas Cuarezma 6 y Cuarezma 7 es demasiado grande para la estructura de retención para impulsar reducciones significativas en los flujos pico. Este análisis es válido tanto para las condiciones existentes y los escenarios futuros y para los tres períodos de retorno.

La Figura 6-1 ilustra los flujos máximos generados por el modelo hidrológico para cada intersección del modelo. Se evidenciaron mejoras marginales a lo largo de los canales principales Cuarezma y Oriental. Dada la ubicación de la estructura, no se percibieron cambios en las intersecciones de las uniones de Jagüitas 1 y 2 (como era de esperar).

<sup>33</sup> Información proporcionada por el Ing. Freddy Sarria, ALMA

Figura 6-1: Resultados para la Adaptación #1 expresados en porcentaje de cambios de flujo máximo –en inglés–



Source: ERM, 2013.

### 6.1.2 Adaptación #2: Revestimiento del canal y mejoras

Algunos de los problemas de drenaje en Managua están relacionados con la dependencia de los canales naturales para el transporte de las aguas pluviales. En muchos lugares, los canales son de tierra o de vegetación, lo que reduce la capacidad de flujo potencial y conduce a la acumulación de basura y agua estancada. Esta medida modeló el efecto potencial sobre el rendimiento hidráulico mediante la liberación de escombros de los canales.

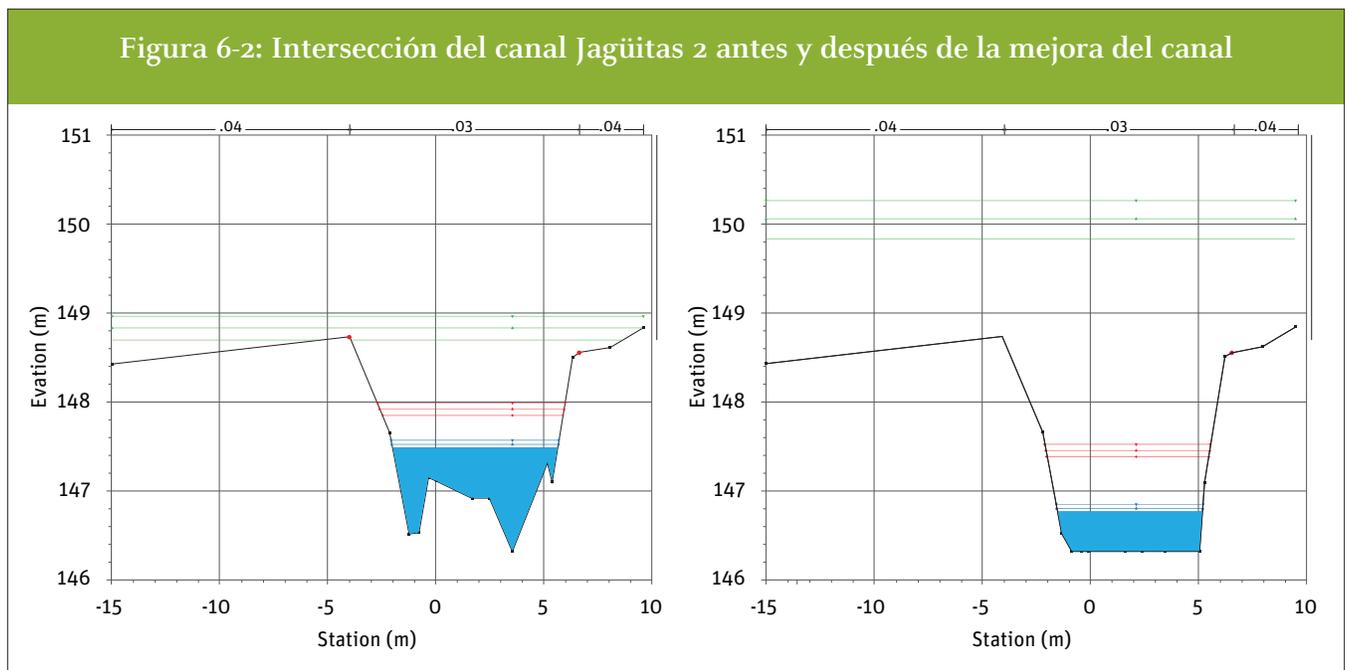
Modelamos el rendimiento hidráulico mediante el ajuste de los coeficientes de rugosidad. El coeficiente de rugosidad es un parámetro empírico que refleja la resistencia creada por la superficie del canal a lo largo del cual el agua fluye. Este determina, en parte, la velocidad del flujo de agua. La Tabla 6-4 presenta los coeficientes de rugosidad para los canales modelados antes y después de las mejoras.

**Tabla 6-4** Coeficientes de rugosidad asumidos para el canal principal y las márgenes

Transecto del Canal	Antes del Revestimiento del Canal		Después del Revestimiento del Canal	
	Canal	Lechos	Canal	Lechos
Jagüitas	0.03	0.022-0.04	0.017	0.022-0.04
Oriental	0.03	0.022-0.04	0.017	0.022-0.04
Cuarezma	0.03	0.022-0.04	0.017	0.022-0.04
Jagüitas 1	0.03	0.04	0.017	0.02
Jagüitas 2	0.03	0.04	0.017	0.02

Nota: Se muestra un rango para algunas márgenes canal ya que el coeficiente varía a lo largo del transecto

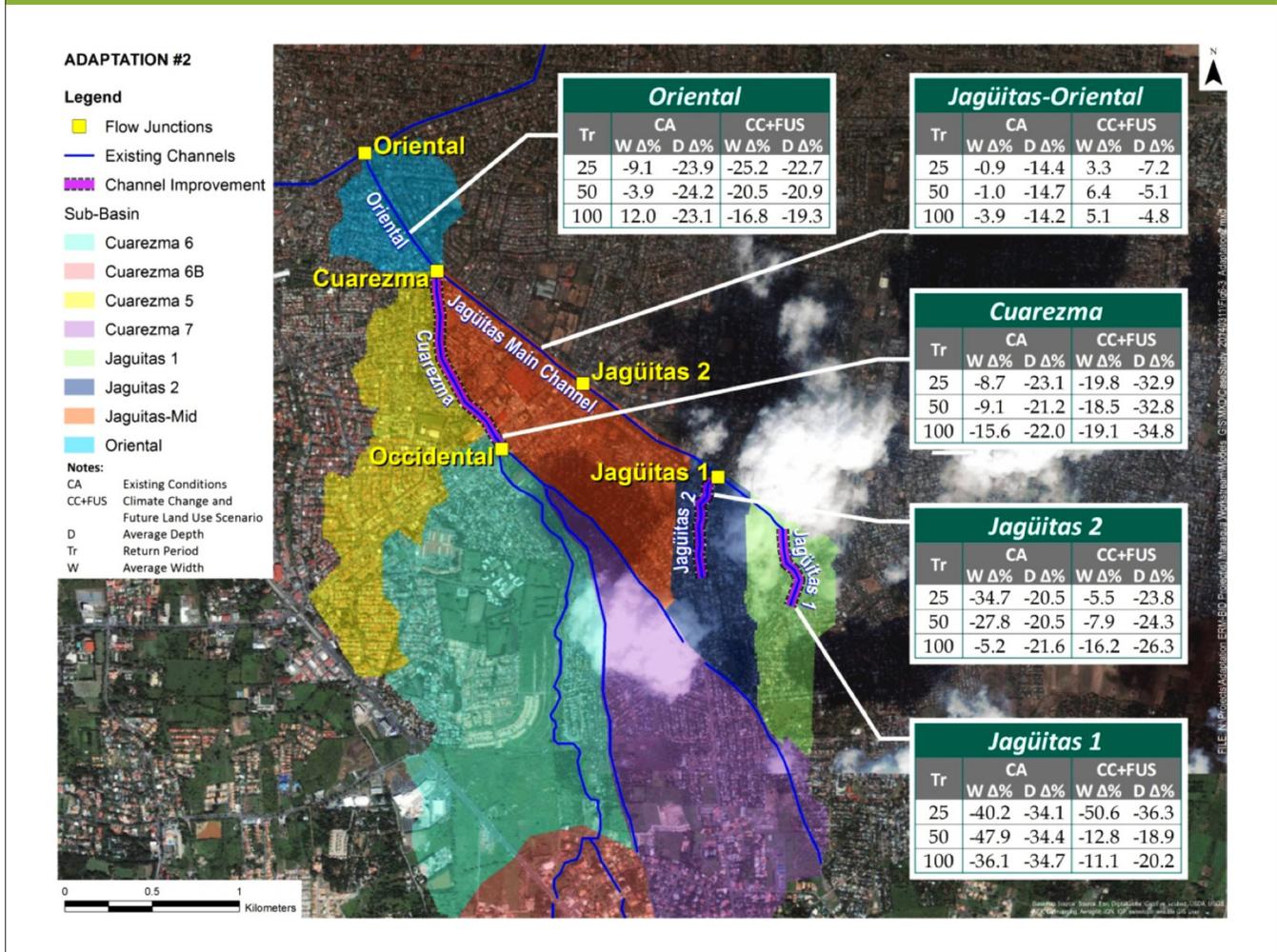
El análisis también incluyó la evaluación de la eficacia de revestimiento de un canal con hormigón. Desde un punto de vista hidráulico, el revestimiento acelera el flujo a lo largo de un canal, disminuyendo la profundidad total del flujo. Esta solución implica típicamente el cambio de la geometría general (por ejemplo, la profundidad y la anchura) del canal. La Figura 6-2 ilustra la sección transversal antes y después de la mejora simulada de 600 metros para el canal Jagüitas 2.



Fuente: ERM, 2013.

El comportamiento hidráulico de los flujos de agua a lo largo de los canales alineados mostró una mejora significativa. La Figura 6-3 presenta las anchuras y profundidades de flujo pronosticadas por el modelo hidráulico en el escenario de las condiciones existentes. La Tabla muestra las correspondientes reducciones en términos porcentuales.

Figura 6-3: Adaptación #2 resultados expresados como cambios en los parámetros hidráulicos del canal –en inglés–



Fuente: ERM, 2013.

### 6.1.3 Adaptación #3: Aumento en la capacidad de infiltración y conservación del uso de la Tierra

El crecimiento urbano en Managua ha llevado al aumento de la cantidad de superficies impermeables (por ejemplo, carreteras, bordillos, techos) y el correspondiente aumento en el volumen de la escorrentía de las aguas pluviales que deben ser manejadas. En vista del sistema de drenaje inadecuado en Managua, los interesados reconocieron la importancia de esforzarse para alcanzar las condiciones predesarrollo, invirtiendo o compensando las pérdidas en la capacidad de infiltración.

Esta medida combina dos prácticas principales, centradas en diferentes áreas de la cuenca:

- En las áreas no desarrolladas, el objetivo sería promover la conservación del uso del suelo y la reforestación como medidas para preservar los suelos infiltrables que permanecen en la cuenca;

- En las zonas desarrolladas, el minimizar los impactos de aguas pluviales requeriría un enfoque diferente para el manejo convencional de las aguas pluviales, lo que implica la aplicación de técnicas pequeñas, rentables y distribuidas que aumentarían la capacidad de infiltración y reducirían la escorrentía

A los efectos de evaluar la eficacia de la conservación del suelo bajo el escenario futuro (CC + FUS), asumimos los números de la curva derivados del análisis del manto vegetal del 2012 (es decir, números de curva asociados con las condiciones existentes). El número de la curva de escorrentía (CN) es un parámetro hidrológico sin unidades, que representa el porcentaje de lluvia que no se infiltra en el suelo, y por lo tanto se convierte en escorrentía. Para evaluar la eficacia de la reforestación, redujimos el parámetro CN para las subcuencas<sup>34</sup> Cuarezma 6 y Cuarezma 6B.

Para probar la eficacia de las medidas destinadas a aumentar la capacidad de infiltración, las abstracciones de precipitaciones iniciales para cada subcuenca, se incrementaron del 20 % al 50 %. La abstracción inicial de precipitaciones (*Ia*) es la cantidad de agua (medida en milímetros) interceptada o almacenada en la vegetación, en las depresiones y hoyos, antes de que la lluvia se convierta en escorrentía. En otras palabras, *Ia* es la cantidad de precipitación al inicio de una tormenta que no está disponible para la escorrentía<sup>35</sup> y es un parámetro empíricamente relacionado con el CN<sup>36</sup>.

En resumen, se simuló la conservación del uso del suelo manteniendo los números de curva constantes en el escenario futuro. La reforestación en las subcuencas Cuarezma 6 y Cuarezma 6B se simularon mediante la reducción de la CN en relación con las condiciones existentes (de 68 a 62). Los aumentos de la capacidad de infiltración fueron modelados para incrementar el parámetro de *Ia* para cada subcuenca. La Tabla 6-5 resume las presunciones de los parámetros hidrológicos.

**Tabla 6-5** Parámetros Hidrológicos asumidos en el modelado de la Adaptación #3

Subcuenca	Número de Curva Asumido (CN)	Abstracción de Precipitación Inicial ( <i>Ia</i> ) (mm)
Cuarezma 6	62*	77.8
Cuarezma 6B	62*	77.8
Cuarezma 7	77	37.9
Jagüitas-Mid	80	31.8
Jagüitas 1	80	31.8
Jagüitas 2	80	31.8
Cuarezma 5	80	31.8
Oriental	80	31.8

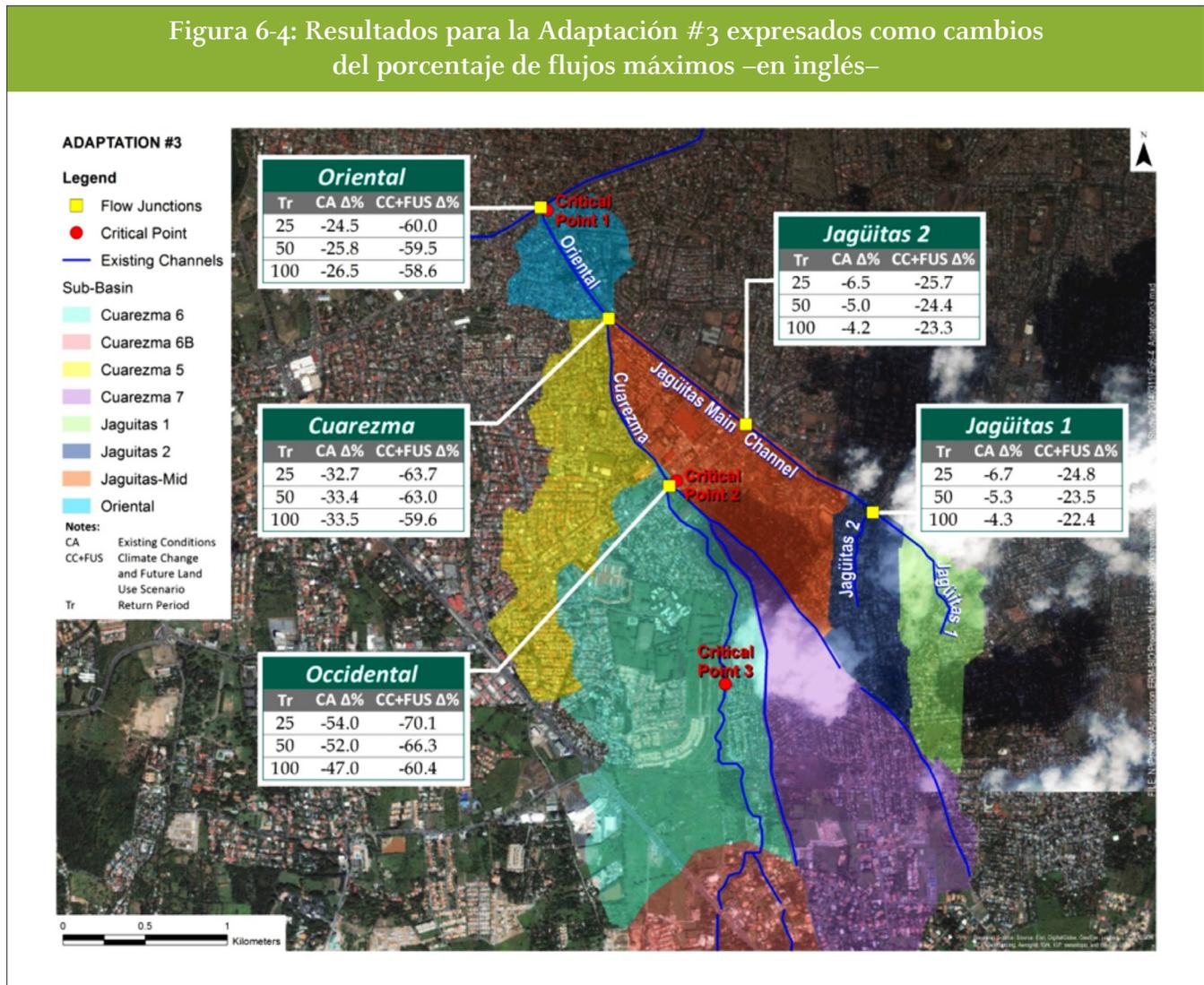
Nota: Los números de curva marcados con un asterisco (\*) reflejan una mejora sobre las condiciones existentes como resultado de las acciones de reforestación.

<sup>34</sup> La cobertura de bosque en las subcuencas de Cuarezma 6 y 6B es actualmente 2,53 km<sup>2</sup> o 35 % del área total de 7,31 km<sup>2</sup>. La meta para la cobertura de bosque se fijó en 3,71 km<sup>2</sup> representando un incremento del 16 % en cobertura de bosque a ser alcanzado por medio de la reforestación.

<sup>35</sup> McCuen, R.H. 1989. Hydrologic Analysis and Design. Prentice Hall. ISBN 0-13-447954-8.

<sup>36</sup> Wanielista, M., Kersten, R., and Eaglin, R. 1997. Hydrology, Water Quantity and Quality Control. 2<sup>nd</sup> Edition John Wiley and Sons, Inc.

La Figura 6-4 muestra los caudales máximos generados por HEC-HMS para cada una de las cinco intersecciones modeladas.



Fuente: ERM, 2013.

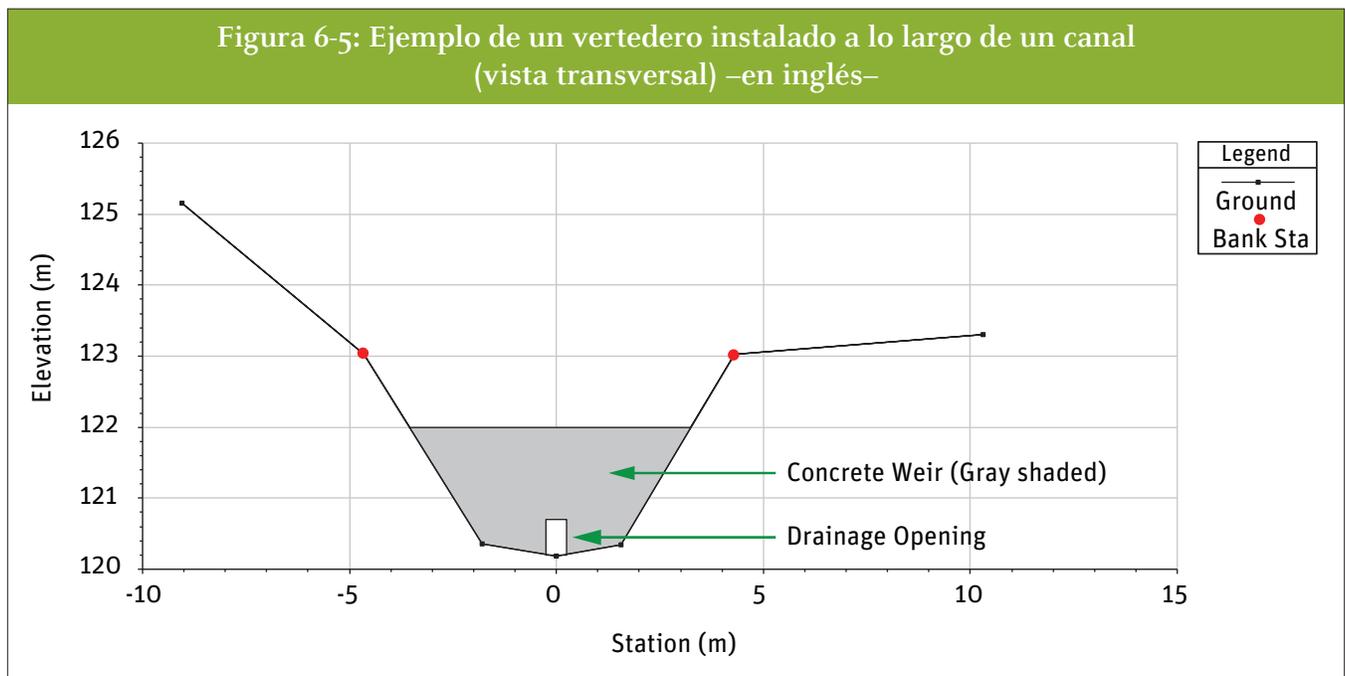
Los resultados indican una reducción sustancial en el riesgo de inundaciones. En la intersección de Occidental, donde los efectos de la reforestación serían más evidentes, los flujos máximos pronosticados para las tormentas actuales se redujeron en promedio un 50. El aumento de la capacidad de infiltración ayuda a mitigar los caudales máximos aguas abajo.

En las subcuencas de Jagüitas, los caudales máximos se redujeron aproximadamente en un promedio de 25 % en el escenario futuro. Los flujos máximos disminuyeron a menos de 10 % en promedio bajo condiciones actuales. A pesar de los resultados más modestos en las subcuencas orientales, su contribución a la reducción de flujo aguas abajo es significativa.

En general, las medidas que combinan los esfuerzos para preservar y, en la medida de lo posible, aumentar la capacidad de infiltración, fueron las más exitosas de las alternativas de adaptación evaluadas.

## 6.1.4 Adaptación #4: Estructuras “inline” del canal (vertederos)

Un vertedero es una obstrucción colocada a través de un canal abierto para que el agua fluya sobre el borde superior del vertedero o a través de una abertura bien definida en el vertedero. El vertedero acumula agua a lo largo de un canal creando una presa parcial<sup>37</sup>. La Figura 7.6 ilustra un vertedero (área sombreada) a lo largo del canal, como se ve en un diagrama de la sección transversal.



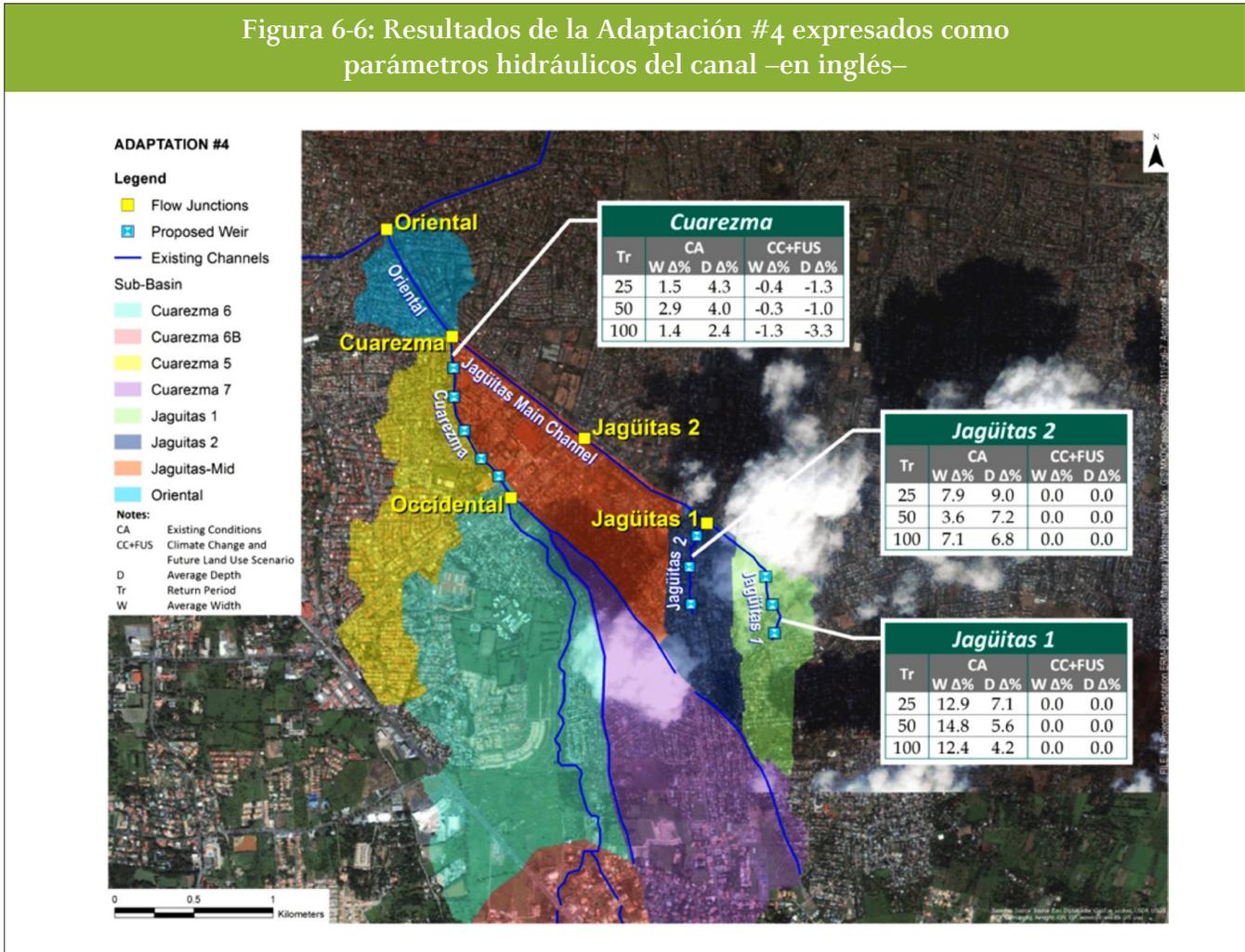
Fuente: ERM, 2013.

La eficacia de los vertederos como mecanismos de control de las inundaciones fue evaluada en términos de los efectos hidráulicos a lo largo de canales específicos. Pusimos a prueba la colocación de vertederos a lo largo de tres canales principales: Cuarezma, Jagüitas 1 y Jagüitas 2. Cinco de los vertederos se simularon a lo largo del canal de Cuarezma, tres a lo largo de Jagüitas 1 y tres a lo largo de Jagüitas 2.

Los resultados indican que los vertederos parecen ser insuficientes para hacer frente a los flujos de agua como resultado de las tormentas del diseño a 25, 50, y 100 años, tanto para los escenarios CA como para los CA y CC + FUS. Tal como se muestra en la Figura 6.6, los cambios en la anchura y la profundidad de flujo fueron marginales y, por lo tanto, la instalación de vertederos no prueba ser una medida eficaz de control de las inundaciones.

<sup>37</sup> ASCE and EPA, 2002. Urban Stormwater BMP Performance Monitoring. A Guidance Manual for Meeting the National Stormwater BMP Database Requirements. GeoSyntec Consultants Urban Drainage and Flood Control District and Urban Water Resources Research Council (UWRRC) of American Society of Civil Engineers.

Figura 6-6: Resultados de la Adaptación #4 expresados como parámetros hidráulicos del canal –en inglés–



Source: ERM, 2013.

## 6.2 Resumen de los resultados

Las adaptaciones propuestas por las partes interesadas incluían medidas convencionales diseñadas para manejar las aguas pluviales (por ejemplo, estanques de retención, presas), así como medidas para reducir la escorrentía mediante la conservación de uso del suelo y el aumento de la infiltración del suelo. A continuación se presenta un resumen de nuestros hallazgos para cada una de las adaptaciones evaluadas.

**Adaptación #1: Construcción de la *Micropresa El Tránsito*.** Esta medida demostró solo mejoras marginales en los caudales máximos en todos los escenarios. La ubicación y la capacidad de la estructura de retención fueron optimizadas dentro de los parámetros dados por ALMA, sin embargo, los resultados fueron insatisfactorios. A pesar de que ALMA posee capacidad técnica para diseñar y ejecutar esta medida, nuestro análisis sugiere que el suelo y el costo también pueden ser factores

limitantes. La construcción de la *Micropresa El Tránsito* podría costar alrededor de US\$ 2 millones<sup>38</sup>, un costo que no podría justificarse en vista de los resultados técnicos desfavorables. Además, es probable que la tierra sea escasa y cara, dada la extensión de urbanismo en las zonas donde más se necesita un control del flujo.

**Adaptación #2: Revestimiento del Canal y Mejoras.** Los resultados indicaron el potencial de mejora en los canales para mitigar las inundaciones relacionadas con el drenaje en transectos específicos. Las dimensiones de canales más grandes, lechos del canal y vertientes superficiales más suaves y canales libres de basura, indicaron mejorar la conducción hidráulica. El revestimiento de los canales también puede proporcionar beneficios estéticos y de salud (es decir, la eliminación de las piscinas de agua estancada).

Al mejorar los canales, puentes y alcantarillas, también se deben diseñar para transmitir la escorrentía superficial asociada con el volumen y la intensidad debido al aumento de las lluvias (tal como se muestra en el escenario FUS CC +). Las mejoras a los canales también pueden combinar el uso de materiales de revestimiento infiltrables. La limpieza y mantenimiento adecuados de los canales deben ser considerados para todos los canales y cursos de agua existentes.

**Adaptación #3: Conservación del Uso del Suelo y Aumento de la Capacidad de Infiltración.** El aumento de la capacidad de infiltración a lo largo de las cuencas fue la solución ensayada más eficaz. La implementación de prácticas diseñadas para reducir o almacenar la escorrentía, tendría un mayor efecto en la reducción del riesgo de inundación que cualquiera de las medidas de adaptación evaluadas. Estas prácticas también pueden implementarse en microescalas usando un enfoque distribuido, y existen varios diseños para una serie de usos residenciales y no residenciales<sup>39</sup>.

Los resultados también pusieron de relieve la importancia de preservar las superficies infiltrables existentes. Como era de esperarse, la reforestación también tuvo un impacto positivo al aumentar el tiempo que toma para que la escorrentía fluya desde el punto más remoto hasta el punto más bajo de la cuenca (es decir, tiempo de concentración).

**Adaptación #4: Instalación de Vertederos.** Basados en los resultados de los modelos, la instalación de vertederos a lo largo de los canales de Cuarezma, Jagüitas 1 y Jagüitas 2 parecen ser insuficientes para controlar los flujos asociados con las tormentas en los diseños a 25, 50 y 100 años. Con el tiempo, los vertederos también tienden a acumular sedimentos, basura y otros tipos de residuos, alterando así las condiciones hidráulicas a lo largo de los canales<sup>40</sup>.

Es importante señalar que según la experiencia<sup>41</sup> de ALMA, la construcción de vertederos en los canales ha ayudado a aliviar los problemas de inundaciones en el pasado, particularmente para las precipitaciones de menor intensidad. A pesar de que estas estructuras no demostraron ser satisfactorias para los eventos simulados, esto no debe desalentar a que se consideren para otras aplicaciones, especialmente teniendo en cuenta su bajo costo y facilidad de instalación. Se debe prestar especial atención a su diseño, para garantizar que sus dimensiones y la ubicación sean óptimas para las características del canal (por ejemplo, la pendiente, el tamaño, las condiciones). El costo estimado para la construcción de un vertedero en Managua es de US\$ 120.000<sup>42</sup>.

<sup>38</sup> ALMA, 2013. Obras de Drenaje Pluvial Municipio de Managua. Alcaldía de Managua. Dirección General de Proyectos. August 2013.

<sup>39</sup> <http://vwrrc.vt.edu/swc/NonPBMPSpecsMarch11/VASWMBMPSpec8INFILTRATION.html>

<sup>40</sup> ASCE and EPA, 2002. Urban Stormwater BMP Performance Monitoring. A Guidance Manual for Meeting the National Stormwater BMP Database Requirements. GeoSyntec Consultants Urban Drainage and Flood Control District and Urban Water Resources Research Council (UWRRC) of American Society of Civil Engineers.

<sup>41</sup> Comunicación personal con el Ing. Fredy Sarria y Maritza Maradiaga.

<sup>42</sup> ALMA, 2013. Obras de Drenaje Pluvial Municipio de Managua. Alcaldía de Managua. Dirección General de Proyectos. August 2013.

## 7. Recomendación principal y conclusión

El desarrollo urbano rápido y generalizado de Managua ha dado lugar a la sustitución de los suelos naturales y la vegetación con superficies impermeables tales como carreteras, edificios, viviendas y suelos compactados; los cuales carecen de la capacidad para capturar y almacenar las lluvias (a través de la infiltración), lo que resulta en mayores tasas de escorrentía de aguas pluviales. Los funcionarios del gobierno han tratado de manejar las aguas pluviales desviándolas hacia una red de drenaje natural de arroyos y canales naturales y artificiales e invirtiendo en medidas convencionales de control de flujo, tales como zanjas, alcantarillas y pozos de retención.

Los esfuerzos para desarrollar una red de drenaje urbano no han dado resultados adecuados. Los factores tales como fondos limitados para invertir en infraestructura, la falta de un adecuado mantenimiento de los activos existentes y las normas de diseño anticuadas, limitan aún más los esfuerzos para controlar la escorrentía. Hoy en día, un gran número de comunidades, como las destacadas en este caso de estudio, viven bajo la amenaza de inundaciones y experimentan frecuentes impactos socioeconómicos y de salud pública.

Los análisis hidrológicos e hidráulicos, llevados a cabo para este estudio, no solo ponen de relieve la urgencia de acciones dirigidas a la prevención de las inundaciones asociadas con grandes tormentas, es decir, aquellas con un 1:25, 1:50, o 1:100 de probabilidad de ocurrencia en un año cualquiera, sino que también ponen de relieve la necesidad de repensar las prácticas convencionales de las aguas pluviales, ya que, en algunas áreas y en algunas comunidades, las inundaciones son un peligro que afecta a los residentes año tras año.

El paradigma que ha dominado el manejo convencional de las aguas pluviales es que “las aguas pluviales son indeseables y deben ser retiradas del lugar lo más rápido posible para lograr un buen drenaje.”<sup>43</sup> Nuestro análisis técnico sugiere medidas convencionales de manejo de las aguas pluviales, tales como dispositivos para la retención y control del flujo, figuran como los dispositivos de control más bajos en términos de efectividad. El volumen de la escorrentía de aguas pluviales generado por los eventos de lluvia de intensidad creciente que se prevén para Managua, es simplemente demasiado grande para ser manejado por el sistema de drenaje urbano existente, incluso después de probar algunas mejoras potenciales.

El rediseño y reconstrucción de un sistema de drenaje urbano resistente al cambio climático es probable que sea demasiado costoso y que posiblemente enfrente desafíos técnicos, ambientales y sociales insuperables. Además, las mejoras en el flujo en un lugar dado puede llevar a cuellos de botella en otros lugares; por lo tanto, una revisión del drenaje urbano sería una empresa a gran escala.

<sup>43</sup> Prince George County's Department of Environmental Resources, Maryland, June 1999. *Low-Impact Development Design Strategies: an Integrated Design Approach*. Page 4.

Las adaptaciones más eficaces evaluadas en este estudio, se basaron en los aumentos de la capacidad de infiltración a través de la cuenca. La Adaptación #3 incorpora acciones destinadas a restablecer las funciones hidrológicas pre-desarrollo, tales como la intercepción, el almacenamiento, y la infiltración. Modelamos números de curva más bajos y más altos, y abstracciones iniciales de lluvia, como un medio para imitar el régimen hidrológico de predesarrollo, en términos de capacidad de infiltración y los volúmenes de escorrentía resultantes. Los resultados obtenidos por este método mostraron reducciones más significativas en los flujos máximos en las intersecciones de flujo modeladas. Combinadas con otras medidas estructurales y basadas en políticas, este enfoque ofrece las mejores posibilidades para reducir el riesgo a las inundaciones de manera significativa en una región propensa a la variabilidad climática y los ciclones tropicales.

### *Recomendación Principal*

Con el fin de replicar la hidrología predesarrollo en Managua, se propone un cambio en las prácticas de manejo de las aguas pluviales hacia un enfoque de Desarrollo de Bajo Impacto (LID), que comprende técnicas para almacenar, infiltrar, evaporar, y detener el escurrimiento a nivel de la parcela o vecindario individual. Estas técnicas se centran en el manejo de las aguas pluviales en la fuente, en contraste con el manejo de la escorrentía mediante costosas y grandes instalaciones de drenaje y de retención.

El LID se basa en conceptos que incluyen “tener en cuenta la hidrología del sitio como un enfoque de diseño, minimizar la impermeabilidad, desconectar las superficies impermeables, aumentar las trayectorias de flujo, y definir y emplazar los controles de micromanaje”. En la práctica, las técnicas LID se pueden aplicar a cualquier desarrollo sub-urbano residencial, comercial, e industrial. Si están situadas, diseñadas y operadas correctamente, las prácticas LID pueden tener beneficios económicos y ambientales para Managua, y representan un ahorro de costes de alrededor un 15 % a 80 % en comparación con las prácticas convencionales.

Ejemplos de prácticas LID incluyen dispositivos bio-retención, pozos de infiltración y zanjas, techos verdes, adoquines permeables, barriles para atrapar la lluvia y cisternas, cajas filtros de árbol, la preservación de suelos infiltrables y revegetación, entre otras. La elección de la técnica depende en gran medida del sitio y la función hidrológica deseada. Para definir un paquete de opciones adecuadas, para un sitio específico o un grupo de sitios, este debe ir precedido de una evaluación hidrológica para determinar el manejo de aguas pluviales deseado y definir las medidas que pueden implementarse.

La principal recomendación de ERM es desarrollar un programa de inversiones para poner a prueba enfoques piloto para integrar de las técnicas basadas en LID en Managua. Un programa de inversión de enfoques piloto basados en LID podría tener tres etapas bien diferenciadas de acción:

**Parcelas residenciales de tamaño grande y mediano.** Las propiedades de suficiente tamaño serían adecuadas para la instalación de dispositivos individuales para la recolección de agua de lluvias, tales como barriles para atrapar la lluvia o pozos de infiltración. El gobierno local proporcionaría el equipo y el “know-how”. El costo de la instalación sería en parte responsabilidad del propietario o totalmente subvencionado a través de un crédito fiscal.

**Unidades pequeñas y viviendas de interés social.** En las zonas densamente urbanizadas compuestas por parcelas más pequeñas, un enfoque en función de las características del sitio sería desviar el agua de lluvia de cada casa individual, hacia un pozo o zanja de infiltración central. El costo de las obras civiles probablemente sería acarreado por el gobierno local, pero las evaluaciones directas podrían ser colocadas en todas las viviendas beneficiadas por mejoras específicas. Se podría proveer incentivos para mejoras individuales, tales como la distribución de bonos ambientales.

**Propiedades industriales, comerciales e institucionales.** Estas propiedades pueden ser identificadas durante la planificación y requerirles que recojan su propia agua de lluvia. A los propietarios se les da la opción de instalar los sistemas de almacenamiento (para las descargas después de que la tormenta haya pasado) o dispositivos de infiltración. El costo sería asumido por los propietarios. Podría haber créditos fiscales disponibles para subsidiar en parte o totalmente las mejoras.



### *Consideraciones de Costos y Beneficios*

El área comprendida por la cuenca OJC alberga una base de activos públicos y privados de importancia relativa a la vida comercial y social de Managua. Esta infraestructura incluye varias instalaciones de salud (incluso un hospital de atención especializada), varios campos deportivos y parques de la vecindad, los dos mercados más grandes de Managua (Oriental y Roberto Huembes), más de 100 escuelas primarias y secundarias, algunos de los más grandes e importantes centros comerciales, varios hoteles, monumentos de la ciudad y las oficinas gubernamentales. Esta cuenca alberga también varios desarrollos residenciales (planificados y no planificados) que representan una amplia gama de niveles de ingreso.

La importancia de la base de activos en OJC significa que, cuando se produce la inundación, se pueden esperar impactos económicos negativos, proporcionales a la magnitud del evento de inundación. Algunos impactos económicos son explícitos, tales como las que resultan de la pérdida en las ventas minoristas y los daños a la propiedad y los hogares. Otros costos están ocultos porque no son fácilmente cuantificables, tales como la pérdida de productividad y el costo de oportunidad asociado a los valores inmobiliarios deprimidos en las zonas propensas a las inundaciones.

Al evaluar los beneficios de la reducción potencial de riesgo a las inundaciones y la ocurrencia, la atención se centra en la estimación de los siguientes parámetros:

- Daños directos a la propiedad residencial y enseres domésticos;
- Pérdidas en la productividad (es decir, pérdidas de ingreso personal);
- Impacto negativo en el valor de la vivienda; y
- Baja tasa de inversión en la propiedad (es decir, costo de oportunidad).

Se desarrolló un análisis preliminar de costos y beneficios para representar estas pérdidas como base para determinar el costo-efectividad de las mejoras potenciales. En términos generales, las pérdidas económicas privadas y públicas evitadas por acciones dirigidas a reducir las inundaciones constituyen sus beneficios. Según las primeras estimaciones, el coste total de las inundaciones en la cuenca del OJC osciló entre US\$152 millones y US\$221.5 millones, por un período de 20 años. Basados en supuestos específicos, las mejoras de mitigación de inundaciones con un valor actual de menos de US\$152 millones serían económicamente viables.

Un aspecto clave en el desarrollo e implementación del programa piloto es el diseño de un sistema de recuperación de costos que sea equitativo, transparente y autosuficiente. En términos de equidad, los costos de ciertas mejoras pueden ser asumidos por unos pocos, pero los beneficios al evitar las inundaciones pueden ser obtenidos por muchos. Por lo tanto, es importante difundir el coste total de la infraestructura de mitigación de inundaciones en todos los hogares, ponderado, quizás por un índice de valor relativo de la tierra.

La cuestión de los derechos de propiedad también debe ser contemplada en el programa piloto. En los barrios de bajos ingresos, y especialmente entre los más pobres, es común encontrar granjas que todavía no tienen un título seguro de sus tierras. Como resultado, existe un incentivo reducido para que los hogares hagan mejoras permanentes a su vivienda. Por lo tanto, la titulación de propiedades para promover mejoras en el hogar y reducir el costo de los daños de las inundaciones debe ser tomada en consideración.

Un régimen ordenado de tenencia de la tierra también facilitaría el uso de los impuestos a la propiedad como un mecanismo de recuperación de costos. Los créditos, en lugar de impuestos a la propiedad, podrían darse para mejoras que beneficien directamente a los hogares que pagan por eso. En el caso de los hogares con un título limpio que ya están pagando impuestos a la propiedad, cualquier aumento de los impuestos ligados a la mitigación de inundaciones debe ser gastado en la mitigación de inundaciones por el gobierno local.



### *Consideraciones Institucionales*

El proceso para la selección y el diseño de técnicas LID del sitio específico se basa en una evaluación hidrológica para identificar los objetivos de control. La experiencia hidrológica se puede encontrar en ALMA, INETER y otras instituciones locales. Sin embargo, las iniciativas de transferencia de tecnología pueden ser necesarias para introducir las aplicaciones basadas en LID e institucionalizar los procedimientos para una planificación basada en LID, incluyendo el diseño del sitio, el análisis hidrológico, la selección de la técnica y evaluación, la planificación y ejecución de proyectos, y la difusión pública.

Las técnicas LID son intervenciones tecnológicas relativamente simples. Dada la experiencia previa de ALMA en el diseño y ejecución de obras civiles de drenaje, esperamos que exista dentro de la organización, la capacidad suficiente, además de los recursos y experiencia en el sector privado.

Además de implementar técnicas LID, de restaurar funciones hidrológicas previas al desarrollo de la cuenca, se requerirán esfuerzos activos para preservar y aumentar, en la medida de lo posible, la cubierta vegetal de la tierra. Es importante tener en cuenta los resultados positivos asociados a la Adaptación #3 que asumen áreas no desarrolladas y mantienen su capacidad de infiltración actual o su conversión no presupone ningún escurrimiento adicional. Los planes específicos para identificar áreas adecuadas para la preservación del uso del suelo y la revegetación, deben desarrollarse en el ámbito municipal. La coordinación entre los municipios y las instituciones desempeñaría un papel clave en ejercer y hacer cumplir esos planes.

### *Consideraciones Ambientales*

Las medidas para mejorar la capacidad de infiltración y aumentar la cubierta vegetal son también susceptibles de generar beneficios ambientales. Uno de estos beneficios es la posibilidad de recarga de aguas subterráneas, dado que un porcentaje considerable de la abstracción de la precipitación se infiltra en el suelo y puede contribuir a la recarga de aguas subterráneas. Por otra parte, el agua infiltrada también puede llevar contaminantes que no sería deseable encontrar en el agua subterránea. Un análisis más detallado podría ser necesario para evaluar la idoneidad del agua de lluvia recogida en residencias para la infiltración, mientras que el agua de lluvia recogida por los polígonos industriales puede llevar a un riesgo de contaminación que requeriría una solución basada en el almacenamiento. Esta es una consideración que debe ser incluida en la formulación de una estrategia de control del sitio.

Más allá de las aguas subterráneas, los problemas ambientales asociados con la distribución, las técnicas LID a pequeña escala y el uso, conservación/mejoras del suelo están típicamente asociados con las actividades de construcción y pueden incluir reducciones a corto plazo en la calidad del aire, el ruido y la vibración y la estética. Dada la pequeña escala de las obras relacionadas con la infiltración, estos impactos tienden a ser manejable.

### *Consideraciones Sociales*

Se espera que el programa piloto proporcione impactos positivos, directos e indirectos, significativos. Los beneficios más destacados se refieren a la reducción de los efectos adversos causados por las inundaciones, tales como los daños a la propiedad y a enseres para el hogar, la pérdida de ingresos y tiempo de escuela, el aumento del riesgo de enfermedades y valores deprimidos de propiedad. Los beneficios esperados incluyen la mejora de las condiciones socioeconómicas (debido al aumento de la productividad) y las mejoras en la calidad de vida cuando las inundaciones dejan de ser una preocupación recurrente.

El programa integraría un componente de transferencia de tecnología para construir la capacidad local en el nuevo enfoque del manejo de las aguas pluviales. Un componente de educación ambiental también sería crucial para la implementación de estrategias basadas en LID y para dar a conocer los sistemas de alerta y respuesta vigentes. El resultado final sería una mejora en la capacidad de adaptación a los impactos esperados por el cambio climático.



## 8. Referencias

ALMA, 2013. Obras de Drenaje Pluvial Municipio de Managua. Alcaldía de Managua. Dirección General de Proyectos. Agosto 2013.

Abt Associates Inc., 1995. Estudio de Factibilidad del Programa de Manejo de la Cuenca del Lago de Managua, Alcaldía de Managua.

ALMA, 2013. Obras de Drenaje Pluvial Municipio de Managua. Alcaldía de Managua. Dirección General de Proyectos. Agosto 2013.

ASCE and EPA, 2002. Urban Stormwater BMP Performance Monitoring. A Guidance Manual for Meeting the National Stormwater BMP Database Requirements. GeoSyntec Consultants Urban Drainage and Flood Control District and Urban Water Resources Research Council (UWRRC) of American Society of Civil Engineers.

ASCE and EPA, 2002. Urban Stormwater BMP Performance Monitoring. A Guidance Manual for Meeting the National Stormwater BMP Database Requirements. GeoSyntec Consultants Urban Drainage and Flood Control District and Urban Water Resources Research Council (UWRRC) of American Society of Civil Engineers.

ASCE and EPA. 2002. *Urban Stormwater BMP Performance Monitoring: A Guidance Manual for Meeting the National Stormwater BMP Database Requirements*. GeoSyntec Consultants for the Urban Drainage and Flood Control District and Urban Water Resources Research Council (UWRRC) of the American Society of Civil Engineers.

Bárcena, A., Prado, A., Beteta, H., Samaniego, J.L., Lennox, J. (2012). The Economics of Climate Change in Central America: Summary 2012. ECLAC, UKAid, CCAD, SICA.

Centers for Disease Control and Prevention (2012). Dengue: Entomology and Ecology.

Consortio INDES/CABAL/NICATIERRA. Mayo 2004. "Plan Municipal para la Prevención y Mitigación de Desastres Naturales en el Municipio de Managua".

"Comunidades rurales olvidadas". *La Prensa*. November 25, 2013.

Desinventar (2013). Nicaragua – Historical Inventory of Disasters. Available at: <http://www.desinventar.org/en/database>

<http://vwrrc.vt.edu/swc/NonPBMPSpecsMarch11/VASWMBMPSpec8INFILTRATION.html>

INIDE (2005). *VIII Population Census and IV Household Census*.

Inter-American Development Bank (2009). *New Release: Nicaragua to improve Lake Managua's southern watershed drainage with IDB assistance*. Available at: <http://www.iadb.org/en/news/news-releases/2009-12-02/nicaragua-to-improve-lake-managuas-southern-watershed-drainage-with-idb-assistance,6003.html>

Leary, N. et al. (2007). *Assessment of Impacts and Adaptation to Climate Change: Final Report of the AIACC Project*. Global Environmental Facility. The International START Secretariat. Washington, DC.

McCarthy, J. et al. (2001). *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge University Press, New York.

McCuen, R.H. 1989. *Hydrologic Analysis and Design*. Prentice Hall. ISBN 0-13-447954-8.

Mertz, O. et al. (2009). *Adaptation to Climate Change in Developing Countries*. Environmental Management. Issue 43, pp 743-752.

Mertz, O., Halsnæs, K., Olesen, J., Rasmussen, R. 2009. *Adaptation to Climate Change in Developing Countries*. Environmental Management 43:743-752.

Municipality of Managua. *Plan General de Desarrollo Municipal*.

National Safety Council (2009). *Air Quality Problems Caused by Floods*. Available at: [http://www.nsc.org/news\\_resources/Resources/Documents/Air\\_Quality\\_Problems\\_Caused\\_by\\_Floods.pdf](http://www.nsc.org/news_resources/Resources/Documents/Air_Quality_Problems_Caused_by_Floods.pdf)

"Nicaragua improves ability to respond to natural disasters with IDB support". *IADB News Releases*. Noviembre 27, 2013. Available at: <http://www.iadb.org/en/news/news-releases/2013-11-27/nicaragua-improves-respond-to-natural-disasters,10676.html>

NOAA National Climatic Data Center (2009). *Mitch: The Deadliest Atlantic Hurricane since 1780*. Available at: <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/reports/mitch/mitch.html>

Occupational Health and Safety Administration. *Fact Sheets on Natural Disaster Recovery* (n.d.). Available at: <https://www.osha.gov/OshDoc/floodCleanup.html>

Prince George County's Department of Environmental Resources, Maryland. Junio 1999. *Low-Impact Development Design Strategies: an Integrated Design Approach*. Página 4.

Prince George County's Department of Environmental Resources, Maryland. Junio 1999. *Low-Impact Development Design Strategies: an Integrated Design Approach*. Página 6.

United Nations Framework Convention for Climate Change

US Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center - River Analysis System, HEC-RAS. <http://www.hec.usace.army.mil/software/HEC-RAS/>

US Army Corps of Engineers. 2010. Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System, HEC-HMS. User's Manual Version 3.5. Agosto 2010. US Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center. <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>

Wanielista, M., Kersten, R., and Eaglin, R. 1997. *Hydrology, Water Quantity and Quality Control*. 2<sup>nd</sup> Edition John Wiley and Sons, Inc.

World Health Organization (n.d.). Flooding and communicable diseases. Available at: [http://who.int/hac/techguidance/ems/flood\\_cds/en/](http://who.int/hac/techguidance/ems/flood_cds/en/)



# Anexo A:

## *Línea Base de las Condiciones Existentes* **Adaptación al Cambio Climático y Manejo Integrado de los Recursos Hídricos en Managua, Nicaragua**

### Contenido

A.0	Caracterización de la línea base del área de estudio .....	74
A.1	Área de estudio .....	75
	A.1.1 Área de estudio de la cuenca del Lago de Managua.....	75
	A.1.2 Área de estudio a nivel urbano.....	77
A.2	Características físicas.....	79
	A.2.1 Geología y topografía .....	79
	A.2.2 Suelos y capacidad de infiltración.....	81
	A.2.3 Cubierta vegetal y uso de la tierra .....	83
	A.2.4 Temperatura y precipitación.....	85
	A.2.5 Abastecimiento de agua e infraestructura de saneamiento .....	87
A.3	Datos socioeconómicos y demográficos .....	90
	A.3.1 Características demográficas.....	90
	A.3.2 Características socioeconómicas .....	99
	A.3.3 Infraestructura social .....	106



<b>A.4</b>	<b>Contexto político e institucional.....</b>	<b>111</b>
A.4.1	Manejo de los recursos hídricos.....	111
A.4.2	Política y estrategia nacional sobre el cambio climático.....	113
A.4.3	Política nacional del manejo de riesgos de desastres.....	114
A.4.4	Orientación internacional importante sobre el cambio climático y la adaptación ..	115

## Lista de Tablas

A-1	Cuencas de drenaje del Lago de Managua.....	75
A-2	Distribución histórica del uso de la tierra en Managua.....	85
A-3	Características de la población por distrito, 2005.....	93
A-4	Categorías de empleo por sexo en el municipio de Managua, 2005.....	99
A-5	Distribución de la fuerza laboral por sector o actividad .....	101
A-6	Instalaciones de salud por distrito en el municipio de Managua.....	110
A-7	Acuerdos multilaterales internacionales ratificados por Nicaragua .....	115

## Lista de Figuras

A-1	Área de estudio de la cuenca del Lago Managua.....	77
A-2	Cuenca de drenaje del sur del Lago Managua.....	77
A-3	Cuatro microcuencas dentro de la subcuenca II (área de estudio del nivel urbano) .....	78
A-4	Geología y litología en cuenca del gran Lago Managua.....	80
A-5	Distribución de los tipos de suelos en la cuenca del gran Lago de Managua.....	82
A-6	Cubierta vegetal en la cuenca del gran Lago de Managua (2009).....	83
A-7	Cobertura de la tierra en el área de estudio del nivel urbano (2010).....	84
A-8	Temperaturas mensuales promedio para Managua, 1980-2010.....	86
A-9	Registros de precipitación mensual promedio para Managua, 1980 -2010.....	87
A-10	Distribución de ríos y arroyos en el área de estudio .....	89
A-11	Distribución de pozos de agua en la ciudad de Managua.....	90
A-12	Distribución de la población por barrio, 2005.....	91
A-13	Número de hogares por barrio, 2005 .....	92



A-14	Densidad de personas por vivienda por barrio, 2005.....	93
A-15	Patrones de uso de la tierra en el 2010, municipio de Managua.....	94
A-16	Patrones de uso de la tierra en el 2010, municipio de Managua.....	95
A-17	Lugar de nacimiento de los residentes de Managua, 2005 .....	96
A-18	Pirámide de la población, municipio de Managua, 2005 .....	97
A-19	Asistencia a la escuela primaria por grupo de edades, municipio de Managua, 2005.....	98
A-20	Tasas de analfabetismo por distrito y sexo, municipio de Managua, 2005.....	99
A-21	Tipos de trabajadores por sexo en el municipio de Managua, 2005 .....	100
A-22	Actividad económica y tipo de empleo en la población mayor de 10 años, municipio de Managua, 2005 .....	102
A-23	Distribución de la pobreza por barrio, 2005 .....	103
A-24	Clasificación nbi por barrio 2005.....	104
A-25	Características de la vivienda por distrito, municipio de Managua, 2005.....	105
A-26	Cobertura de la red de energía eléctrica por barrio, 2005.....	106
A-27	Cobertura del sistema de alcantarillado sanitario por barrio .....	107
A-28	Cobertura de servicio de recolección de residuos sólidos por barrio .....	108
A-29	Cobertura del sistema de agua potable por barrio.....	109



## A.0 Caracterización de la línea base del área de estudio

Esta línea de base hace hincapié en los aspectos que influyen en la vulnerabilidad de los grupos de interés a los riesgos inducidos por el cambio climático, como las inundaciones urbanas y el ascenso del nivel del lago. Los datos físicos, hidrológicos, ambientales y socioeconómicos que se presentan en esta sección proporcionan la base para entender la propensión a riesgos inducidos por el clima de ocurrir, y la evaluación de los impactos resultantes y la vulnerabilidad a nivel de la comunidad.

Esta línea base contiene tres subsecciones principales:

- **Características Físicas:** proporcionan una descripción de alto nivel de los aspectos relacionados con la geología, topografía, uso del suelo/cobertura de la tierra, la capacidad de infiltración del suelo, el clima y la hidrología. Estos datos proveen insumos clave para el análisis hidrológico basado en modelos.
- **Datos Socioeconómicos y Demográficos:** resumen los datos basados en el censo y la investigación secundaria sobre la población, la densidad de población, el nivel educativo, el nivel socioeconómico, las actividades económicas y la infraestructura pública. Esta información se presenta como contexto para entender los factores que impulsan la vulnerabilidad de la comunidad.
- **Contexto Político e Institucional:** incluye la legislación local, reglamentos e instituciones relacionadas con el manejo de los recursos hídricos y la gestión de la preparación/respuesta de emergencia. Este esquema sirve como contexto para la caracterización de la capacidad local para implementar medidas de adaptación y hacer frente a los riesgos naturales inducidos por el clima.

Donde sea procedente, esta de línea base documenta las tendencias observadas en los cambios del medio ambiente humano y natural, debido a los patrones de crecimiento, independientemente del cambio climático. Por lo tanto, el objetivo de esta línea base es apoyar el entendimiento de la vulnerabilidad futura, basado no solamente en una visión estática de la sociedad, sino más bien teniendo en cuenta los cambios importantes en los patrones socioeconómicos y en el uso del suelo.

Esta línea base fue desarrollada con la información pública disponible en línea o recopilada durante una visita de campo de tres días que ERM realizó en diciembre de 2012. ERM también favoreció un taller de creación de capacidades en julio de 2013, que produjo input de las partes interesadas clave, relevantes para el proceso de adaptación. En octubre de 2013, se obtuvieron datos adicionales a nivel comunitario, a través de grupos focales y entrevistas semiestructuradas en tres barrios<sup>1A</sup>. Los resultados de ese esfuerzo de campo han servido también para mejorar el contenido de esta línea de base.

Los datos han sido compilados en dos escalas distintas. La primera se centra en la Cuenca del Lago de Managua, que se compone de trece subcuencas. La segunda se centra en el área urbana de Managua. La Sección 2.1 describe las áreas de estudio consideradas en el Proyecto.

<sup>1A</sup> Nombre de ERM, una empresa de consultoría local (Jerez & Asociados) efectuó visitas a tres barrios en Managua, que fueron seleccionadas de acuerdo con el criterio de priorización como comunidades consideradas especialmente vulnerables.

## A.1 Área de estudio

La Cooperación Técnica da prioridad a la formación de la capacidad de adaptación y la resiliencia en el sector hídrico y de saneamiento que presenta tanto una alta vulnerabilidad y una alta probabilidad de impactos significativos de los riesgos inducidos por el clima. Estos peligros incluyen inundaciones asociadas con el ascenso del nivel del agua del Lago de Managua y eventos de inundaciones urbanas de gran extensión y duración.

Como resultado, ERM identificó dos áreas distintas de estudio:

- **Área de Estudio de la Cuenca del Lago de Managua:** que incluye las trece cuencas de drenaje que desembocan en el lago y es compatible con el análisis de balance de agua del lago, que se basa en un modelo de escorrentía de la cuenca.
- **Área de Estudio a Nivel Urbano:** que corresponde con el límite del municipio de Managua y apoya la evaluación basada en modelos hidrológicos e hidráulicos de la inundación de las aguas pluviales en las secciones seleccionadas de la ciudad de Managua. Se seleccionaron cuatro microcuencas –Primavera, Hugo Chávez, Nejapa y Oriental-Jagüitas-Cuarezma– para un análisis detallado.

Las consultas iniciales arrojaron un mejor sentido de las prioridades claves de las partes interesadas. ALMA no consideró abordar las cuestiones de las inundaciones del nivel de agua del lago como la prioridad más urgente la adaptación, sino que prefirió que el proyecto concentrara sus recursos en evaluar en qué medida el cambio climático exacerbaría los desafíos ya críticos del drenaje urbano e identificar las inversiones para la adaptación que le permitiría a la ciudad, hacer planes piloto para mitigar las inundaciones urbanas y sentar las bases para el desarrollo de un plan maestro de drenaje urbano en el ámbito municipal. Como resultado de esto, esta línea base y los capítulos subsiguientes están enfocados en el *Área* de Estudio del Nivel Urbano.

### A.1.1 Área de estudio de la cuenca del Lago de Managua

El proyecto contempló la totalidad de la cuenca de drenaje del Lago Managua para evaluar los efectos potenciales del cambio climático sobre el balance hídrico del lago y las fluctuaciones resultantes en el nivel del lago.

La Tabla A1 enumera las trece subcuencas que conforman la cuenca del Lago de Managua, agrupadas de acuerdo con su orientación respecto del lago. La cuenca del Lago de Managua tiene una superficie de aproximadamente 5.334 km<sup>2</sup>.

**Tabla A-1** Cuencas de Drenaje del Lago de Managua

Orientación	Subcuenca	Área (km <sup>2</sup> )
Sur	I, II, III y IV	1,057
Norte	Viejo, Sinecapa, Obraje y Pacora Rivers	3,552
Este	Punta Huete, Las Maderas y Tipitapa	610
Este	Mateare-Nagarote	110
Isla	Momotombito Island	2.57

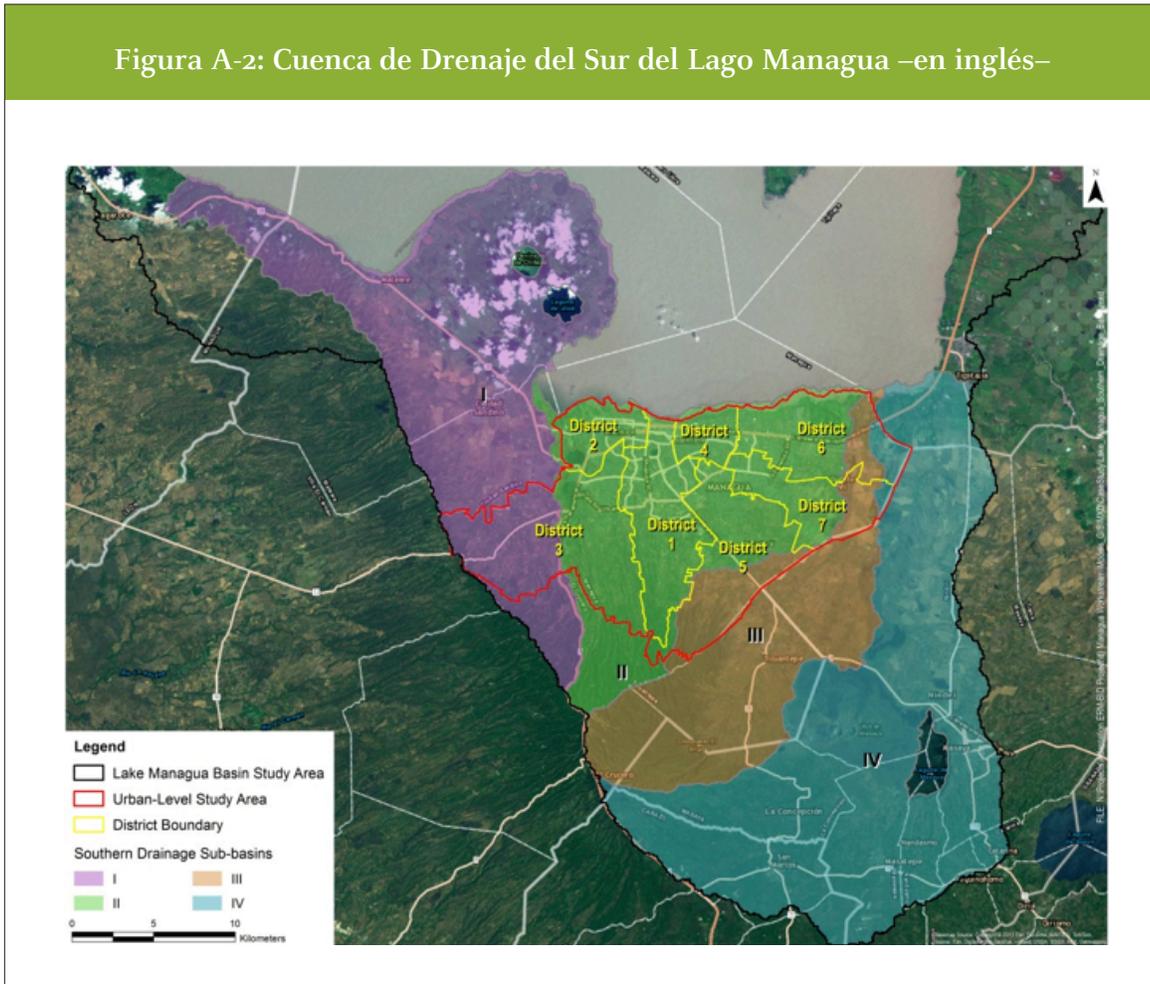
Fuente: ERM, 2013.



## A.1.2 Área de estudio a nivel urbano

Tal como se ilustra en la Figura A-2, la mayor parte de la zona urbana de Managua se encuentra dentro de la Subcuenca II, que cubre un área de 217 km<sup>2</sup> a través de los municipios de Managua y Masaya. La Subcuenca II forma parte de la cuenca sur de drenaje del Lago de Managua, que cubre un área de 825 km<sup>2</sup>. Cada una de las cuatro subcuencas (es decir, I, II, III, y IV) en el sur de la Cuenca de drenaje del Lago de Managua, tiene diferentes características geomorfológicas, ambientales y de desarrollo urbano.

Figura A-2: Cuenca de Drenaje del Sur del Lago Managua –en inglés–



Fuente: ERM, 2013.

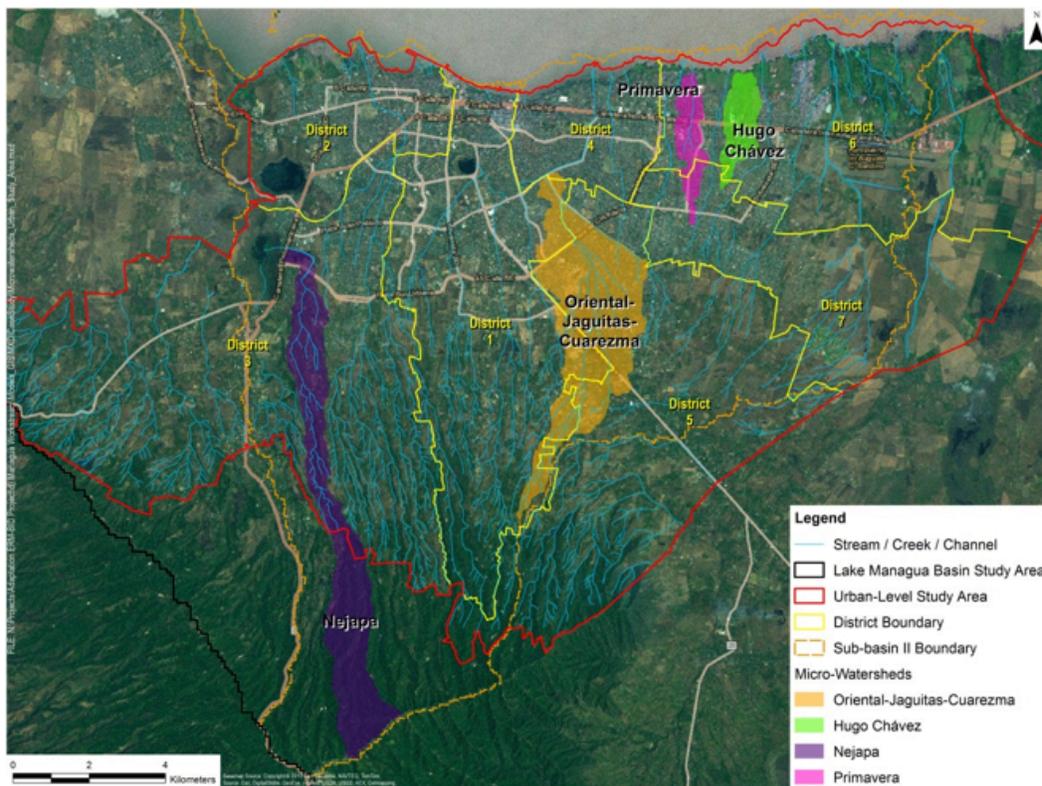
En respuesta a la retroalimentación de los interesados locales, el proyecto se centró en el proceso de adaptación y en entender las causas y las posibles soluciones a los ya apremiantes problemas de drenaje urbano dentro del área urbana central de Managua. En consulta con ALMA, el proyecto delineó cuatro áreas dentro

de la Subcuenca II sobrebasadas en la ubicación de un número de puntos de inundación críticos<sup>2A</sup> dentro de la ciudad. Estas áreas han sido denominadas microcuencas ya que estas corresponden a áreas de drenaje parciales de menor escala, dentro de la Subcuenca II. Se llevaron a cabo análisis hidrológicos de estas cuatro microcuencas.

Además de ser zonas propensas a las inundaciones, las cuatro microcuencas fueron seleccionadas para representar una serie de condiciones socioeconómicas y de desarrollo. Por ejemplo, estas áreas incluyen zonas residenciales establecidas, con una infraestructura adecuada y con servicios públicos, así como también zonas de rápida urbanización y donde actualmente se centran los asentamientos informales.

Para los propósitos de esta línea base, dado que los datos se encuentran fácilmente disponibles a nivel municipal, el Área de Estudio a nivel urbano corresponde con el límite del municipio de Managua. Donde viable, esta línea de base presenta datos a nivel de microcuencas. La Figura A-3 ilustra los límites del municipio de Managua y las cuatro microcuencas prioritarias, a saber, Primavera, Hugo Chávez, Nejapa y Oriental-Jagüitas-Cuarezma. En conjunto, estas áreas componen el Área de Estudio del Nivel Urbano.

Figura A-3: Cuatro Microcuencas dentro de la Subcuenca II (Área de Estudio del Nivel Urbano) –en inglés–



Fuente: ERM, 2013.

<sup>2A</sup> ALMA identificó estos lugares críticos basado en un estudio de riesgos de un desastre natural que ocurrió en el 2004 y basado en el conocimiento de ALMA de las áreas que presentan un riesgo alto de inundación.

## A.2 Características físicas

### A.2.1 Geología y topografía

En general, la geología<sup>3A</sup> de Nicaragua se caracteriza por una gran variedad de formaciones geológicas de diferente edad y origen, que van desde el Cretácico y Cuaternario hasta acumulaciones sedimentarias de deposiciones volcánicas del Terciario. La actividad volcánica continúa dando forma a la geología de la región, tal como se indica por la presencia de las últimas formaciones piroclásticas cerca del volcán Momotombo y los volcanes de la isla Ometepe (Ometepe Island).

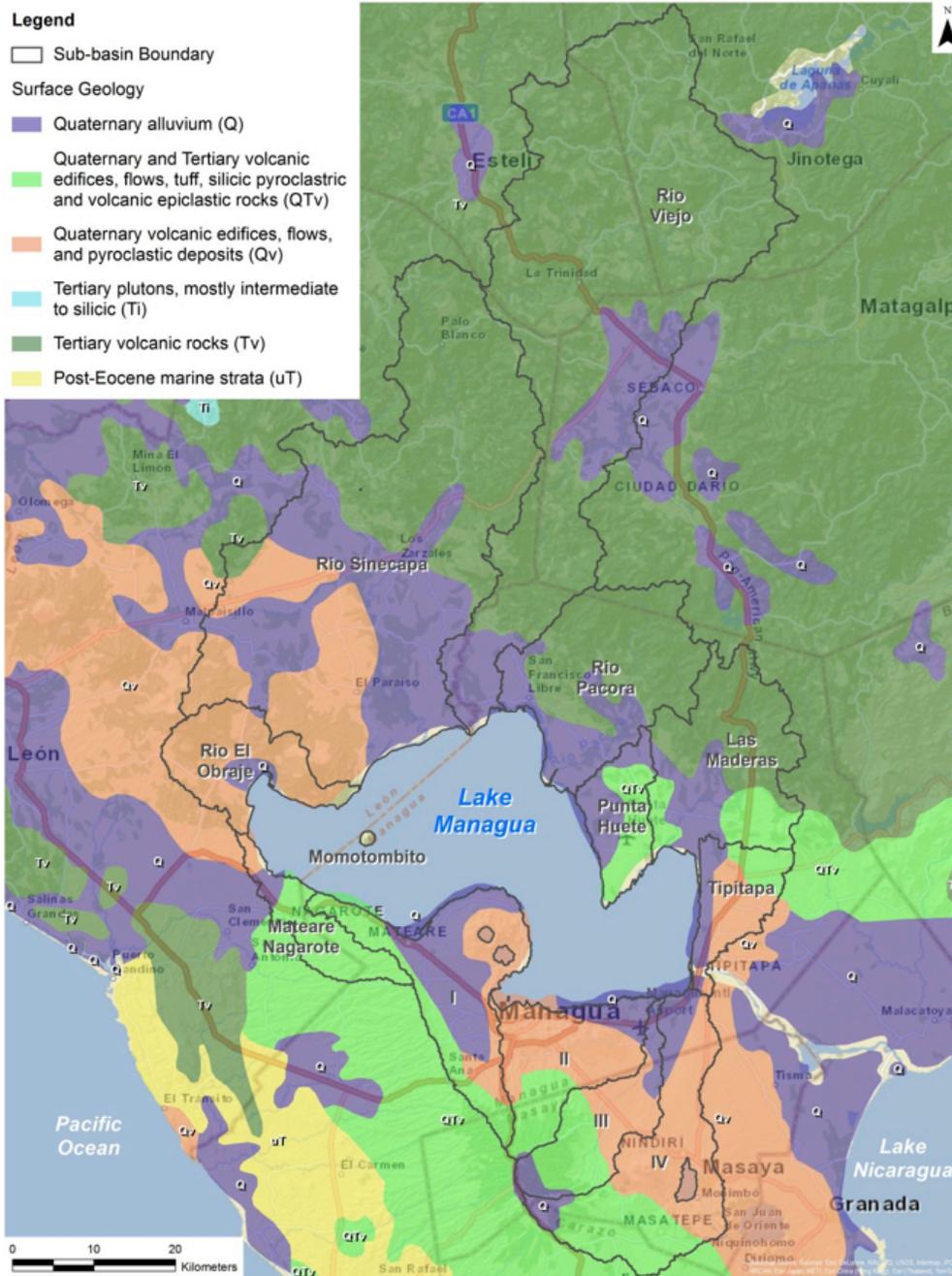
Como se ilustra en la FIGURA 4-A, la geología en el área comprendida en el Área de Estudio de la Cuenca del Lago de Managua está compuesta principalmente por estructuras litoestratigráficas de origen volcánico del Cuaternario y el Terciario. Su litología se caracteriza por sedimentos de arcilla, limo, arena y grava. Esta es la geología predominante para la mayor parte del área de estudio a nivel del lago, incluyendo la mayor parte urbana de Managua.

El área de estudio de la geología a nivel del lago, también está influenciada por los procesos geomorfológicos asociados a la cordillera volcánica de Maribios. Esta cordillera corre en dirección noroeste-sureste del Golfo de Fonseca, donde se encuentra el volcán Cosigüina, y los volcanes Concepción y Maderas, que se encuentran en la Isla de Ometepe en el Lago de Nicaragua. Esta zona de distribución también cuenta con una serie de lagunas formadas por cráteres extinguidos.

La topografía del área de estudio del nivel del lago incluye pendientes mayores de 50 %, cerca de conos volcánicos y montañas formadas por rocas volcánicas del Terciario. En otra parte del área de estudio del nivel del lago, incluyendo la parte urbana de Managua, la topografía se caracteriza por colinas ondulantes de suave relieve y llanuras horizontales, sobre todo en los alrededores del Lago de Managua, que en muchos casos se inundan en las épocas de lluvia.

<sup>3A</sup> Esta sección está basada en un estudio de 2010 publicado por el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA) titulado "Caracterización de la Cuenca No. 69 – Río San Juan". La información se ha complementado con información publicada por United States Geological Survey (USGS) en una base de datos titulada "United States Geological Survey (USGS)".

Figura A-4: Geología y Litología en Cuenca del Gran Lago Managua  
 –en inglés–



Fuente: Datos publicados por United States Geological Survey, 2004. Mapa por ERM.

## A.2.2 Suelos y capacidad de infiltración

Dos tipos de suelo, Entisoles y Molisoles, forman la composición del suelo predominante en el área de estudio<sup>4A</sup> de la Cuenca del Lago de Managua. Los Entisoles constituyen una gran parte del oeste y subcuencas norte del Lago de Managua. Al sur del Lago de Managua, incluyendo Managua urbana, los Molisoles se convierten en el tipo de suelo predominante.

Los Entisoles son suelos de origen reciente o que se encuentran en superficies muy erosionadas. Estos suelos se componen de ceniza piroclástica reciente o han erosionado un poco debido a los procesos geomorfológicos en arena, grava o sedimento volcánico. Estos suelos generalmente no son adecuados para el cultivo, pero son adecuados para la reforestación o regeneración natural.

Los Molisoles son el tipo de suelo predominante en el sur de la subcuenca del Lago de Managua. Estos suelos son típicos de los ecosistemas de pastizales y se caracterizan por un horizonte superficial grueso y oscuro. Este horizonte superficial fértil es el resultado de la adición a largo plazo, de los materiales orgánicos derivados de raíces de las plantas. Estos suelos son adecuados para el cultivo de sésamo, algodón, maní, sorgo, arroz, caña de azúcar y piña. La buena tierra y un clima favorable contribuyen a que esta región sea el centro económico y demográfico de Nicaragua.

Los otros tipos de suelos son el Inceptisol y Vertisol, que componen el resto del área de estudio. La Figura A-5 ilustra la distribución de los tipos de suelos en el área de estudio de la Cuenca del Lago de Managua.

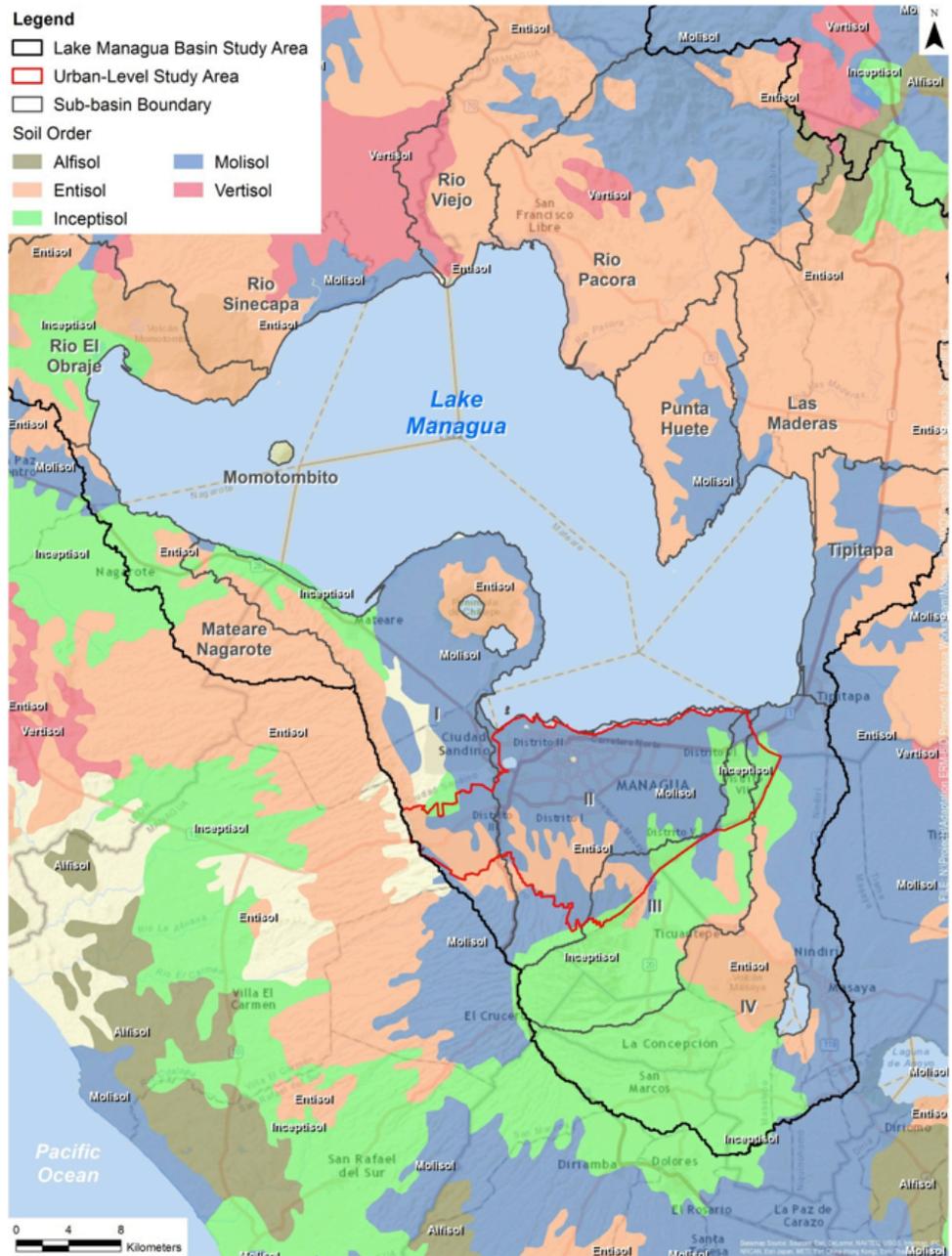
Diversos factores, tales como la textura y estructura del suelo, los tipos de vegetación y la cobertura, la humedad y temperatura del suelo y la intensidad de lluvia son los que determinan las tasas y la capacidad de infiltración. Cuando la precipitación excede la capacidad de infiltración, el exceso de agua se convierte en la escorrentía pluvial. La capacidad de infiltración depende de las características físicas del suelo y la cobertura de la tierra.

En el área de estudio de la Cuenca del Lago de Managua, las áreas que han sufrido la deforestación y erosión del suelo tienen tasas de infiltración más bajas. Los municipios como Santa Rosa del Peñón, El Jicaral y San Francisco Libre, que se encuentran en la parte norte de la subcuenca del Lago de Managua, han sido identificados como zonas propensas a la desertificación debido a los impactos agrícolas insostenibles y la erosión del suelo. La precipitación en estas áreas es probable que resulte en mayores tasas de escorrentía. Este es también el caso en las áreas altamente urbanizadas donde la permeabilidad del suelo es baja o nula.

<sup>4A</sup> MARENA, 2010. "Caracterización de la Cuenca No. 69 – Río San Juan." Managua.



Figura A-5: Distribución de los Tipos de Suelos en la Cuenca del Gran Lago de Managua –en inglés–

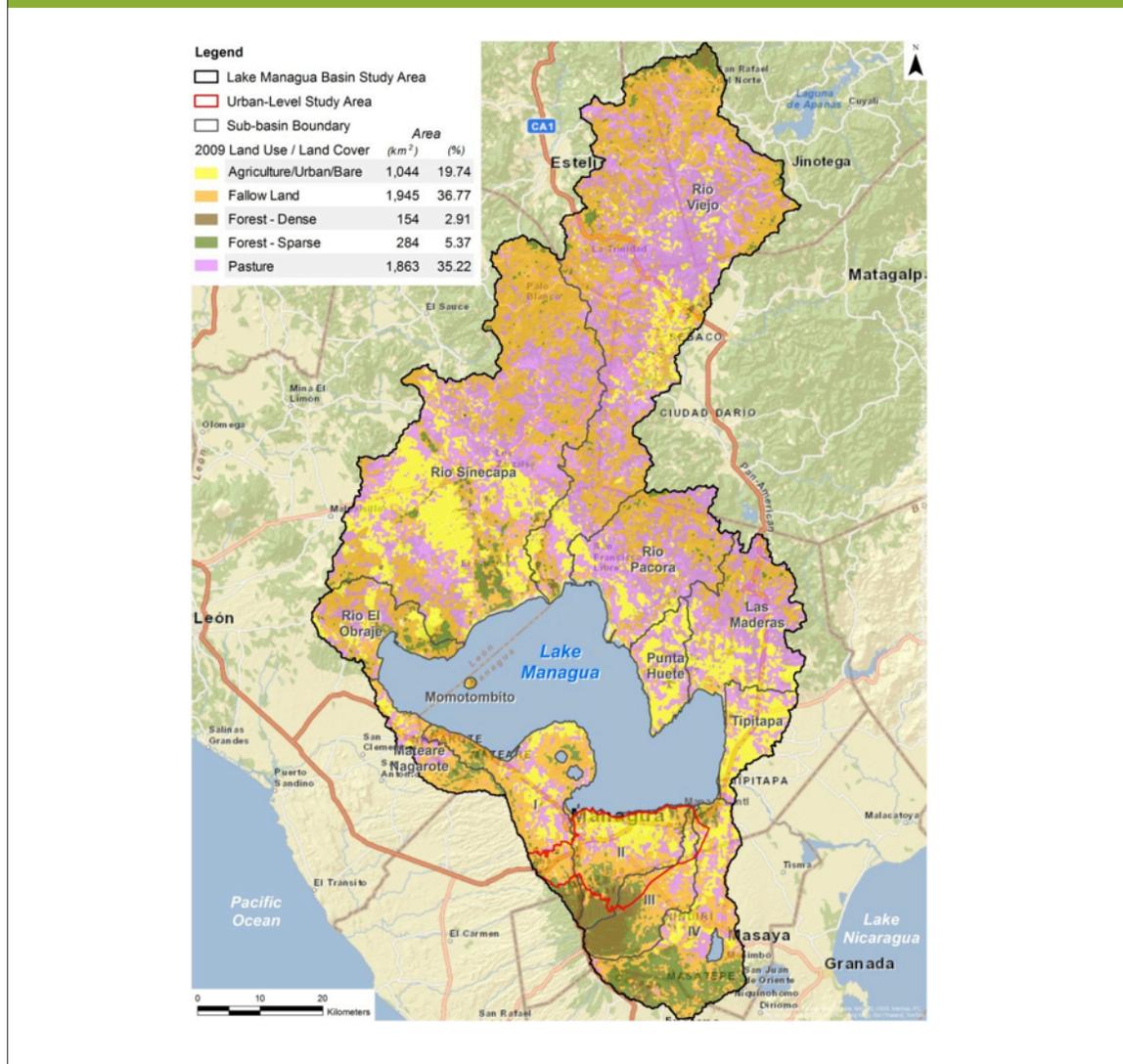


Fuente: Datos publicados por el Servicio Geológico de Estados Unidos, 2004 Mapa de ERM.

## A.2.3 Cubierta vegetal y uso de la tierra

Los tipos de cubierta vegetal en el área de estudio varían ampliamente como resultado de la variación de las características geográficas y usos de la tierra a través de la Cuenca del Lago de Managua. Como se ilustra en la Figura 6-A, la cobertura del suelo se caracteriza por poca cobertura forestal y el predominio de pastizales (35.2 %) y en segundo lugar la actividad agrícola o ganadera (36.8 %). Las tierras apartadas para la agricultura, junto con las zonas urbanas representaban casi el 20 % de cobertura de la tierra en 2009.

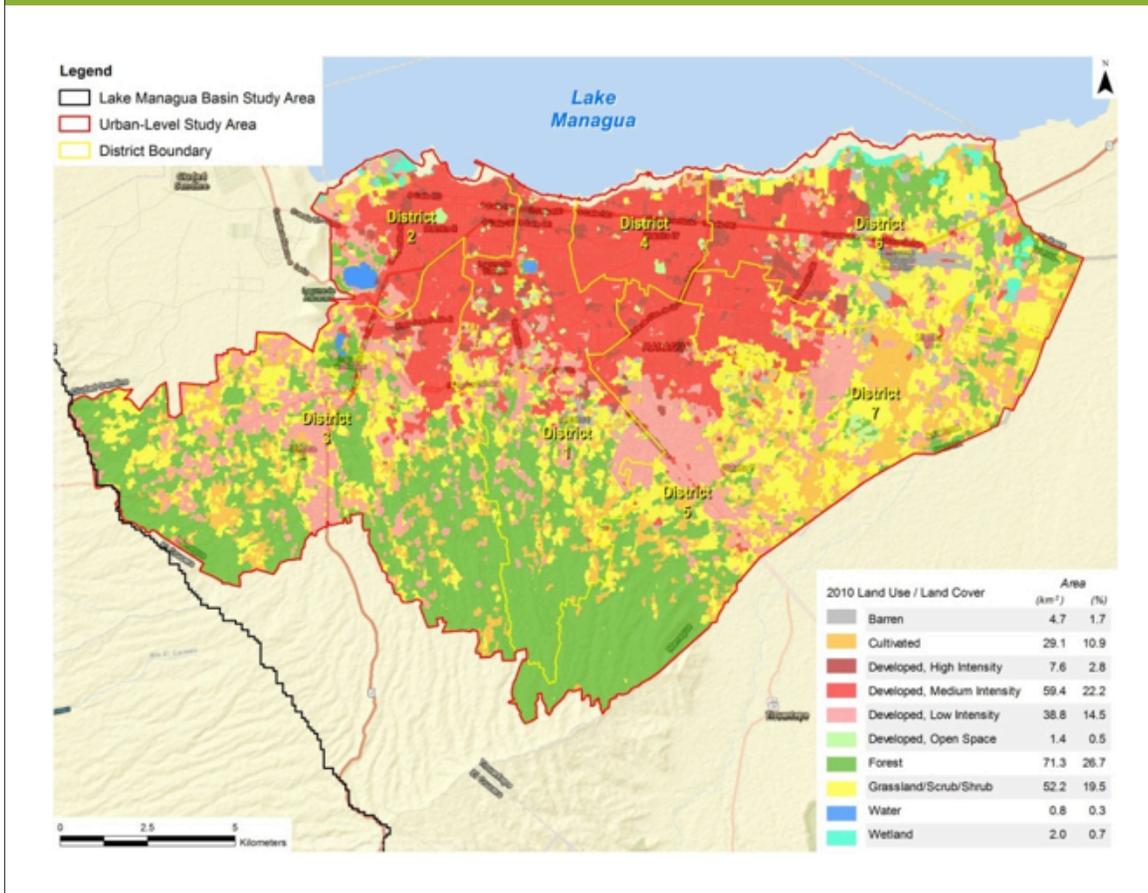
Figura A-6: Cubierta Vegetal en la Cuenca del Gran Lago de Managua (2009)  
–en inglés–



Fuente: Cobertura de la tierra 2009, datos proporcionados por MAGFOR. Mapa por ERM.

En el municipio de Managua (es decir, en la zona de estudio a nivel urbano), como se ilustra en la Figura 7-A, la cobertura de la tierra refleja un uso urbano predominante. De acuerdo con un análisis de los datos satelitales históricos desarrollados por ERM, las zonas urbanas de densidad media y alta se han incrementado significativamente en el período 1989-2010 (véase la Tabla A-2). Como se observa en el análisis, la falta de planificación urbana y el crecimiento incontrolado de la ciudad ha contribuido a la disminución de los bosques y praderas a favor de los usos agrícolas y urbanos.

**Figura A-7: Cobertura de la tierra en el Área de Estudio del Nivel Urbano (2010)**  
 –en inglés–



Fuente: Clasificación de la cobertura de la tierra por ERM basada en imágenes de satélite LANDSAT 2010

**Tabla A-2** Distribución Histórica del Uso de la Tierra en Managua

Tipo de Uso del Suelo	Área Estimada en Kilómetros Cuadrados (Km2)			
	1989	1998	2004	2010
Desarrollado, de alta densidad	0.77 %	1.49 %	2.07 %	2.83 %
Desarrollado, de densidad media	12.87 %	17.25 %	19.90 %	22.21 %
Desarrollado, de baja densidad	15.65 %	15.96 %	14.52 %	14.52 %
Desarrollado, espacio abierto	0.76 %	0.57 %	0.67 %	0.52 %
Agricultura	8.85 %	11.46 %	2.07 %	10.88 %
Pastizales	34.50 %	29.13 %	28.69 %	19.54 %
Bosque	24.85 %	23.29 %	30.92 %	26.67 %
Humedales	0.87 %	0.12 %	0.12 %	0.75 %
Estéril	0.35 %	0.09 %	0.62 %	1.74 %
Agua	0.53 %	0.44 %	0.39 %	0.30 %

Fuente: Datos recopilados por ERM basados en imágenes de satélite LANDSAT

Las prácticas agrícolas inadecuadas y los residuos sólidos pobres, las aguas residuales y las aguas pluviales de gestión sólida también están ejerciendo presión sobre la ocupación del suelo vegetal. Por ejemplo, en las partes altas del Lago Managua al sur de la subcuenca, las actividades agrícolas han contribuido a la rápida deforestación, especialmente en las áreas con pendientes elevadas a moderadas. Por otra parte, la creciente urbanización y los cambios en el uso del suelo han llevado al aumento de la escorrentía superficial, la erosión y una demanda de infraestructura y servicios básicos.

#### A.2.4 Temperatura y precipitación

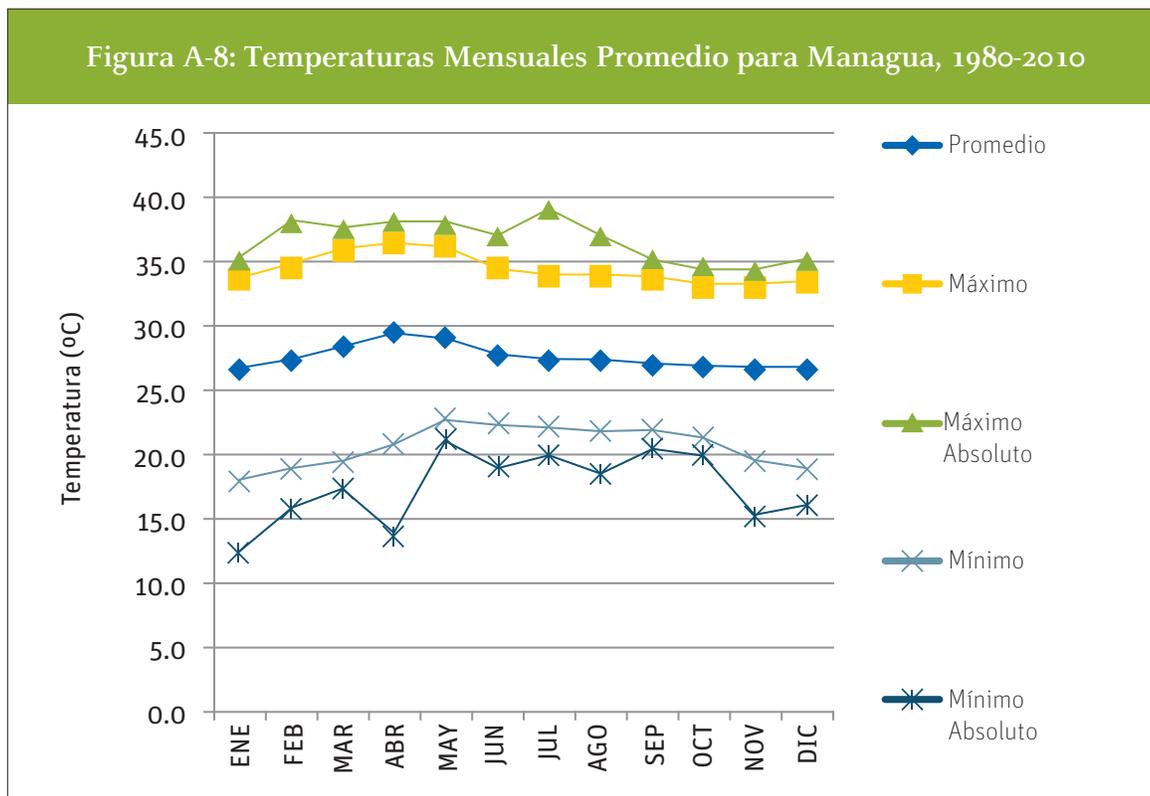
Las temperaturas medias anuales y las estimaciones de precipitación varían ampliamente a través de la cuenca del Lago de Managua debido a su gran extensión de área (5.334 km<sup>2</sup>) y el gradiente de elevación. En general, el clima del área de estudio se asocia con la región fisiográfica conocida como las tierras bajas del Pacífico, que se extienden a unos 75 kilómetros tierra adentro desde la costa del Pacífico. La mayor parte de la zona es plana, a excepción de la cordillera volcánica que corre entre el Golfo de Fonseca y el Lago de Nicaragua.

El clima predominante en esta región es de sabana tropical, caracterizado por temperaturas medias mensuales por encima de los 18° C y estaciones secas y húmedas pronunciadas<sup>5A</sup>. Las temperaturas en las tierras bajas del Pacífico se mantienen prácticamente constantes durante todo el año, con temperaturas que oscilan entre 29.4 y 32.2° C.

La estación seca se extiende de noviembre a abril, mientras que la estación de lluvias comienza en mayo y continúa hasta octubre. Un corto período seco (2-3 semanas), conocido localmente como “canícula”, normalmente se produce entre los meses de julio y agosto. De acuerdo con INETER (2012), en la macroregión de las tierras bajas del Pacífico, donde se centra el área de estudio, las precipitaciones oscilan anualmente, entre 700 a 2.500 mm.

El clima de Managua también está influenciado por su proximidad con los lagos circundantes (Managua y Nicaragua) y su elevación, que alcanza hasta 1.000 metros sobre el nivel del mar. Los datos indican que la precipitación es mayor en Managua en relación con la del Área de Estudio de la cuenca del gran lago. Las lluvias en Managua oscilan entre 1.200 y 2.000 mm anuales, con una alta frecuencia de eventos de lluvia de extrema intensidad (precipitación de 24 horas).

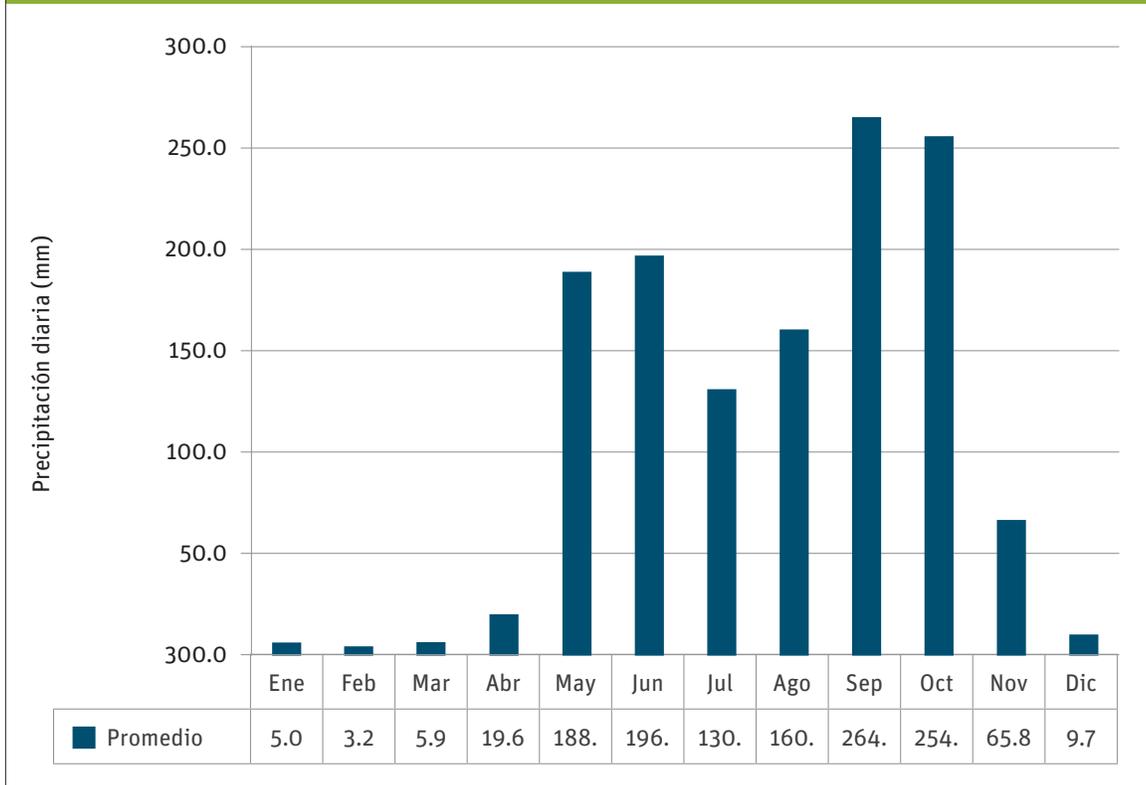
La Figura A-8 ilustra las temperaturas medias mensuales registradas en la estación meteorológica del aeropuerto internacional de Managua para el período 1980-2010 y la Figura A-9 ilustra las estimaciones de precipitación diaria promedio por mes, promediadas para el período 1980-2010.



Fuente: Basado en datos publicados por INETER recopilados de la Estación Meteorológica del Aeropuerto de Managua

<sup>5A</sup> Romero, 2007.

Figura A-9: Registros de Precipitación Mensual Promedio para Managua, 1980 -2010



Fuente: Recopilado por ERM basados en datos publicados por INETER - 2013

En los últimos años, los fenómenos meteorológicos extremos (es decir, los fenómenos meteorológicos que se encuentran en el extremo superior del rango histórico) han aumentado en frecuencia y escala de impacto. En Nicaragua se han documentado los daños a la infraestructura como resultado de sequías, inundaciones, huracanes, tornados, tormentas y otros eventos<sup>6A</sup> relacionados con el clima. Por ejemplo, las tormentas eléctricas, que se producen con mayor incidencia en el mes de septiembre, están ligadas a un incremento en la frecuencia de ciclones tropicales

### A.2.5 Abastecimiento de agua e infraestructura de saneamiento

Dado el enfoque en las inundaciones urbanas y en los recursos hídricos en general, esta subsección resume la información disponible sobre el abastecimiento de agua y la estructura de saneamiento para el área de estudio a Nivel Urbano. A pesar de la abundancia de fuentes de agua superficial (como se ilustra en la FIGURA A-10), el agua subterránea de la Cuenca Sur del Lago de Managua es la única fuente de abastecimiento de agua para la ciudad de Managua. Como se ilustra en la FIGURA 11-A, aproximadamente 80 pozos de agua están distribuidos por toda la región metropolitana de Managua.

<sup>6A</sup> INETER, 2013.

En los últimos diez años, el desarrollo urbano ha dificultado aún más la capacidad natural del acuífero subterráneo para recargar. A medida que el suelo se sigue sellando debido a la construcción, el agua de lluvia no se infiltra y fluye como escorrentía superficial, lo que aumenta el riesgo de erosión, de inundaciones y la sedimentación.

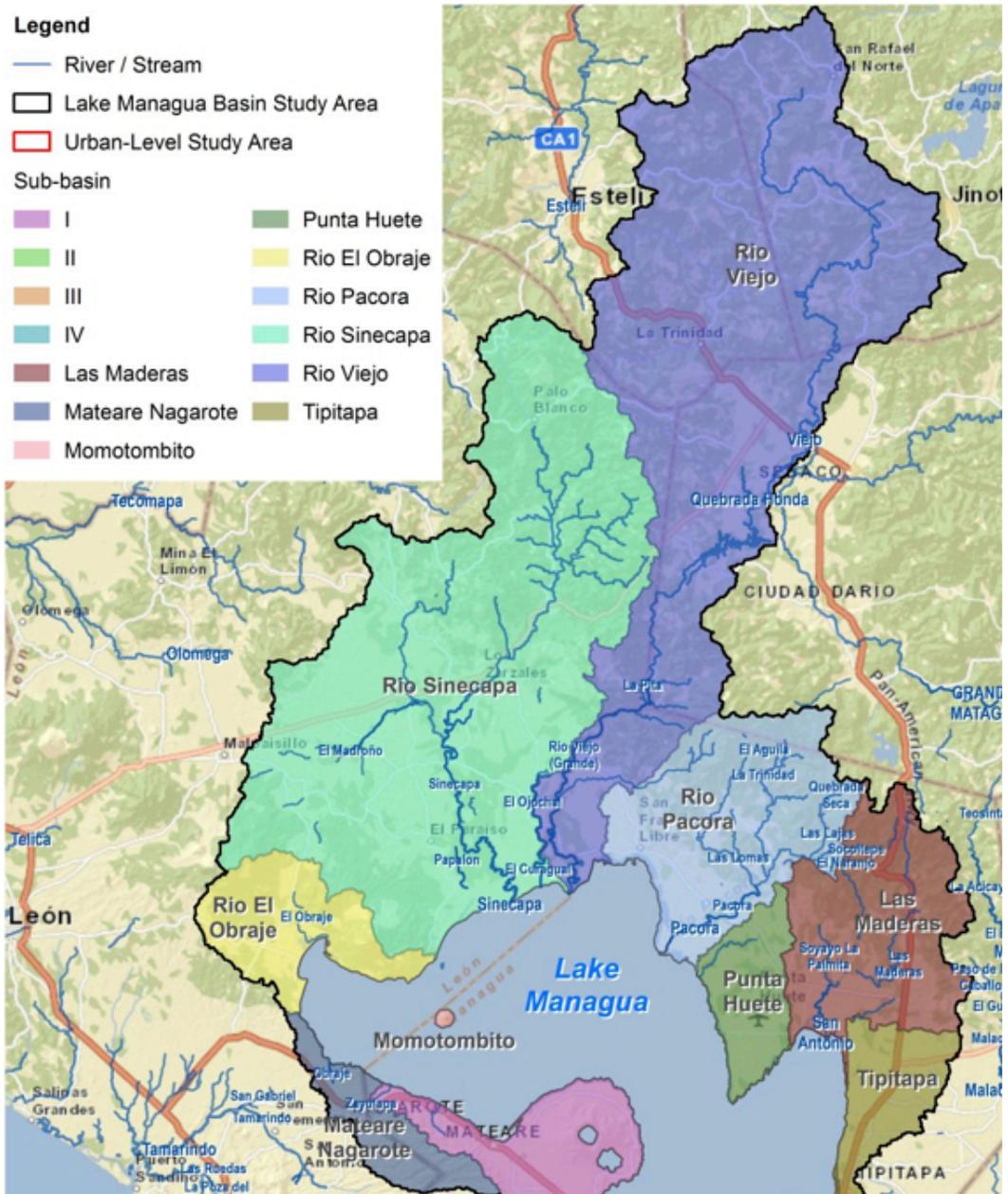
Según la Compañía Nacional de Acueductos y Alcantarillado (ENACAL)<sup>7A</sup>, la cobertura de los servicios de agua potable y saneamiento es del 85 % y 52 %, respectivamente, en el ámbito nacional. En las zonas urbanas donde opera ENACAL, la cobertura de agua potable varía entre el 98 % y el 10 % (92 % en promedio) y los servicios de alcantarillado sanitario oscilan entre cero y 52 % (36 % en promedio). De acuerdo con ENACAL, en Managua, solo el 60 % de la población urbana tiene acceso al servicio de alcantarillado sanitario. Los medios alternativos de eliminación de aguas residuales incluyen letrinas y fosas sépticas.

El aumento en la generación de residuos sólidos también ha superado la capacidad de manejo local de residuos, tales como los servicios de recogida y eliminación segura de los desechos sólidos, creando por lo tanto, las condiciones que pueden conducir a potenciales riesgos ambientales y sanitarios. El Ministerio de Salud (MINSa) señala que el 70 % de todos los residuos en Nicaragua permanecen sin ser tratados. La mayoría de los municipios operan los vertederos a cielo abierto, y las aguas residuales son liberadas en ríos y lagos sin tratamiento. Estas condiciones constituyen una amenaza permanente para la salud, ya que pueden dar lugar a fuentes de agua contaminadas y terrenos de reproducción de vectores.

---

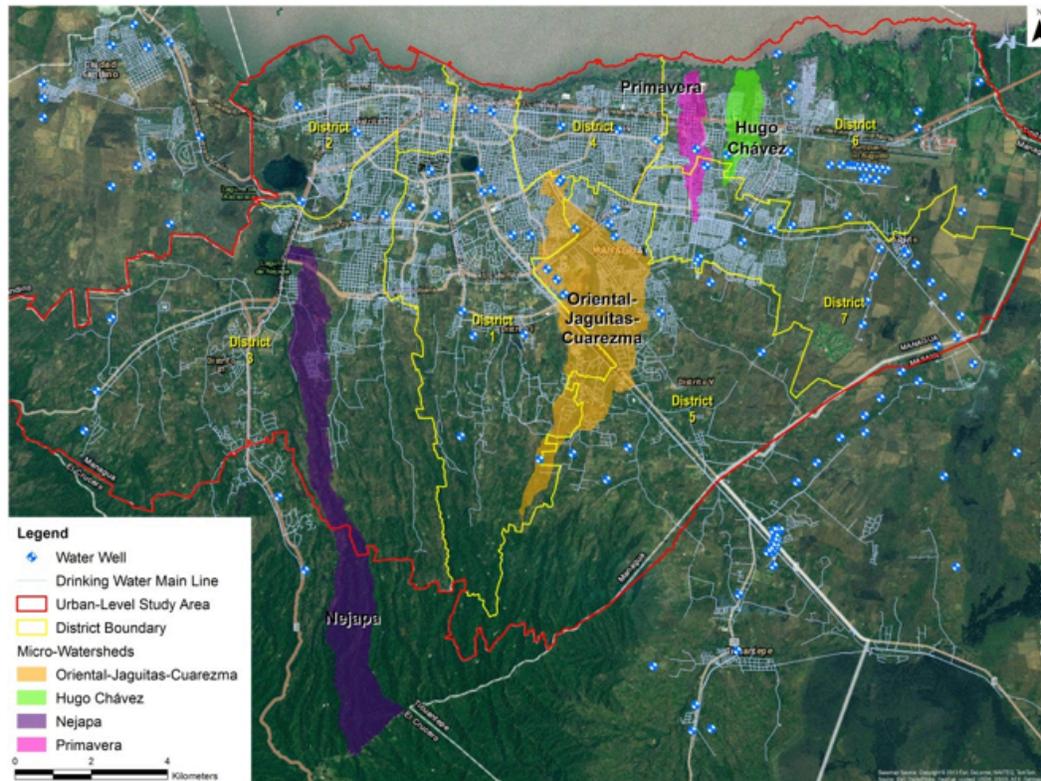
<sup>7A</sup> Empresa Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL)

Figura A-10: Distribución de Ríos y Arroyos en el Área de Estudio  
 –en inglés–



Fuente: Información sobre Ríos y Arroyos tomada de un conjunto de datos cartográficos de INETER - 2002. Mapa de ERM.

Figura A-11: Distribución de Pozos de Agua en la Ciudad de Managua  
–en inglés–



Fuente: Información de los pozos de agua proporcionada por ENACAL. Mapa por ERM.

## A.3 Datos socioeconómicos y demográficos

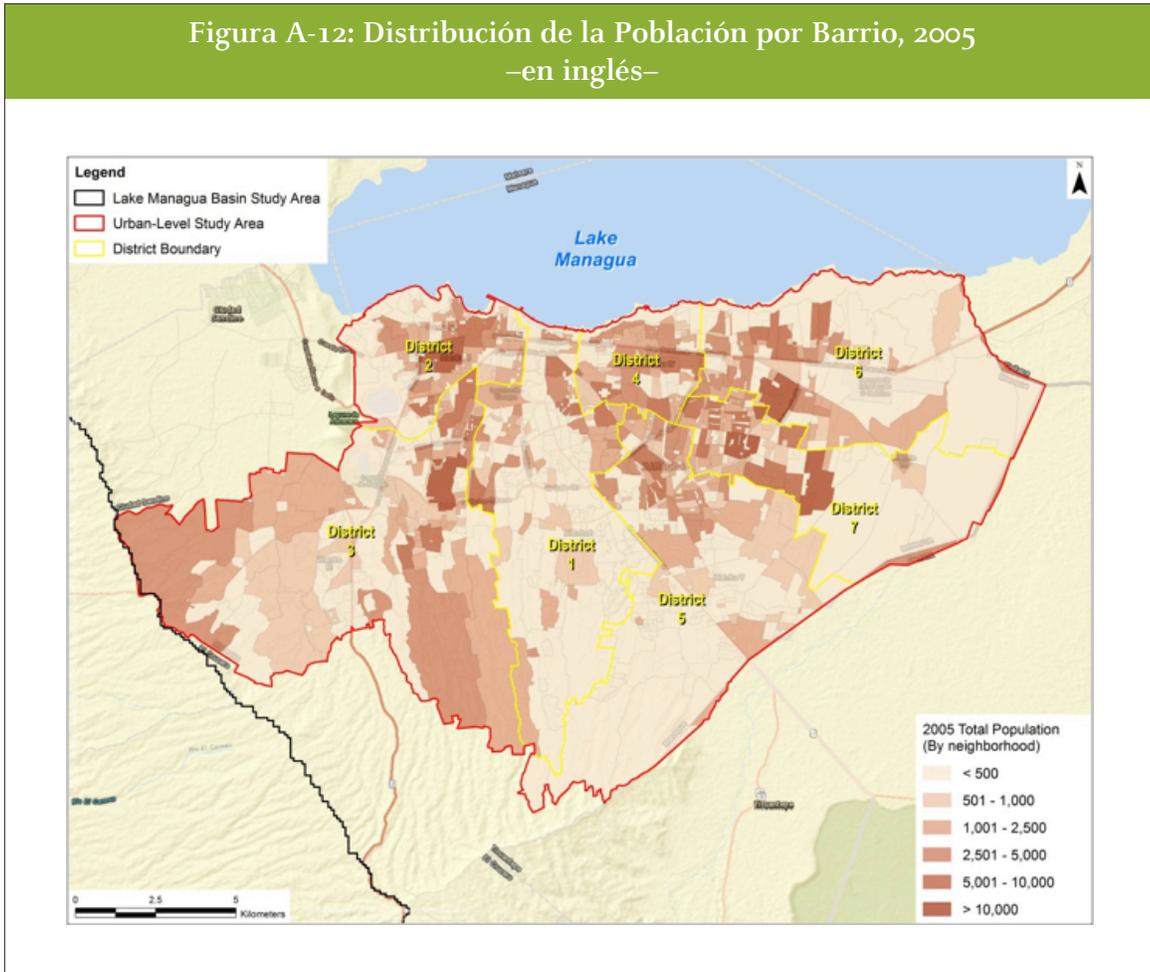
En esta subsección se presentan los datos demográficos y socioeconómicos claves para el municipio de Managua. Estos datos proporcionan una buena indicación de los factores que influyen en la vulnerabilidad relacionada con el clima a nivel de la comunidad.

### A.3.1 Características demográficas

#### A.3.1.1 Población y Vivienda

Desde el más reciente censo (2005), la población en el Departamento de Managua era de 1.093.761, con aproximadamente el 85 % (937.489) que residía en el municipio de Managua. Una estimación de la población reciente publicada por ALMA indica que la población en el municipio había aumentado a 1.254.878 en 2011, lo que es aproximadamente un 33 % más de la estimación del censo del 2005 y que representa una tasa de crecimiento del 5 % anual durante un período de seis años.

Figura A-12: Distribución de la Población por Barrio, 2005  
–en inglés–

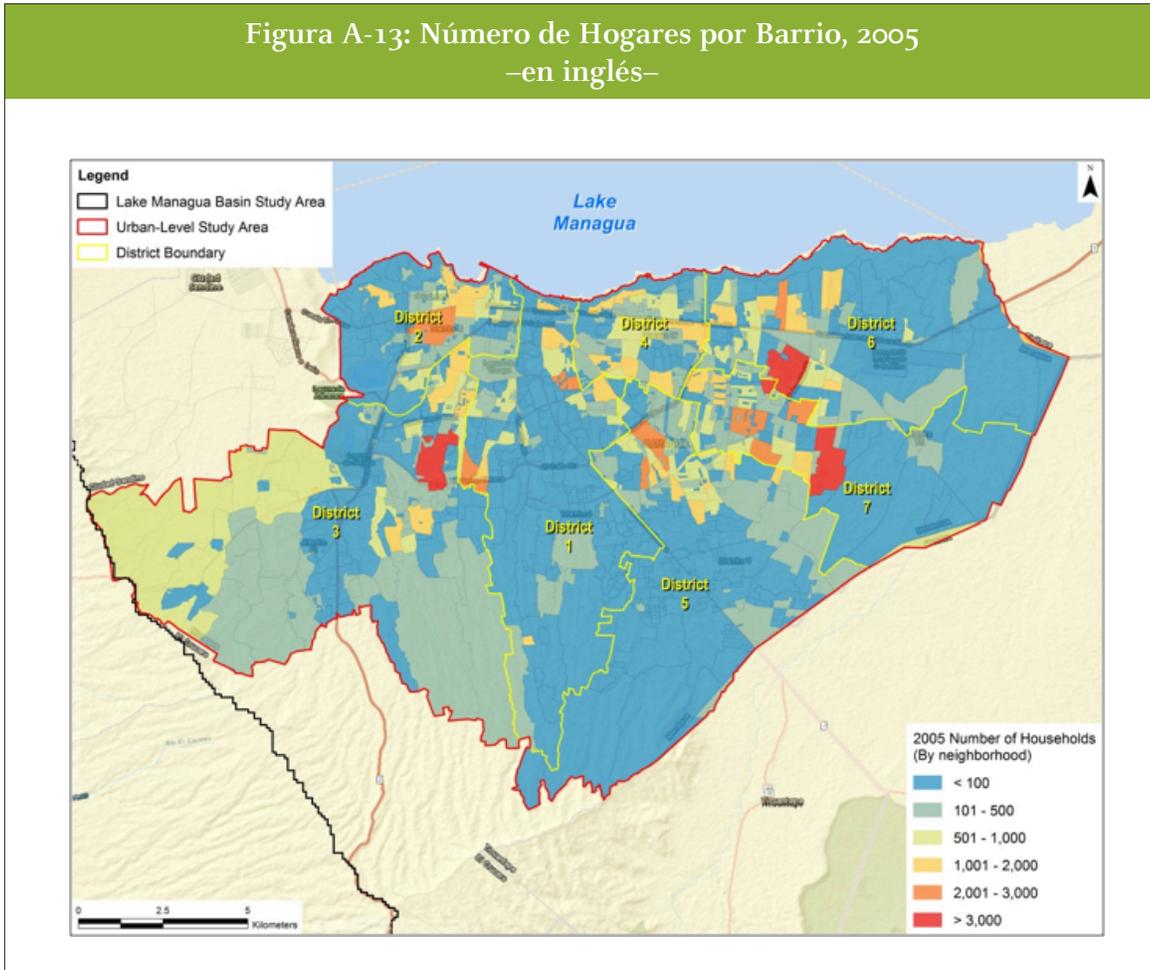


Fuente: Basada en los datos del censo proporcionados por INIDE<sup>8A</sup> 2005. Mapa de ERM.

La Figura A13 ilustra el número de hogares por barrio. Tal como se esperaba, el mapa muestra un patrón similar al de la distribución de la población dentro del municipio.

<sup>8A</sup> INIDE, 2005 VII Censo de Población y IV Censo de Hogares

Figura A-13: Número de Hogares por Barrio, 2005  
–en inglés–



Fuente: Basada en los datos del censo proporcionados por INIDE 2005. Mapa de ERM.

Como muestra la Tabla A3, y teniendo en cuenta que la población total por distrito es similar en los siete distritos, la densidad de población es mayor en los distritos más pequeños, específicamente los distritos II, IV y VII.

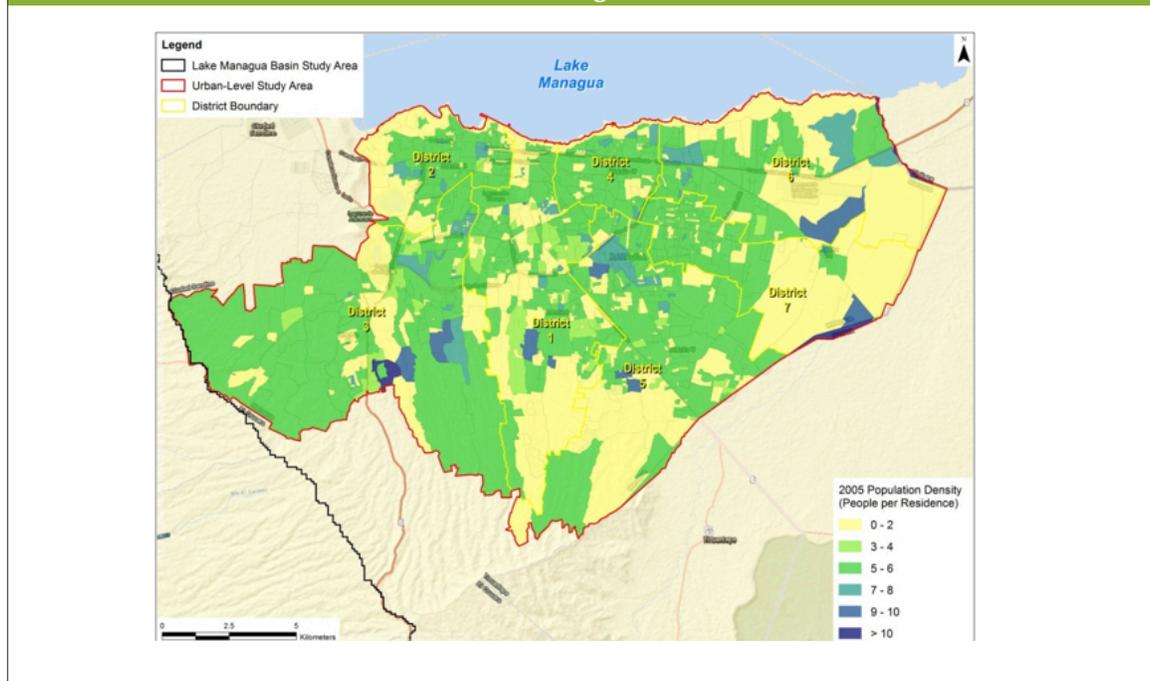
Tabla A-3 Características de la Población por Distrito, 2005

Distrito	Área (km <sup>2</sup> )	Población	Densidad de Población (por km <sup>2</sup> )	Hogares	Personas por Hogar
Distrito I	44.6	109,875	2463.6	21,737	5.1
Distrito II	17.3	124,387	7190.0	23,096	5.4
Distrito III	72.5	131,647	1815.8	24,832	5.3
Distrito IV	11.5	104,806	9113.6	19,242	5.4
Distrito V	51.5	146,069	2836.3	27,081	5.4
Distrito VI	41.8	122,348	2927.0	23,753	5.2
Distrito VII	29.1	122,426	4207.1	29,365	4.2
Municipio Managua	268.2	937,489	3495.4	197,332	4.7

Fuente: INIDE, 2005.

La Figura 14-A muestra el número promedio de personas por hogar y por barrio e indica la evidencia de zonas con concentraciones relativamente más altas y viviendas de alta ocupación. Estas áreas (sombreadas en azul) se ven en todos los distritos en toda Managua.

Figura A-14: Densidad de Personas por Vivienda por Barrio, 2005  
-en inglés-

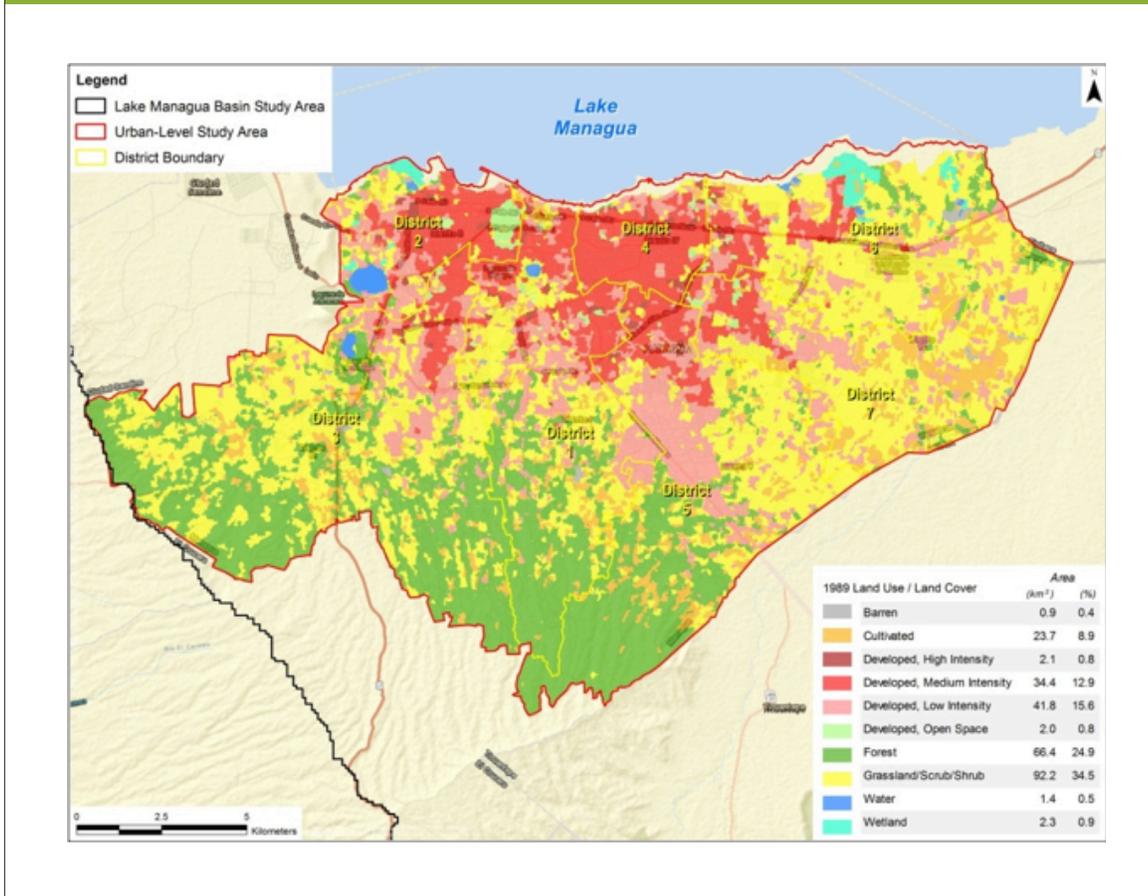


Fuente: Basada en los datos del censo proporcionados por INIDE 2005. Mapa de ERM..

### A.3.1.2 Distribución Histórica del Uso de la Tierra en Managua

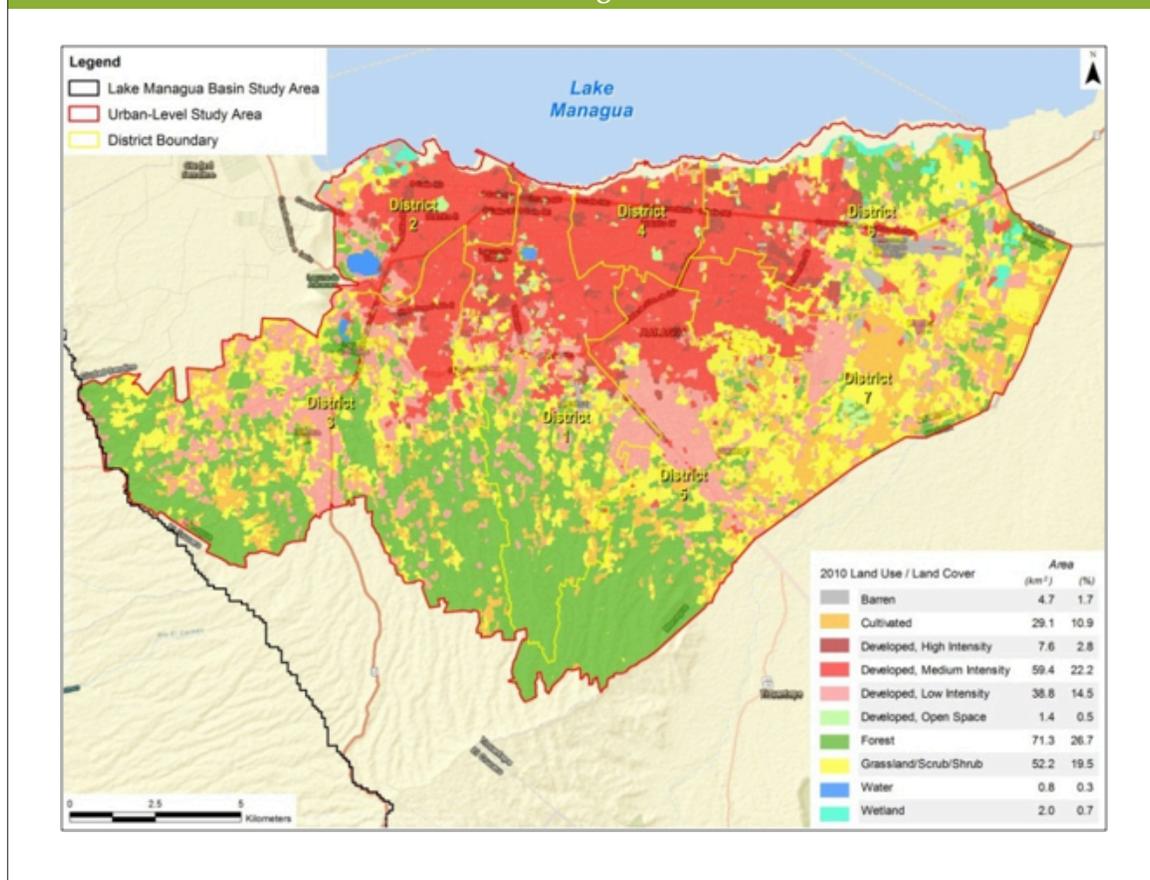
El urbanizar normalmente reemplaza a la cubierta vegetal con materiales impermeables. Los datos históricos sobre el uso de la tierra en Managua indican la conversión de superficies permeables, tales como pastizales y bosques a cubierta impermeable del suelo urbano, así como la intensificación del desarrollo en el área urbana. También se puede evidenciar en estos mapas la pérdida neta de humedales a lo largo de la costa que actúan como zonas naturales de drenaje (Figura A-15 y Figura A-16).

Figura A-15: Patrones de Uso de la Tierra en 1989, Municipio de Managua  
–en inglés–



Fuente: Basado en imágenes satélite de LANDSAT. Clasificación y mapa por ERM.

Figura A-16: Patrones de Uso de la Tierra en el 2010, Municipio de Managua  
–en inglés–

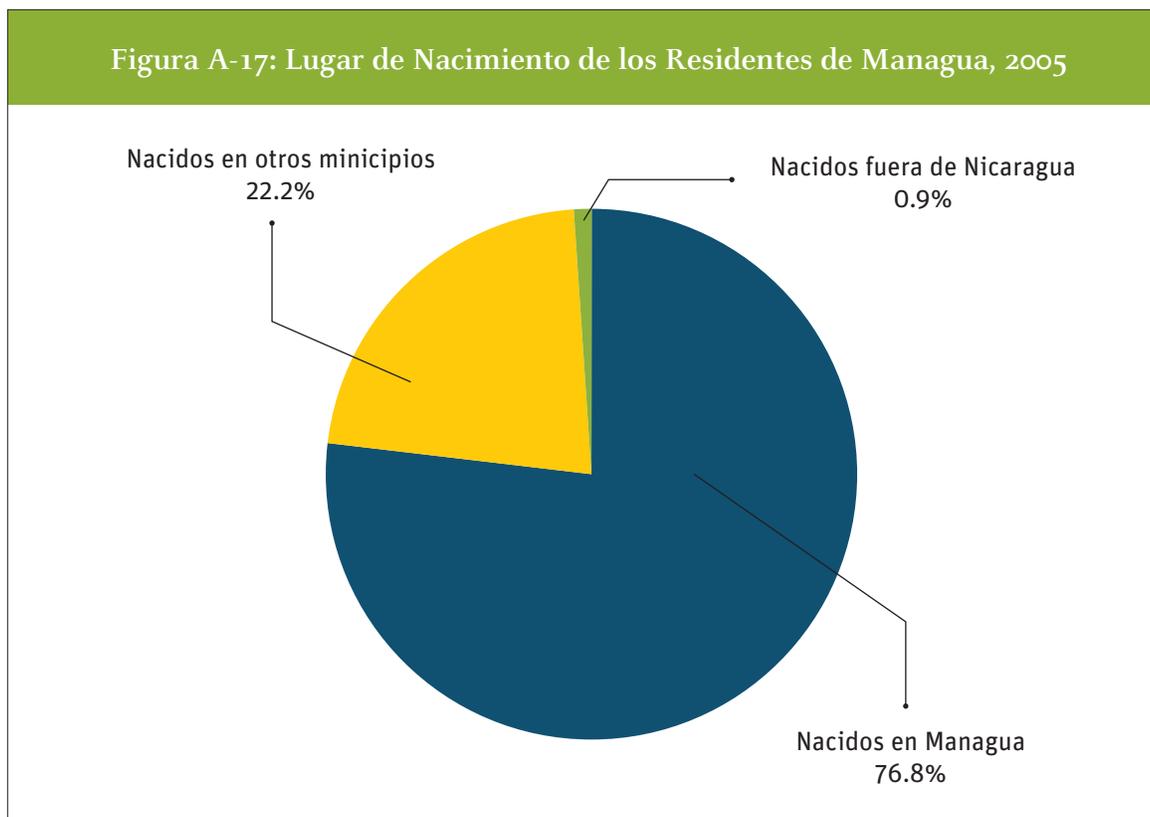


Fuente: Basado en imágenes satélite de LANDSAT. Clasificación y mapa por ERM.

### A.3.1.3 Lugar de Nacimiento

Como se muestra en la Figura 17-A, los datos del censo indican que la mayoría de los residentes de Managua nacieron dentro del municipio (76.8 %), 22.2 % nacieron en otras áreas de Nicaragua y menos del 1 % de los residentes nacieron fuera de Nicaragua al momento del censo de 2005.

Figura A-17: Lugar de Nacimiento de los Residentes de Managua, 2005



Fuente: Basados en datos del Censo de INIDE, 2005. Gráfico por ERM.

#### A.3.1.4 Género y Distribución por Edad

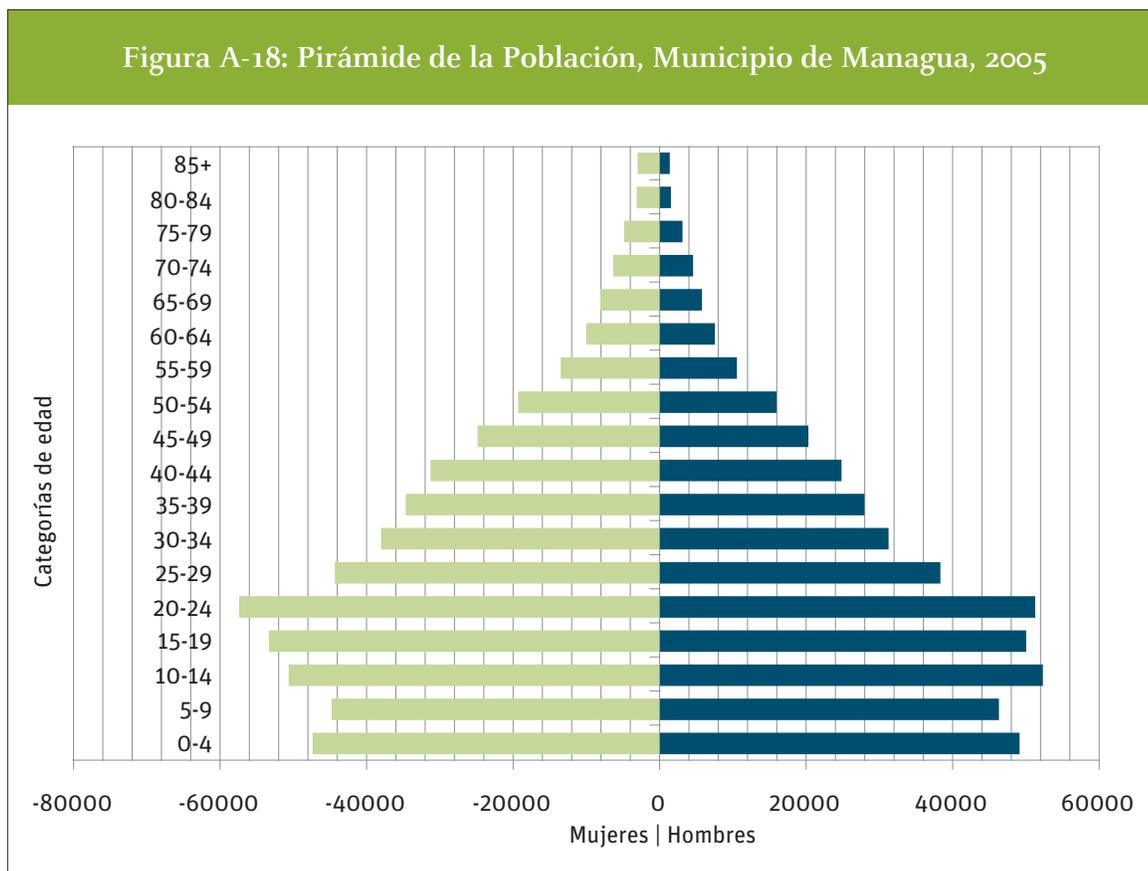
A partir del censo más reciente (2005), la relación del género en el municipio de Managua fue 0,92 hombres por cada mujer. La Figura A-18 muestra que los grupos con edades inferiores a 24 años constituyen un porcentaje significativo de la población de Managua. Esta estructura de la población relativamente joven se debe a la alta tasa de fecundidad en Nicaragua en la década de 1990 y principios de 2000<sup>9A</sup>. Sin embargo, la tasa de fecundidad ha disminuido gradualmente en los últimos años, a una tasa de 2,7 hijos por mujer en el 2011<sup>10A</sup>. Como resultado, las pirámides de población, en base a estimaciones de población más recientes mostrarían una población comparativamente menor en los grupos más jóvenes en edad<sup>11A</sup>.

<sup>9A</sup> La tasa de fertilidad total de una población es el promedio de número de niños que nacerían de una mujer de la población referida a lo largo de su vida.

<sup>10A</sup> United Nations Population Fund. (2011). The State of the World's Midwifery. Disponible en: [http://www.unfpa.org/sowmy/resources/docs/country\\_info/profile/en\\_Nicaragua\\_SoWMy\\_Profile.pdf](http://www.unfpa.org/sowmy/resources/docs/country_info/profile/en_Nicaragua_SoWMy_Profile.pdf)

<sup>11A</sup> Pan American Health Organization (2012). *Health in the Americas*.

Figura A-18: Pirámide de la Población, Municipio de Managua, 2005



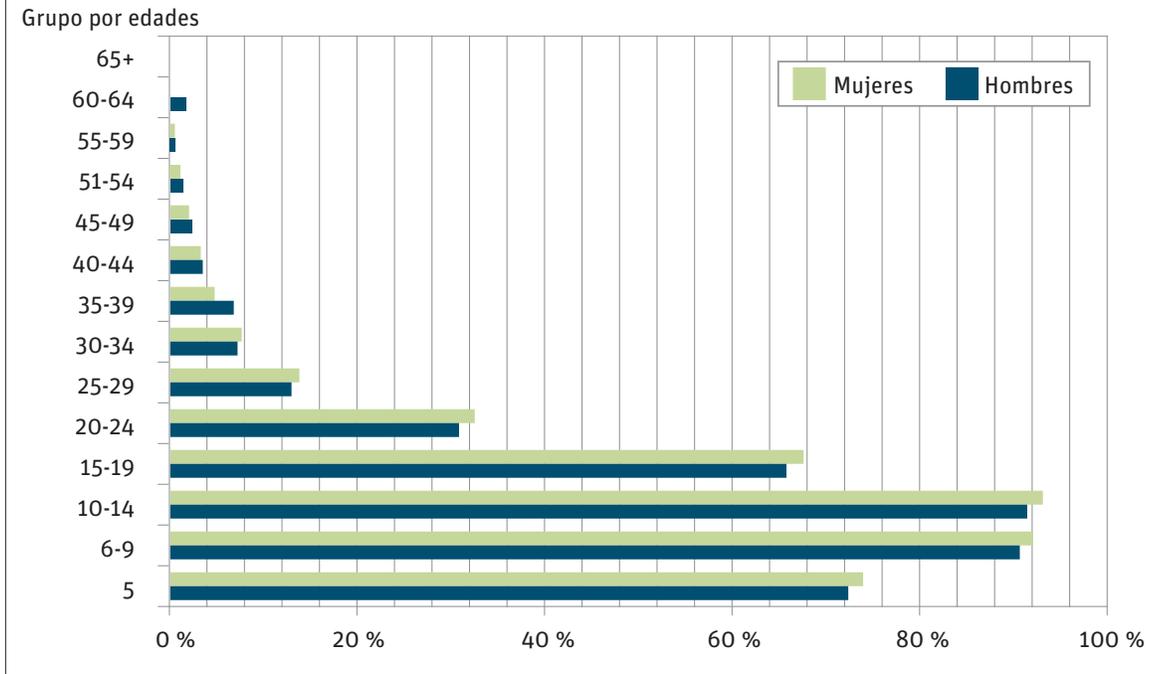
Fuente: Basados en datos del Censo de INIDE, 2005. Gráfico por ERM.

### A.3.1.5 Educación

Los indicadores de educación en Nicaragua han mejorado en los últimos años, con tasas de analfabetismo que disminuyeron en un 3.4 % en el período 2008-2010, y la matriculación en la escuela primaria que aumentó de 86.4 % en e 2006 a 92.8 % en 2010<sup>12A</sup>. La Figura A-19 ilustra los principales logros en la educación, en el Municipio de Managua en los últimos años, con porcentajes mucho mayores de los grupos de edad más jóvenes han asistido o asisten en la actualidad a la escuela primaria. Los datos también muestran un cambio reciente en las tendencias de la educación femenina, con mujeres de las generaciones mayores que muestran índices más bajos de asistencia a la escuela en relación a los hombres, pero las mujeres de las generaciones más jóvenes muestran tasas más altas que sus contrapartes masculinas.

<sup>12A</sup>. Pan American Health Organization (2012). Health in the Americas – Nicaragua Country Profile. Disponible en: [http://www.paho.org/saludenlasamericas/index.php?id=48&option=com\\_content&Itemid=o&lang=pt#ref7](http://www.paho.org/saludenlasamericas/index.php?id=48&option=com_content&Itemid=o&lang=pt#ref7)

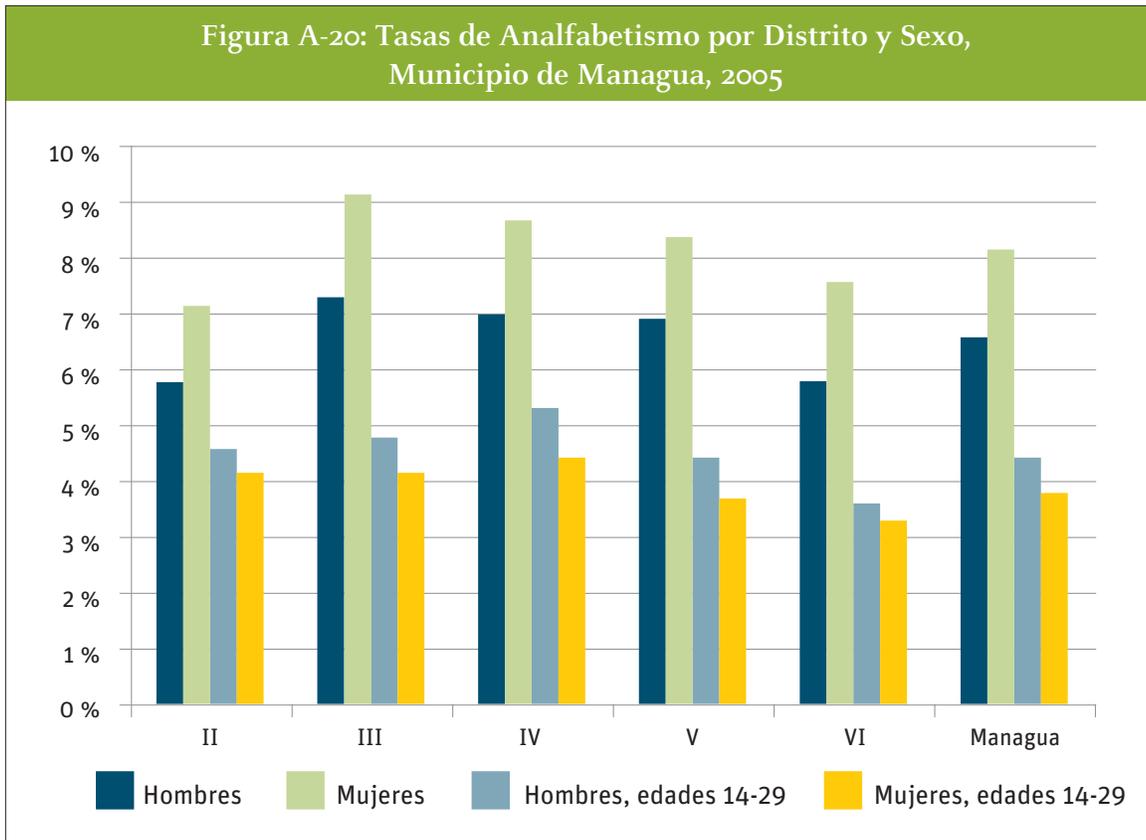
Figura A-19: Asistencia a la Escuela Primaria por Grupo de Edades, Municipio de Managua, 2005



Fuente: Basados en datos del Censo de INIDE, 2005. Gráfico por ERM.

La Figura A-20 muestra las tasas de analfabetismo por distrito, sexo y grupo de edades en Managua. En consonancia con las tendencias a la asistencia escolar, los datos muestran que mientras las mujeres de la población en general tienen tasas relativamente altas de analfabetismo, las mujeres del grupo de edad de 14 a 29 muestran una mayor tasa de alfabetización en relación con sus homólogos masculinos. Los datos también sugieren que las tasas de alfabetización son comparables en todo el municipio, con tendencias similares en cada distrito.

Figura A-20: Tasas de Analfabetismo por Distrito y Sexo, Municipio de Managua, 2005



Fuente: Basados en datos del Censo de INIDE, 2005. Gráfico por ERM.

Nota: No habían datos disponibles para los Distritos I y VII.

## A.3.2 Características socioeconómicas

### A.3.2.1 Actividades Económicas y Medios de Subsistencia

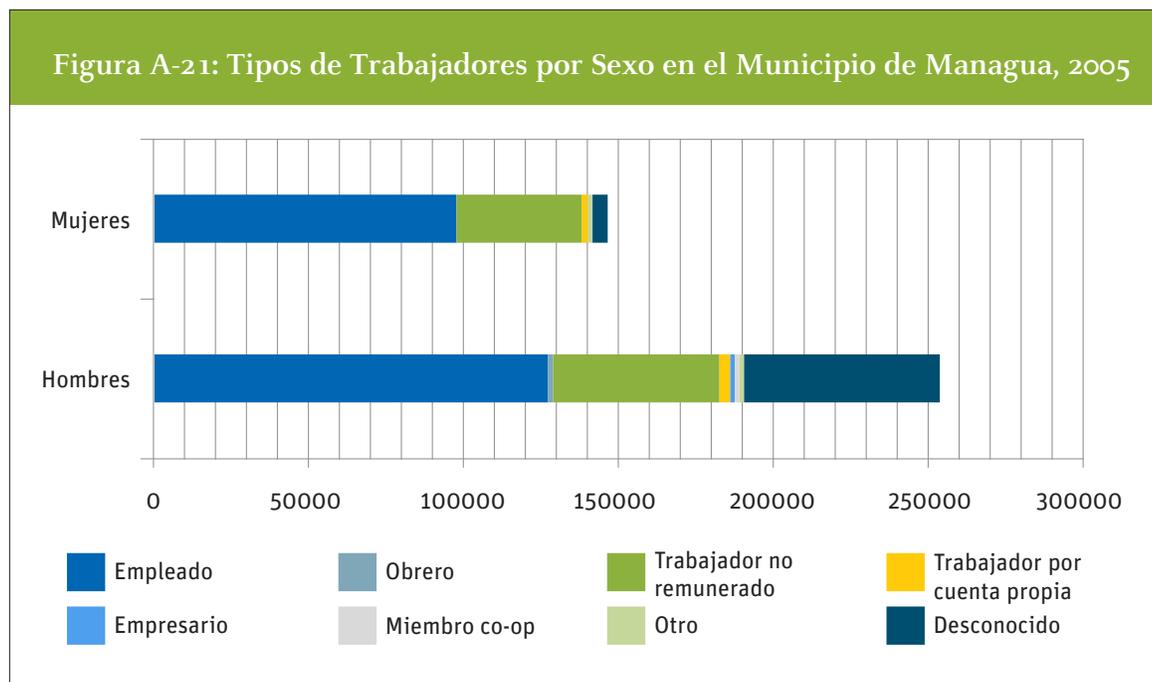
Los datos del censo de 2005 indican que los empleos como trabajadores de plantas y maquinaria, operadores y artesanos, así como trabajos de la industria de servicios constituyen la mayor parte del empleo para los hombres en Managua (Refiérase a la Tabla A-4). Para las mujeres, los empleos en el sector servicios son los más comunes, seguidos por los relacionados con profesiones de las ciencias y los servicios personales. Hay poca actividad agrícola o pesquera en el municipio.

**Tabla A-4** Categorías de Empleo por Sexo en el Municipio de Managua, 2005

Categoría de Empleo	Trabajadores Hombres	Trabajadores Mujeres
Profesionales de la Administración Pública	7577	6151
Profesionales Científicos	18416	15805
Profesionales/Nivel Técnico Medio	15527	14952
Empleados de Oficina	8758	11557
Servicios/Trabajadores de la Industria Comercial	28665	32411
Trabajador de Servicios Personales	6679	15246
Trabajadores Agrícolas/Industria Pesquera	4309	230
Oficiales, Operadores y Artesanos	43208	5612
Plantas y maquinarias/ operadores y ensambladores	30650	12188
Trabajadores No Calificados	29700	31377
Trabajos no especificados	2188	1592

Fuente: INIDE, 2005.

Como se ilustra en la Figura 21-A, la mayoría de los trabajadores son empleados del sector privado o público. También hay un gran porcentaje de mujeres y hombres no remunerados.



Fuente: Basados en datos del Censo de INIDE, 2005. Gráfico por ERM.

Como la capital del país, hay una concentración relativamente grande de establecimientos comerciales en Managua. La Tabla A-5 proporciona el número de empresas y trabajadores por sector en la industria o el tipo de negocio en el municipio de Managua.

**Tabla A-5 Distribución de la Fuerza Laboral por Sector o Actividad**

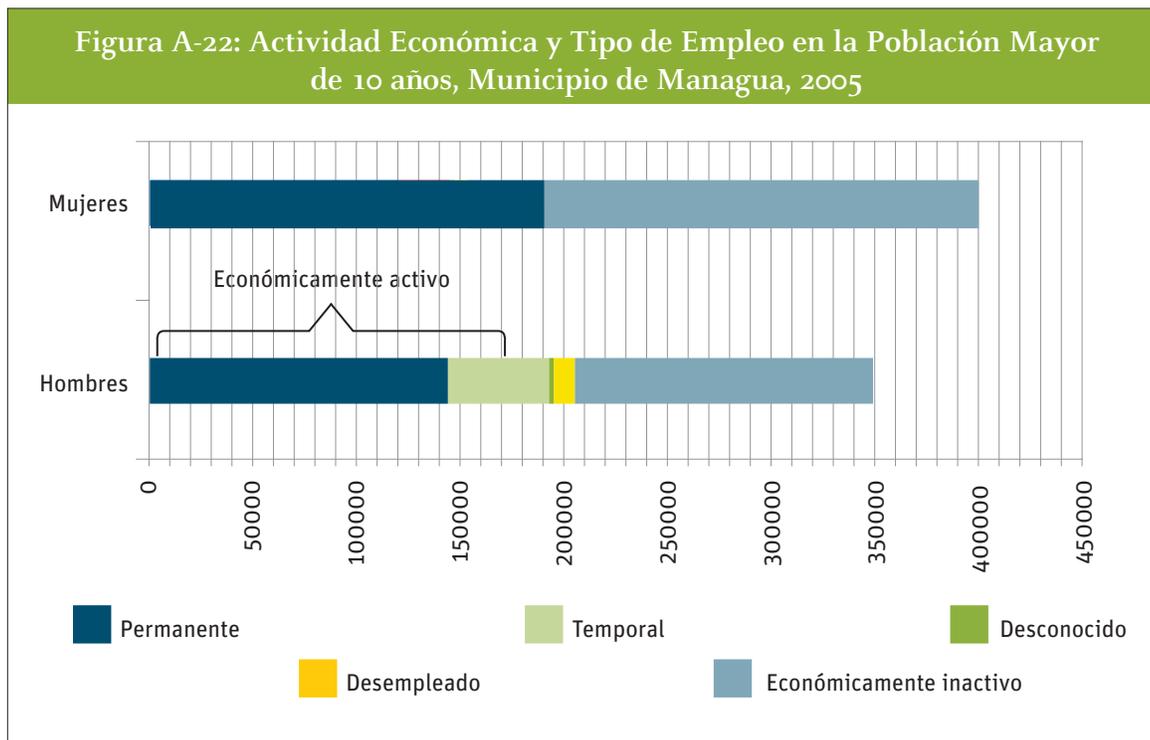
Tipo de Negocio	Número de Establecimientos	Número de Trabajadores
Alimentos	131	5398
Bebidas	15	2500
Textiles	14	737
Ropa	40	376
Cuero y Productos de Cuero	2	100
Calzado	7	534
Madera y Productos de Madera	33	289
Muebles	73	651
Papel y Productos de Papel	2	128
Servicios de Imprenta y Edición	158	2138
Productos derivados del Petróleo	1	100
Productos Químicos	36	826
Caucho y Plásticos	17	743
Minerales no metálicos	83	2073
Productos metálicos	63	851
Maquinaria y Equipos Eléctricos/No Eléctricos	41	397
Transporte	51	602
Industrias varias	20	156
Comercio al por mayor	328	7406
Comercio al por menor	1269	10596
Comercio Automotriz	256	3276
Hoteles	128	2414
Restaurantes	398	4480
Servicios a Empresas	521	11937
Servicios a la Comunidad	507	5991
Educación	423	9261
Salud	393	4486
Reparación de vehículos/Mantenimiento	236	1655
Transporte, almacenaje y comunicaciones	41	363
Servicios Financieros	43	2354

Fuente: INIDE, 2005

### A.3.2.2 Población Económicamente Activa

Según el censo de 2005, la población total mayor de 10 años de edad en Managua era de 750.250. De esta, 358.818 (47.8 %) fue considerada económicamente activa. Los clasificados como económicamente inactivos son amas de casa/maridos, los estudiantes, los jubilados y los discapacitados de forma permanente.<sup>13A</sup>

La Figura A-22 ilustra la población mayor de 10 años de edad en Managua de acuerdo con la actividad económica y la situación laboral. Los datos muestran que más hombres (59.0 %) eran económicamente activos que las mujeres (38.2 %). Además, los hombres (23.8 %) tenían más propensión que las mujeres (15.9 %) a desempeñar un empleo temporal.



Fuente: Basados en datos del Censo de INIDE, 2005. Gráfico por ERM.

### A.3.2.3 Pobreza

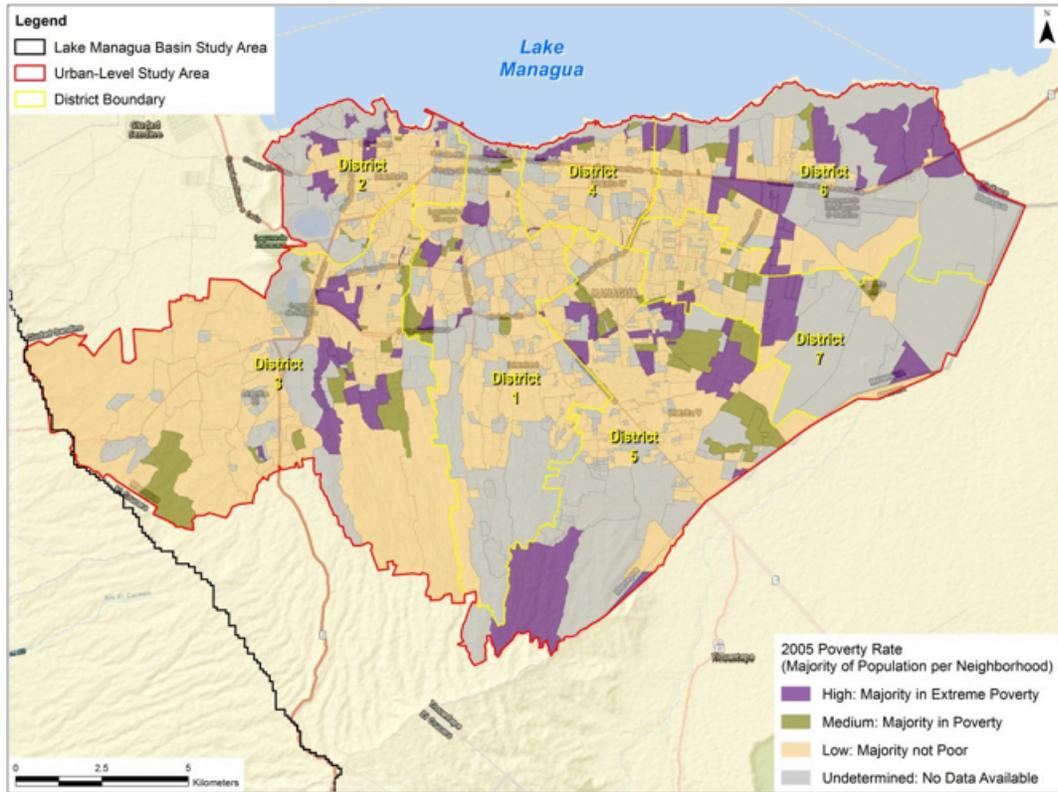
Nicaragua es uno de los países más pobres de América Latina. De acuerdo con un informe de 2011 publicado por el Banco Mundial, la pobreza en Nicaragua tiende a concentrarse en las zonas rurales, sobre todo entre las poblaciones involucradas en el sector agrícola. Como resultado, la tasa global de pobreza en Managua es considerablemente más baja que el promedio nacional.<sup>14A</sup>

Sin embargo, hay concentraciones de pobreza extrema en la Managua urbana, sobre todo en los asentamientos informales ubicados en las zonas insuficientemente atendidas. La Figura A-23 indica los barrios de Managua, donde la mayoría de la población vive en la pobreza extrema (púrpura) o en la pobreza (marrón oscuro).

<sup>13A</sup> INIDE, 2005 VII Censo de Población y IV Censo de Hogares

<sup>14A</sup> World Bank (2011). *Nicaragua Poverty Assessment*. Washington, DC.

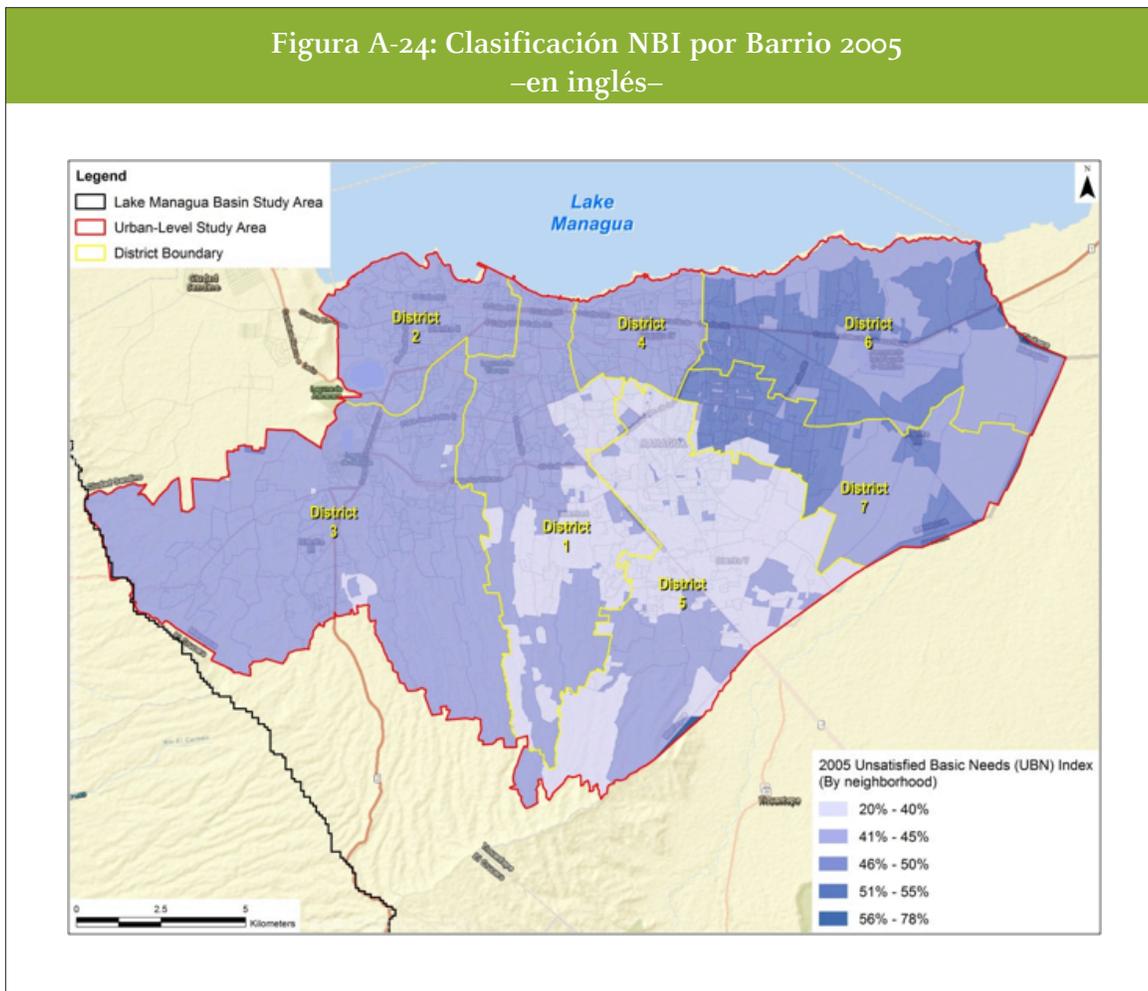
Figura A-23: Distribución de la Pobreza por Barrio, 2005  
–en inglés–



Fuente: Basado en datos del INIDE, 2005. Mapa por ERM.

La Figura 24-A muestra el índice de puntajes del promedio de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI, en español) para cada barrio. El NBI es un índice compuesto, desarrollado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, que se basa en los indicadores<sup>15A</sup> de la vivienda, el agua y el saneamiento, la educación e ingreso. Los datos sugieren que los Distritos VI y VII tienen la mayor concentración de barrios en los cuales no se satisfacen las necesidades básicas, mientras que los Distritos I y V tienen la menor concentración.

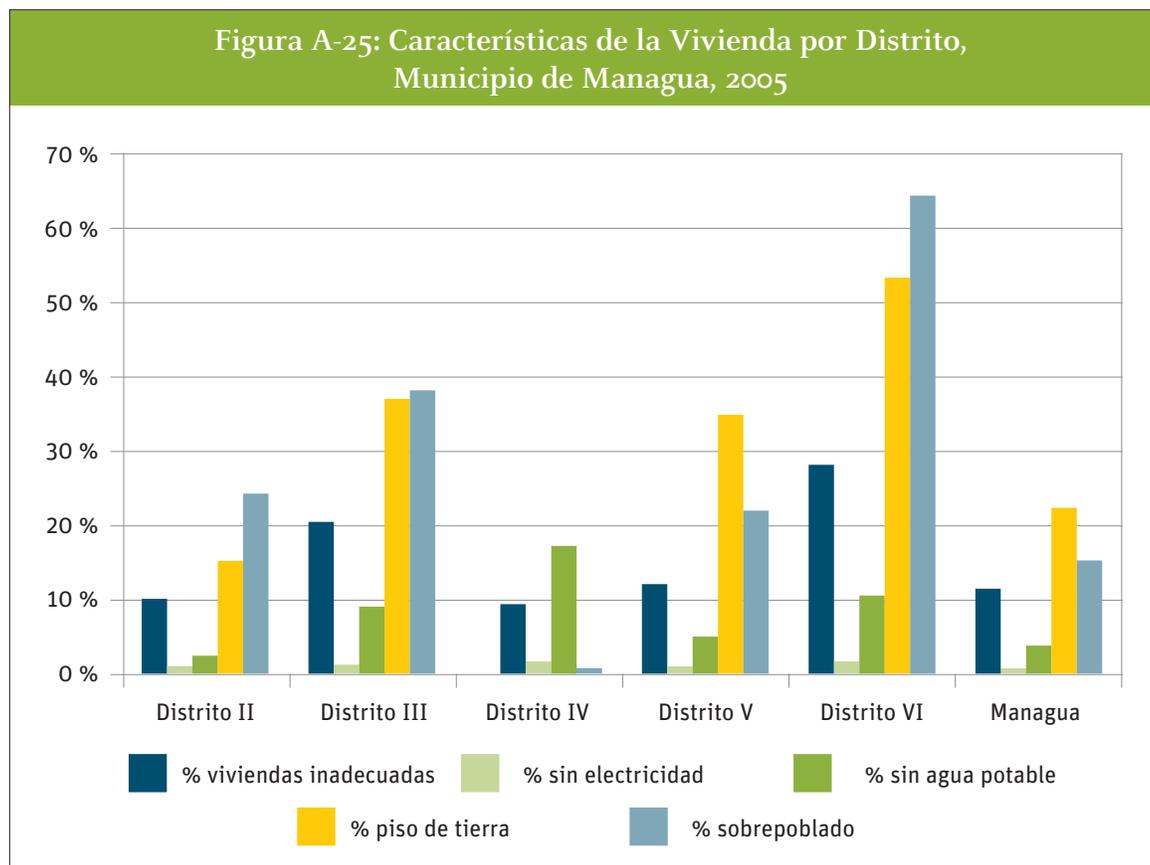
Figura A-24: Clasificación NBI por Barrio 2005  
–en inglés–



Fuente: Basado en datos del INIDE, 2005. Mapa por ERM.

<sup>15A</sup> United Nations Development Programme: Unsatisfied Basic Needs Method. Disponible en: <http://www.undp.org.lb/programme/pro-poor/poverty/povertyinlebanon/molc/methodological/C/basicsneed.htm>

La Figura A-25 indica los porcentajes de viviendas en cada distrito que se consideran inadecuadas o de hacinamiento, o que carecen de servicios básicos. Los datos indican que muy pocos hogares en Managua no tienen servicio de electricidad, pero prevalecen el hacinamiento<sup>16A</sup> y las viviendas con pisos de tierra, sobre todo en el Distrito VI. Aproximadamente el 10 % de las viviendas en los Distritos III y VI también carecen de servicio de agua potable.



Fuente: Basado en datos del INIDE, 2005. Mapa por ERM.

Nota: No había datos disponibles para los Distritos I y IV.

<sup>16A.</sup> Se define como hogares donde tres o más personas comparten un dormitorio

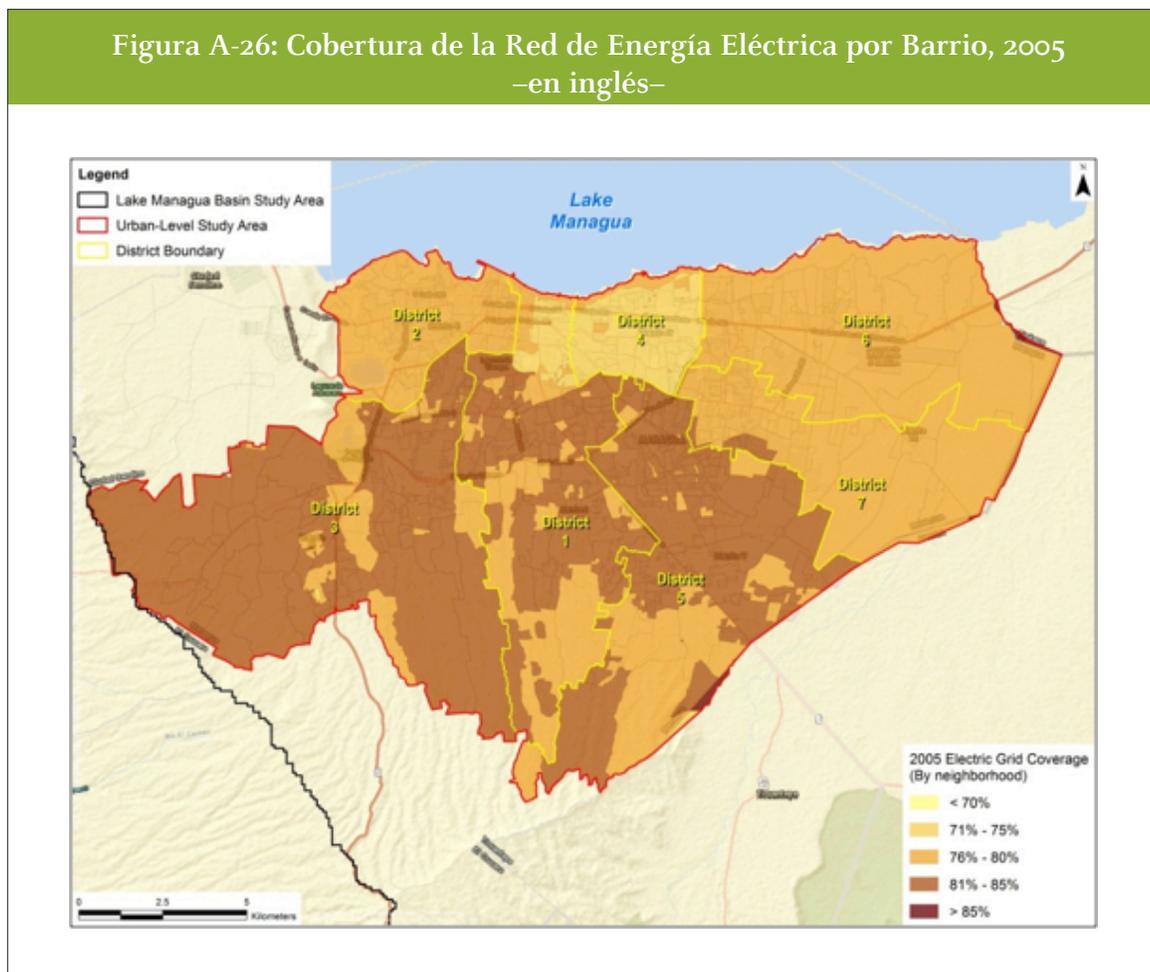
### A.3.3 Infraestructura social

#### A.3.3.1 Servicios Públicos

##### *Electricidad*

De acuerdo con ALMA, el 97 % de los hogares de Managua tenían electricidad en 2011. Sin embargo, estos datos no indican si el hogar estaba conectado a la red o dependía de la generación privada. La Figura A-26 ilustra el porcentaje de hogares en cada barrio que están conectados a la red eléctrica, basados en datos de 2005 obtenidos de INIDE. Los datos muestran que los Distritos I, III y V tienen el mayor número de hogares conectados a la red.

Figura A-26: Cobertura de la Red de Energía Eléctrica por Barrio, 2005  
–en inglés–

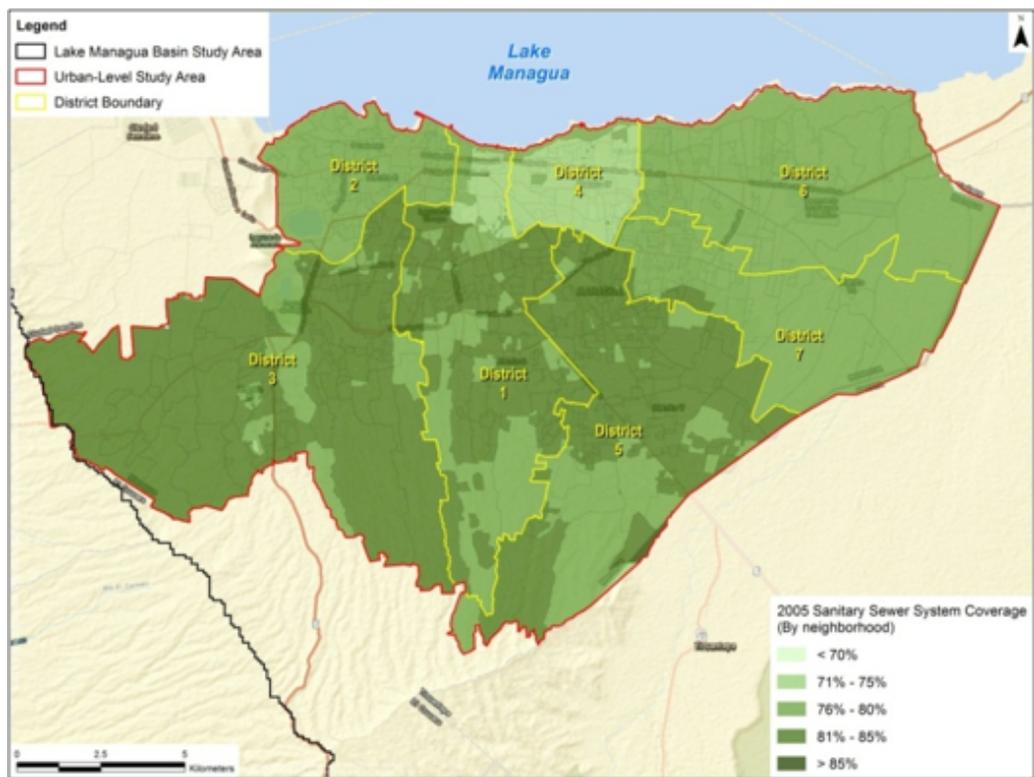


Fuente: Basado en datos del INIDE, 2005. Mapa por ERM.

### Sistema de Alcantarillado Sanitario

En 2011, ALMA informó que el 62.2 % de los hogares en el municipio tenía acceso a la infraestructura de saneamiento. Como se ilustra en la Figura 27-A, esta cobertura sigue un patrón de distribución similar al de la cobertura eléctrica.

Figura A-27: Cobertura del Sistema de Alcantarillado Sanitario por Barrio  
–en inglés–

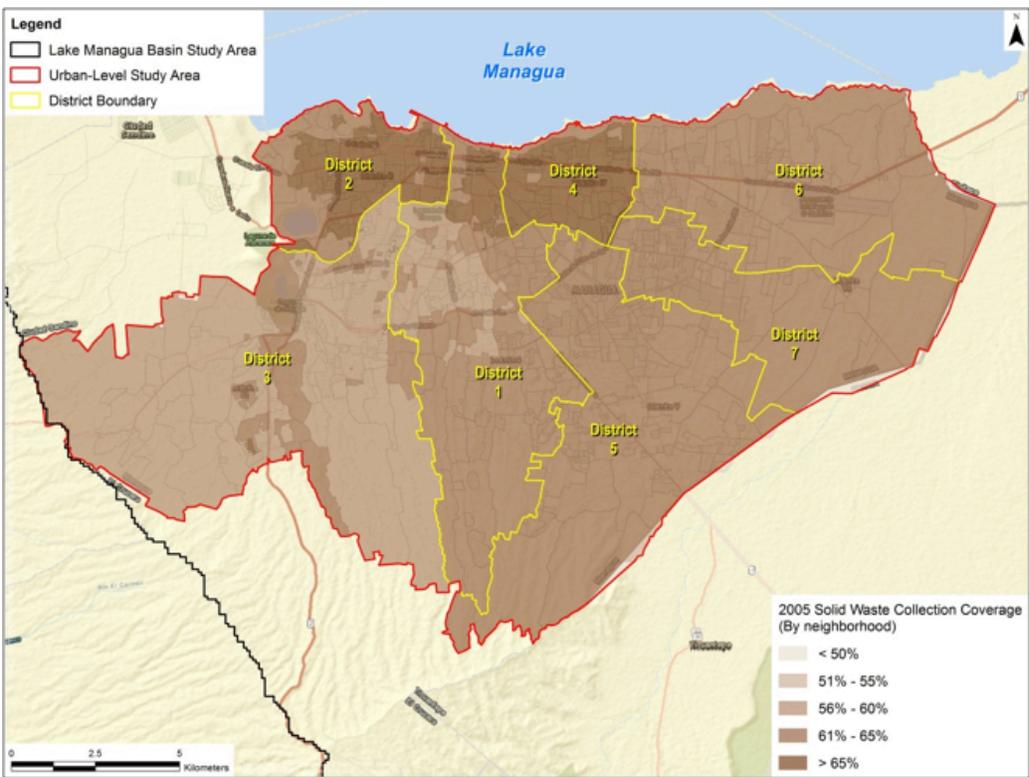


Fuente: Basado en datos del censo de INIDE, 2005. Mapa por ERM.

### Recolección de Residuos Sólidos

ALMA reportó que 79.2 % de los hogares en Managua recibían servicio de recogida de residuos sólidos en el 2011. La Figura A28 ilustra el porcentaje de hogares servidos en cada barrio desde el 2005 e indica que, la porción noroeste del municipio tiene la concentración más alta de hogares con servicio de recogida de residuos sólidos.

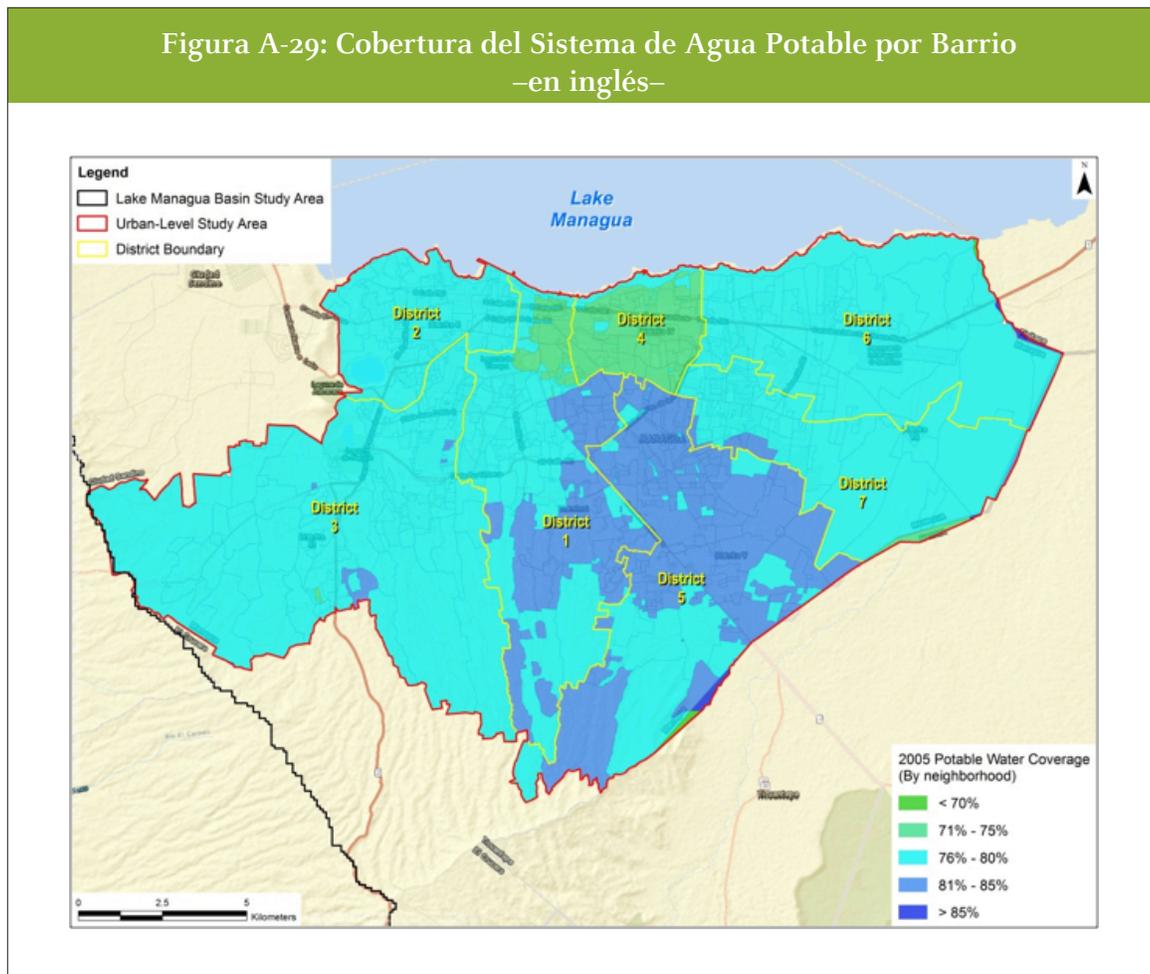
Figura A-28: Cobertura de Servicio de Recolección de Residuos Sólidos por Barrio  
–en inglés–



Fuente: Basado en datos del censo de INIDE, 2005. Mapa por ERM.

### Sistema de Agua Potable

A partir de 2011, ALMA informó que el 73.1 % de los hogares del municipio tienen acceso al agua potable en sus hogares. La Figura A-29 muestra el porcentaje de cobertura por barrio.



Fuente: Basado en datos del INIDE, 2005. Mapa por ERM.

### A.3.3.2 Carreteras

La red vial de Managua consta de 1552 kilómetros de carreteras, de los cuales el 54 % es de asfalto, el 21 % está pavimentado, el 1 % es de concreto hidráulico y el 24 % restante son caminos de tierra<sup>17A</sup> sin pavimentar.

<sup>17A</sup>. ALMA (2011)

### A.3.3.3 Servicios de Salud

El sistema de salud en Nicaragua está organizado en 17 regiones sanitarias administrativas llamadas SI-LAIS (Sistemas Locales de Atención Integral de Salud). Los servicios de salud pública y de atención primaria son proporcionados a través de los hospitales nacionales o departamentales (clasificados como niveles terciarios o secundarios de atención) y los centros de salud de atención primaria o centros de salud, que son satélites de los centros de salud (clasificados en el nivel primario de atención). De los 172 centros de salud en el país, solo 24 tienen instalaciones hospitalarias, y todos los 855 puestos de salud solo proporcionan servicios de consulta externa.

Como capital del país, Managua tiene una concentración relativamente alta de centros de salud. Hay 34 puestos de salud, 14 centros de salud y 16 hospitales, de los cuales, siete son públicos y nueve son privados. También hay seis centros de especialidades, a saber, centros de rehabilitación, dermatología, cardiología, psiquiatría, radioterapia y oftalmología<sup>18A</sup>. La Tabla A-6 resume la distribución de los tipos de centros de salud en cada uno de los distritos de Managua.

Tabla A-6 Instalaciones de Salud por Distrito en el Municipio de Managua

Distrito	Primario		Secundario		Terciario
	Puestos de Salud	Centros de Salud	Hospitales Públicos	Hospitales Privados	Centros de Especialidades
Distrito I	-	1	-	5	1
Distrito II	-	2	1	1	3
Distrito III	-	2	3	-	1
Distrito IV	-	2	-	2	-
Distrito V	8	2	2	1	1
Distrito VI	21	3	1	-	-
Distrito VII	5	2	-	-	-
Total	34	14	7	9	6

Fuente: ALMA, 2011

### A.3.3.4 Educación

Hay aproximadamente 555 centros de educación en Managua. Esta estimación está compuesta por 150 centros preescolares, 108 escuelas primarias, 186 escuelas secundarias, 15 escuelas técnicas y 31 instituciones de educación superior, de las cuales cinco son públicas y las otras 26 son privadas<sup>19A</sup>.

<sup>18A</sup>. ALMA (2011). Características Generales de los Distritos de Managua.

<sup>19A</sup>. ALMA (2011). Características Generales de los Distritos de Managua.

## A.4 Contexto político e institucional

Esta sección proporciona una visión general del marco jurídico que regula el suministro de agua y las actividades de saneamiento en Nicaragua. También describe brevemente el contexto institucional del país para el cambio climático y la planificación a la adaptación, y pone de relieve los acuerdos multilaterales relacionados con el cambio climático de los cuales Nicaragua es signataria (según proceda).

### A.4.1 Manejo de los recursos hídricos

El marco jurídico que rige el manejo de los recursos hídricos, y el sector hídrico y de saneamiento en general, está compuesto por una serie de decretos legislativos aprobados por la Asamblea Nacional, que es el órgano legislativo principal de Nicaragua. Estas leyes se describen brevemente a continuación.

#### *Ley 620 – Ley Nacional del Agua*

Esta ley fue aprobada en 2007 creando un marco legal sobre los recursos hídricos en Nicaragua y el establecimiento del régimen jurídico e institucional para el uso sostenible del recurso. El propósito de la ley es establecer competencias institucionales sobre las aguas nacionales para que el Gobierno pueda garantizar el uso sostenible, conservación y calidad de los recursos hidrológicos del país. La ley también creó la Comisión Nacional de Recursos Hídricos (CNRH, en español).

La empresa de Acueductos y Alcantarillados Nacionales<sup>20A</sup> (ENACAL, en español) es la principal empresa de servicios públicos responsable de la prestación de los servicios de agua potable y de saneamiento urbano y rural en toda Nicaragua. Tras la aprobación de la Ley 620, ENACAL se convirtió en el principal organismo público responsable, de conformidad con el artículo 5, que establece que es obligación irrevocable y prioridad del Estado, promover, facilitar y regular el abastecimiento de agua adecuada en cantidad y calidad para el pueblo nicaragüense, a un costo que tenga en cuenta a las poblaciones de menor nivel económico.

#### *Ley 297- Ley de Agua Potable y Saneamiento*

La Ley 297 regula las actividades relacionadas con el abastecimiento del agua potable y la distribución, así como, la recolección de aguas residuales y de eliminación. Esta ley indica que el Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INAA) es responsable de la “exploración, producción y distribución de agua potable y la recolección y disposición de aguas residuales” sin perjuicio de las competencias atribuidas a los Ministerios de Salud, del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales.

#### *Ley No. 690 – Ley General de Desarrollo Costero*

La Ley N ° 690 fue promulgada el 29 de julio de 2009 con el objetivo de regular el acceso costero, bajo el principio de que el interés público debe prevalecer antes de los intereses de privatización. Se creó la Comisión Nacional de Desarrollo Costero (CDZC) para poner en marcha los principales objetivos de la ley, los

<sup>20A</sup>. Empresa Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL)



cuales incluyen: la preservación de la costa histórica y prehistórica y los recursos sumergidos, la zonificación de las áreas públicas y de uso restringido a lo largo de la costa, y la regulación de los títulos para su uso a lo largo de la costa. El CDZC regula el acceso restringido a la costa por razones sanitarias, la defensa nacional, y razones de desastres naturales. La ley también establece que el desarrollo a lo largo de la costa requerirá ser coordinada a nivel regional, departamental y municipal.

#### *Ley 722 - Política del Agua de la Comunidad*

La Ley 722, que fue aprobada en 2010, crea los Comités de Saneamiento (CAPS, en español) de Agua Potable para apoyar el desarrollo económico y social de la comunidad, y específicamente para ayudar a garantizar el derecho de los ciudadanos nicaragüenses para acceder a los servicios de agua potable y de saneamiento. La estructura organizacional de estos comités está compuesta por líderes de la comunidad, seleccionados entre las organizaciones establecidas de la comunidad e individuos, seleccionados por la comunidad. El CAPS está destinado a ejecutar estrategias alineadas con las mejores prácticas integradas de manejo del agua, tales como las establecidas por el Global Water Partnership (GWP).

Además de las leyes anteriores, que comprenden el principal marco legal para el manejo de los recursos hídricos, hay leyes adicionales que regulan las actividades relacionadas con el sector del agua y de saneamiento que se enumeran a continuación:

- Ley 276 (1998) establece que la Empresa Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL) es responsable del suministro y distribución de los servicios de agua potable y de saneamiento.
- Decreto 51 (1998) establece que la Comisión Nacional de Agua Potable y de Saneamiento (CONAPAS, en español) es la encargada de regir junto con el INAA y ENACAL, así como liderar la planificación estratégica del sector hídrico y de saneamiento.
- Decreto 52 (Julio 1998) delinea los requisitos normativos adicionales relacionados con la prestación de servicios de agua potable y de saneamiento por el sector público.
- Decreto 45 (Agosto 1998) regula los precios relacionados con el abastecimiento de los servicios de agua potable.
- Resolución No. 001 especifica los límites de frecuencia en función de los servicios.
- Enero 1999 Reglamento Especial para el Servicio Público de Agua y Concesiones de Alcantarillado para menos de 500 usuarios y empresas municipales.
- Decreto 33 (1995), “Disposiciones para el Control de la Contaminación por Descargas de Aguas Residuales Domésticas, Industriales y Agrícolas”, define las funciones de los diversos organismos en la aplicación de la ley por delitos relacionados con la contaminación generada por las aguas negras y residuales.
- Ley 423, “Ley de Salud General”, designa al Ministerio de Salud como la entidad encargada de monitorear la calidad del agua.
- Ley 217 (Junio 1996), “Ley General del Ambiente y los Recursos Naturales”, define la protección del agua y las Fuentes de agua como una función pública fundamental, y esboza sanciones contra su contaminación.

- Ley 40 (Agosto 1997), “Ley de Municipios”, delega la responsabilidad a los municipios para garantizar el acceso a los servicios de agua y de saneamiento, y establece su papel en el manejo de estos recursos cuando están descentralizados.
- Ley 440 (2003), “Ley de Suspensión de Concesiones”, indica que las concesiones del agua no podrán concederse a personas o instalaciones por ENACAL hasta que se promulgue la Ley General del Agua.
- Ley 559 (2006) esboza una serie de delitos contra el medio ambiente y los recursos naturales.

#### A.4.2 Política y estrategia nacional sobre el cambio climático<sup>21A</sup>

Nicaragua ha desarrollado diversas políticas y estrategias que abordan las necesidades de los sectores vulnerables al cambio climático. La autoridad nacional encargada de las cuestiones del cambio climático es el Ministerio de Recursos Naturales y del Medio Ambiente (MARENA, en español). MARENA es responsable de la aplicación de los tratados internacionales (por ejemplo, la CMNUCC, el Protocolo de Kioto) y ha liderado el desarrollo de las comunicaciones nacionales en el marco de la CMNUCC<sup>22A</sup>, así como el desarrollo del Plan de Acción Nacional sobre el Cambio Climático.

El Plan Nacional de Acción de 2003 sobre el Cambio Climático contiene pasos importantes para avanzar en la adaptación y construcción de resiliencia frente a los cambios provocados por el clima, en particular respecto de la agricultura y el agua. En la práctica, sin embargo, el documento de 2003 parece que no ha sido aplicado plenamente.

En 2010, el Gobierno de Nicaragua desarrolló la Estrategia y Plan de Acción Nacional sobre el Medio Ambiente y el Cambio Climático. Este documento describe los principales retos ambientales del cambio climático que enfrenta Nicaragua y establece una agenda con acciones clave a desarrollar en el período 2010-2015. Las acciones giran en torno a temas como la defensa y protección del medio ambiente y los recursos naturales, la educación ambiental, la conservación, la recuperación y el uso de las fuentes de agua, la prevención, la mitigación y la adaptación al cambio climático, y el uso sostenible de la tierra. Las principales acciones de adaptación que se señalan en este plan son:

- Agua – Construcción de pozos de agua y acueductos; captura y almacenamiento del agua; y adaptación de las cuencas hidrográficas, incluyendo la protección de las riberas.
- Agricultura – Semillas resistentes, diversificación agrícola, nuevos cultivos y nuevas actividades económicas.
- Información sobre el Clima – Reforzar la vigilancia y la recopilación de información, sistemas de alerta temprana y capacidad de respuesta.

La Directiva del Cambio Climático del Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARENA) es el punto focal de la Convención Marco de Nicaragua. MARENA ha presentado, en nombre de Nicaragua, dos comunicaciones nacionales en el marco del proceso de la CMNUCC (es decir, 2001 y 2011).

<sup>21A</sup>. La información de esta sección se ha obtenido de Adaptation Learning Mechanism, el cual es un sitio web depositario de varios documentos y noticias de cambio climático y adaptación, desarrollado por la Naciones Unidas. <http://www.adaptationlearning.net/nicaragua/profile>

<sup>22A</sup>. CMNUCC significa Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, que es un tratado internacional cuya misión es estabilizar las emisiones de gases de efecto invernadero en la atmósfera lo cual pudiera prevenir la peligrosa interferencia antropogénica con el sistema climático.

A nivel centroamericano, se ha desarrollado recientemente una estrategia regional sobre el cambio climático en el marco del Sistema de Integración Centroamericana (SICA, en español) y en concreto, su Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD, en español), un comité que promueve la colaboración entre los ministerios del medio ambiente de los países miembros del SICA.

La estrategia resume información sobre el clima y las vulnerabilidades sectoriales y propone seis áreas estratégicas, una de las cuales es “la vulnerabilidad y la adaptación a la variabilidad y el cambio climático, y el manejo de riesgos”. Nueve objetivos estratégicos –reducción del riesgo de desastres, la agricultura y la seguridad alimentaria, los ecosistemas forestales y la biodiversidad, el agua, la salud, los sistemas marino-costeros, el turismo, los pueblos indígenas y la infraestructura pública– con más de 150 medidas propuestas mencionadas. Otras áreas estratégicas son: la mitigación; creación de capacidad; la educación, la sensibilización, la comunicación y la participación; la transferencia de tecnología; y las negociaciones y manejo a nivel internacional.<sup>23A</sup>

### A.4.3 Política nacional del manejo de riesgos de desastres

En 2000, la Asamblea Nacional aprobó la Ley 337, que creó el Sistema Nacional para la Prevención, Mitigación y Atención de Desastres (SINAPRED, en español) y estableció el marco actual para manejar los desastres en el país. Este sistema integra numerosas agencias gubernamentales y no gubernamentales a nivel nacional, regional y local.

La misión del SINAPRED es “reducir la vulnerabilidad de las personas en riesgo de sufrir desastres causados por fenómenos naturales y/o generados por las actividades humanas que ponen en peligro la vida de los ciudadanos, sus pertenencias, los ecosistemas y la economía nacional<sup>24A</sup>”. A nivel local, SINAPRED trabaja a través de los comités municipales, departamentales y regionales, así como a través de comisiones sectoriales de trabajo.<sup>25A</sup>

Nicaragua también es miembro del Centro de Coordinación Regional para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (CEPREDENAC). CEPREDENAC pertenece al marco institucional puesto en marcha por el SICA y que reúne a las comisiones nacionales de emergencia de los siete países centroamericanos para promover la cooperación internacional, el intercambio de conocimientos, la asistencia técnica y científica, y la difusión de información sobre los riesgos de desastres. Su principal instrumento de política es la “Política Centroamericana de Gestión Integral de Riesgos de Desastres”, que establece los lineamientos, directrices y acciones que han de ser detalladas en los planes más específicos, tales como un plan<sup>26A</sup> de reducción de desastres regional de cinco años.

<sup>23A</sup>. Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (CEPREDENAC) and Sistema de la Integración Centroamericana (SICA) (2010). *Política Centroamericana de Gestión Integral de Riesgo de Desastres*. Ciudad de Guatemala: CEPREDENAC y Ciudad Merliot, El Salvador: SICA.

<sup>24A</sup>. SINAPRED 2013. Disponible en <http://www.sinapred.gob.ni/>

<sup>25A</sup>. SINAPRED 2013. Disponible en <http://www.sinapred.gob.ni/>

<sup>26A</sup>. Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (CEPREDENAC) and Sistema de la Integración Centroamericana (SICA) (2010). *Política Centroamericana de Gestión Integral de Riesgo* Ciudad de Guatemala: CEPREDENAC y Ciudad Merliot, El Salvador: SICA.

## A.4.4 Orientación internacional importante sobre el cambio climático y la adaptación

Nicaragua es parte de una serie de acuerdos multilaterales sobre el medio ambiente (por ejemplo, convenciones, tratados y protocolos) que son un contexto importante para entender las acciones a nivel local y los planes locales relacionados con el cambio climático. Estos acuerdos se tabulan a continuación:

**Tabla A-7** Acuerdos Multilaterales Internacionales Ratificados por Nicaragua

Acuerdo Ambiental Multilateral	Descripción / Normas del Proyecto
Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)	El Tratado de la CMNUCC fue firmado en 1992 y ratificado por Nicaragua en 1995; entró en vigor en Nicaragua en enero de 1996. Su objetivo es estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera.
Protocolo de Kioto (1998)	El Protocolo de Kioto fue firmado por Nicaragua en 1998 y ratificado en noviembre de 1999. Este implementa los principios establecidos por el Tratado CMNUCC con un enfoque especial en la reducción de las emisiones (Art. 3).
Acuerdo de Viena para la Protección de la Capa de Ozono y el Protocolo de Montreal. Publicado el 22 de marzo de 1985 en Viena.	Este acuerdo se centra en la protección de la salud de las personas y el medio ambiente contra los efectos adversos resultantes de los cambios y modificaciones en la capa de ozono.
Convención de las Naciones Unidas para el Cambio Climático. Publicada el 9 de mayo de 1992 en Nueva York.	El objetivo de este convenio es proteger el clima para las generaciones presentes y futuras y prevenir los cambios climáticos.
Acuerdo Regional sobre el Cambio Climático. Publicado el 29 de octubre de 1993 en Guatemala.	Coordina las acciones en la región centroamericana con el fin de crear un crecimiento económico, y al mismo tiempo, hacer frente a los desafíos del cambio climático.
Marco de Acción de Hyogo	Es el plan de 10 años adoptado por 168 estados miembros de las Naciones Unidas en 2005 para llevar a cabo acciones destinadas a la reducción de riesgos de desastres naturales.

# Anexo B:

## *Escenario del Uso de la Tierra Proyectado para Managua* **Adaptación al Cambio Climático y Manejo de los Recursos Hídricos en Managua, Nicaragua**

### Contenido

B.0	Escenario del uso de la tierra proyectado para Managua .....	118
B.1	Metodología.....	118
B.2	Cuencas del Sur.....	120
	B.2.1 Análisis Histórico con imágenes satelitales LANDSAT .....	120
	B.2.2 Análisis y proyecciones multitemporales .....	123
B.3	Cuencas del Norte .....	125
	B.3.1 Análisis histórico con mapas MAGFOR sobre el uso del suelo .....	127
	B.3.2 Análisis multitemporal y proyecciones .....	128
B.4	Microcuencas.....	129
	B.4.1 Análisis histórico de imágenes satelitales LANDSAT.....	131
	B.4.2 Análisis multitemporal y proyecciones .....	131
B.5	Cubierta de impermeabilidad .....	131



## Lista de Tablas

B-1	Sistemas de clasificación de la cobertura de la tierra.....	122
B-2	Ejemplo del output para la Subcuenca IV, cuenca del sur.....	125
B-3	Número de curvas existentes en la cubierta vegetal de las cuatro microcuencas.....	132
B-4	Números de curvas que componen el escenario de la cubierta vegetal del 205.....	132
B-5	Números de curva para las subunidades de la cuenca del Lago Managua .....	133

## Lista de Figuras

B-1	Proceso de análisis del uso de la tierra para la cuenca del Lago de Managua.....	119
B-2	Mapas del uso de la tierra para las cuencas del sur: 1989, 1998, 2004 y 2010.....	123
B-3	Subunidades de la cuenca del Lago de Managua .....	126
B-4	Mapas de usos de la tierra en las cuencas del Norte: 1998, 2000 y 2009.....	128
B-5	Proyecciones estadísticas de bosque denso en las maderas .....	129
B-6	Cuatro microcuencas sometidas al análisis detallado del uso de la tierra.....	130

## B.0 Escenario del uso de la tierra proyectado para Managua

Tal como se analizó en el documento principal, ERM realizó un análisis hidrológico de cuencas urbanas seleccionadas en Managua para modelar los riesgos potenciales asociados con eventos de aguas pluviales a futuro. Al igual que con cualquier análisis de cuencas, es importante entender la capacidad de infiltración del suelo bajo estudio, ya que desempeña un papel importante en la determinación de la magnitud de la escorrentía que se produce en una cuenca determinada.

Esta sección se centra en establecer un escenario futuro de uso de la tierra en Managua. Teniendo en cuenta que la tasa de infiltración está directamente asociada con la impermeabilidad de la superficie del suelo, la cual está vinculada a su manto vegetal/uso del suelo, proyectar lo que tales usos de la tierra serán, es un input clave para modelar el comportamiento de las cuencas hidrográficas en el futuro. Esta sección se centra en establecer un escenario futuro del uso del suelo en Managua.

### B.1 Metodología

Con el fin de determinar la impermeabilidad de la cuenca del Lago de Managua, ERM estudió el manto vegetal a través de trece subcuencas del lago. A nivel urbano, ERM también analizó el manto vegetal existente para las cuatro microcuencas seleccionadas. El análisis se realizó utilizando un enfoque por fases donde se estudiaron distintas partes de cada cuenca individual, empezando por las cuencas del norte, moviéndose hacia las cuencas del sur y luego centrándose en las microcuencas a nivel urbano. Como resultado, este análisis se dividió en tres secciones:

- Las cuencas del sur
- Las cuencas del norte
- Las cuencas a nivel urbano

El análisis de cada sección de la cuenca comprende dos pasos:

- Análisis histórico de los cambios en el uso de la tierra, utilizando datos de satélite de varios años,
- Proyecciones de cambios del uso de la tierra para 2050 basadas en las tendencias de cambio en el uso de la tierra derivadas del análisis histórico.

Para el análisis histórico, ERM recopiló información de dos fuentes principales: mapas de cobertura de la tierra generados por el Ministerio Agropecuario y Forestal (MAGFOR), que proporcionaron datos sobre las subcuencas en la parte norte del Lago de Managua, y de imágenes de satélite LANDSAT, que proporcionaron datos para las cuencas hidrográficas en la parte sur del lago.

El segundo paso del análisis se centró en la proyección del uso de la tierra a futuro para el horizonte de 2050. Se utilizó la misma metodología para las tres unidades de la cuenca en estudio. Como se ilustra en la Figura B-1, la proyección del escenario futuro incluye:

1. Aplicar funciones estadísticas para predecir el comportamiento futuro de cada categoría de uso del suelo basadas en datos históricos;
2. Seleccionar una función para cada categoría de uso del suelo; y
3. Normalizar la información y construir la serie final de tiempos, asegurar que el alcance de los usos proyectados del uso del suelo, se mantuvieron constantes en la superficie total de cada unidad de análisis.



**Figura B-1: Proceso de Análisis del Uso de la Tierra para la Cuenca del Lago de Managua –en inglés–**

Lake Xolotlán watersheds Multi-temporal land use analysis and projections			
Process / Units of analysis		Northern Basin 9 Watersheds	Souther Basin 5 Watersheds 6 Micro-Watersheds 6 polygons* *Polygons within Jagüitas and Cuarezma micro-watersheds
Multi-temporal Analytics	Land Use Maps	Magfor 1998-2000-2009	Landsat 1989-1998-2004-2010
	Areas measured by land use category	5 Categories Cultivate and without vegetation Dense forest Thin forest Rangeland Tacotal* *Young secondary forest	12 Categories Developed high intensity Developed medium intensity Developed low intensity Developed open space Forest Cultivate Rangeland Barren Water Forested wetland Scrub wetland Emergent wetland
Projections 2010-2050	996 possible statistical functions	4 for each land use category Linear Exponential Logarithmical Double logarithmical	
	249 selected statistical functions	1 for each land use category Most suitable: - Non negative. - Behaviour adjusted to the literature and empiric knowledge of the area of study. - Follow the trends found in the historic data. - First figure in the projection series closer to the last figure in the historic data.	
	Final time series: areas by land use category	1998-2050	1989-2050

## B.2 Cuencas del Sur

La Cuenca Sur del Lago de Managua, que es también conocida como Lago Xolotlán, se divide en cinco cuencas: Mateare-Nagarote, Subcuenca I, Subcuenca II, Subcuenca III y Subcuenca IV. Para cada una, ERM analizó los mapas de uso de la tierra derivados de imágenes de satélite LANDSAT basadas en la teledetección.

El estudio del uso del suelo para la cuenca sur se llevó a cabo en dos partes: primero, un análisis histórico del cambio de uso del suelo y, segundo, una proyección de la información más reciente disponible para el año 2050, utilizando los datos recogidos en el análisis histórico para determinar las tendencias en el uso del suelo en el tiempo.

### B.2.1 Análisis Histórico con imágenes satelitales LANDSAT

Para el análisis histórico del uso del suelo, ERM estudió la cobertura de la tierra derivada de imágenes satelitales LANDSAT de la cuenca sur. ERM seleccionó las imágenes del satélite USGS LANDSAT 5 que se encuentran libremente disponibles LANDSAT 5 (Thematic Mapper). El LANDSAT 5 fue lanzado el 1 de marzo de 1984 y ofrece una resolución espacial de 30 metros (m), la cual captura la reflectancia visible e infrarroja de la superficie terrestre a través de siete bandas<sup>1B</sup>. Esta configuración del satélite y de la banda de onda están diseñadas específicamente para la cartografía de la cubierta terrestre regional llevada a cabo para este estudio.

Los criterios para la selección de imágenes fueron:

- Período de Tiempo y Frecuencia: las primeras imágenes disponibles hasta presentarse un mínimo de cuatro imágenes en un intervalo de tiempo constante.
- Nubosidad: Preferiblemente libre de nubes y libre de otros efectos atmosféricos, o nubes limitando las porciones no urbanas del área de estudio.
- Estación: Después de la revisión inicial de los patrones climáticos y la disponibilidad de imágenes, se seleccionaron imágenes para finales de noviembre y diciembre, que corresponden al inicio de la estación seca.

ERM seleccionó entonces, cuatro períodos de para los cuales había disponibilidad de imágenes satelitales:

- Noviembre 27, 1989
- Diciembre 22, 1998
- Noviembre 24, 2004
- Diciembre 23, 2010

Las imágenes LANDSAT se descargaron en formato RAW para evitar errores residuales y crear una base de datos en bruto adecuada para un análisis multitemporal<sup>2B</sup>.

<sup>1B</sup>. Blue 0.45 – 0.52 30, 2 Green 0.52 – 0.60 30, 3 Red 0.63 – 0.69 30, 4 Near infrared 0.76 – 0.90 30, 5 Shortwave infrared 1.55 – 1.75 30, 6 Thermal infrared 10.40 – 12.50 120, 7 Shortwave infrared 2.08 – 2.35 30.

<sup>2B</sup>.

### *Procesamiento de Datos LANDSAT*

Las imágenes LANDSAT fueron preprocesadas a la corrección estándar de Nivel T1, que proporciona la corrección radiométrica y geométrica de errores en las imágenes en bruto desde el satélite. Las imágenes Nivel T1 también eliminan errores residuales en los datos calibrados para mejorar el aspecto cualitativo de las imágenes. La corrección geométrica elimina las distorsiones geométricas y proyecta la imagen a una proyección estándar de un mapa. Este procesamiento previo no elimina todos los errores u objetos en los datos en bruto, por lo tanto, ERM realizó un procesamiento previo adicional para crear un conjunto de datos en bruto adecuados para un posterior análisis de imágenes.

Todas las bandas de frecuencia se operan a través de un Análisis de Componentes Principales (PCA), que vuelve a procesar las bandas basado en la variabilidad de la reflectancia en todas las bandas de frecuencia para eliminar cualquier ruido residual o error, con la excepción de la banda 6 (térmica infrarrojo), que tiene un uso limitado en el mapeo de la vegetación. En cuatro de los casos, se utilizaron los tres primeros componentes (de un total de seis) e incluían aproximadamente el 98,5 % de la variante de la imagen. Los componentes finales, que representaron menos del 1,5 % de la variante en los datos (y la mayoría de los errores) fueron descartados antes de volver a montar las imágenes individuales.

Una inspección adicional mostró que todavía había presencia de franjas en algunas de las principales componentes de las bandas en las imágenes de 1998 y de 2004, por lo que se aplicó un algoritmo de eliminación del bandedo (*de-striping*) para corregir esto. Por último, los números digitales se convirtieron a valores de resplandor ya que este nivel adicional de corrección se ajusta para cualquier distorsión temporal restante entre imágenes. Para determinar el uso de la tierra, ERM corrió una serie de análisis automatizados y técnicas estadísticas (clasificación no supervisada)<sup>3B</sup>, para resaltar la variabilidad en las imágenes que no pueden distinguirse fácilmente, con una simple revisión visual manual, especialmente al considerar la reflectancia de bandas de ondas infrarrojas no visibles. Estos análisis preliminares sirvieron para ilustrar las regiones espectralmente ambiguas (por ejemplo, región cultivada confundida con regiones extensas de praderas), así como, proporcionar información general sobre la cobertura de la tierra. Este proceso también ayudó a seleccionar los “sitios de entrenamiento” para la clasificación supervisada.

### *Clasificación de la Cobertura de la Tierra*

Teniendo en cuenta la geografía del área de estudio, el clima y el uso del suelo, así como las normas de la industria, las categorías de cubierta vegetal elegidas para ser representadas en el informe final son una combinación de la categorías clasificadas en el Nivel 2 del Programa de Análisis del Cambio Costero (C-CAP) y la Base de Datos de la Cubierta Vegetal Nacional de los Estados Unidos (NLCD).

La clasificación final de la cubierta vegetal, en base al esquema de colores, utilizada en los mapas y que se muestra en la TABLA B-1 combina estos sistemas para ilustrar mejor y diferenciar las clases. Debido a las características espectrales, climatológicas, y de resolución de datos de la región, las clases de Matorrales y Pastizales tuvieron que ser combinadas en una clase llamada “rangeland”.

<sup>3B</sup> ERM corrió los siguientes análisis: Parallel Piped; Minimum Distance to Mean; Multi-Layer Perceptron; K- Nearest Neighbors; Bayesian Probabilities; Mahal Typicality; and Fisher (LDA).

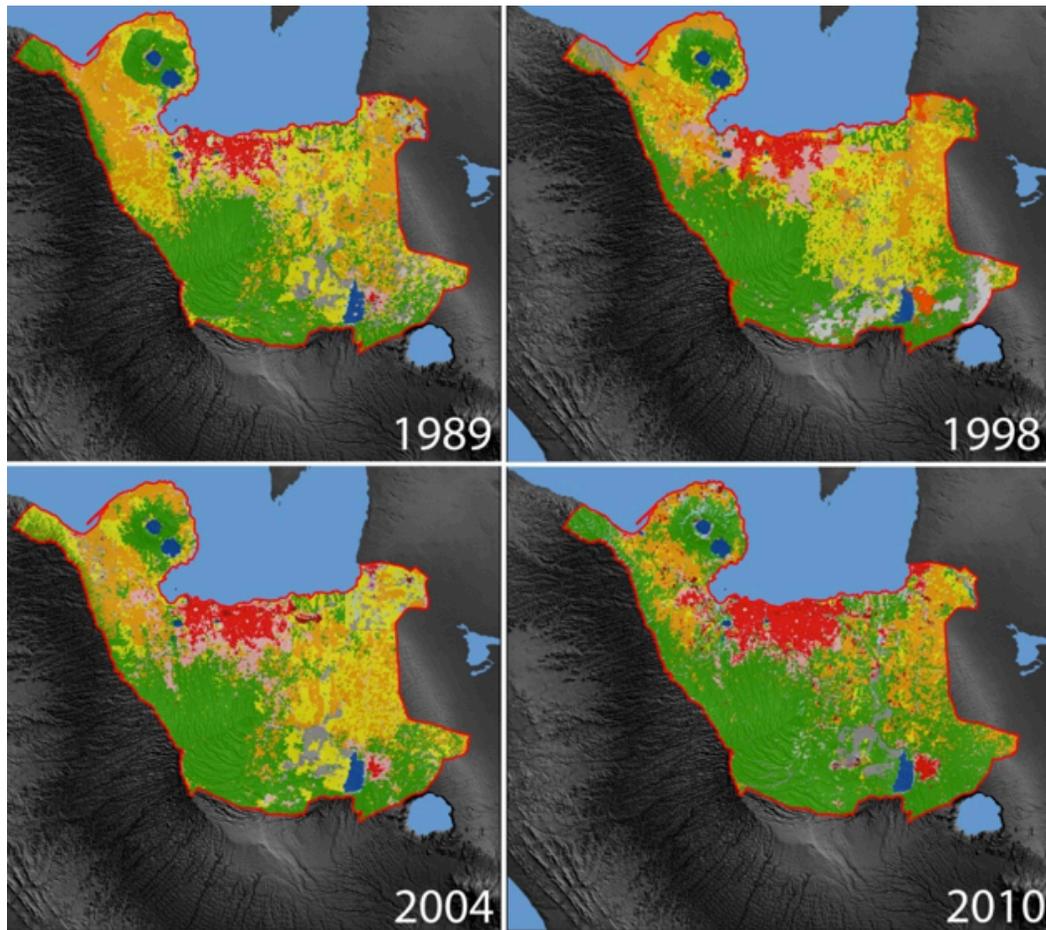


**Tabla B-1** Sistemas de Clasificación de la Cobertura de la Tierra

Nivel 1 Clase C-CAP	Nivel 2 Clase C-CAP	Clase Utilizada en el Estudio
Sin clasificar Desarrollada	Sin clasificar	Sin clasificar
	Desarrollada, Alta Intensidad	Desarrollada Alta intensidad
	Desarrollada, Intensidad Media	Desarrollada Media intensidad
	Desarrollada, Baja Intensidad	Desarrollada baja intensidad
	Desarrollada, Espacio Abierto	Desarrollada espacio abierto
Tierra Agrícola	Tierra Agrícola	Cultivada
Pastizales	Pastizales/Herbáceos	Ganadería - Pastizales
Matorrales	Maleza/Arbustos	Arbustos - Pastizales
Bosque	Bosque	Bosque
Humedales	Humedal Forestal	Humedal boscoso
	Maleza/Maleza Humedales	Humedal arbustivo
	Humedales Emergentes (Persistente)	Humedal emergente
Tierra estéril	Tierra estéril	Estéril
Agua/Sumergida	Aguas abiertas	Agua

El siguiente paso en el proceso de categorización incluyó la estimación de las áreas que correspondían a cada categoría de uso del suelo, teniendo en cuenta las tendencias observadas entre 1998 y 2009. Este análisis multitemporal fue la base para la previsión de la distribución de los usos del suelo en cada cuenca para 2050, sobre la línea base de 2009. El mismo enfoque metodológico fue utilizado para todas las unidades de análisis (por ejemplo, la Cuenca del Lago de Managua, las microcuencas urbanas y los polígonos dentro de Microcuencas). La FIGURA B-2 ilustra los mapas de cubierta vegetal para los cuatro períodos bajo estudio.

Figura B-2: Mapas del uso de la tierra para las Cuencas del Sur:  
1989, 1998, 2004 y 2010



Fuente: Datos de los satélites LANDSAT. Mapa por ERM, 2013.

## B.2.2 Análisis y Proyecciones Multitemporales

Una vez que se completaron los mapas de uso del suelo, ERM analizó la evolución de las categorías y midió la superficie ocupada por cada una de las cuencas hidrográficas. Eso le permitió al equipo crear una serie de tiempos para evaluar las variaciones en cada unidad de análisis e identificar las tendencias del cambio de uso del suelo.

El estudio multitemporal 1989-2010<sup>4B</sup> fue la base de las proyecciones de 2010 a 2050. Usando estadísticas del software STATA, el equipo corrió cuatro tipos de proyecciones<sup>5B</sup> para cada categoría en cada unidad de análisis. Un total de 240 proyecciones, tomadas de los datos históricos recopilados, fueron utilizadas para evaluar las posibles tendencias futuras para cada categoría de uso del suelo en las cuencas de la Cuenca Sur.

Partiendo del conjunto de proyecciones estadísticamente posibles, ERM seleccionó las 60 proyecciones que mejor se adaptaban a cada categoría de uso del suelo. En primer lugar, se descartaron las proyecciones negativas, con valores por debajo de cero. En segundo lugar, las proyecciones remanentes se evaluaron con las tendencias actuales identificadas en el estudio de fuentes secundarias y en comparación con las tendencias que se encuentran en los datos históricos. En algunos casos, cuando dos o más funciones cumplían con los criterios mencionados anteriormente, se seleccionó la función de la primera figura en la serie de proyecciones más cercanas a la última figura en los datos históricos, asumiendo que el cambio menos abrupto se produciría en un intervalo de cinco años. Por último, las proyecciones más adecuadas para cada categoría fueron evaluadas de forma conjunta, en cada unidad de análisis para determinar su distribución final.

En el caso de las áreas urbanas, las cifras en bruto de las proyecciones se compararon con un análisis demográfico utilizado para estimar la demanda del uso del suelo. Una vez que se calibraron las zonas urbanas, las cifras en bruto para cada proyección, en las zonas rurales y naturales, se normalizaron para encajar dentro del área de análisis, que es constante en el tiempo.

El último conjunto de datos para cada unidad de análisis consistió en una matriz que muestra las áreas ocupadas por categorías de uso del suelo en función del tiempo. La matriz incluye datos históricos desde 1989 hasta 2010 y se proyectaron los datos 2010-2050, por intervalos de cinco años. La TABLA B-2 ilustra el output de una sola unidad de estudio, la Subcuenca IV.

<sup>4B</sup>. 1998-2009 para las cuencas del norte

<sup>5B</sup>. Proyecciones programadas en STATA: lineal, exponencial, logarítmica, doble logarítmica y constante

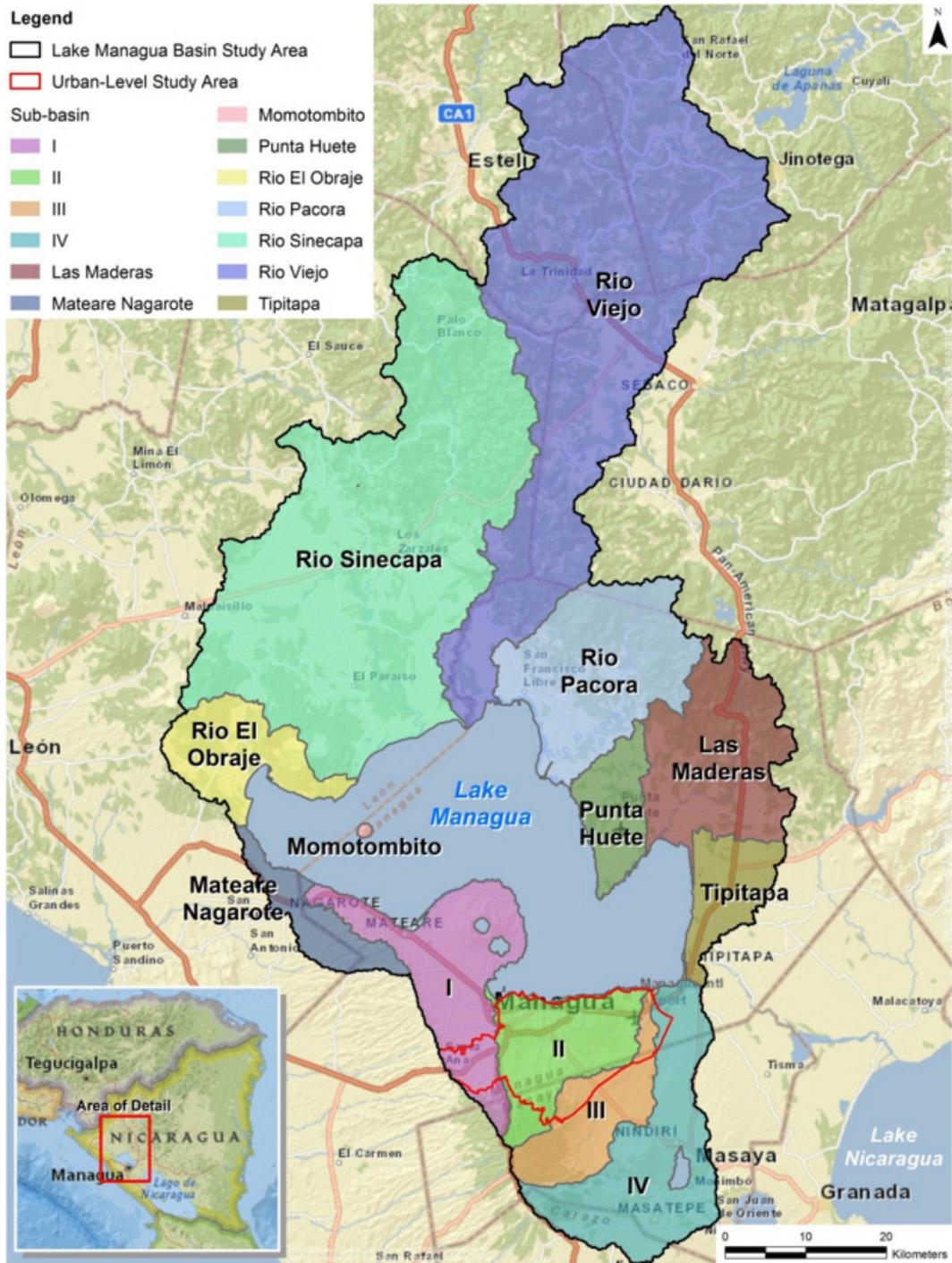
**Tabla B-2** Ejemplo del output para la Subcuenca IV, Cuenca del Sur

Área en Hectáreas Subcuenca IV	1989	1998	2004	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Desarrollado de alta densidad	253	0	23	419	479	484	486	487	487	487	486	484
Desarrollado de media densidad	116	71	288	1,012	1,052	1,205	1,339	1,456	1,558	1,648	1,728	1,797
Desarrollado de baja densidad	1,443	1,267	1,963	1,187	1,326	1,247	1,171	1,100	1,034	973	917	865
Desarrollado espacio abierto	12	10	18	40	47	51	55	58	60	63	65	66
Cultivado	8,384	6,603	6,907	6,426	6,618	5,940	5,327	4,777	4,289	3,855	3,471	3,128
Pastizales	10,078	13,095	11,964	1,718	1,273	850	567	379	253	170	114	77
Bosque	10,877	8,384	10,295	19,999	20,099	21,126	21,977	22,690	23,293	23,809	24,255	24,622
Humedal boscoso	229	40	434	600	682	707	726	742	755	766	775	813
Humedal arbustivo	365	93	76	78	56	37	24	16	10	7	5	3
Humedal emergente	42	58	32	10	11	8	5	4	2	2	1	1
Cuerpo de agua	55	82	25	21	20	14	10	7	5	4	3	2
Estéril	2,457	3,335	3,354	3,234	4,037	4,031	4,012	3,984	3,951	3,916	3,881	3,842
Nubes	394	2,199	213	205	0	0	0	0	0	0	0	0
Sombra	994	461	108	751	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	35,699	35,699	35,699	35,699	35,699	35,699	35,699	35,699	35,699	35,699	35,699	35,699

## B.3 Cuencas del Norte

Como se ilustra en la Figura B-3, la cuenca norte del Lago de Managua se divide en nueve cuencas: Las Maderas, Momotombito, Punta Huete, Río Obraje, Río Jinotega, Río Pacora, Río Sinecapa, Río Viejo y Tipitapa.

Figura B-3: Sub-Unidades de la Cuenca del Lago de Managua  
 –en inglés–



Fuente: ERM, 2013

Para estas nueve cuencas hidrográficas, la mejor fuente de datos disponible son los Mapas Oficiales del uso del suelo MAGFOR. Los mapas de 1998, 2000 y 2009 utilizan mapas del uso del suelo MAGFOR que se procesaron para reclasificar sus 22 categorías originales en seis categorías (como se muestra en la Figura B-4), representativas de diferentes niveles de impermeabilidad. Estas seis categorías son:

- Cultivada (sin vegetación)
- Bosque denso
- Bosques finos
- Praderas (rangeland)
- Tacotal<sup>6B</sup>
- Cuerpos de agua

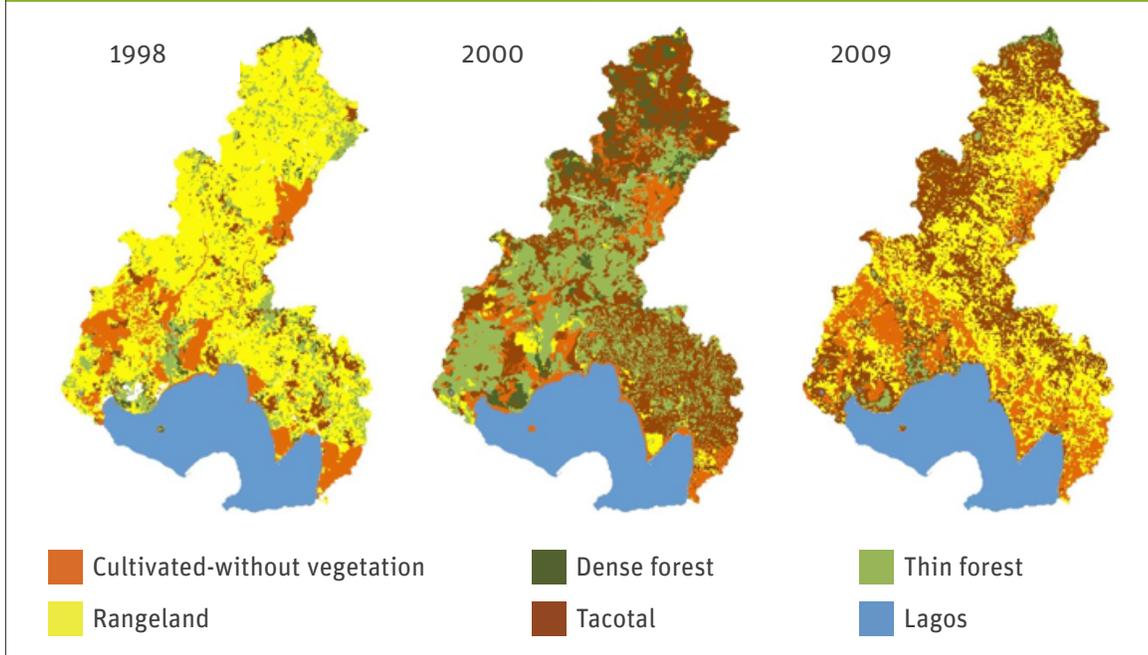
El análisis del uso del suelo para la cuenca norte comprendía un análisis histórico del cambio del uso del suelo y una formulación de proyectos basados en estadísticas para el horizonte de tiempo del 2050 (basado en los datos históricos para determinar las tendencias del cambio de uso del suelo con el tiempo). El mismo proceso se realizó para la Cuenca Sur del Lago de Managua; sin embargo, la principal diferencia es que se utilizó una fuente diferente de datos.

### B.3.1 Análisis histórico con mapas MAGFOR sobre el uso del suelo

Los mapas que muestran la distribución de los bosques densos, bosques ralos, pastizales, tacotales y áreas cultivadas o sin vegetación, fueron creados con el fin de estudiar la distribución de los usos del suelo en cada una de las cuencas hidrográficas. La Figura B-4 muestra la distribución de la cubierta vegetal como mapas de la cuenca norte, para tres períodos.

<sup>6B.</sup> Tacotal es conocida como un área caracterizada por el crecimiento de plantas silvestres y donde los tipos de plantas predominantes son matorrales y árboles de no más de 5 metros de alto. En esencia, tacotal es un tipo de bosque joven secundario, regenerado típicamente del uso previo exhaustivo de pastizales de ganado.

Figura B-4: Mapas de Usos de la Tierra en las Cuencas del Norte: 1998, 2000 y 2009  
–en inglés–



Fuente: MAGFOR. Mapa por ERM, 2013.

El equipo técnico midió las áreas ocupadas por cada categoría de uso del suelo en los mapas, e identificó las tendencias de variación de usos identificados entre 1998 y 2009. Este análisis multitemporal sirvió de base para el pronóstico de la distribución de los usos del suelo en cada cuenca desde 2009 a 2050.

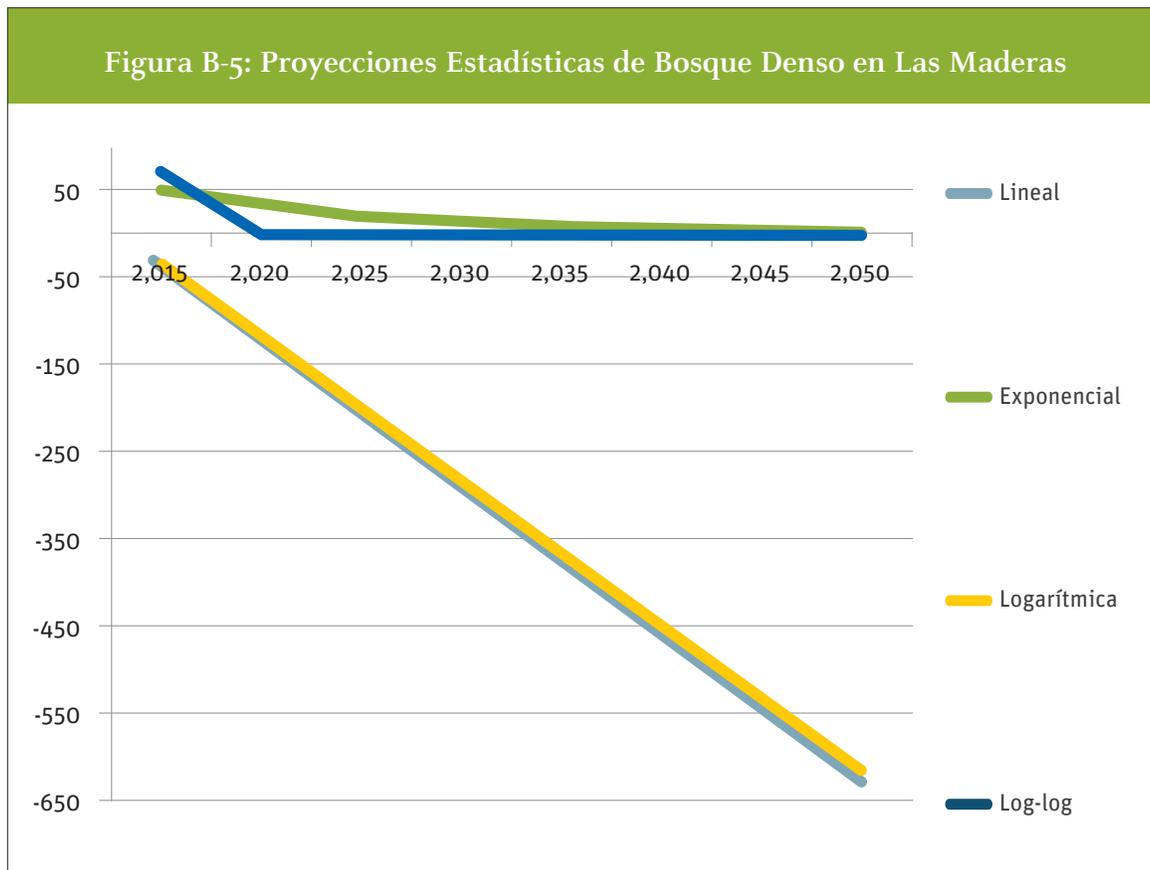
### B.3.2 Análisis multitemporal y proyecciones

El mismo enfoque metodológico descrito en las Secciones B.1 y B.2.1, fue utilizado para todas las unidades de análisis (es decir, las cuencas, microcuencas y polígonos dentro de las microcuencas), y por lo tanto, para todas las cuencas hidrográficas de las cuencas del norte y sur del Lago Managua.

El estudio multitemporal 1998-2009 fue la base de las proyecciones 2009-2050 en las cuencas del norte. Usando estadísticas del software STATA, el equipo corrió cuatro tipos de proyecciones<sup>7B</sup> para cada categoría en cada unidad de análisis. Se desarrolló un total de 240 proyecciones entre los datos históricos recopilados, que se utilizaron para evaluar las posibles tendencias futuras para cada categoría de uso del suelo en las cuencas de la Cuenca Sur.

<sup>7B</sup> Proyecciones programadas en STATA: lineal, exponencial, logarítmica, doble logarítmica y constante

En resumen, ERM efectuó un total de 180 funciones estadísticas y seleccionó las 45 más adecuadas para cada una de las cuencas del norte. La serie de tiempo final fue construida a partir de las funciones seleccionadas para cada uno de los usos del suelo en una cuenca en particular. La Figura B-5 muestra un gráfico de cuatro de las cinco proyecciones estadísticas realizadas, en este caso, para la categoría de uso de suelo de bosque denso en la Cuenca Las Maderas.

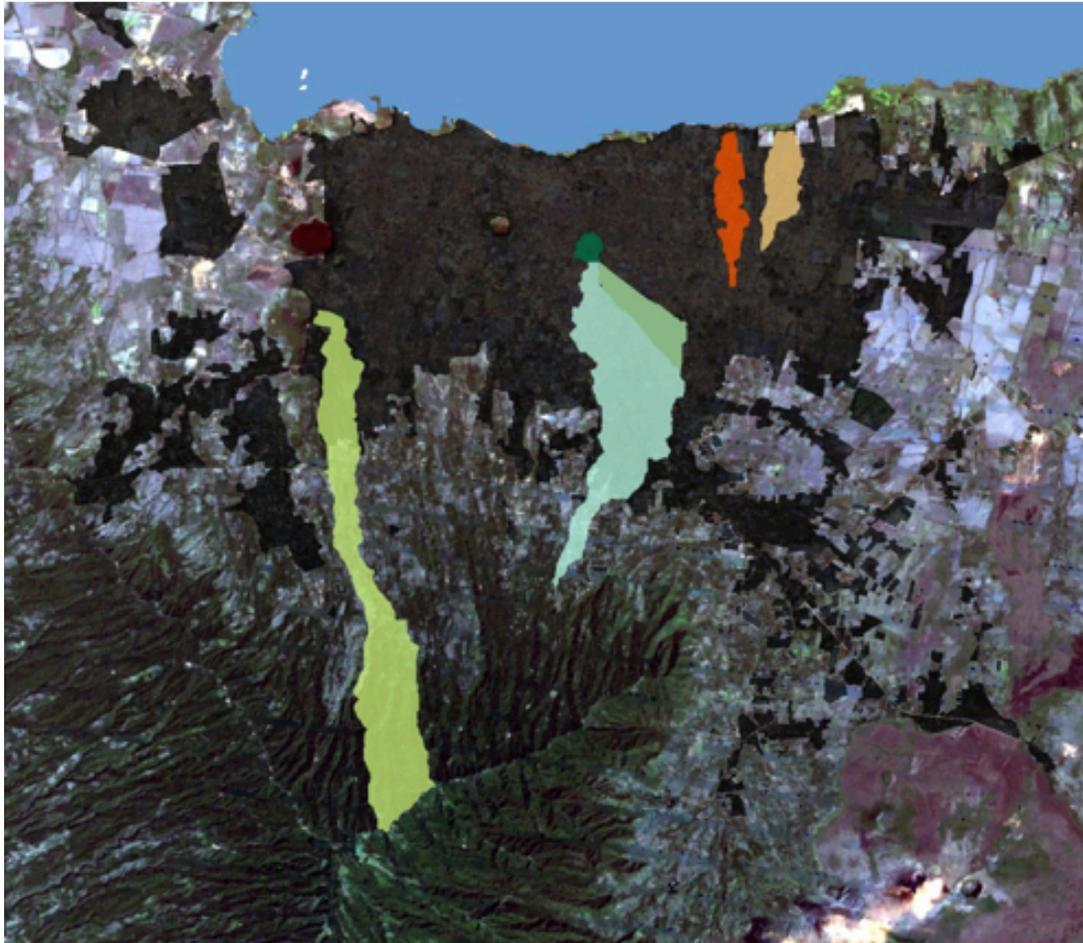


Fuente: ERM, 2013

## B.4 Microcuencas

Como se ilustra en la Figura B-6, se seleccionó un total de cuatro Microcuencas para el análisis detallado de la Cuenca Sur: Hugo Chávez, Primavera, Oriental-Jagüitas-Cuarezma (OJC) y Nejapa. Además, se analizaron seis polígonos en mayor detalle, dentro de las microcuencas de OJC.

Figura B-6: Cuatro Microcuencas sometidas al análisis detallado del uso de la tierra



Jagüita  
Oriental

Cuarezma  
Primavera  
Huella urbana 2010

Nejapa  
Hugo Chávez

0 2 4  
Kilómetros



## B.4.1 análisis histórico de imágenes satelitales LANDSAT

ERM preparó un análisis detallado de los mapas por satélite LANDSAT sobre el uso de la tierra. Teniendo en cuenta la zona geográfica del estudio, el clima y el uso del suelo, así como los estándares de la industria, las categorías de cubierta vegetal seleccionadas para ser representadas en el informe final son una combinación de clasificación de categorías, del Nivel 2 del Programa de Análisis de Cambio Costero (C-CAP<sup>8B</sup>) y la Base Nacional de Datos de Cubierta Vegetal de Los Estados Unidos (NLCD)<sup>9B</sup>.

## B.4.2 análisis multitemporal y proyecciones

El equipo técnico midió las áreas ocupadas por cada categoría de uso del suelo en los mapas de uso del suelo y las tendencias de variación identificadas entre 1989 y 2010. El estudio multi-temporal sirvió de base para las proyecciones 2010-2050 de los usos del suelo en cada microcuenca hidrográfica.

Usando estadísticas del software STATA, el equipo ejecutó cuatro tipos de proyecciones<sup>10B</sup> para cada categoría en cada unidad de análisis. Un total de 288 proyecciones de microcuencas y otro de 288 para los polígonos dentro Jagüitas y Cuarezma se corrió a partir de los datos históricos recopilados. Estas proyecciones fueron evaluadas y se seleccionaron las 72 más adecuadas para las microcuencas y las 72 más adecuadas para los polígonos mencionados, para así construir la serie de tiempo final para cada unidad de análisis.

## B.5 Cubierta de impermeabilidad

Una vez que fue identificada la cubierta vegetal del suelo para las condiciones existentes (2010) y el estimado para el horizonte del 2050, ERM utilizó esta información para definir la cubierta de impermeabilidad para cada una de los cuatro microcuencas en Managua, y las trece subcuencas que rodean el Lago de Managua. La cubierta de impermeabilidad se representó por el método del número de curva de escurrimiento (CN) desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS). El método de CN fue inicialmente desarrollado como una herramienta de diseño para estimar la escorrentía de eventos de lluvia en los campos agrícolas, pero el método se utiliza actualmente para calcular las tasas de escorrentía pico y volúmenes de hidrología urbana. La selección del valor de CN que mejor representa el tipo de cobertura del suelo y las condiciones hidrológicas está basado en el tipo de cubierta vegetal, las condiciones hidrológicas y el grupo de suelo que incluye diferentes tasas<sup>11B</sup> de infiltración de suelos.

<sup>8B</sup>. El esquema de clasificación C-CAP fue desarrollado por la United States National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) como mejor práctica y como una base de datos estandarizada a nivel nacional de cobertura de la tierra e información de cambio para las regiones costeras de los Estados Unidos. Mientras que el C\_CAP es usado principalmente para las regiones costeras, muchas de las clases específicas a las costas no fueron aplicables a este estudio.

<sup>9B</sup>. El esquema de clasificación mas antiguo NLCD, en el cual se basa C\_CAP, fue desarrollado por US Environmental Protection Agency (EPA) y United States Geological Survey (USGS) con la intención de tener un estándar nacional para todo los Estados Unidos.

<sup>10B</sup>. Proyecciones programadas en STATA: lineal, exponencial, logarítmica, doble logarítmica y constante.

<sup>11B</sup>. Wanielista, M., Kersten, R., and Eaglin, R. 1997. Hydrology, Water Quantity and Quality Control. 2nd Edition Jonh Wiley and Sons, Inc.



ERM seleccionó y calculó el SNC para las cuatro microcuencas bajo estudio ubicadas dentro de Managua, basados en las características de los suelos y cubierta vegetal para las condiciones existentes. La Tabla B-3 muestra los números de curva para cada estudio de microcuencas en las condiciones existentes.

**Tabla B-3** Número de Curvas existentes en la Cubierta vegetal de las Cuatro Microcuencas

Micro cuenca	Sub-micro-cuenca	Compuesto CN
Hugo Chávez	Inferior	76
Hugo Chávez	Superior	76
Primavera	Inferior	77
Primavera	Superior	77
Nejapa	Norte	59
Nejapa	Inferior	63
Nejapa	Media	48
Nejapa	Superior	45
Oriental-Jagüitas-Cuarezma	Cuarezma 7	77
Oriental-Jagüitas-Cuarezma	Cuarezma 6	68
Oriental-Jagüitas-Cuarezma	Cuarezma 5	68
Oriental-Jagüitas-Cuarezma	Jagüitas del Medio	80
Oriental-Jagüitas-Cuarezma	Jagüitas 1	80
Oriental-Jagüitas-Cuarezma	Jagüitas 2	80
Oriental-Jagüitas-Cuarezma	Oriental	80

La Tabla B-4 muestra los números de curva para cada microsubcuenca para el horizonte 2050.

**Tabla B-4** Números de Curvas que componen el Escenario de la Cubierta vegetal del 205

Micro-cuenca	Sub-micro-cuenca	Compuesto CN
Hugo Chávez	Inferior	84
Hugo Chávez	Superior	84
Primavera	Inferior	85
Primavera	Superior	85
Nejapa	Norte	67
Nejapa	Inferior	73
Nejapa	Media	56
Nejapa	Superior	52
Oriental-Jagüitas-Cuarezma	Cuarezma 7	86
Oriental-Jagüitas-Cuarezma	Cuarezma 6	86
Oriental-Jagüitas-Cuarezma	Cuarezma 5	88
Oriental-Jagüitas-Cuarezma	Jagüitas del Medio	88
Oriental-Jagüitas-Cuarezma	Jagüitas 1	88
Oriental-Jagüitas-Cuarezma	Jagüitas 2	88
Oriental-Jagüitas-Cuarezma	Oriental-Inferior	88

TABLA B-5 muestra el compuesto de números de curva para las trece subcuencas del Lago Managua, bajo las condiciones existentes y el escenario proyectado.

**Tabla B-5** Números de curva para las subunidades de la Cuenca del Lago Managua

Subcuenca	Compuesto CN Condiciones Existentes	Compuesto CN Compuesto CN (Horizonte 2050)
I	51	56
II	63	69
III	48	53
IV	49	53
Las Maderas	53	58
Mateare-Nagarote	58	64
Punta Huete	60	67
El Obraje	33	36
Pacora	46	50
Sinecapa	39	43
Viejo-Jinotega	36	40
Momotombito	32	35
Tipitapa	58	64

# Anexo C:

## *Evaluación Detallada de la Vulnerabilidad* **Adaptación al Cambio Climático y Manejo Integrado de los Recursos Hídricos en Managua, Nicaragua**

### Contenido

C.0	Evaluación de la vulnerabilidad.....	136
C.1	Alcance .....	136
C.2	Factores que contribuyen a la vulnerabilidad al cambio climático en Managua .....	139
C.3	Evaluación de la vulnerabilidad a nivel de la comunidad.....	139
	C.3.1 Definición de vulnerabilidad y marco conceptual .....	140
	C.3.2 Desarrollo de criterios de evaluación de la vulnerabilidad.....	142
	C.3.3 Resultados de la evaluación.....	145
	C.3.4 Crecimiento urbano no planificado .....	153
	C.3.5 Sistema de drenaje de aguas pluviales .....	154
	C.3.6 Disponibilidad de vivienda y costos.....	154
	C.3.7 Infraestructura y servicios públicos.....	154
	C.3.8 Saneamiento y salud pública .....	155

## Lista de Tablas

C-1	Criterios de evaluación de la vulnerabilidad.....	143
C-2	Matriz completa de puntajes de evaluación de la vulnerabilidad .....	147

## Lista de Figuras

C-1	Barrios incluidos en la evaluación de la vulnerabilidad.....	137
C-2	Porcentajes de la población que vive en condiciones de pobreza y de pobreza extrema en los barrios seleccionados .....	138
C-3	Ejemplos de indicadores de vulnerabilidad a los peligros del cambio climático a nivel municipal, de barrios y hogares.....	140
C-4	Marco conceptual de la capacidad/vulnerabilidad.....	141
C-5	Jerarquía y nomenclatura utilizadas en el desarrollo de los criterios de evaluación de la capacidad/vulnerabilidad de la comunidad .....	143
C-6	Elevación de los barrios seleccionados y sus alrededores .....	148
C-7	Barreras de protección contra inundaciones en los barrios seleccionados .....	149
C-8	Características de las viviendas seleccionadas por barrio .....	150
C-9	Características sociodemográficas de los hogares seleccionados.....	151
C-10	Hospitales más cercanos a los barrios seleccionados .....	152
C-11	Infraestructura que necesita ser reparada en las comunidades del estudio.....	155
C-12	Condiciones de vivienda y saneamiento en los barrios del estudio.....	156

## C.0 Evaluación de la vulnerabilidad

Debido a que las inundaciones urbanas en Managua se producen principalmente debido al desbordamiento de los canales durante las fuertes lluvias, algunas zonas de la ciudad son más vulnerables que otras. En esta sección se evalúa la vulnerabilidad a las inundaciones urbanas en tres comunidades altamente vulnerables en Managua. Esta sección proporciona una visión general de los barrios seleccionados y los criterios por los cuales fueron seleccionados, y también describe en detalle el marco conceptual, los criterios de vulnerabilidad y el proceso por el cual estas comunidades fueron evaluadas y comparadas. Debido a que se considera que estas áreas específicas representan las áreas de Managua con algunos de los más altos niveles de exposición al riesgo de inundación y desventajas socioeconómicas, la caracterización resultante y la comprensión de la vulnerabilidad actual en estas comunidades, es importante para predecir, en el peor de los casos, futuros aumentos de vulnerabilidad como resultado de las tendencias de urbanización actuales y los constantes cambios climáticos.

### C.1 Alcance

Durante el taller de capacitación<sup>1c</sup> que tuvo lugar en Managua el 16 de julio del 2013, los participantes identificaron a la microcuenca de Oriental-Jagüitas-Cuarezma (OJC) como un área que es particularmente vulnerable a las inundaciones urbanas (Ver Figura C-1 para un mapa de microcuencas y los límites del distrito de Managua) y que se considera el más dinámico en términos de cambios potenciales futuros del uso de la tierra<sup>2c</sup>. Basándose en esta información, se seleccionó una muestra de los barrios del Distrito V, dentro de la cuenca OJC, para el proceso de adaptación, los esfuerzos de recolección de datos primarios y evaluación de la vulnerabilidad. Se seleccionaron tres barrios en base a los siguientes criterios:

- Representativos de las diversas clases socio-económicas;
- Ubicados en zonas que se consideran especialmente vulnerables al peligro de los cambios climáticos bajo estudio (inundación urbana); y
- No están situados en una zona que presentaría problemas de seguridad para los equipos de investigación de campo.

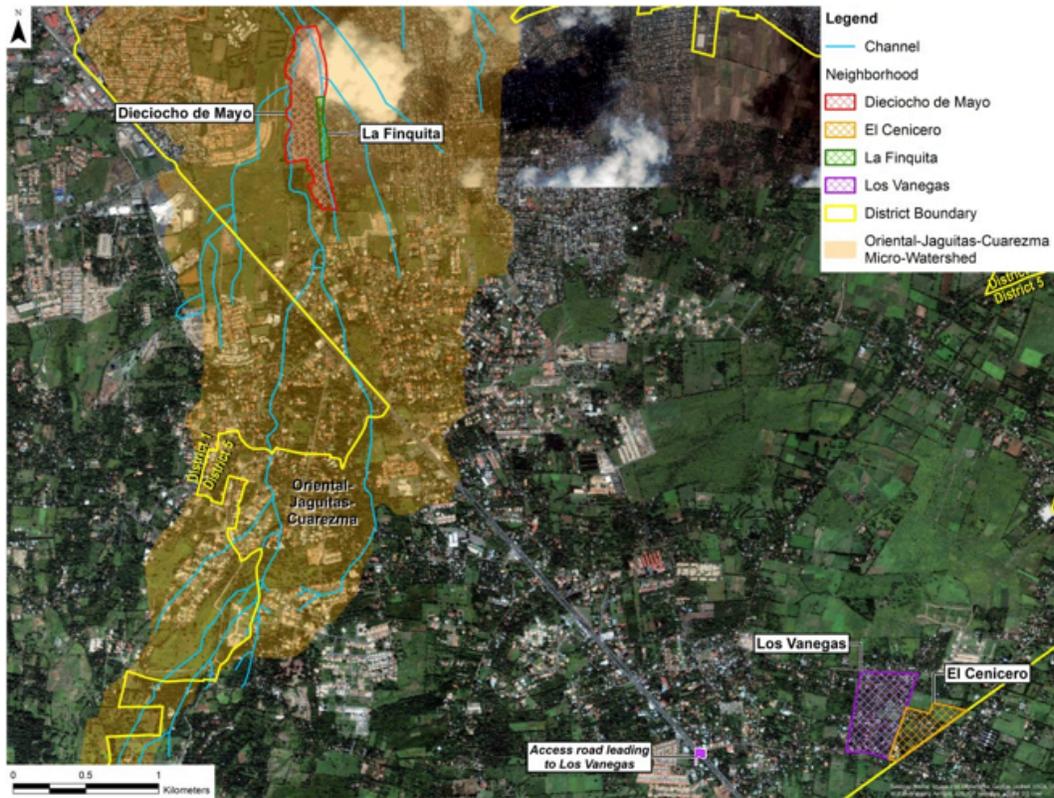
Basados en estos criterios, se seleccionaron los siguientes barrios (Ver Figura C-1):

<sup>1c</sup> Participantes en el taller de capacitación incluyeron representantes de ALMA, ANA, SINAPRED, INVUR, INETER, ENACAL así como el BID.

<sup>2c</sup> ERM (2013). Memo. Resultados Principales del Primer Taller de Capacitación



Figura C-1: Barrios Incluidos en la Evaluación de la Vulnerabilidad  
–en inglés–



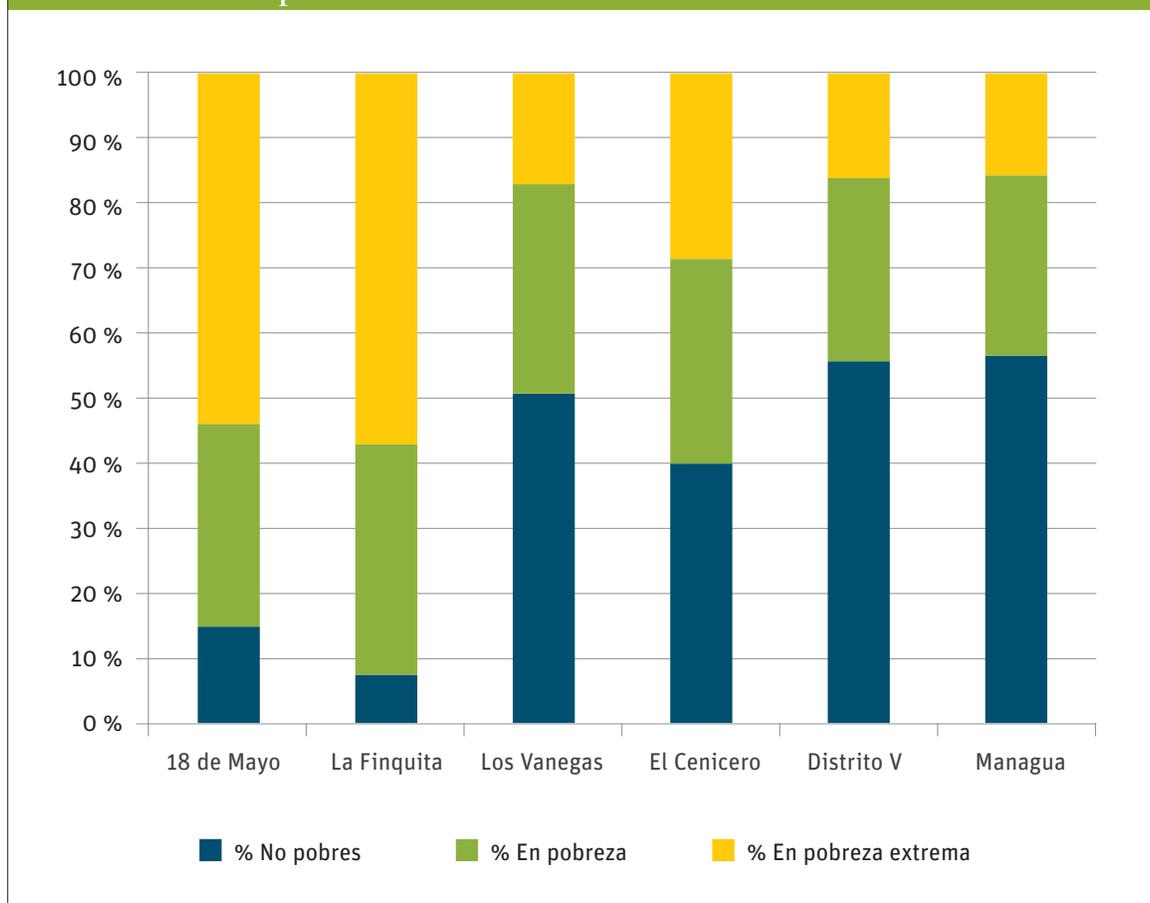
Fuente: ERM, 2013

- Barrio 18 de Mayo: 18 de Mayo: Según lo informado, esta comunidad se estableció en 1986 y está clasificada por ALMA como un asentamiento informal<sup>3C</sup>. A partir del censo de 2005, la comunidad tenía 904 casas, lo que representa una población de 4.702. Se encuentra justo al lado de la comunidad más pequeña y más recientemente establecida, La Finquita, y muestra altos índices de pobreza, con un 54.2 % de la población consideraba que vivía en la pobreza extrema al momento del censo de 2005, en comparación con 16.1 por ciento en el Distrito V y 15.7 % en Managua en su conjunto (véase Figura C-2).
- La Finquita: Esta comunidad también se clasifica como un asentamiento informal. A partir del censo de 2005, el barrio consistía de 53 casas que representaban una población de 24. La comunidad muestra patrones similares de pobreza como en la adyacente 18 de Mayo, con un 57.1 % de la población que vive en condiciones de pobreza extrema.

<sup>3C</sup> Alcaldía de Managua, Dirección de Medio Ambiente y Urbanismo. Datos Poblacionales de Barrios, Distrito 5 (2011).

- Comarcas Los Vanegas y El Cenicero: Aunque estos se clasifican como barrios distintos, a los efectos de este estudio estos dos barrios semirurales adyacentes se evalúan como una sola comunidad. A partir del censo de 2005, Los Vanegas y El Cenicero mostraban un total de 313 hogares que representaban a 1.332 personas. Los niveles de pobreza son más bajos que en los asentamientos informales, con un 17.3 % y 28.6 %, respectivamente, de los residentes de Los Vanegas y El Cenicero viviendo en la pobreza extrema. Sin embargo, las zonas rurales y semi-rurales son objeto de otras vulnerabilidades, ya que están relativamente descuidadas en términos de inversiones en infraestructura<sup>4c</sup> para la prevención de inundaciones, y pueden tener un acceso geográfico más limitado a los servicios públicos como la salud.

**Figura C-2: Porcentajes de la población que vive en condiciones de pobreza y de pobreza extrema en los barrios seleccionados**



Fuente: Datos de INIDE, 2005. Gráfico por ERM.

<sup>4c</sup> "Comunidades rurales olvidadas". *La Prensa*. Noviembre 25, 2013.

Para tener un entendimiento detallado de la realidad vivida por las comunidades a nivel local, el análisis social y demográfico en esta sección se centra en los indicadores del Distrito V y los niveles del barrio, con menos énfasis en Managua en una escala más amplia. Teniendo en cuenta que los tres barrios se seleccionaron sobre la base de un alto nivel de exposición a peligros de inundación y de alta vulnerabilidad socioeconómica a los efectos de esos riesgos, se asume que las condiciones en estas comunidades son una representación exacta del peor caso extremo en el espectro de inundación actual, tendencias futuras y mayores riesgos del cambio climático en Managua.

## C.2 Factores que contribuyen a la vulnerabilidad al cambio climático en Managua

Además de los efectos del cambio climático en los patrones de precipitación, una serie de factores locales afectan la vulnerabilidad a las inundaciones urbanas para las poblaciones de Managua. Estos factores específicos del contexto se analizan a continuación:

## C.3 Evaluación de la vulnerabilidad a nivel de la comunidad

Existen indicadores de vulnerabilidad por los riesgos del cambio climático en los diferentes niveles institucionales. La Figura C-3 ilustra los niveles de análisis considerados como los más relevantes en esta evaluación. Muchas áreas dentro de la huella de Managua están sujetas a vulnerabilidades hidrológicas comunes y la mayoría de las infraestructuras existentes para la prevención de inundaciones y programas de mitigación son manejadas a nivel municipal. Las comunidades y los hogares son importantes, ya que las condiciones socioeconómicas desempeñan un papel importante en la determinación de cómo la población es capaz de prepararse y responder a los eventos de riesgo. Aunque no se recopiló datos a nivel de hogares en el marco de esta metodología para el caso de estudio, los indicadores importantes de las condiciones a nivel del hogar, como la pobreza y el hacinamiento fueron integrados y analizados a nivel de barrio como parte de esta evaluación.

**Figura C-3: Ejemplos de Indicadores de Vulnerabilidad a los Peligros del Cambio Climático a nivel Municipal, de Barrios y Hogares**



Fuente: ERM, 2013

### C.3.1 Definición de vulnerabilidad y marco conceptual

No existe una definición universal de la vulnerabilidad, pero la mayoría de las definiciones se refieren en general a la capacidad de ser perjudicados por una fuente de perturbación o estrés<sup>5c</sup>, y a menudo se incluye la consideración para el grado en el cual el receptor o sistema afectado es capaz de hacer frente y recuperarse de la efectos del factor estresante. Dada la ausencia de una definición universal de la vulnerabilidad a las amenazas del cambio climático, se desarrolló un ajuste para la definición propósito y marco conceptual a los fines de este caso de estudio.

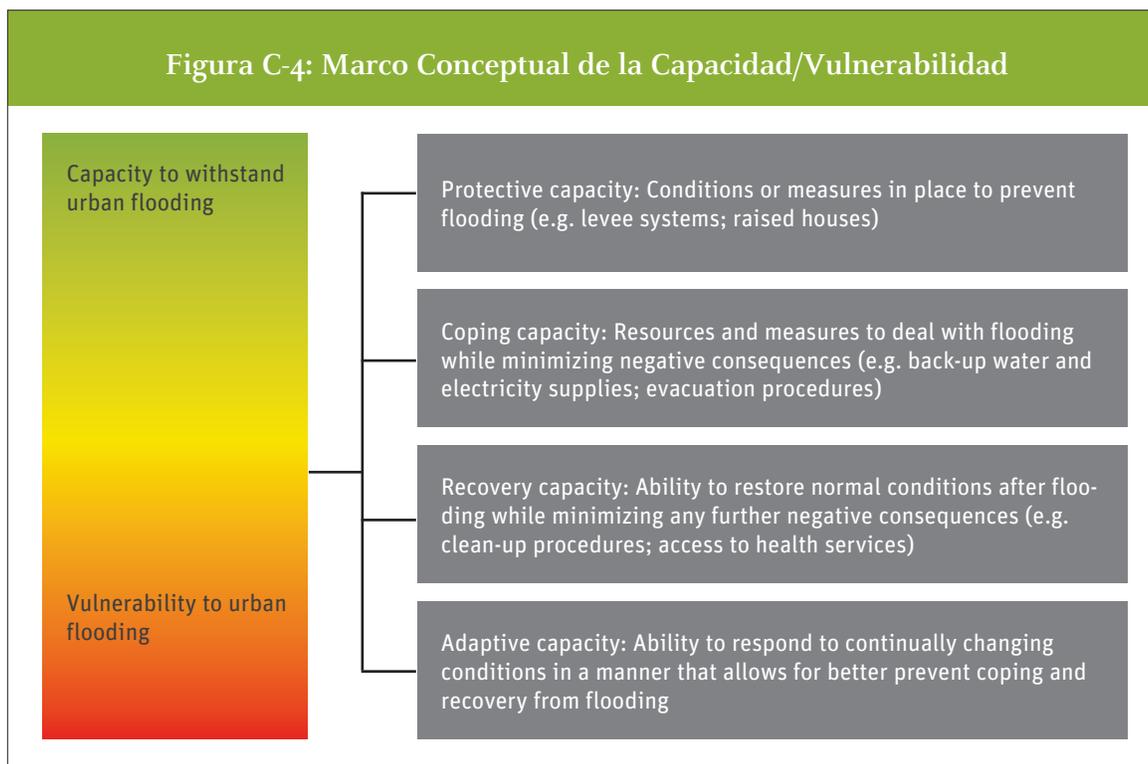
En esta evaluación, la vulnerabilidad y la capacidad se consideran conceptos antitéticos que existen en una continuidad. Un aumento de la capacidad de respuesta a un peligro o amenaza equivale a una disminución de la vulnerabilidad y viceversa. La medida global de la capacidad/vulnerabilidad ante las amenazas del cambio climático en este caso de estudio se conceptualiza como que si comprende los siguientes cuatro factores<sup>6c</sup>:

<sup>5c</sup> Kaspersen et al (2005). Vulnerable People and Places. In: Ecosystems and Human Well-Being: Current State and Trends. Millennium Ecosystem Assessment.

<sup>6c</sup> De Graaf, R.E. (2008). Reducing flood vulnerability of urban lowland areas. 11th *International Conference on Urban Drainage*. Edinburgh, Scotland.

1. El nivel de receptor<sup>7C</sup> a la exposición del peligro. Las medidas o infraestructura existente para reducir la exposición (por ejemplo, diques, sistemas de drenaje). Esto se conoce como *la capacidad de protección*;
2. El nivel de capacidad del receptor para hacer frente a los peligros a través de medidas, recursos o habilidades, tales como los procedimientos de evacuación en emergencias, recursos monetarios para comprar de reservas de agua y de alimentos, la buena salud física y la movilidad para evitar lesiones. Esto se conoce como *la capacidad de respuesta*;
3. La capacidad del receptor para volver a las condiciones normales tan pronto como sea posible y con el menor número de impactos negativos posible. Las medidas, recursos o habilidades que facilitan esto incluyen la limpieza de emergencia y los procesos de saneamiento y el acceso a los servicios de salud. Esto se conoce como *la capacidad de recuperación*, y
4. La capacidad del receptor de anticipar y reducir el daño de condiciones inciertas y cambiantes que puedan producir nuevos y diferentes escenarios en el futuro. Esto se conoce como la capacidad de adaptación. Ejemplos de buena capacidad de adaptación incluyen la flexibilidad institucional de movilizar recursos y cambiar rápidamente las prioridades del programa, el acceso a buenas fuentes de información para la toma de decisiones informadas, y la diversidad en los cultivos y métodos agrícolas para poder resistir a una serie de condiciones climáticas diferentes.

La Figura C-4 ilustra el marco conceptual para la capacidad/vulnerabilidad interna de inundación, según se define en este estudio. Cualquier aumento en cualquiera de los cuatro componentes contribuye a una capacidad global mayor ante el peligro, lo que equivale a una disminución proporcional de la vulnerabilidad.

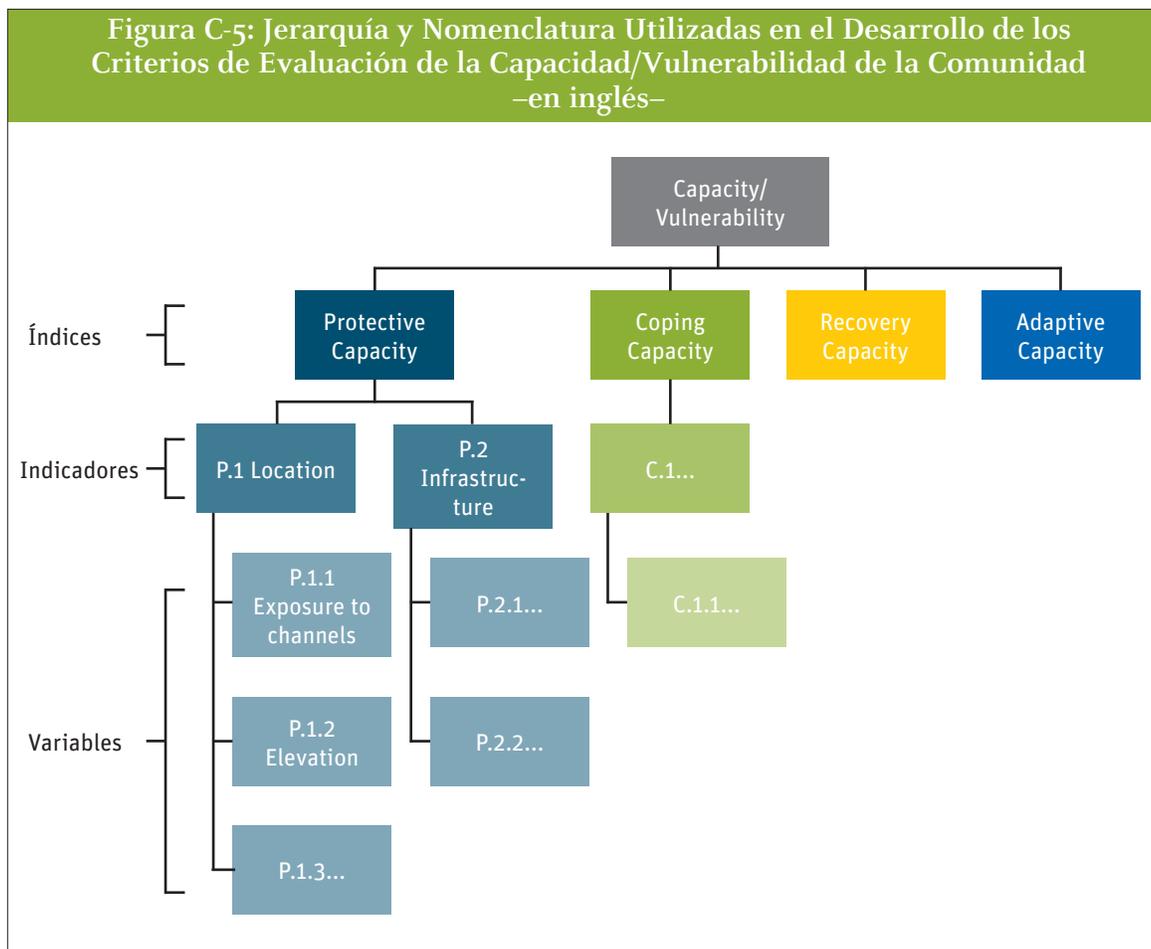


Fuente: ERM, 2013 adoptado de De Graaf, 2008.

<sup>7C</sup> En esta evaluación, “receptores” se refieren a las comunidades, hogares o individuos expuestos al riesgo de inundación.

### C.3.2 Desarrollo de criterios de evaluación de la vulnerabilidad

Para caracterizar de manera consistente y comparar la vulnerabilidad entre los tres barrios seleccionados, hemos desarrollado un conjunto de criterios estandarizados utilizados para calcular un índice global de la capacidad/vulnerabilidad para cada barrio. Se desarrollaron subíndices para caracterizar la capacidad de protección, capacidad de superación, capacidad de recuperación y la capacidad de adaptación a nivel de barrio, y los puntajes se combinaron luego para llegar a una medida compuesta de la capacidad global/vulnerabilidad con base en la definición conceptual del estudio del trabajo. Cada subíndice se compone de indicadores, que a su vez se componen de variables. La Figura C-5 a continuación, ilustra la jerarquía y la nomenclatura utilizada para desarrollar los criterios de evaluación de la vulnerabilidad en este caso de estudio.



Fuente: ERM, 2013

Los índices, los indicadores y variables se seleccionaron basados en una revisión de la literatura sobre el cambio climático, otras evaluaciones y marcos de vulnerabilidad, y la información de entrevistas a informantes clave y grupos de enfoque comunitarios. Esta integración de las fuentes de información asegura que los criterios de evaluación seleccionados representan indicadores estándar para evaluar la vulnerabilidad al cambio climático, pero también son apropiadas y pertinentes para el contexto y la realidad de las comunidades urbanas de Managua. La lista de indicadores finales se presenta en la Tabla C-1.

**Tabla C-1** Criterios de Evaluación de la Vulnerabilidad

Indicador	Variable	Criterio de Puntaje
Capacidad Protectora		
Ubicación	Exposición a los canales	[0] 0 % del área del barrio [1] 0.1-3 % del área del barrio [2] 3.1-5 % del área del barrio
	Elevación	[0] >300 m [1] 200-299 m [2] <199 m
Infraestructura	Infraestructura de prevención de inundaciones permanente	[0] Sí [1] No
	Porcentaje de hogares que viven en viviendas inadecuadas	[0] Menos de 10 % [1] Entre 10 % y 49 % [2] Más de 50 %
Saneamiento	Porcentajes de hogares con agua potable	[0] Más de 80 % [1] Entre 50 % y 79 % [2] Menos de 50 %
	Conexión al sistema de drenaje	[0] Sí [1] No
	Condiciones insalubres en los barrios (ej.: acumulación de basura, agua estancada)	[0] Limpio [1] Algo de basura [2] Mucha basura

Indicador	Variable	Criterio de Puntaje
Capacidad de Respuesta		
Situación Socioeconómica	Porcentaje empleado sobre una base permanente a tiempo completo	[0] Más de 80 % [1] Entre 79 % y 30 % [2] Menos de 30 %
	Porcentaje de hogares encabezados por mujeres	[0] Menos del 15 % [1] Entre 16 % y 30 % [2] Más de 30 %
	Porcentaje de familias en extrema pobreza	[0] Menos de 20 % [1] Entre 21 % y 50 % [2] Más de 50 %
Transporte	Acceso a los medios propios de transporte (mayoría)	[0] Sí [1] No
	Caminos pavimentados	[0] Sí [1] No
Poblaciones Dependientes	Familias con miembros discapacitados	[0] Menos de 2 % [1] Entre 2 y 5 % [2] Más de 5 %
	Hogares con niños menores de 15 años de edad	[0] Menos de 20 % [1] Entre 21 % y 50 % [2] Más de 50 %
Procedimientos de Emergencia	¿Se ha comunicado un proceso de evacuación de emergencia dentro de la comunidad?	[0] Sí [1] No
	¿Hay un refugio de emergencia disponible en los alrededores?	[0] Sí [1] No

Indicador	Variable	Scoring Criteria
<b>Capacidad de Recuperación</b>		
Acceso a Servicios de Salud	Distancia al centro de salud más cercano	[0] Menos de 2 km [1] Entre 2 y 5 km [2] Más de 5 km
Capacidad de Saneamiento y Limpieza	¿Han sido los procedimientos de limpieza comunicados y aplicados dentro de la comunidad?	[0] Si [1] No
	Plan de respuesta de emergencia de Saneamiento en el lugar para reducir al mínimo las consecuencias de salud pública a raíz de los desastres	[0] Plan in situ [1] No hay plan in situ
<b>Capacidad de Adaptación</b>		
Instituciones, coordinación y liderazgo	Capacidad y recursos del gobierno local	[0] Recursos buenos y eficientes [1] Falta de recursos y efectividad
	Coordinación Inter-institucional e inter-municipal	[0] Altamente coordinados [1] Moderadamente coordinados [2] Falta de coordinación
	Cooperación externa	[0] Buen apoyo de organismos internacionales [1] Apoyo moderado [2] Falta de apoyo
Planificación de la prevención de inundaciones a largo plazo (municipal)	Prevención de inundaciones a nivel comunitario/ planificación de la mitigación	[0] Medidas de eficacia establecidas [1] Algunas medidas establecidas [2] Ninguna medida establecida
	Prevención de inundaciones a nivel municipal/planificación de la mitigación	[0] Sí [1] No

Fuente: ERM, 2013

El input de datos para la matriz de evaluación se obtuvo a partir del último censo nacional de población (2005), basado en datos primarios recogidos durante las visitas de campo y de recursos secundarios, tales como planes municipales y estudios. La mayoría de estos datos son a nivel de barrio, pero los datos a nivel municipal también se incorporan donde apliquen (por ejemplo, en la caracterización de la evacuación y la planificación de la infraestructura, que se produce a nivel municipal).

### C.3.3 Resultados de la evaluación

Después de rellenar la matriz de evaluación con datos variables, las cifras totales de cada uno de los cuatro índices se normalizaron y se resumieron de manera que cada uno de los cuatro componentes (capacidad de protección, la capacidad, la capacidad de recuperación y la capacidad de adaptación de afrontamiento) tienen el mismo valor en el puntaje global de la capacidad/vulnerabilidad. Un puntaje más alto corresponde a un mayor nivel de vulnerabilidad y por lo tanto a una capacidad inferior. La Tabla C-2 resume el índice y los puntajes globales de la capacidad/de vulnerabilidad para los tres barrios bajo estudio.

**TABLA C2: Matriz Completa de Puntajes de Evaluación de la Vulnerabilidad –en inglés–**

Index	Indicator	Variables	Barrio 18 de Mayo	La Finquita	Los Vanegas/ El Cenicero	Total Possible Score	
Protective Capacity	P.1. Location	P.1.1 Exposure to channels	1	2	0	2	
		P.1.3. Elevation	2	2	2	2	
	P.2. Infrastructure	P.2.1 Permanent flood prevention infrastructure (e.g. walls, elevated homes)		1	1	0	1
		P.2.2 Inadequate dwelling		1	1	1	2
		p.3.1 Percent of households with potable water		2	2	0	2
		P.3.2 Connection to drainage system		1	1	1	1
	P.3. Sanitation	P.3.4 Unsanitary conditions in neighborhood (garbage)		2	2	1	2
		<b>PROTECTIVE VULNERABILITY</b>		10	11	5	12
			<b>NORMALIZED</b>	0.83	0.92	0.42	1
	Coping Capacity	C.1. Socio-economic status	C.1.1 Permanent employment	2	2	2	2
C.1.2 Female-headed household			2	2	1	2	
C.1.3 Extreme poverty			2	2	1	2	
C.2 Transportation		C.2.1 Own means of transportation (majority)		1	1	1	1
		C.2.2 Paved roads		1	1	1	1
C.3 Dependent populations		C.3.1 Households with disabled members		1	0	1	2
		C.3.2 Children <15 years		1	1	1	2
C.4. Emergency Procedures		C.4.1 Evacuation processes in place		0	0	0	1
		C.4.2 Sufficient emergency shelters available		0	0	0	1
		<b>COPING VULNERABILITY TOTAL</b>	10	9	8	14	
		<b>NORMALIZED</b>	0.71	0.64	0.57	1	
Recovery Ca	R.1. Health service accessibility	R.1.1 Distance to nearest hospital	0	0	1	2	
		R.2.1 Community-level clean-up processes in place		1	1	1	1
	R.2. Sanitation and clean-up	R.2.2 Sanitation emergency response plan in place to minimize public health consequences in the wake of disasters		0	0	0	1
		<b>RECOVERY VULNERABILITY TOTAL</b>		1	1	2	4
			<b>NORMALIZED</b>	0.25	0.25	0.5	1
Adaptive Capacity	A.1 Institutions, coordination and leadership	A.1.1 Local government capacity and resources	1	1	1	1	
		A.1.2 Inter-institutional and inter-municipal coordination		2	2	2	2
		A.1.3 External cooperation		0	0	0	2
	A.2 Long-term flood prevention planning (municipal)	A.2.1 Community-level flood prevention/mitigation planning		2	2	2	2
		A.2.2 Municipal-level flood prevention/mitigation planning		0	0	1	1
			<b>ADAPTIVE VULNERABILITY TOTAL</b>	5	5	6	8
		<b>NORMALIZED</b>	0.625	0.625	0.75	1	
<b>OVERALL VULNERABILITY SCORE (Scale of 4)</b>			2.42	2.43	2.24	4	

Fuente: ERM, 2013

Los resultados de la evaluación indican que mientras los puntajes generales de vulnerabilidad no difieren significativamente entre los tres barrios seleccionados (rango de 2.24 a 2.43 en una escala de 4.0), hay considerables diferencias en los factores que contribuyen, sobre todo los barrios urbanos de La Finquita y barrio 18 de Mayo, con relación a la zona más rural de Los Vanegas/El Cenicero. La Finquita y 18 de Mayo tienen una baja capacidad de protección y de resistencia comparados con Los Vanegas/El Cenicero debido a su proximidad a los canales que se desbordan durante las fuertes lluvias y las altas tasas de pobreza que dejan a los residentes con recursos limitados para invertir en infraestructura de prevención a las inundaciones y para hacer frente a los efectos negativos de las inundaciones. Por otra parte, Los Vanegas y El Cenicero no tienen los cuerpos de agua naturales dentro de los barrios, tienen tasas más bajas de pobreza y parecen tener una mejor infraestructura de prevención de inundaciones a nivel de hogares. Sin embargo, estas comunidades tienen una recuperación y capacidad de adaptación relativamente bajas debido a su ubicación más remota fuera del centro de la ciudad. Las distancias a los hospitales más cercanos son más largas, y las inversiones municipales en infraestructura son menos propensas a ser canalizadas a estas áreas periféricas<sup>8C</sup>.

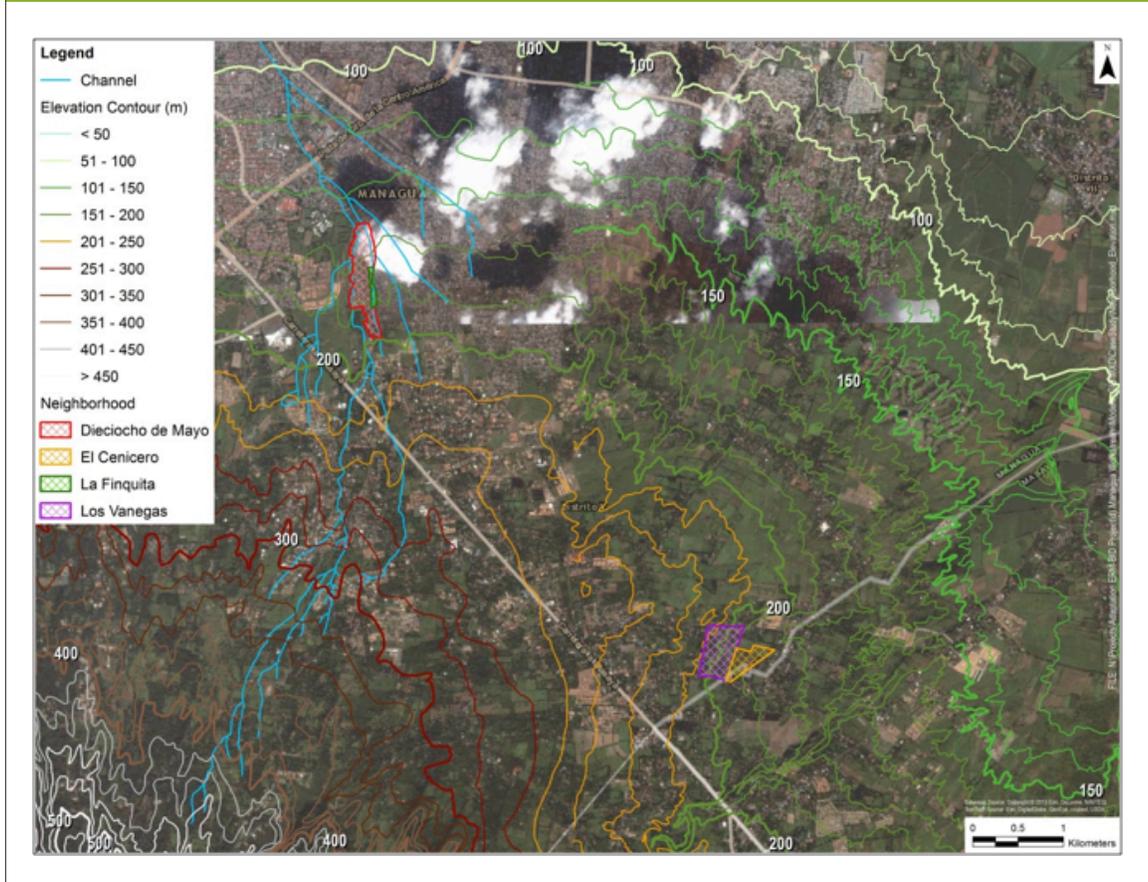
A continuación, se proporciona una visión cualitativa de las características de la vulnerabilidad de las comunidades bajo estudio.

#### *Capacidad Protectora*

Como era de esperar, los tres barrios del estudio tienen altos niveles de vulnerabilidad en términos de su exposición a las inundaciones como resultado de la relativamente baja elevación (todos a menos de 200 m - Véase la Figura C-6).

<sup>8C</sup> Comunidades rurales olvidadas". *La Prensa*. Noviembre 25, 2013.

Figura C-6: Elevación de los Barrios seleccionados y sus Alrededores  
–en inglés–



Fuente: ERM, 2013

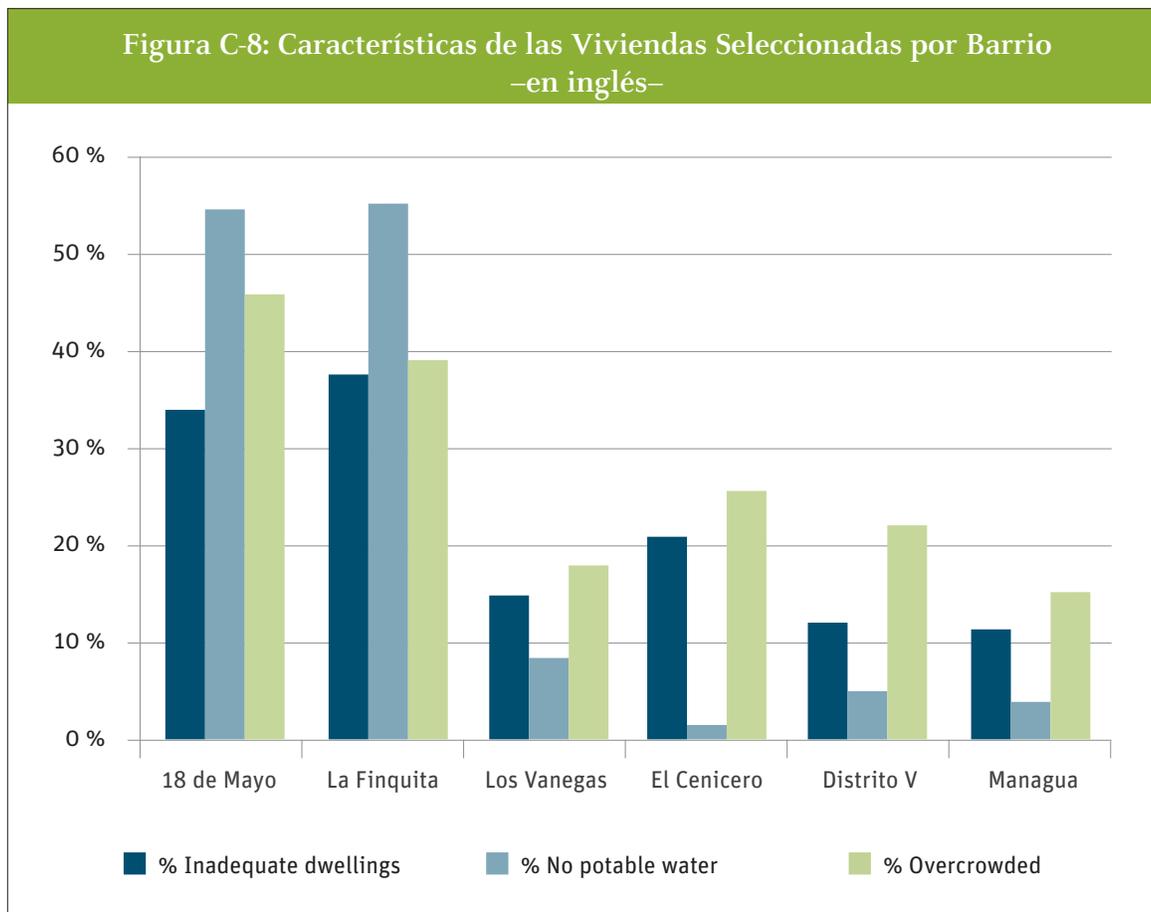
La Finquita y 18 de Mayo también son vulnerables debido a su proximidad a los canales que se desbordan con frecuencia y la falta de infraestructura de protección adecuada en los hogares. Los residentes de estos asentamientos informales, por lo general, solo pueden permitirse medidas de prevención temporales tales como acumular suciedad alrededor de los perímetros de la casa o el uso de sacos de arena, neumáticos o baldosas de hormigón para crear muros bajos o barreras (Ver Figura C-7, fotos de los dos arriba y uno abajo a la izquierda). Por otra parte, en Los Vanegas se observaron algunos casos de soluciones más costosas, a largo plazo, como la construcción de muros permanentes o levantar viviendas por encima de la línea de inundación (FIGURA C-7, abajo a la derecha).

Figura C-7: Barreras de protección contra inundaciones en los barrios seleccionados



Fuente: J. Cisneros, 2013

Los datos del censo indican que en relación con las tasas generales en el Distrito V y Managua, los tres barrios seleccionados tienen relativamente altos porcentajes de viviendas que se clasifican como “inadecuadas”, debido a la falta de acceso al agua potable y/o que están superpobladas<sup>9c</sup> (Figura C-8). En los tres barrios, los residentes también reportaron un drenaje inadecuado y condiciones insalubres debido a la basura en los canales, lo que contribuye a una menor capacidad de protección.



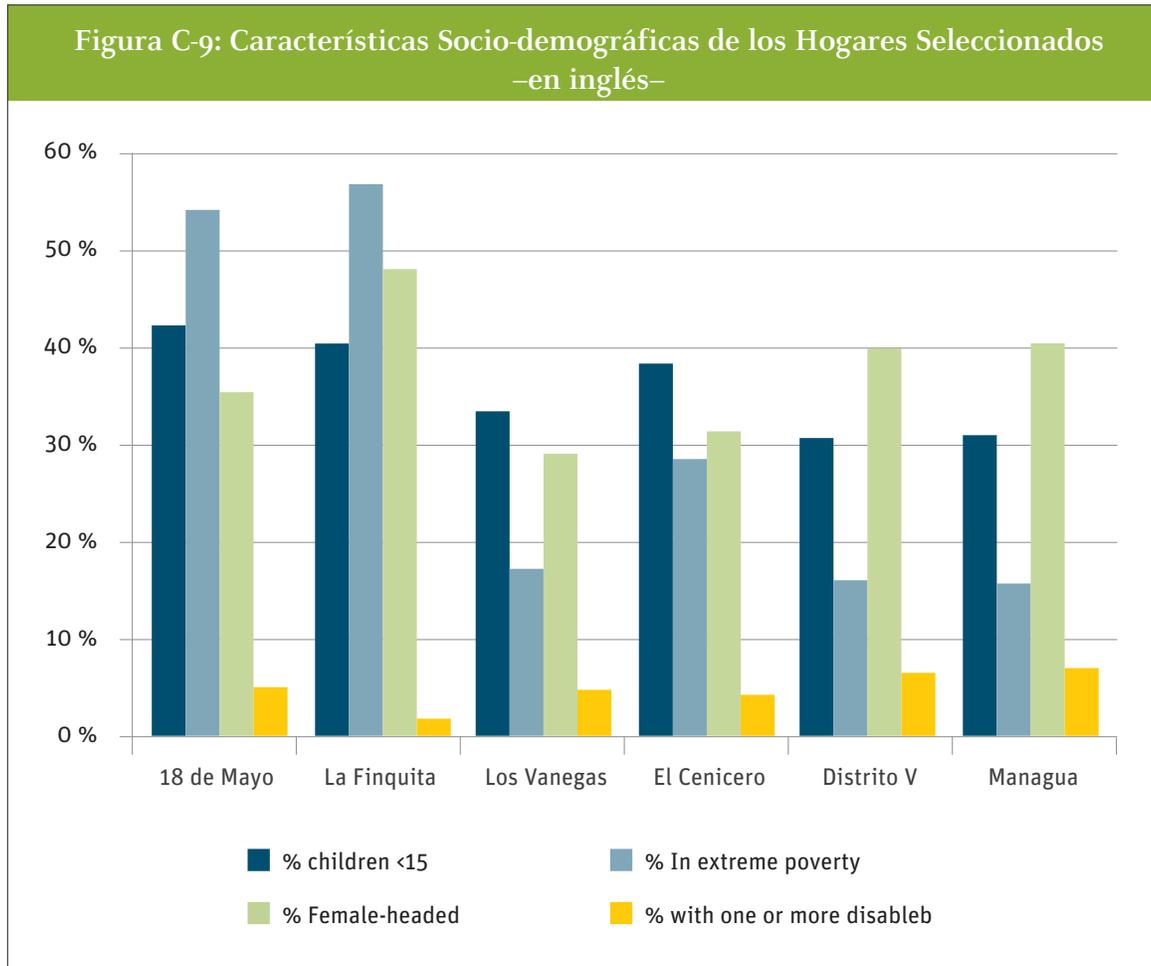
Fuente: INIDE, 2005

### Capacidad de Respuesta

Los datos del censo indican altos niveles de pobreza en los barrios bajo estudio, sobre todo en los asentamientos informales urbanos del Barrio 18 de Mayo y La Finquita (Ver Figura C-9). La pobreza amplifica considerablemente los efectos negativos de las inundaciones urbanas. Todos los barrios bajo estudio también tienen relativamente altos porcentajes de jóvenes menores de 15 años de edad. Esto es relevante desde una perspectiva socioeconómica, ya que los jóvenes son propensos a depender económicamente de la cabeza de la familia. Este factor también es importante porque los niños suelen tener limitaciones de fuerza y movilidad, y limitaciones en situaciones de emergencia que requieran de evacuación.

<sup>9c</sup> Se define como hogares en los cuales tres o más personas duermen en una habitación.

De los barrios seleccionados, solo La Finquita tiene un mayor porcentaje de hogares encabezados por mujeres comparado con las tasas del distrito en general o las tasas municipales; y los tres barrios tienen un menor porcentaje de hogares con personas con discapacidad comparados con los niveles del distrito y municipio<sup>10C</sup>.



Fuente: INIDE, 2005

Los grupos de enfoque de la comunidad y las observaciones de campo indican que muy pocos residentes de los barrios bajo estudio tienen acceso a vehículos propios, y los caminos vecinales están sin asfaltar. Como resultado, la movilidad permanece restringida durante las fuertes lluvias, afectando considerablemente la capacidad de los residentes para hacer frente a los efectos negativos.

<sup>10C</sup>: Instituto Nacional de Información de Desarrollo (2005). Principales Indicadores de Población al Menor Nivel de Desagregación Geográfica.

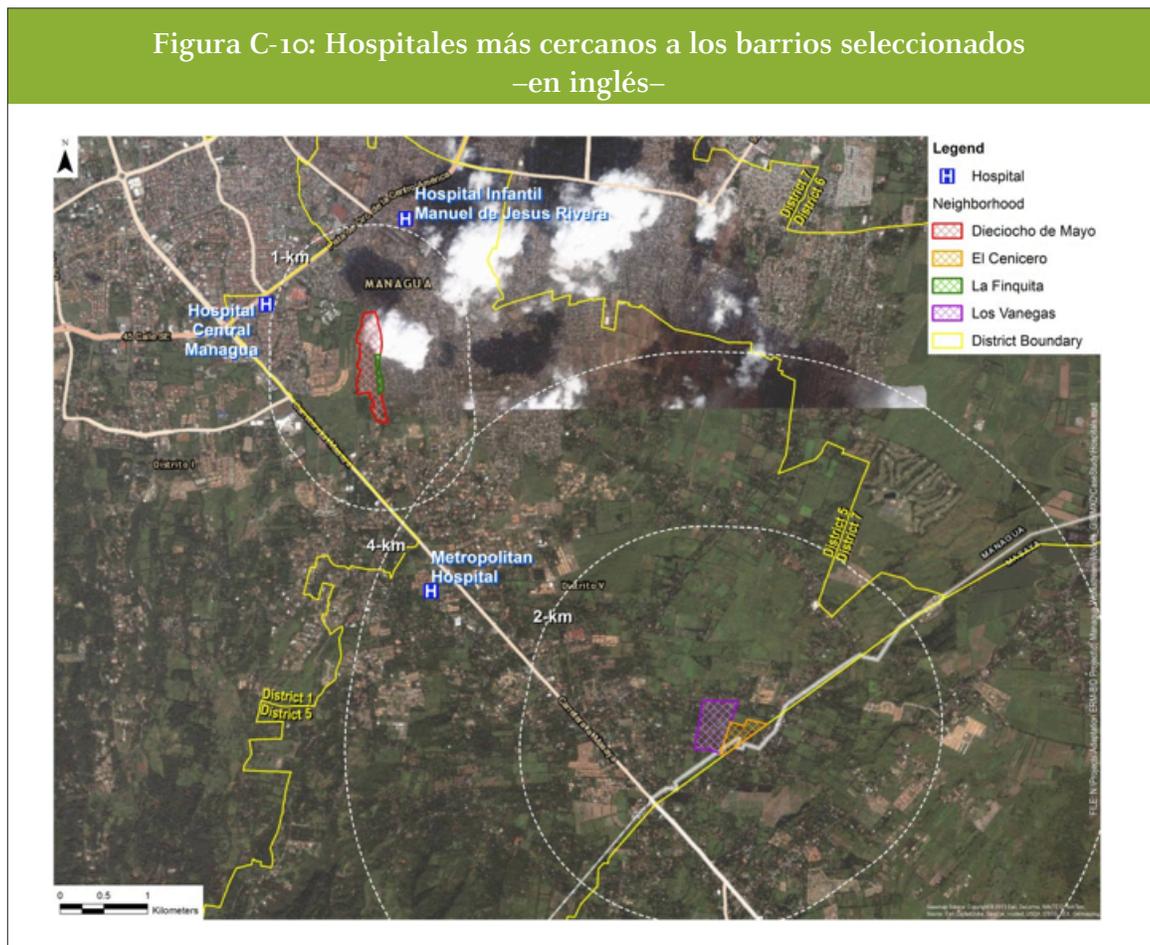
Sin embargo, la capacidad de tolerancia en cuanto a planes de evacuación, se considera fuerte en el municipio en general, ya que el ejército nacional ha formulado un plan de evacuación de emergencia para Managua que identifica a los hogares en zonas de alto riesgo, los recursos a ser movilizados en caso de orden de evacuación, y un nivel adecuado de capacidad de albergue temporal.

### Capacidad de Recuperación

La recuperación de las inundaciones, sin efectos adversos adicionales, a menudo depende de la respuesta rápida de saneamiento y el acceso a los servicios de salud.

En relación con otros departamentos en el país, Managua tiene una alta proporción de establecimientos de salud y los trabajadores de la salud para la población<sup>11C</sup>. Como ciudad capital, alberga la mayor concentración de hospitales, incluyendo referencias nacionales y hospitales de especialidades. El mapeo de las distancias de los barrios bajo estudio al hospital más cercano indica que todos los barrios en el estudio están a cinco kilómetros de un hospital (Ver Figura C-10). Esto es importante ya que los residentes reportan los problemas de salud, tales como la fiebre del dengue que a veces se produce después de las inundaciones, y la mayoría de los residentes no tienen vehículos propios.

Figura C-10: Hospitales más cercanos a los barrios seleccionados  
–en inglés–



Fuente: ERM, 2013

<sup>11C</sup>. PATH (2011). *The Nicaraguan Health System: An overview of critical challenges and opportunities.*

El Ministerio de Salud de Managua (MINSa) publicó un Plan de Saneamiento de Emergencia Local en 2003, lo que indica los esfuerzos proactivos para asegurar que los eventos de desastres como las inundaciones no conlleven a desastres de salud pública. Sin embargo, los grupos de enfoque comunitarios y las observaciones de campo, indican una falta de organización a nivel de barrio y la planificación de la limpieza y saneamiento después de las inundaciones.

### *Capacidad de Adaptación*

Las observaciones obtenidas en los tres barrios seleccionados sugieren que muy poca o ninguna actividad organizada de prevención y mitigación de las inundaciones se está produciendo a nivel de los barrios. Esto se evidencia en la naturaleza improvisada y temporal de la mayoría de las medidas preventivas empleadas por los residentes del barrio tal como se ha representado anteriormente. El estado de los canales en los barrios (sin mantenimiento y llenos de basura) también indica falta de acción a nivel comunitario.

El índice de la capacidad de adaptación incluye indicadores a nivel municipal, así como a nivel de barrio, ya que es más viable que las instituciones y los recursos estén disponibles a nivel municipal para las actividades de mitigación y prevención de inundaciones.

Un plan de desarrollo municipal general publicado por ALMA indica un empoderamiento insuficiente por parte de los gobiernos locales y una falta de coordinación intermunicipal en lo que respecta a los principales riesgos para el municipio<sup>12C</sup>. Sin embargo, el apoyo externo de las organizaciones internacionales es fuerte en Managua, y contribuye significativamente a la capacidad de adaptación<sup>13C</sup>.

ALMA tiene un plan de inversión anual que documenta las áreas críticas que requieren reparación de la infraestructura de drenaje, con el fin de evitar las inundaciones, así como otros proyectos de infraestructura necesarios para mitigar los efectos negativos que actualmente experimentan las víctimas de las inundaciones (por ejemplo, construcción de nuevas viviendas y puentes peatonales para reemplazar algunos estructuralmente defectuosos). Sin embargo, la mayoría de los proyectos esbozados en el plan se encuentran en los barrios urbanos, incluyendo varios en el barrio 18 de Mayo. Las áreas semirurales de Los Vanegas y El Cenicero no están destinadas a las mejoras y los últimos artículos de prensa indican que la falta de atención y de recursos canalizados a estas comunidades, ha sido una preocupación constante<sup>14C,15C</sup>.

## C.3.4 Crecimiento urbano no planificado

El crecimiento urbano no planificado ha incrementado la vulnerabilidad de Managua a los desastres naturales. Después del terremoto de 1972, Managua ha crecido de una manera desordenada, con asentamientos informales que surgen en lugares que no son aptos para el uso residencial. Algunos de los retos más importantes son la falta de prácticas de construcción adecuadas, la degradación ambiental, incluyendo la destrucción de los drenajes naturales y zonas de protección contra inundaciones, la falta de saneamiento y de infraestructuras de transporte y la falta de espacios públicos adecuados. El Plan General de Desarrollo Municipal de Managua también destaca una continua segregación geográfica de diferentes clases socioeconómicas como una consecuencia negativa del crecimiento urbano<sup>16C</sup> no planificado.

<sup>12C</sup>. Alcaldía de Managua (n.d.). Plan General de Desarrollo Municipal.

<sup>13C</sup>. Alcaldía de Managua (n.d.). Plan General de Desarrollo Municipal.

<sup>14C</sup>. Comunidades rurales olvidadas". *La Prensa*. Noviembre 25, 2013.

<sup>15C</sup>. "Los Vanegas, tierra de nadie". *La Prensa*. Agosto 12, 2012.

<sup>16C</sup>. Alcaldía de Managua (n.d.). Plan General de Desarrollo Municipal.

### C.3.5 Sistema de drenaje de aguas pluviales

El crecimiento urbano en Managua está sobrecargando el sistema de drenaje de aguas pluviales y que afectan la cantidad y calidad del agua que alimenta los acuíferos<sup>17C</sup> poniendo el suministro de agua potable de la ciudad en riesgo. Por otra parte, los sedimentos y residuos sólidos transportados en el sistema de drenaje expone las zonas inferiores de las cuencas hidrográficas a las inundaciones en la temporada de lluvias, y la falta de servicios básicos en los asentamientos informales hace que las aguas residuales entren al sistema de aguas pluviales. El agua contaminada se filtra posteriormente en el acuífero o desemboca en el Lago de Managua.

### C.3.6 Disponibilidad de vivienda y costos

El crecimiento demográfico en Managua ha incrementado en gran medida la demanda de viviendas. Durante los grupos de enfoque de la comunidad, los encuestados expresaron que les gustaría salir de sus barrios y trasladarse a zonas menos propensas a las inundaciones, pero que no es una opción, ya que no tienen los recursos económicos para comprar una casa en esas zonas.

### C.3.7 Infraestructura y servicios públicos

Managua alberga aproximadamente el 20 % de la población de Nicaragua. El rápido crecimiento demográfico en las últimas décadas ha creado retos para mantener el ritmo de las necesidades de infraestructura y servicios, como el mantenimiento de los caminos y la provisión de alcantarillado adecuado, agua potable, electricidad, drenaje de aguas pluviales y los servicios de manejo de residuos sólidos para los residentes de la ciudad. En los tres barrios incluidos en el alcance de esta evaluación, los caminos son de tierra y no hay conexiones a un sistema de drenaje público. Mientras que la ciudad ofrece recolección de desechos sólidos en estas áreas, los residentes deben traer su basura a la entrada de los barrios de recogida ya que los vehículos grandes como camiones de basura no pueden acceder de forma segura a través de los caminos de tierra sin pavimentar.

ALMA tiene un plan de inversión anual que enumera las infraestructuras de prevención de inundaciones consideradas como una prioridad para que sean actualizadas o reparadas. Sin embargo, es evidente que el municipio no puede seguir el ritmo de las necesidades, ya que los informantes clave y los residentes de los barrios seleccionados se dan cuenta de que los sistemas de drenaje en muchas áreas de Managua son insuficientes. Durante las visitas de campo, se observó que la infraestructura, como puentes peatonales y aceras en los alrededores de los barrios del estudio, requiere ser reparada. (Ver Figura C-11).

<sup>17C</sup> La subcuenca III de 180 km<sup>2</sup> es el área principal de recarga del acuífero que suministra el 60 % del agua potable de Managua

Figura C-11: Infraestructura que necesita ser reparada en las Comunidades del Estudio



Fuente: J. Cisneros, 2013

### C.3.8 Saneamiento y salud pública

En dos de los barrios seleccionados, las tasas de pobreza extrema indican porcentajes altos y, como resultado, la población (> 40 %) vive en condiciones de hacinamiento (más de tres personas por dormitorio) o en viviendas que se consideran inadecuadas (> 30 %)<sup>18C</sup>. También se observó que los barrios tienen problemas, tanto con el drenaje de las aguas pluviales y la eliminación de residuos sólidos, como con la basura presente en las calles y los bloqueos que crean en los canales (ver Figura C-12).

<sup>18C</sup>: INIDE (2005). *VIII Population Census and IV Household Census*.

Figura C-12: Condiciones de Vivienda y Saneamiento en los Barrios del Estudio



Fuente: J. Cisneros, 2013

Vivir en condiciones insalubres y de hacinamiento de esta naturaleza plantea riesgos de enfermedades infecciosas, que a su vez pueden ser amplificadas como consecuencia de los efectos del cambio climático. Por ejemplo, las lluvias más intensas pueden aumentar la cantidad de tiempo en que el agua permanece estancada alrededor de las residencias de las personas, proporcionando ambientes óptimos de cría para las especies de mosquitos que actúan como el principal vector del dengue (*Aedes aegypti*)<sup>19C</sup>. Los hongos y hongos también se desarrollan en ambientes inundados, que pueden causar problemas de la piel y problemas respiratorios<sup>20C</sup>. El contacto con aguas contaminadas de aguas residuales puede causar problemas de la piel e infecciones o brotes de enfermedades diarreicas, como el cólera y el rotavirus, si se contaminan<sup>21C</sup> las fuentes de agua potable. Por otra parte, estos agentes patógenos y vectores de enfermedades infecciosas es probable que se incrementen debido al aumento en las temperaturas como resultado del cambio climático.

Los participantes de los grupos de enfoque en los barrios del estudio reportaron haber experimentado la fiebre del dengue, enfermedades respiratorias, tos, gripe, infecciones por hongos e irritación de la piel después de eventos de inundación.

<sup>19C</sup>. Centro de Control y Prevención de Enfermedades (2012). Dengue: Entomología y Ecología

<sup>20C</sup>. National Safety Council (2009). Air Quality Problems Caused by Floods. Disponible en: [http://www.nsc.org/news\\_resources/Resources/Documents/Air\\_Quality\\_Problems\\_Caused\\_by\\_Floods.pdf](http://www.nsc.org/news_resources/Resources/Documents/Air_Quality_Problems_Caused_by_Floods.pdf)

<sup>21C</sup>. Occupational Health and Safety Administration. Fact Sheets on Natural Disaster Recovery (n.d.). Disponible en : <https://www.osha.gov/OshDoc/floodCleanup.html>

# Anexo D:

## *Resultados Detallados del Modelo para Tres microcuencas en Managua*

### **Adaptación al Cambio Climático y Manejo Integrado de los Recursos Hídricos en Managua, Nicaragua**

## Contenido

D.0	Resultados de las microcuencas seleccionadas en Managua.....	159
D.1	Metodología.....	159
D.2	Visión general del modelo .....	161
D.3	Resultados del modelo hidrológico.....	163
	D.3.1 Escenario 1: condiciones existentes (ec) .....	164
	D.3.2 Escenario 2: uso de la tierra existente con cambio climático (cc).....	165
	D.3.3 Escenario 3: cambio en el uso futuro de la tierra sin cambios climáticos (luc).....	164
	D.3.4 Escenario 4: uso futuro de la tierra y cambio climático (cc & luc) .....	167
D.4	Resumen de los resultados en gráficos: modelado de microcuencas .....	168
	D.4.1 Caudales máximos.....	168

## Lista de Tablas

D-1	Flujos máximos según el escenario 1 – condiciones existentes .....	164
D-2	Parámetros hidráulicos de los cauces modelados bajo el escenario 1 .....	164
D-3	Flujos máximos según el escenario 2 – uso de la tierra actual con el cambio climático.....	165
D-4	Parámetros hidráulicos de los cauces modelados bajo el escenario 2 .....	165
D-5	Flujos máximos bajo el escenario 3 – uso futuro de la tierra sin el cambio climático .....	166
D-6	Parámetros hidráulicos de los cauces modelados bajo el escenario 3 .....	166
D-7	Flujos máximos bajo el escenario 4 – uso futuro del suelo con cambio climático .....	167
D-8	Parámetros hidráulicos de los cauces modelados bajo el escenario 4 .....	167

## Lista de Figuras

D-1	Diseños (layouts) de modelos HEC-HMS para tres microcuencas.....	162
D-2	Ejemplo de un diseño (layout) del canal de drenaje en HEC-RAS (Hugo Chávez).....	163
D-3	Flujos máximos generados por hec-hms para dos microcuencas seleccionadas.....	169
D-4	Caudales máximos generados por el modelo HEC-HMS para dos secciones de Nejapa.....	170
D-5	Anchura promedio del canal para tres cuencas .....	171
D-6	Profundidad promedio del canal para tres microcuencas .....	172

## D.0 Resultados de las microcuencas seleccionadas en Managua

Como se analizó en la Sección 1.2 del documento principal, los grupos de interés seleccionaron en principio cuatro microcuencas urbanas –Primavera, Hugo Chávez, Nejapa y Oriental-Jagüitas-Cuarezma– como el centro del análisis de ERM para las inundaciones urbanas. Tras la presentación de los resultados preliminares durante el taller llevado a cabo en julio del 2013 en Managua, ALMA propuso centrar los análisis posteriores solo en la microcuenca Oriental-Jagüitas-Cuarezma (OJC), ya que esta se consideró como la más dinámica de las cuatro en términos de su potencial para el futuro cambio del uso de la tierra, así como por contener el mayor número de actuales puntos críticos (*hot-spots*) de inundación.

Como resultado de este acuerdo, ERM definió y modeló posibles medidas de adaptación solo para la cuenca OJC. Este anexo proporciona los resultados de las simulaciones basadas en modelos técnicos que se corrieron para Primavera, Hugo Chávez, y Nejapa, y que se presentaron a las partes interesadas en el taller de julio de 2013.

### D.1 Metodología

Para evaluar el comportamiento de las aguas pluviales, ERM empleó dos paquetes de modelado hidrológico separados, pero relacionados: HEC-HMS<sup>1D</sup> y HEC-RAS<sup>2D</sup>. Cuando se utilizan en combinación, los modelos hidrológicos e hidráulicos apoyan la identificación de las áreas actualmente en riesgo de inundaciones y la predicción de los futuros riesgos en función de los cambios en el uso del suelo y el clima.

El componente del modelo hidrológico (HEC-HMS, describe la respuesta de las cuencas hidrográficas a la precipitación, expresada como los caudales máximos e hidrogramas. El componente del modelo hidráulico (HEC-RAS) simula los flujos máximos e hidrogramas generados en el paso anterior, basado en la infraestructura de drenaje existente, como los cauces que transportan aguas pluviales. La Sección D.2 ofrece una breve visión general de los modelos.

Además del modelo de Oriental-Jagüitas-Cuarezma, descrito en el documento principal, se crearon modelos para estudiar el comportamiento hidrológico de tres microcuencas de la ciudad: Hugo Chávez, Primavera y Nejapa<sup>3D</sup>. Para cada una, ERM simuló los resultados para eventos de tormentas a 25, 50, y 100 años bajo cuatro escenarios diferentes, que reflejan del uso del suelo y las condiciones climáticas existentes y proyectadas.

Los pasos metodológicos utilizados por ERM para llevar a cabo el análisis hidrológico basado en el modelo se resumen a continuación:

<sup>1D</sup> US Army Corps of Engineers. 2010. Hydrologic Modeling System HEC-HMS. User's Manual Version 3.5. August 2010. US Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center. <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>

<sup>2D</sup> Water Resources Hydrologic Engineering Center. <http://www.hec.usace.army.mil/software/HEC-RAS/>

<sup>3D</sup> Como anteriormente analizado, ALMA recomendó estas áreas sobre la base de un estudio de riesgo de desastres naturales desarrollado por la Ciudad de Managua, las cuales se identificaron como lugares críticos de inundaciones en 2004.



1. **Recolección de Datos.** En una etapa inicial, los grupos de trabajo de ERM y del BID se reunieron con ALMA y varias de las partes interesadas locales, principalmente de las agencias y ministerios que desempeñan un papel en el manejo de los recursos hídricos, o en la prevención o respuesta a eventos de inundación. Durante estas reuniones, se definió el alcance del proyecto y se establecieron relaciones clave para el intercambio de información. ERM centró los esfuerzos en la recolección de datos para obtener los insumos relevantes para el análisis hidrológico. Esta recolección incluyó información geográfica, meteorológica, hidrológica, demográfica, socioeconómica, sobre usos del suelo, los riesgos y la vulnerabilidad a las inundaciones.
2. **Predicción del Escenario Futuro de Uso de la Tierra (2050).** Para predecir futuros riesgos hidrológicos, se hicieron proyecciones de uso de la tierra para el horizonte 2050 basadas en las tendencias históricas, con el propósito de proyectar el cambio de impermeabilidad en la superficie de las microcuencas. El **Anexo B** describe la metodología desarrollada para determinar el escenario del uso futuro de la tierra para Managua.
3. **Selección del Escenario del Futuro Cambio Climático (2050).** ERM reunió y evaluó las proyecciones generadas por los modelos climáticos regionales y los principales parámetros de entrada del modelo seleccionado (por ejemplo, la temperatura del aire, la intensidad de la precipitación y la precipitación total), que eran consistentes con las proyecciones reconocidas por las agencias gubernamentales correspondientes de Nicaragua. La **Sección 3.1** del documento principal ofrece una breve visión general de los modelos regionales que fueron revisados e indica que se emplearon variables climatológicas en los modelos hidrológicos e hidráulicos.
4. **Evaluación del Riesgo de Inundación Existente y Futuro.** Una vez que se crearon los modelos con las aportaciones (inputs) hidrológicas, meteorológicas y de uso de la tierra pertinentes, el siguiente paso consistió en evaluar el efecto de los eventos de precipitación a 25, 50 y 100 años. Para evaluar la contribución relativa del uso del suelo y el cambio climático a los riesgos de inundaciones futuros, ERM corrió los modelos bajo los siguientes escenarios:

Escenario	Abreviación	Explicación
Condiciones Existentes (EC)	EC	Este escenario de línea base refleja una instantánea del presente basada en los patrones actuales del uso del suelo y las condiciones hidrológicas presentes, construido sobre la base de datos climáticos históricos.
Uso de la Tierra Existente con Cambio Climático (CC)	CC	Representa un escenario estático del uso del suelo mientras que las condiciones hidrológicas siguen siendo influenciadas por el cambio climático en todo el horizonte de 2050. Este escenario permite un análisis de la contribución del cambio climático a la magnitud de los eventos relacionados con las aguas pluviales.
Uso Futuro de la Tierra sin Cambio Climático (LUC)	LUC	Este escenario supone que las condiciones climáticas seguirán igual en el futuro, pero el uso del suelo seguirá evolucionando como resultado de los conductores demográficos y económicos. Este escenario hace hincapié en la contribución de los cambios en el uso del suelo, específicamente aquellos que se traducen en la pérdida de cubierta permeable y el aumento de la escorrentía de las aguas pluviales.
Escenario Futuro con Cambio Climático y Cambio del Uso del Suelo	CC & LUC	La intención de este escenario es reflejar los efectos combinados del cambio en el uso del suelo y el cambio climático sobre la magnitud y el riesgo relacionado con los eventos de aguas pluviales.

La Sección D.4 presenta los resultados de los modelos expresados en términos de los flujos máximos para distintos períodos de retorno (es decir, eventos de precipitación a 25, 50 y 100 años). Un flujo máximo es el mayor volumen de agua que pasa por un punto dado a lo largo de un canal de drenaje y es indicativo del riesgo de inundación. La comparación de los caudales máximos en los diferentes escenarios modelados proporciona ideas relacionadas con el efecto incremental del cambio climático y/o uso de la tierra en el perfil del riesgo de inundación en 2050.

5. **Evaluación de las Estrategias de Adaptación.** En la medida que emergen los resultados del modelo, se hace evidente que los problemas de inundaciones urbanas existentes es probable que empeoren en el escenario negocios-como-siempre (*business-as-usual*) (CC & LUC). El último paso en la evaluación del riesgo de exposición a las inundaciones es identificar los tipos de medidas de mitigación/adaptación adecuadas y probar su eficacia en los modelos. Como se mencionó anteriormente, este paso no se llevó a cabo para Primavera, Hugo Chávez, y Nejapa. La formulación de estrategias de adaptación se centraron únicamente en la microcuenca Oriental-Jagüitas-Cuarezma Microcuencas como se describe en la Sección 6 del documento principal.

## D.2 Visión general del modelo

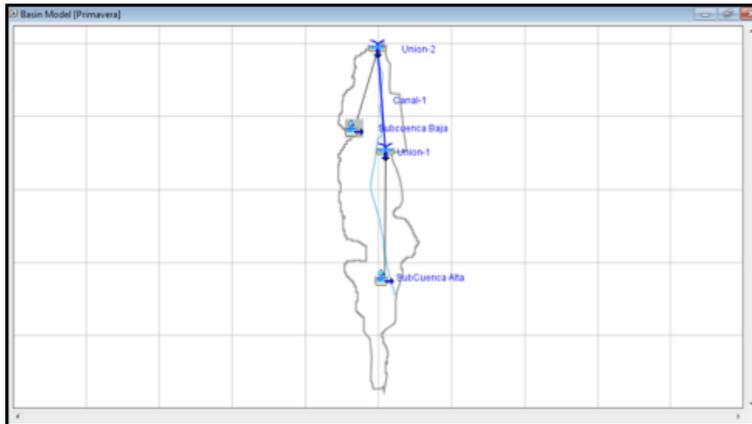
La selección de los modelos se realizó basada en la disponibilidad de los datos de entrada del modelo, el nivel de análisis necesario y los factores clave que impulsan la selección de las medidas de adaptación. Además de cumplir con estos criterios, ERM seleccionó el HEC-HMS en vista que fue diseñado para ser aplicado en pequeñas cuencas urbanas<sup>4D</sup>, por lo que era altamente compatible con el ámbito de aplicación del análisis de riesgos de inundación urbana.

El HEC-HMS está diseñado para simular los procesos de precipitación-escorrentía de los sistemas de cuencas dendríticas. Cuando las características hidrológicas de una determinada cuenca se programan en el modelo, HEC-HMS predice la respuesta de las cuencas hidrográficas a la precipitación. La Figura D-1 ilustra el diseño conceptual de las microcuencas del modelo.

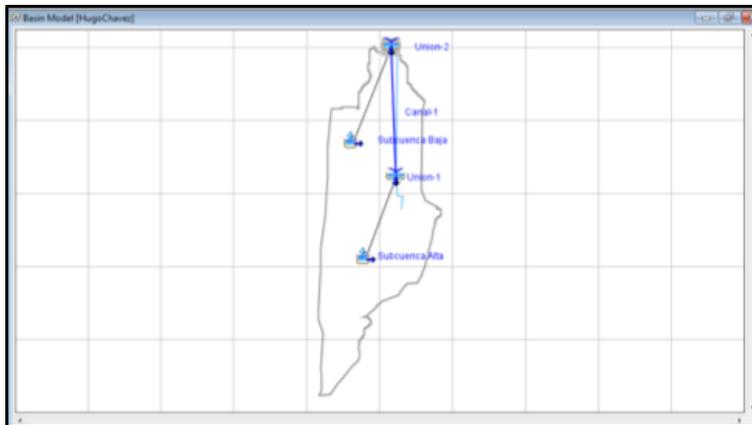
<sup>4D</sup> Más aún, HEC-HMS también se puede aplicar a los estudios de disponibilidad de agua, análisis de drenaje urbano, monitoreo de caudales, análisis de los impactos de las perturbaciones en cuencas, reducción de daños por inundación, etc.

Figura D-1: Diseños (Layouts) de Modelos HEC-HMS para tres microcuencas Primavera

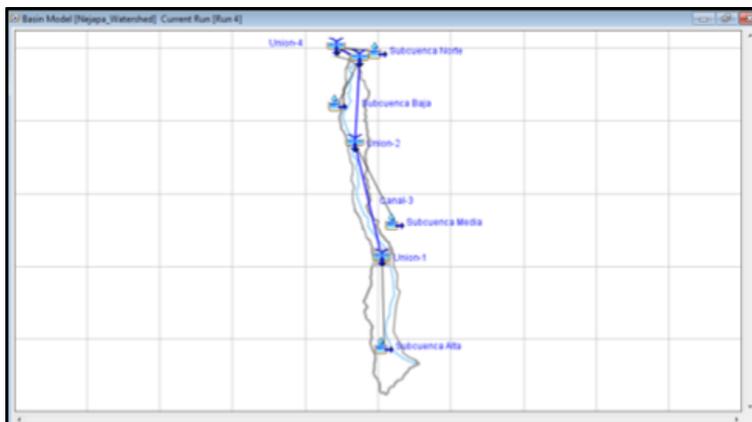
Primavera



Hugo Chávez



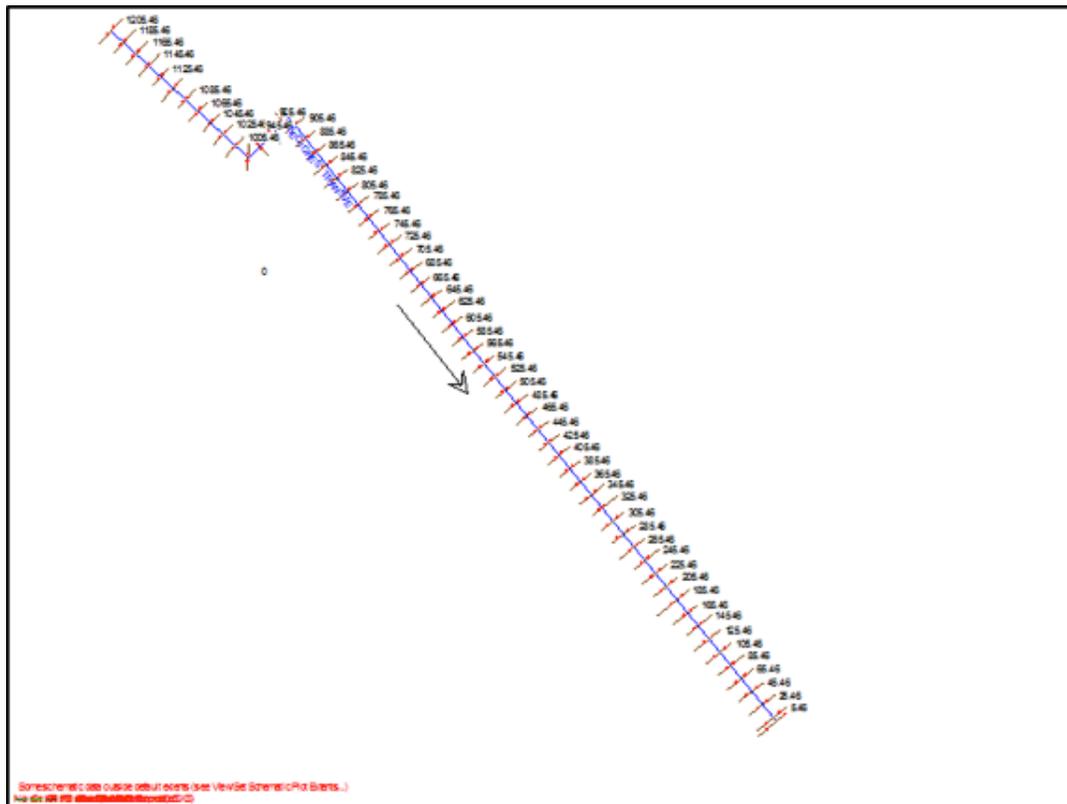
Nejapa



Fuente: ERM, 2013

HEC-HMS estima los caudales máximos asociados a períodos predeterminados de retorno, es decir, eventos de precipitación a 25, 50 y 100 años. Estos flujos máximos fueron encaminados luego a través de las calles y la infraestructura de drenaje de aguas pluviales existente, utilizando el HEC-RAS (Versión 3.1) para predecir la profundidad de inundación para cada período de retorno. La Figura D-2 ilustra un boceto del cauce de aguas pluviales construido en HEC-RAS para el canal principal Hugo Chávez.

Figura D-2: Ejemplo de un diseño (layout) del canal de drenaje en HEC-RAS (Hugo Chávez)



Fuente: Adaptado del estudio de Riesgo

### D.3 Resultados del modelo hidrológico

Esta Sección presenta los resultados del modelado para Primavera, Hugo Chávez, y Nejapa, organizados de acuerdo con los escenarios del uso de la tierra y el cambio climático escogidos para el análisis. Los resultados están básicamente expresados en caudales máximos para períodos de retorno predeterminados.

### D.3.1 Escenario 1: condiciones existentes (ec)

El escenario de línea base de las condiciones climáticas existentes y las características del uso de la tierra fue desarrollado de acuerdo con los datos históricos obtenidos principalmente del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), el Ministerio Agropecuario y Forestal (MAGFOR) y ALMA.

La Tabla D-1 presenta los caudales máximos para las tres microcuencas y tres períodos de retorno en el escenario de CE (EC).

**Tabla D-1** Flujos Máximos según el Escenario 1 – Condiciones Existentes

Micro-cuenca	Intersección	Período de retorno (años)	Flujo Máximo (m <sup>3</sup> /s)
Hugo Chávez	Unión -2	25	31.3
Hugo Chávez	Unión -2	50	35.6
Hugo Chávez	Unión -2	100	40.1
Primavera	Unión -2	25	28.9
Primavera	Unión -2	50	32.8
Primavera	Unión -2	100	36.9
Nejapa-Norte	Unión -4	25	29.9
Nejapa-Norte	Unión -4	50	31.6
Nejapa-Norte	Unión -4	100	33.4
Nejapa-Sur (Baja)	Unión -3	25	29.5
Nejapa-Sur ( Baja )	Unión -3	50	31.2
Nejapa-Sur ( Baja )	Unión -3	100	33.0

Nota: Unión (intersección) es un elemento con uno o más caudales entrantes y solo un caudal saliente en el modelo HEC-HMS.

Los flujos máximos presentados en la TABLA D-1 se utilizaron como valores de entrada para el modelo hidráulico HEC-RAS. TABLA D-2 presenta los parámetros hidráulicos (anchura media total y profundidad del canal promedio) generados por el modelo hidráulico HEC-RAS. Estos parámetros hidráulicos son valores medios de todas las secciones transversales utilizadas en el modelo hidráulico HEC-RAS para diferentes períodos de retorno (eventos 25, 50 y 100 años).

**Tabla D-2** Parámetros hidráulicos de los cauces modelados bajo el Escenario 1

Sistema	Período de Retorno (Años)	Anchura Total Promedio (m)	Profundidad Media del Cauce (m)
Hugo Chávez	25	27.7	0.87
Hugo Chávez	50	29.0	0.93
Hugo Chávez	100	30.2	0.99
Primavera	25	46.1	1.36
Primavera	50	46.2	1.42
Primavera	100	46.4	1.48
Nejapa	25	22.6	0.80
Nejapa	50	23.3	0.82
Nejapa	100	24.6	0.84

### D.3.2 Escenario 2: uso de la tierra existente con cambio climático (cc)

Este escenario toma en cuenta los parámetros climáticos incluidos en el escenario de cambio climático seleccionado para el análisis (como se describe en la Sección 3 del documento principal). Bajo este escenario, el modelo hidrológico supone un incremento del 30 % en la intensidad de las precipitaciones para 2050. La Tabla D-3 muestra los caudales máximos generados por el modelo HEC-HMS mientras que la anchura media total y la profundidad promedio de los cauces calculados por HEC-RAS se muestra en la Tabla D-4.

Es importante señalar que este escenario fue modelado para entender la efectividad potencial que las medidas de manejo y conservación del uso de la tierra pueden tener en la reducción de los riesgos de inundación (asumiendo que el cambio climático se produciría según lo predicho por los modelos climáticos regionales).

**Tabla D-3** Flujos Máximos según el Escenario 2 – Uso de la Tierra Actual con el Cambio Climático

Micro-cuenca	Cruce	Período de Retorno (Años)	Flujo Máximo (m <sup>3</sup> /s)
Hugo Chávez	Unión-2	25	44.3
Hugo Chávez	Unión-2	50	49.9
Hugo Chávez	Unión-2	100	55.8
Primavera	Unión-2	25	40.8
Primavera	Unión-2	50	45.9
Primavera	Unión-2	100	51.2
Nejapa-Norte	Unión-4	25	51.5
Nejapa-Norte	Unión-4	50	54.1
Nejapa-Norte	Unión-4	100	56.8
Nejapa-Sur (Baja)	Unión-3	25	50.9
Nejapa-Sur (Baja)	Unión-3	50	53.6
Nejapa-Sur (Baja)	Unión-3	100	56.2

**Tabla D-4** Parámetros hidráulicos de los cauces modelados bajo el Escenario 2

Cauce	Período de Retorno (Años)	Anchura Total Promedio (m)	Profundidad Promedio del Cauce (m)
Hugo Chávez	25	31.2	1.04
Hugo Chávez	50	32.0	1.10
Hugo Chávez	100	32.7	1.16
Primavera	25	50.7	1.53
Primavera	50	51.9	1.59
Primavera	100	53.4	1.64
Nejapa	25	26.3	1.05
Nejapa	50	26.8	1.07
Nejapa	100	27.2	1.09

### D.3.3 Escenario 3: cambio en el uso futuro de la tierra sin cambios climáticos (luc)

El Anexo B documenta la composición del uso del suelo previsto para el horizonte 2050 y que sirve de base para la simulación de este escenario futuro. Este escenario asume también que las condiciones climáticas actuales seguirán manteniéndose en el futuro. Los parámetros climáticos actuales se derivan de las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) generadas por los datos históricos de las estaciones meteorológicas ubicadas en toda Managua.

La Tabla D-5 muestra los flujos máximos modelados con HEC-HMS, mientras que la anchura total media y la profundidad media de los cauces calculadas en HEC-RAS se presentan en la Tabla D-6.

**Tabla D-5** Flujos máximos bajo el Escenario 3 – Uso futuro de la tierra sin el Cambio

Micro-cuenca	Cruce	Período de Retorno (Años)	Flujo Máximo (m <sup>3</sup> /s)
Hugo Chávez	Unión-2	25	42.5
Hugo Chávez	Unión-2	50	47.5
Hugo Chávez	Unión-2	100	52.8
Primavera	Unión-2	25	39.6
Primavera	Unión-2	50	44.3
Primavera	Unión-2	100	49.2
Nejapa-Norte	Unión-4	25	50.1
Nejapa-Norte	Unión-4	50	52.6
Nejapa-Norte	Unión-4	100	55.0
Nejapa-Sur (Baja)	Unión-3	25	49.5
Nejapa-Sur (Baja)	Unión-3	50	52.0
Nejapa-Sur (Baja)	Unión-3	100	54.5

**Tabla D-6** Parámetros hidráulicos de los cauces modelados bajo el Escenario 3

Cuenca	Período de Retorno (Años)	Anchura Total Promedio (m)	Profundidad Promedio del Cauce (m)
Hugo Chávez	25	30.8	1.02
Hugo Chávez	50	31.7	1.08
Hugo Chávez	100	32.4	1.13
Primavera	25	46.4	1.51
Primavera	50	52.2	1.57
Primavera	100	52.6	1.62
Nejapa	25	25.9	1.03
Nejapa	50	26.5	1.06
Nejapa	100	26.6	1.08

### D.3.4 Escenario 4: Uso Futuro de la Tierra y Cambio Climático (CC & LUC)

En este escenario, las proyecciones climáticas, que indican un aumento del 30 % en la intensidad de la precipitación, se combinaron con las futuras proyecciones del uso del suelo desarrolladas para el horizonte 2050.

La Tabla D7 muestra los caudales máximos modelados con HEC-HMS, mientras que la anchura promedio total y la profundidad media de los canales calculados en HEC-RAS se presentan en la Tabla D 8.

**Tabla D-7** Flujos máximos bajo el Escenario 4 – Uso Futuro del Suelo con Cambio Climático

Micro-cuenca	Cruce	Período de Retorno (Años)	Flujo Máximo (m3/s)
Hugo Chávez	Unión-2	25	57.8
Hugo Chávez	Unión-2	50	64.3
Hugo Chávez	Unión-2	100	71.1
Primavera	Unión-2	25	53.8
Primavera	Unión-2	50	59.8
Primavera	Unión-2	100	66.1
Nejapa-Norte	Unión-4	25	79.8
Nejapa-Norte	Unión-4	50	83.4
Nejapa-Norte	Unión-4	100	86.9
Nejapa-Sur (Baja)	Unión-3	25	79.1
Nejapa-Sur (Baja)	Unión-3	50	82.6
Nejapa-Sur (Baja)	Unión-3	100	86.1

**Tabla D-8** Parámetros hidráulicos de los cauces modelados bajo el Escenario 4

Cauce	Período de Retorno (Años)	Anchura Total Promedio (m)	Profundidad Promedio del Cauce (m)
Hugo Chávez	25	32.9	1.18
Hugo Chávez	50	33.3	1.24
Hugo Chávez	100	33.5	1.30
Primavera	25	54.8	1.66
Primavera	50	53.0	1.72
Primavera	100	50.6	1.77
Nejapa	25	26.7	1.28
Nejapa	50	27.1	1.31
Nejapa	100	27.2	1.34

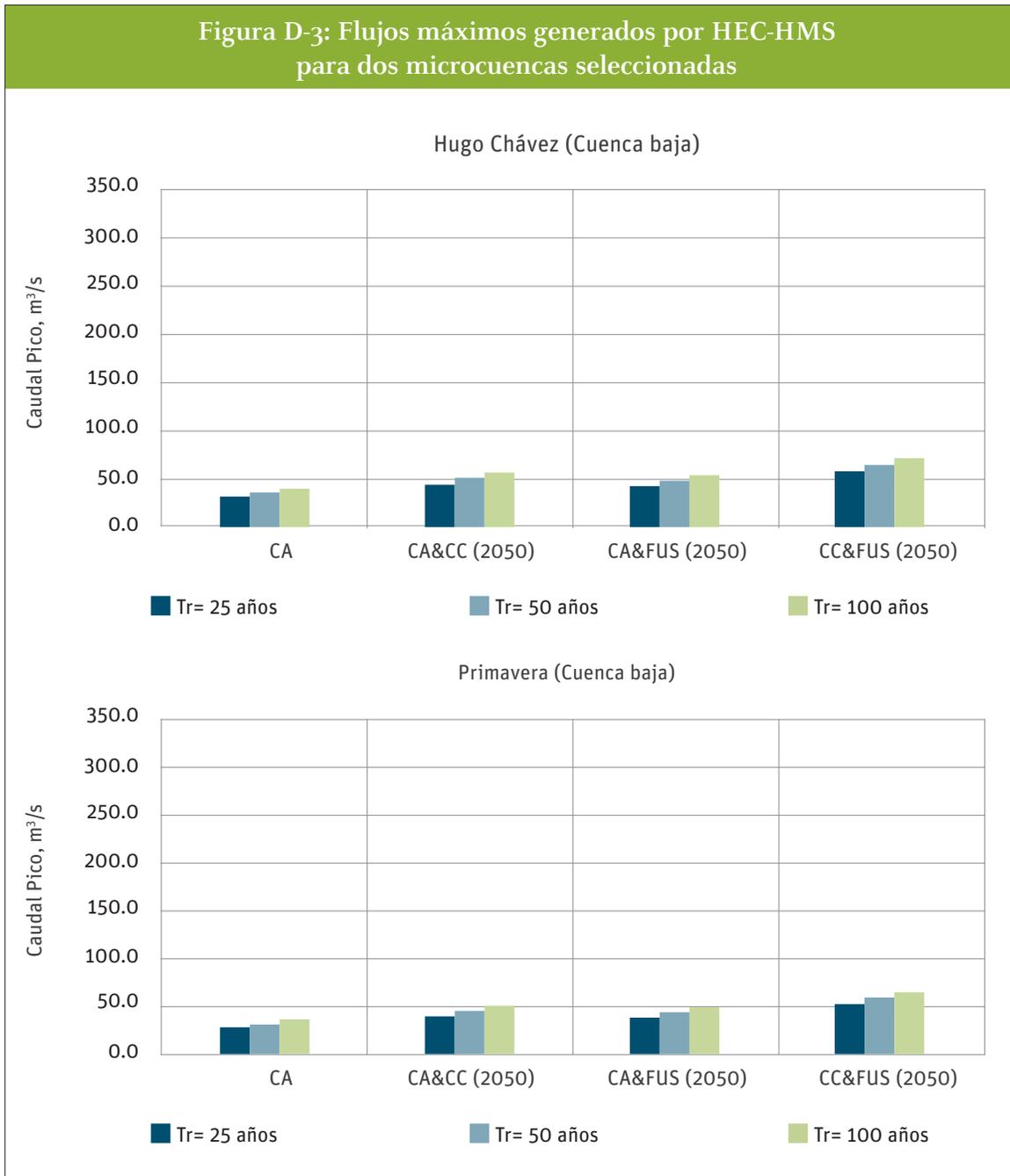
## D.4 Resumen de los resultados en gráficos: modelado de microcuencas

En esta Sección, se presentan los gráficos comparativos obtenidos de los modelos hidrológicos e hidráulicos para los cuatro escenarios simulados para los tres sistemas de Microcuencas (Sistema Hugo Chávez, Primavera y Nejapa).

### D.4.1 Caudales máximos

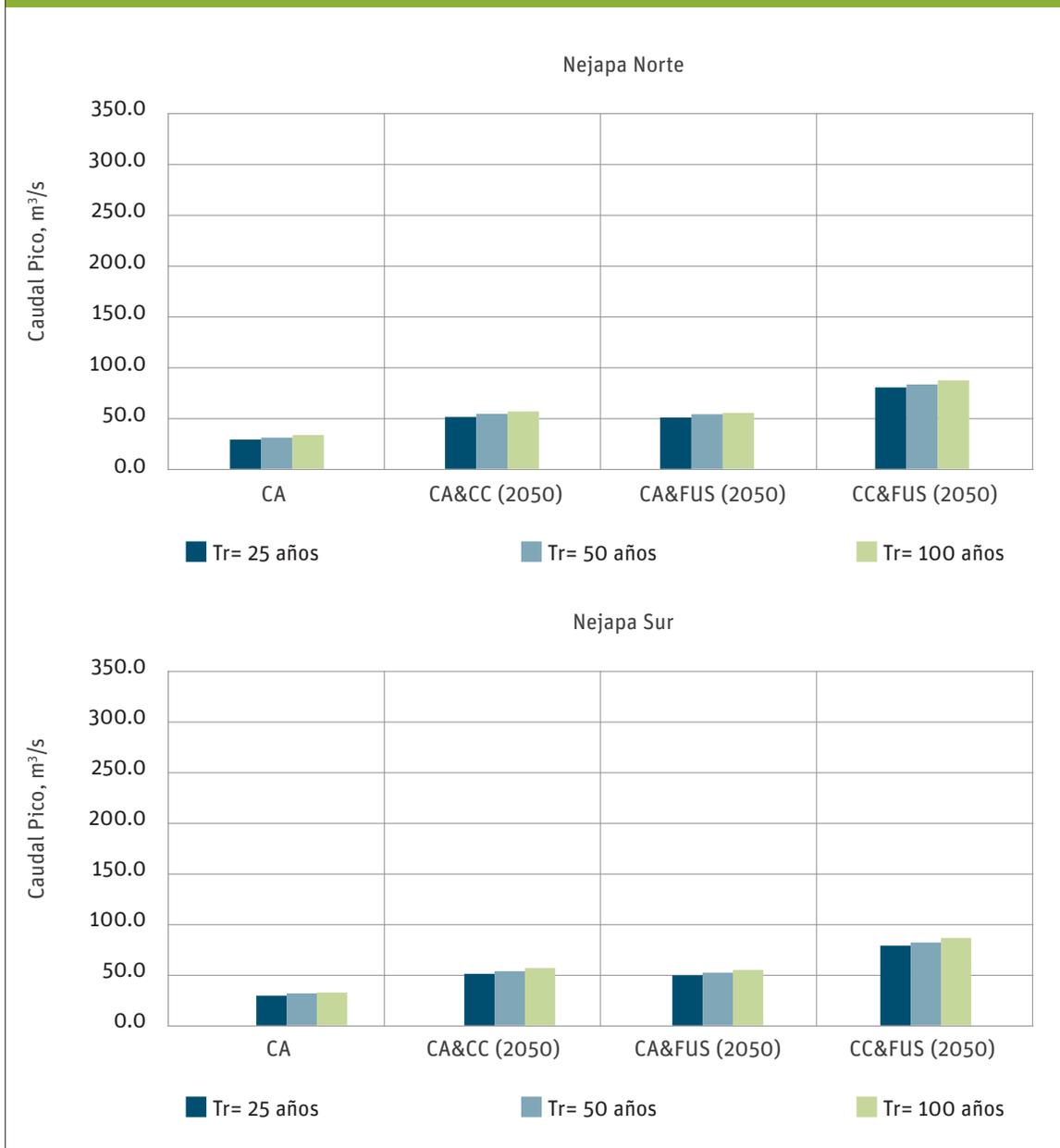
La Figura D-3 muestra que los caudales máximos para las microcuencas Hugo Chávez y Primavera aumentaron con el cambio climático de 2050 (CC) y en los escenarios de uso del suelo futuro (FUS), por separado y juntos, (CC & FUS) en comparación con las condiciones actuales (CA). El flujo máximo modelado para la cuenca Hugo Chávez para el escenario CA & CC muestra valores ligeramente más altos que el escenario CA & FUS debido a un cambio considerable en el uso del suelo dentro de la cuenca que no ha sido proyectado. Esta misma tendencia se observa en la microcuenca Primavera. Esto significa que las precipitaciones más intensas son un conductor más importante que los cambios en el uso del suelo cuando se considera el impacto relativo de estos factores sobre el riesgo de inundaciones.

Figura D-3: Flujos máximos generados por HEC-HMS para dos microcuencas seleccionadas



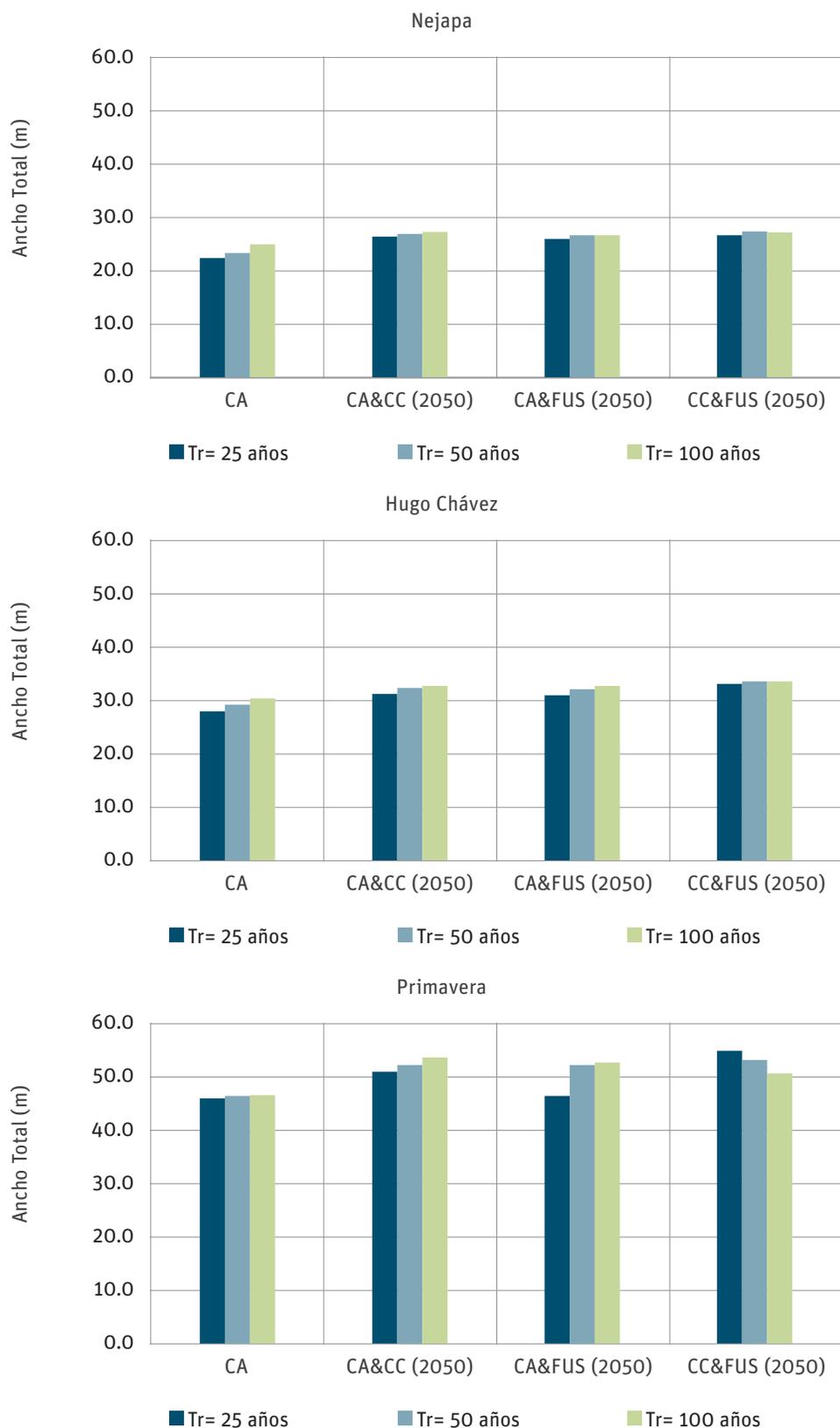
La Figura D-4 compara los flujos máximos modelados para la microcuenca Nejapa. El análisis de Nejapa se efectuó en dos cruces de flujo en la cuenca, por ejemplo, Norte y Sur. Los gráficos muestran que los tres escenarios con proyecciones del clima y el uso del suelo generarían un aumento en los caudales máximos en comparación con la línea base representada en el escenario de las condiciones actuales (CA). El escenario de CA y FUS muestra un impacto ligeramente menor en los caudales máximos que el escenario de CA y CC porque no se proyectó un cambio considerable del uso del suelo en la cuenca Nejapa.

Figura D-4: Caudales Máximos generados por el Modelo HEC-HMS para dos secciones de Nejapa



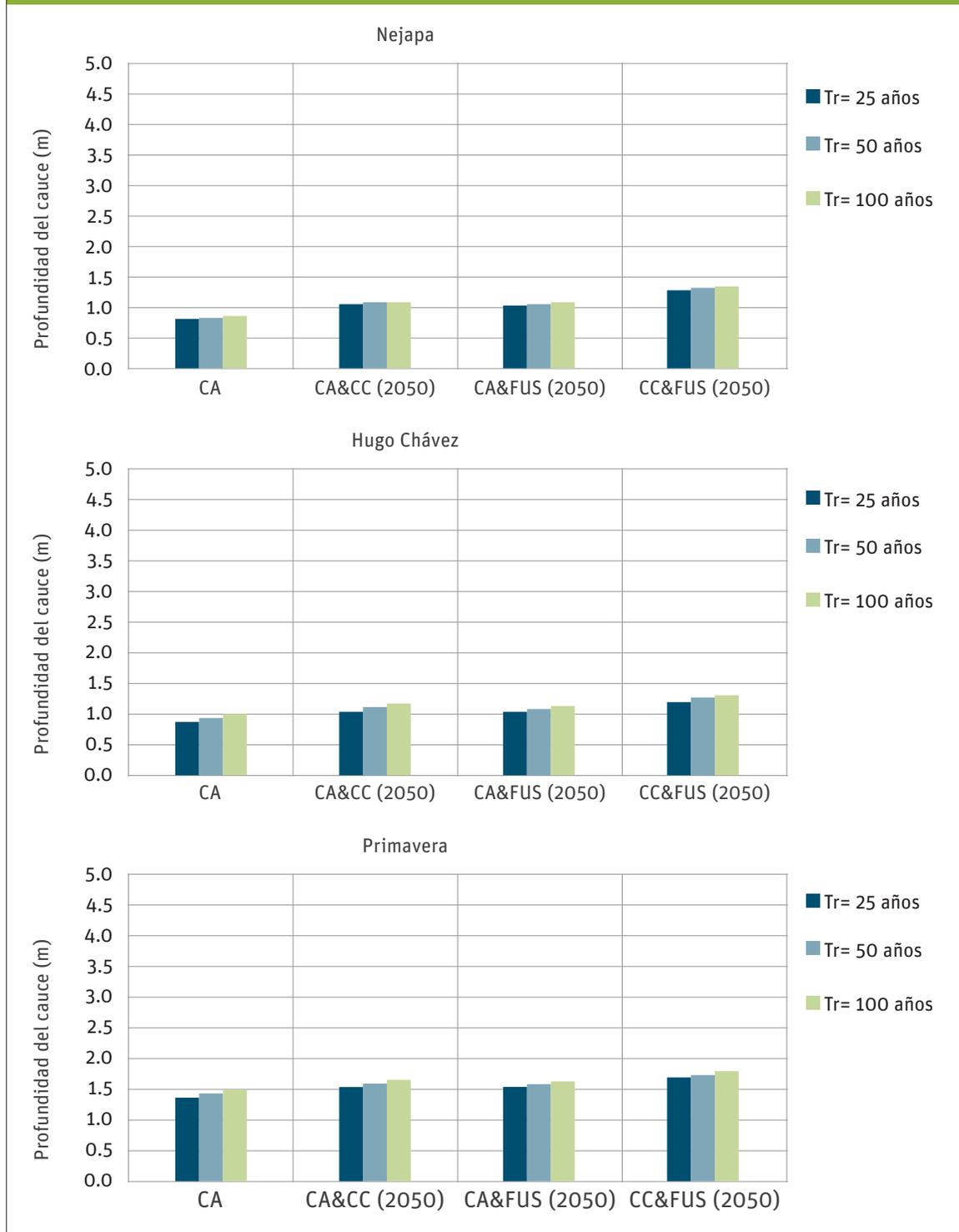
Las Figuras D-5 y D-6 muestran gráficos comparativos de las características hidráulicas (ancho medio del canal y profundidad) para las condiciones existentes y los tres escenarios modelados. Como se muestra en la Figura D-5, la anchura media de los cauces (incluyendo sus márgenes) ha aumentado ligeramente en los tres escenarios modelados en comparación con las condiciones climáticas y del uso del suelo actuales (CA). El escenario que muestra un cambio mayor corresponde al escenario del cambio climático (CC) y el uso del suelo (FUS) 2050, que presenta el ancho total promedio más amplio de los cuatro escenarios modelados para diferentes periodos de retorno.

Figura D-5: Anchura promedio del canal para tres cuencas



Las profundidades medias de los canales (ver Figura D-6) muestran una tendencia similar a la observada para los caudales máximos para los tres escenarios del cambio climático y uso del suelo. Esta tendencia sugiere que una combinación de cambio climático y del uso del suelo proyectado para el horizonte 2050 (Escenario FUS & CC) genera profundidades de agua más profundas si se compara con la línea base representada por las condiciones actuales (CA).

Figura D-6: Profundidad promedio del canal para tres Microcuencas



# Anexo E:

## *Análisis del Balance Hídrico del Lago de Managua* **Adaptación al Cambio Climático y Manejo Integrado de los Recursos Hídricos en Managua, Nicaragua**

### Contenido

E.1	Introducción .....	175
	E.1.1 Estructura de este documento.....	175
E.2	Descripción del modelo.....	176
	E.2.1 Configuración .....	176
	E.2.2 Operación.....	177
E.3	Inputs del modelo.....	178
E.4	Calibración del modelo .....	182
E.5	Resultados del modelo .....	183
E.6	Instrucciones de descarga .....	187

## Lista de Tablas

E-1	Colores de identificación para la herramienta del balance hídrico del LM.....	176
E-2	Los cuatro escenarios evaluados con la herramienta de balance hídrico del LM.....	183
E-3	Niveles del Lago de Managua generados por el balance hídrico .....	185

## Lista de Figuras

E-1	Ubicación de las estaciones meteorológicas y los ríos utilizados en este estudio.....	181
E-2	Nivel promedio del lago modelado comparado con los niveles promedio observados.....	182
E-3	Resultados de la herramienta del balance hídrico en el LM para los cinco escenarios evaluados.....	184
E-4	Resultados de la herramienta de balance hídrico en el LM para 2010.....	186

## E.1 Introducción

Está bien documentado y es bien conocido que los repentinos ascensos del nivel de agua en el Lago de Managua –debido a las intensas y tormentas y pronunciadas estaciones de lluvia– han dado lugar a inundaciones en las comunidades a lo largo de su costa, lo que ha resultado en daños a la propiedad personal y privada, así como a la infraestructura de la ciudad, tales como el Teatro Nacional Rubén Darío. En algunos casos, la inundación es tan recurrente que barrios específicos han sido declarados inhabitables y muchos otros se enfrentan a un alto riesgo<sup>1E</sup>.

Durante el transcurso de esta experiencia de adaptación, los funcionarios de ALMA prefirieron centrarse en los recursos del proyecto para abordar los desafíos de drenaje urbano ya críticos en Managua. Por lo tanto, se llegó a un acuerdo para abordar las cuestiones relacionadas con el lago, por separado, mediante la preparación de un modelo de equilibrio general del agua del Lago de Managua. La herramienta de balance hídrico del Lago de Managua fue diseñada para ayudar a los especialistas técnicos y planificadores locales en la estimación de la probable respuesta del nivel del agua del lago a los futuros cambios en el uso del suelo y el clima.

En este mismo orden de ideas, ERM ha desarrollado un modelo del balance hídrico del Lago de Managua (LM) que se puede utilizar para predecir los posibles cambios en la elevación de la superficie del lago bajo diferentes escenarios. El modelo es una herramienta relativamente fácil de usar, basada en hojas de cálculo en Excel que toman en cuenta tanto los promedios mensuales de las variables climáticas relevantes y los usos actuales de suelos en toda la cuenca.

### E.1.1 Estructura de este documento

En este anexo se explican los aspectos relacionados con la configuración y el uso del modelo del balance hídrico del LM, incluyendo una descripción de los datos de entrada, los pasos de calibración y el resultado del modelo. Las instrucciones sobre cómo descargar la hoja de cálculo y el presente anexo, que sirve como manual de usuario, se incluyen al final de este documento. El resto del documento está estructurado de la siguiente manera:

**Sección E.2 Descripción del Modelo:** ofrece una versión general de la herramienta de Excel, indicando la finalidad de cada una de las pestañas (*tabs*) de la hoja de cálculo y el procedimiento por el cual se ejecuta el modelo.

**Sección E.3 Inputs del Modelo:** describe el origen y la naturaleza de los datos de entrada que se requieren para que el modelo simule la respuesta del nivel del agua del lago.

**Sección E.4 Calibración del Modelo:** describe los ajustes hechos al modelo y las ecuaciones subyacentes para mejorar la veracidad de su output.

**Sección E.5 Resultados del Modelo:** presenta y analiza los resultados del modelo bajo varios escenarios.

**Sección E.6 Instrucciones para Descargar:** proporciona la dirección de un sitio FTP donde los usuarios pueden acceder para descargar el modelo y este anexo.

<sup>1E</sup> Un artículo publicado en La Prensa dio una cita textual de un oficial del gobierno (Defensa Civil) “40 barrios (de Managua) deben ser evacuados y declarados inhabitables”. <http://m.laprensa.com.ni/nacionales/28385>



## E.2 Descripción del modelo

### E.2.1 Configuración

La hoja de cálculo del balance hídrico del LM se compone de nueve pestañas (*tabs*) diferentes. Cada pestaña tiene una función diferente, ya sea para introducir datos, hacer cálculos o mostrar datos y resultados. Las celdas relevantes en la hoja de cálculo están codificadas por colores para guiar al usuario.

La Tabla E-1 muestra si cada columna o celda en la hoja de cálculo se utiliza para introducir nuevos datos, cambiar las condiciones existentes, hacer un cálculo o para hacer un enlace con otra pestaña o celda en la herramienta de balance hídrico del LM:

**Tabla E-1** Colores de Identificación para la Herramienta del Balance Hídrico del LM

Entrada	Enter value
No Cambiar	No Change value
Calculado	Calculated Value
Enlace	Linked Value

Las nueve pestañas en la hoja de cálculo modelo se explican con más detalle a continuación:

- *Master* – En esta ventana, se muestran los cálculos de todas las entradas y salidas al Lago de Managua. Los valores vinculados a la evaporación y precipitación también se muestran en esta ventana. El usuario introduce en esta ventana la elevación inicial del agua del lago.
- *CN* – En esta pestaña se calculan los datos del caudal promedio mensual para cada una de las trece cuencas que componen la Cuenca del Lago de Managua. El usuario puede introducir el caudal observado y los datos de flujo base. Los valores calculados del caudal, pueden compararse con los datos del caudal observados. Tenga en cuenta que los valores de flujo base deben calcularse fuera de la herramienta del balance hídrico del LM. El usuario también debe entrar el área total de cada cuenca en esta pestaña (*tab*).
- *Control* – En esta ventana, el usuario entra la mayoría de los parámetros. El usuario debe entrar la precipitación mensual promedio y las temperaturas medias mensuales del aire disponibles en las estaciones climatológicas ubicadas dentro de las trece cuencas. En esta ventana se deben introducir los cambios climáticos y cambios proyectados en el uso del suelo. Por ejemplo, el aumento de temperatura del aire de 2.6 °C debe ser colocado en la columna titulada DTaire (°C). Los porcentajes de las áreas de uso del suelo, calculados de la ventana *UsodeSuelo*, deben insertarse en esta pestaña. La *Sección 3.1* documenta las variables proyectadas para el escenario futuro del cambio climático de 2050.
- *Usos del Suelo* – Esta pestaña (*tab*) utiliza las áreas del uso del suelo para cada una de las trece cuencas bajo las condiciones existentes y para el horizonte proyectado 2050. Estas áreas se toman del uso del suelo histórico y de cálculos estadísticos según se describen en el *Anexo B*. Esta pestaña debe modificarse únicamente si se generan nuevas proyecciones en el uso del suelo para nuevas fechas horizonte.

- *Evap* – El usuario puede introducir los datos mensuales históricos de evaporación (opcional) para compararlos con los valores calculados en esta pestaña. La evaporación se calcula con la ecuación de Thornthwaite la cual utiliza la temperatura del aire prevista en la pestaña *Control* tab.
- *Gráfica Nivel Lago*- Los niveles de agua calculados y observados en el Lago Managua se representan en esta pestaña (Output gráfico de la herramientas de balance hídrico en el LM).
- *Precip+Evap* – Aquí se representan la evaporación media mensual calculada y la precipitación (salida gráfica de la herramienta del balance hídrico del LM)
- *BatimetriaLago* – Esta pestaña incluye la tabla de almacenamiento-elevación del área del Lago de Managua.
- *Gráfica Balance Neto* – Este gráfico muestra cada uno de los componentes mensuales del presupuesto de agua y el volumen neto para el Lago de Managua (Output gráfico de la herramienta del balance hídrico del LM).

## E.2.2 Operación

Para operar la herramienta de balance hídrico del LM, el usuario debe introducir los datos de acuerdo con los siguientes pasos:

*Configurar la herramienta del balance hídrico:*

1. Seleccione el escenario del uso del suelo, porcentaje de área para las condiciones existentes 2009 o cobertura de tierra futura 2050, de la pestaña *UsodeSuelo* (copie la celda resaltada en verde claro).
2. Copiar y Pegar los porcentajes correspondientes al escenario de uso del suelo seleccionado de la pestaña *UsodeSuelo* tab en la pestaña *Control* tab (columna T a la AC).
3. Introduzca los datos promedio mensuales de precipitación para cada una de las nueve estaciones meteorológicas en la pestaña *Control* tab (columna I a la Q) – también pueden usarse los valores mínimos o máximos.
4. En la pestaña *Control* tab, ingrese la temperatura media mensual del aire según condiciones observadas (columna C); el cambio de temperatura de aire previsto para 2050 (columna B); el cambio de la precipitación del lago previsto para 2050 (columna E); y cambios en las precipitaciones a lo largo de la cuenca del lago, también para 2050 (columna F). Por ejemplo, si el usuario quiere evaluar un incremento de 2.6 ° C en la temperatura del aire y de 30 % en precipitación, estos valores deben introducirse en la columna B (2.6 ° C) y la columnas E (1.3) y F (1.3), respectivamente.
5. Introduzca el nivel de agua inicial bajo las condiciones observadas (Columna G) en el *Control* tab. Si el número en la curva de escorrentía<sup>2E</sup> necesita ser modificado, introduzca un valor en la columna H, también en el *Control* tab. Por ejemplo, para asumir un aumento del 10 % en los números de la curva asociados con la Cuenca del lago, introduzca 1.10 en la columna H.

<sup>2E</sup> El número de curva de escorrentía (también llamado un numero de curva o simplemente CN) es un parámetro empírico usado en hidrología para predecir la escorrentía directa o la infiltración por el exceso de lluvia

6. En la pestaña *CN* tab, el usuario puede introducir el flujo promedio mensual para cada una de las trece cuencas. Tenga en cuenta que el flujo base debe ser calculado fuera de la herramienta de balance hídrico del LM basado en datos de flujo de corriente históricos observados. Además, el usuario puede modificar las áreas de las trece cuencas. Sin embargo, si se modifican las áreas, el usuario debe comprobar la pestaña *UsodeSuelo* tab y verificar que todas las áreas totales concuerdan.
7. La introducción de valores de evaporación mensuales de las estaciones de Managua y RURD<sup>3E</sup> en la pestaña *Evap* tab es opcional. Los valores de evaporación utilizados para la herramienta del balance hídrico del LM se calculan con la temperatura promedio del aire mensual y la ecuación de Thornthwaite. Se pueden introducir los valores de evaporación históricos observados para compararlos con los valores calculados.

*Corriendo la herramienta de balance hídrico del LM:*

- El usuario puede ejecutar la herramienta de balance hídrico del LM desde la pestaña *Master* tab, donde se realizan todos los cálculos del balance hídrico. Esta pestaña resume todas las entradas y salidas para el Lago de Managua. En esta pestaña, el usuario puede introducir los niveles medios de agua mensuales observados en el Lago Managua (si están disponibles) para compararlos con los niveles de agua calculados.

*Viendo los resultados:*

- Por último, el usuario puede ver los resultados de la herramienta del balance hídrico del LM en tres parcelas diferentes que se muestran en las pestañas *Gráfica\_Nivel Lago*, *Precip+Evap*, y *Gráfica\_BalanceNeto*.

## E.3 Inputs del modelo

La herramienta de balance hídrico del LM requiere inputs para cinco aspectos principales: la meteorología, el uso del suelo, la batimetría, flujos de entradas y flujos de salida. Los principales flujos de entrada para el lago incluyen la precipitación directa sobre el lago y la escorrentía procedente de las trece cuencas que desembocan en el lago. Es importante señalar que las interacciones de las aguas subterráneas con el lago y su cuenca no han sido tomadas en cuenta por la herramienta de balance hídrico del LM. Los principales flujos de salida son la evaporación y la descarga del lago en el río Tipitapa, que conecta el Lago de Managua con el Lago Nicaragua. Una descripción detallada de los principales cinco inputs del modelo se describen a continuación:

- *Meteorológico*: – estos datos incluyen la temperatura media del aire de la Estación Managua y los datos de precipitación de nueve estaciones meteorológicas. La Figura E-1 muestra la ubicación de estas estaciones, a nombrar, Asosca, RURD, San Isidro, Bay Pass, Managua, Primavera, Los Zarzales, La Zopilota, y San Lorenzo. Se usaron los datos promedio de la temperatura del aire para calcular la evaporación mensual promedio mediante la ecuación de Thornthwaite<sup>4E</sup>

<sup>3E</sup> Recinto Universitario Rubén Darío.

<sup>4E</sup> Eckhardt, K., 2004. *How to construct recursive digital filters for baseflow separation*. Hydrological Processes. Vol. 19, Issue 2, pgs 507-515.



- *Uso de la tierra:* – estos datos incluyen la cobertura de tierra existente y la cobertura de tierra futura 2050 para las trece cuencas. Los datos existentes de la cubierta vegetal fueron proporcionados por MAGFOR. ERM ha desarrollado un escenario de tierra a futuro basado en las imágenes satélite LANSAT tal como se describe en el Anexo B.
- *Batimetría* – estos datos incluyen las curvas de almacenamiento del área para el Lago Managua obtenidas de INETER.
- *Caudal:* – estos datos se utilizaron para estimar el flujo base y comparar los valores de caudales calculados por la herramienta de balance hídrico del LM.
- *Caudal Base:* – estos datos se calcularon utilizando los datos de caudal base disponibles, y ecuaciones empíricas para cada una de las trece cuencas. Las estaciones de aforo Viejo de Lima y Pacora, incluyen los datos diarios de caudal continuo más completos. Los datos de flujo para las otras subcuencas se estimaron correlacionando el caudal de estas otras dos estaciones de aforo con áreas de cuencas individuales. Entonces, el caudal base diario de las trece cuencas se calculó con el método de filtro digital descrito por Eckhardt (2004), y se estimaron los flujos base promedio mensuales para cada cuenca.
- *Escorrentía:* – esta entrada se estimó mensualmente agregando el flujo base descrito anteriormente y el exceso de precipitaciones (in m<sup>3</sup>/s). El exceso de precipitación se calculó sobre la base mensual en función de la precipitación acumulada, la cobertura del suelo, el uso del suelo y el modelo de pérdida del número de curva SCS. El caudal mensual histórico observado para cada cuenca se comparó con el caudal calculado para verificar la escorrentía calculada. La escorrentía total calculada de las trece cuencas se incorporó entonces como un flujo de entrada para el balance hídrico del LM.
- *Precipitación Directa sobre el Lago:* Este flujo de entrada se calculó usando datos de precipitación mensual de nueve estaciones climatológicas (Asosca, RURD, San Isidro, Bay Pass, Managua, Primavera, Los Zarzales, La Zopilota, y San Lorenzo) ubicadas en el Lago de Managua (refiérase a la Figura E-1). Entonces, estos valores de precipitación (en mm) se multiplicaron por el área del lago, de aproximadamente 39.5 metros (1,052 km<sup>2</sup>). Tenga en cuenta que esta área sigue siendo igual para cada volumen de precipitación calculado.
- *Evaporación:* Los datos promedio mensuales de la temperatura del aire de la estación meteorológica de Managua y la ecuación de Thornthwaite<sup>5E</sup> fueron utilizados para calcular las tasas de evaporación potencial mensual para la herramienta del balance hídrico del LM. Los resultados se compararon con los datos de evaporación promedio observados en las dos estaciones (Managua and RURD) para verificar las tasas de evaporación calculadas.

$$E = 1.6 \left( \frac{10 * T}{I} \right)^a$$

Donde:

$E$  es la evaporación (mm/día) y;  $T$  es la temperatura media del aire mensual (°C) y;  $I$  es el índice de calor, que es la suma de los doce meses  $i$  índices de calor calculados basados en las temperaturas del aire medias mensuales. La evaporación potencial ( $EP$ ) se calcula multiplicando  $E$  por 0.4-0.5 para la herramienta de balance hídrico del LM. La  $EP$  entonces se introdujo como flujo saliente para calcular el balance hídrico multiplicando:

<sup>5E</sup> Chow, V.T. 1964. Handbook of Applied Hydrology: A Compendium of Water-resources Technology. McGraw-Hill. Pg. 1468.

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.514} \quad \text{y} \quad a = (6.75 \times 10^{-7})I^3 - (7.71 \times 10^{-5})I^2 + (1.79 \times 10^{-2})I + 0.49$$

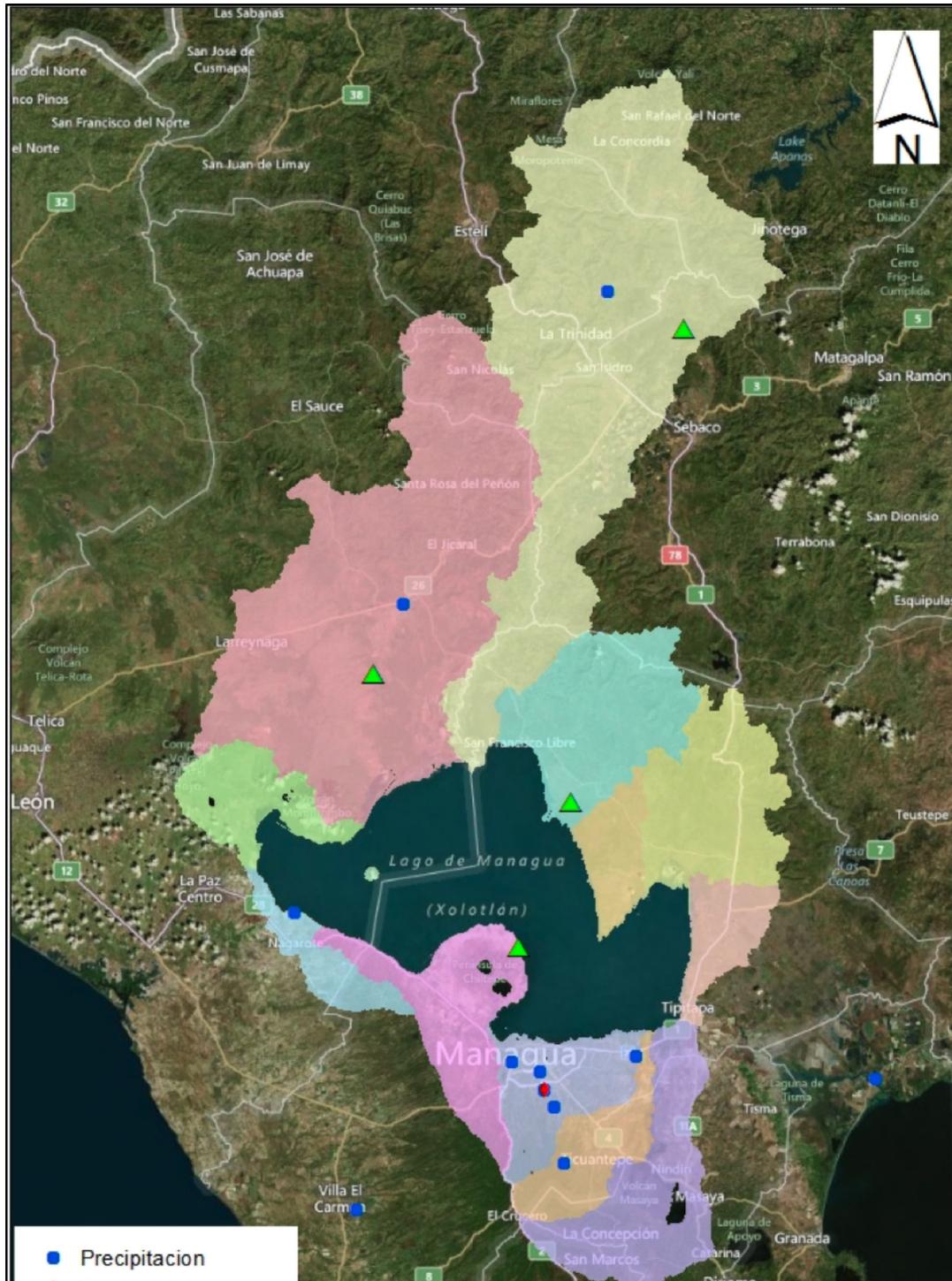
- *Caudal:* La única salida para el Lago de Managua se encuentra en Tipitapa. Esta salida está controlada por un puente que cruza la Carretera Panamericana. El puente es de aproximadamente 13 m de ancho y 25 m de largo, y funciona como un vertedero. Basándose en esta suposición y estimando la elevación máxima del agua en la cual el lago descarga el agua (aproximadamente 37.7 m), se estimó una ecuación empírica de descarga. La ecuación empírica de descarga es una ecuación modificada para un vertedero rectangular con un canal más ancho que el vertedero:

$$Q = 0.5(L - 0.656H)H^{\frac{3}{2}}$$

Donde

$Q$  es la descarga desde el puente ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),  $L$  es el ancho del cauce (m) y  $H$  es el flujo de aproximación a la cresta del vertedero (m).

Figura E-1: Ubicación de las estaciones meteorológicas y los ríos utilizados en este estudio

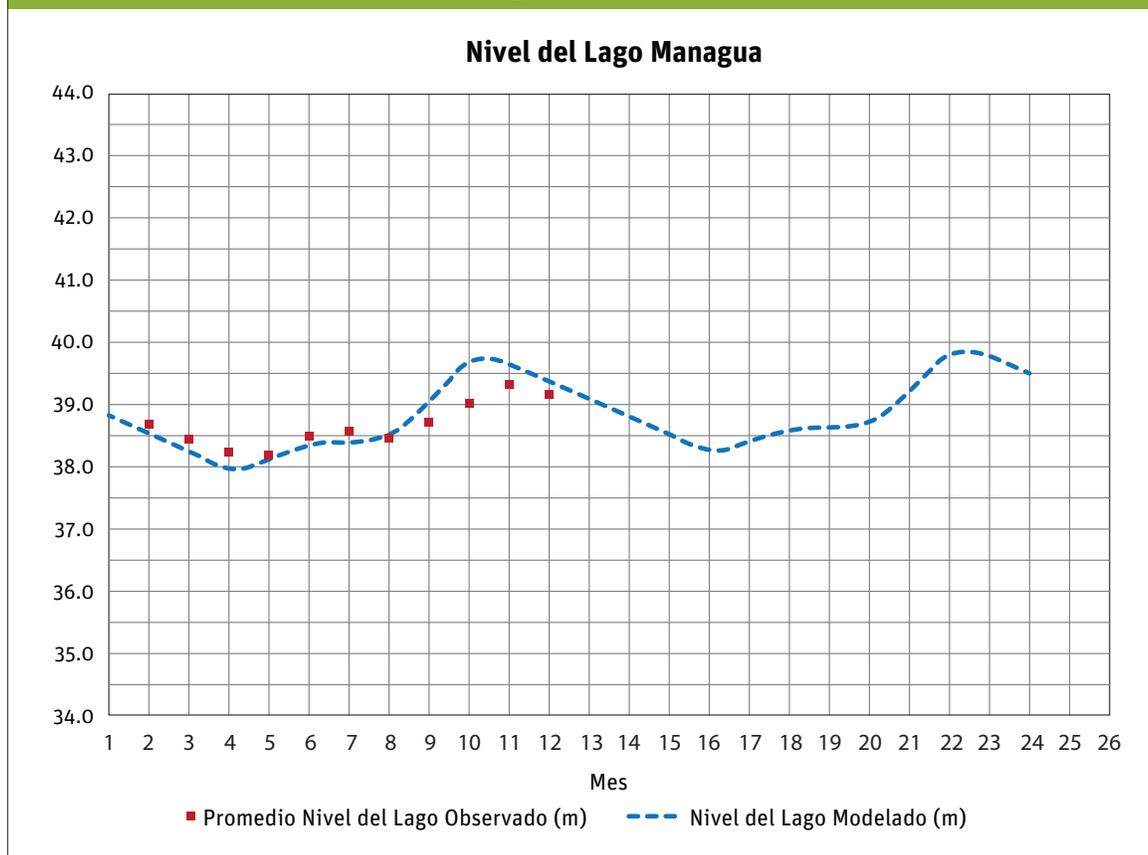


Fuente: ERM, 2013

## E.4 Calibración del modelo

El modelo de balance hídrico del LM fue calibrado usando promedios mensuales compilados para todos los datos de entrada. Los intentos de calibración iniciales mostraban niveles modelados del lago inferiores a los valores promedio observados. Se determinó que la causa fue un caudal calculado poco realista. La ecuación de caudal inicial no tomó en cuenta la contracción del flujo en el puente de la carretera Panamericana en Tipitapa. El canal se torna significativamente limitado en el sitio del puente antes de recuperar su anchura natural aguas abajo más adelante. Sin tener en cuenta esta limitación, la descarga modelada es demasiado alta, y esto hace que los niveles del lago sean demasiado bajos. Se aplicó al modelo una ecuación empírica utilizada para calcular el caudal a través de un vertedero restringido y el coeficiente fue ajustado hasta que los niveles mensuales de los lagos resultantes se estimaron como un ajuste muy cercano a los datos promedio observados.

Figura E-2: Nivel promedio del lago modelado comparado con los niveles promedio observados



## E.5 Resultados del modelo

### Escenarios Evaluados

ERM utilizó la herramienta de balance hídrico del LM bajo cuatro escenarios diferentes, los cuales se detallan en la Tabla E-2.

**Tabla E-2** Los cuatro escenarios evaluados con la herramienta de balance hídrico en el LM

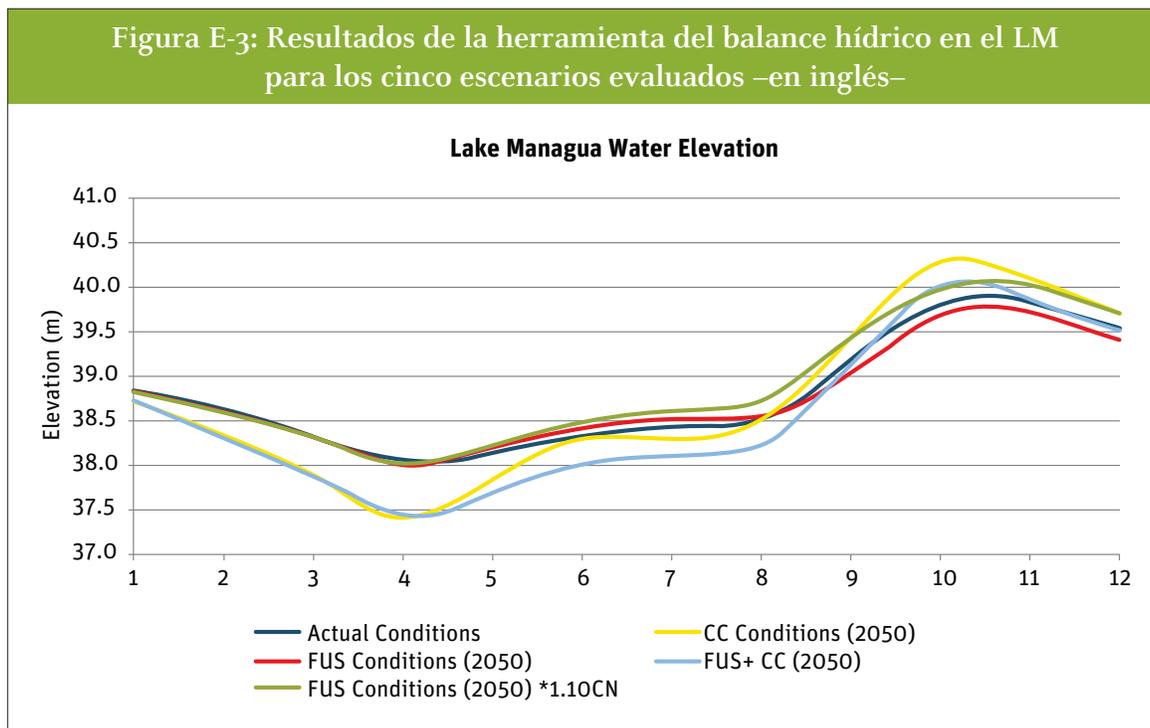
Escenario	Abreviación en Español	Explicación
Existing Conditions (EC)	Condiciones Actuales (CA)	Este escenario base refleja una instantánea del presente, basada en los patrones de uso del suelo observados en la actualidad y las condiciones hidrológicas actuales, construidas sobre la base histórica de la información meteorológica.
Existing Land Use with Climate Change (CC)	Uso de Suelo Existente con Cambio Climático (CC)	Representa un escenario estático del uso de la tierra, mientras las condiciones hidrológicas continúan siendo influenciadas por el cambio climático en todo el horizonte de 2050. Este escenario permite el análisis de la contribución relativa del cambio climático a la magnitud de los acontecimientos relacionados con las aguas pluviales.
Future Land Use Change (LUC) without Climate Change	Futuro Uso del suelo sin Cambio Climático (FUS)	Este escenario supone condiciones climáticas que permanecerán iguales en el futuro, pero el uso de la tierra seguirá evolucionando como resultado de las tendencias demográficas y económicas. Este escenario hace hincapié en la contribución de los cambios en el uso del suelo, específicamente aquellos que se traducen en la pérdida de cubierta permeable y el aumento de la escorrentía de las aguas pluviales.
Future Scenario with Climate Change and Land Use Change	Futuro Uso del suelo con Cambio Climático (CC + FUS)	Este escenario tiene la intención de reflejar los efectos combinados del uso de la tierra y el cambio climático sobre la magnitud y el riesgo relacionado con los eventos de aguas pluviales.

El modelo incorpora la precipitación histórica, la evaporación, temperatura del aire, y los datos de la tasa de flujo documentados por diversas estaciones meteorológicas e hidráulicas (Refiérase a la Figura E-1). Los datos de estas estaciones fueron proporcionados por INETER. Además, ERM consideró las previsiones de las variables climáticas (Refiérase a la Sección 3.1) y las proyecciones para el posible uso de la tierra (Véase el Anexo B).

Los resultados preliminares no mostraron que el uso proyectado del suelo proyectado tuviese cambios para 2050, lo que generaría una influencia significativa en el ascenso de las aguas superficiales del lago. Como resultado, ERM incluyó un escenario adicional, lo que supuso un aumento del 10 % en el número de curva asociada con el escenario de uso del suelo futuro (FUS). El número de curva es un parámetro que refleja el porcentaje de lluvia que no es absorbida por el suelo y resulta en escorrentía. Se colocó un aumento del 10 % en el número de curva para reflejar un supuesto más conservador en relación a los cambios de uso del suelo proyectado, lo que indicó una tendencia a la presencia de mayores zonas impermeables en toda la cuenca del Lago de Managua. El parámetro se introdujo en la columna H en la pestaña de control *Control* tab. Este escenario fue denominado "FUS + 1.10 CN".

### Resultados del Modelo

Los resultados mostraron que el escenario de cambio climático y el uso del suelo futuro (FUS + CC) generaron cambios más significativos en los niveles del lago, en comparación con el escenario de línea base (CA). Como se ilustra en la Figura E-2, el escenario FUS + CC conduce a proyecciones del nivel del lago notablemente disminuidas durante la estación seca (febrero-mayo) y notablemente aumentados los niveles del lago durante los meses de mayor precipitación (agosto-octubre). El aumento de la evaporación (durante la estación cálida y seca) y las precipitaciones durante la temporada de lluvias (impulsadas por la variabilidad del clima) son los factores que impulsan estas proyecciones.



Es importante tener en cuenta que los resultados enfatizan el papel más importante que las variables climáticas (por ejemplo, precipitación y temperatura) desempeñan en el impulso de la elevación de las aguas superficiales del lago. De acuerdo con los resultados tabulados en la Tabla E-3, parece que los cambios en el uso del suelo, y el consiguiente aumento de la superficie impermeable, no aumentarían o disminuirían significativamente la elevación del lago.

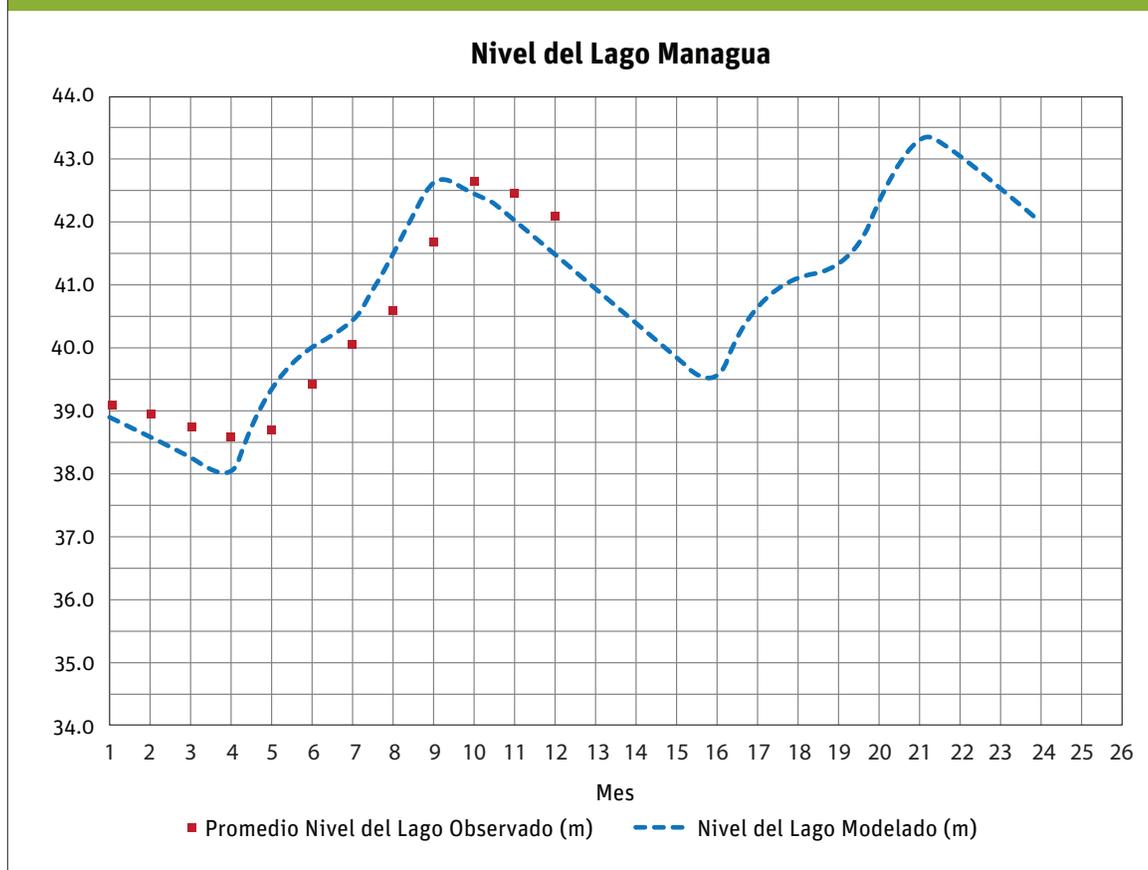
**Tabla E-3** Niveles del Lago de Managua generados por el balance hídrico

Mes	Elevaciones de Agua Proyectadas para el Lago Managua (m)			
	CA	CC	FUS	CC + FUS
Enero	38.8	38.7	38.8	38.7
Febrero	38.6	38.3	38.6	38.3
Marzo	38.3	37.9	38.3	37.9
Abril	38.0	37.4	38.0	37.4
Mayo	38.1	37.8	38.2	37.7
Junio	38.3	38.3	38.4	38.0
Julio	38.4	38.3	38.5	38.1
Agosto	38.5	38.5	38.5	38.2
Septiembre	39.1	39.4	39.0	39.1
Octubre	39.8	40.3	39.7	40.0
Noviembre	39.8	40.1	39.7	39.9
Diciembre	39.5	39.7	39.4	39.5

Nota: La elevación del agua se expresa en metros (m).

El modelo también se realizó utilizando datos de 2010, una temporada particularmente húmeda con promedios observados del nivel del lago superiores a 42 metros. No había datos de precipitación disponibles para tres de las nueve estaciones de medición de lluvia para 2010, por lo tanto, la información faltante tuvo que ser estimada basada en una estación similar, el Aeropuerto Sandino en Managua. La proporción entre la precipitación media mensual y la precipitación mensual observada en 2010 fue aplicada a los promedios mensuales para las tres estaciones faltantes para producir los estimados totales de lluvia mensuales de 2010. Según la Figura E-3, los resultados mostraron un muy buen ajuste a los niveles del lago observados los que ilustran que el modelo podría ser eficaz, incluso en temporadas de lluvia extrema.

Figura E-4: Resultados de la herramienta de balance hídrico del LM para 2010



Al igual que cualquier otro balance hídrico, la herramienta de balance hídrico del LM tiene fortalezas y limitaciones. Una de las mayores limitaciones es la falta de datos consistentes y continuos observados para la calibración. También está limitado por el hecho de que los datos se compilan mensualmente, dando lugar a un modelo de output más tosco de que lo que se podría esperar con datos de entrada diarias. Aun así, los resultados se ajustan muy bien a las tendencias observadas en las fluctuaciones del nivel del lago. El producto final es una herramienta de balance hídrico que puede utilizarse para evaluar los posibles cambios en los niveles de agua del Lago de Managua producidos por las actividades ambientales o humanas, dado un punto de partida conocido del lago.

Los años anticipados de El Niño o La Niña pueden ser evaluados por el riesgo de inundaciones basadas en niveles de los lagos existentes y los cambios esperados en otras variables climáticas, tales como la precipitación y la temperatura del aire. Las actividades humanas, como el uso del suelo, se pueden evaluar también con esta herramienta con el fin de estimar sus efectos sobre los niveles del lago. El usuario puede cambiar el uso del suelo en cada una de las trece cuencas para representar el crecimiento de la población o los cambios agrícolas y permitir que la herramienta pueda estimar los impactos en las elevaciones de la superficie del agua en el Lago Managua. La extensión aproximada de inundación también puede ser mapeada en base a los contornos topográficos circundantes.

## E.6 Instrucciones de descarga

Para descargar la hoja de cálculo del modelo del balance hídrico del LM, coloque la siguiente dirección en el navegador (browser) <ftp://onyx.erm.com> e introduzca la siguiente información de login.

Nombre de Usuario (Username) = SW-0181353

Contraseña (Password) = 9F2282hb

Una copia del modelo de hoja de cálculo y del presente anexo estarán disponibles para ser descargados hasta abril de 2015.

